



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER  
EL GRADO ACADÉMICO DE  
INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO  
AMBIENTE

“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
LÍQUIDOS CLOACALES DE INTENDENTE ALVEAR (LA PAMPA). POSIBLES  
ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO”

Laura Andrea Verónica PALACIOS CRESPO

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2009

## **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 Departamento de Química, durante el período comprendido entre el 28 de agosto de 2008 y el 23 de Noviembre de 2009, bajo la dirección de Muñoz Miguel Ángel y bajo la codirección de Cervellini María Inés.

### **Agradecimientos**

La realización de esta tesina fue posible gracias a la colaboración y guía del Director y codirectora de la misma Magíster Miguel Ángel Muñoz y Doctora María Inés Cervellini, la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Universidad Nacional de La Pampa, la Municipalidad de Intendente Alvear, la geóloga Carina Arroyo; la Ingeniera en Recursos Naturales y Medio Ambiente Karina Echevarría, y al apoyo incondicional de mi pareja, su familia, mis amigos y compañeros. Pero por sobretodo a mis padres quienes me enseñaron a ser perseverante sin perder nunca la humildad.

24 de Noviembre de 2009

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

### **RESUMEN**

La localidad de Intendente Alvear, La Pampa, desde el año 2005, se realiza el tratamiento de aguas residuales por medio de un sistema de dos lagunas facultativas

impermeabilizadas que pueden funcionar de forma conjunta o alternada cuyo producto tratado es conducido por medio de un canal abierto a un cuenco receptor.

A fin de conocer la eficiencia del tratamiento de líquidos cloacales recolectaron análisis bacteriológicos y fisicoquímicos del líquido crudo y tratado cuyos parámetros fueron graficados y comparados con los límites establecidos por el decreto provincial 22793/06, luego, se calculó tiempo de residencia, régimen hidráulico, tasa de aplicación superficial, coeficiente de remoción de DBO<sub>5</sub> y coeficiente de dispersión, se determinó el porcentaje de remoción de cada parámetro y el porcentaje de lodo acumulado.

En la planta de tratamiento se realizó la batimetría de piletas y observó las características del líquido, el estado de los cuencos y del predio en general.

Los cálculos hidráulicos, determinan que los Tiempos de Residencias para las piletas (38 días), están dentro del límite superior de lo normal; mientras que la Tasa de Aplicación Superficial se encuentra sobre el límite inferior teórico (120 kgDBO<sub>5</sub>/Ha).

La batimetría determinó un exceso de sedimentos (hasta 23,5 cm), en la zona de ingreso, para el tiempo de funcionamiento que lleva la planta.

Los valores medios del efluente, pH y SS a 10' y 2 hs., caen dentro de los rangos establecidos por la ley. De ninguna manera la cumplen los de DBO<sub>5</sub> (165 y 158 mg/L), DQO (436 y 446 mg/L) y Coliformes Totales (1,51x10<sup>6</sup> y 1,04x10<sup>6</sup> NCCT) y Fecales (5,5x10<sup>5</sup> y 3.6x10<sup>5</sup> NCCF) por excederlos en un porcentaje muy elevado.

Se concluye que el tratamiento posee serias deficiencias y se proponen medidas correctivas, preventivas y mitigatorias para mejorar su funcionamiento

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Objetivo General del trabajo.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Objetivos Secundarios.....</b>	<b>2</b>

<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>2</b>
<b>4.1 Geomorfología y suelos.....</b>	<b>3</b>
<b>4.2 Clima.....</b>	<b>5</b>
<b>5. CONFORMACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>7</b>
<b>5.1 Sólidos suspendidos.....</b>	<b>7</b>
<b>5.2 Materia orgánica biodegradable.....</b>	<b>7</b>
<b>5.3 Patógenos.....</b>	<b>8</b>
<b>5.4 Nutrientes.....</b>	<b>8</b>
<b>5.4.1 Nitrógeno.....</b>	<b>8</b>
<b>5.4.2 Amoníaco.....</b>	<b>8</b>
<b>5.4.3 Nitrato.....</b>	<b>8</b>
<b>5.4.4 Fosfatos.....</b>	<b>8</b>
<b>5.5 Otros compuestos inorgánicos:.....</b>	<b>9</b>
<b>5.5.1 Calcio y Magnesio.....</b>	<b>9</b>
<b>5.5.2 Cloruro.....</b>	<b>9</b>
<b>5.5.3 Sulfato.....</b>	<b>9</b>
<b>5.6 Contaminantes prioritarios.....</b>	<b>10</b>
<b>5.7 Contaminantes refractarios.....</b>	<b>10</b>
<b>5.8 Metales pesados.....</b>	<b>10</b>
<b>5.9 Materia Orgánica Disuelta.....</b>	<b>10</b>
<b>6. MÉTODOS DE DEPURACIÓN DE EFLUENTES.....</b>	<b>10</b>
<b>6.1 Aeróbicos.....</b>	<b>11</b>
<b>6.2 Anaeróbicos.....</b>	<b>11</b>
<b>6.3 Facultativo.....</b>	<b>12</b>
<b>7. PROCESOS QUE SE DESARROLLAN EN EL INTERIOR DE UNA PILETA FACULTATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>7.1 Degradación de materia orgánica e inorgánica.....</b>	<b>13</b>
<b>7.2 Procesos de fotosíntesis y respiración.....</b>	<b>13</b>
<b>7.3 Crecimiento bacteriano y algal.....</b>	<b>15</b>
<b>8. INFLUENCIAS AMBIENTALES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>9. CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAGUNAS FACULTATIVAS COMO MÉTODO DE DEPURACIÓN DE EFLUENTES.....</b>	<b>17</b>
<b>9.1 Tasa de aplicación superficial y tiempo de retención.....</b>	<b>17</b>

9.2 Régimen hidráulico.....	20
9.3 Remoción de DBO y número de dispersión.....	20
9.3.1 Coeficiente de remoción de DBO <sub>5</sub> :.....	21
9.3.2 Coeficiente de dispersión:.....	21
9.4 Tasa de acumulación de lodo.....	22
9.5 Interpretación visual de las condiciones del líquido.....	23
10. BREVE DESCRIPCIÓN DE MEMORIA TÉCNICA DE OBRAS PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LÍQUIDOS CLOACALES DE INTENDENTE ALVEAR	23
11. LEGISLACIÓN PROVINCIAL Y NACIONAL.....	25
12. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
12.1 Determinación de régimen hidráulico.....	27
12.2 Determinación visual del estado del líquido dentro del reactor.....	27
12.3 Medición de caudal.....	27
12.4 Medición de volumen de líquido.....	27
12.5 Cálculo de eficiencia por medio de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.	28
13. RESULTADOS.....	28
13.1 Determinación de eficiencia estructural.....	28
13.1.1 Estado del líquido utilizando la percepción visual.....	28
13.1.2 Cálculo del caudal medio diario.....	29
13.1.3 Volumen de líquido.....	29
13.1.4 Tasa de aplicación Superficial.....	29
13.1.5 Cálculo de Coeficiente de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	30
1.3.6 Régimen hidráulico.....	30
13.2 Determinación de eficiencia funcional.....	31
13.2.1 Batimetría de piletas y porcentaje de lodo acumulado.....	31
13.2.2 Variación de parámetros en el tiempo.....	31
13.2.2.1 pH.....	31
13.2.2.2 DBO <sub>5</sub> .....	32
13.2.2.3 DQO.....	34
13.2.2.4 Sólidos sedimentables.....	35
13.2.2.5 Bacterias coliformes.....	38
13.2.2.5.1 <i>Bacteria coliformes totales</i> .....	39
13.2.2.5.2 <i>Bacteria coliformes fecales</i> .....	40
13.3 Cálculo de porcentaje de eficiencia en la remoción de DQO, BDO <sub>5</sub> , Bacterias Totales y Fecales.....	42

<b>14. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>15. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>67</b>

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural insustituible e indispensable para el desarrollo socioeconómico y para la salud del ecosistema. Las características que presenta, tales como el efecto termostático y regulador dado por su capacidad calorífica, alto calor de fusión y evaporación, alto poder de disolución, tensión superficial, fuerte absorción de la radiación de longitud de onda larga, entre otras, la hacen imprescindible para la vida (Margalef, 1986).

La cantidad de agua dulce en la tierra, relativamente pequeña, se recicla y purifica de manera constante en el ciclo hidrológico. Esta es un recurso vital para el ser humano; la agricultura, la industria, el transporte y otras actividades humanas que dependen de ella (Miller, 1992).

El uso del agua en la actividad del hombre modifica sus características originales y la carga de distintas sustancias, creando lo que se denomina agua residual. Para saber cuán modificada se encuentra un agua, se determinan valores de ciertos parámetros a través de análisis bacteriológicos y fisicoquímicos.

El 80 % del agua que consume el hombre en distintas actividades cotidianas, se vierte al sistema como agua residual.

Para depurar aguas residuales se emplean tratamientos que tienen por objetivo:

1. Reducción de la carga orgánica de las aguas residuales, produciendo un efluente acorde con la Legislación
2. Reducción o remoción de compuestos que pueden ser tóxicos o carcinogénicos
3. Remoción o reducción de metales tóxicos
4. Remoción o reducción de nutrientes (N, P).
5. Remoción o inactivación de microorganismos patógenos o parásitos.

## **2. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo General del trabajo**

- Evaluar la eficiencia del tratamiento a los líquidos cloacales a través de indicadores específicos (DQO, DBO<sub>5</sub>, Sólidos sedimentables y Coliformes)

### **2.2 Objetivos Secundarios**

- Comparar indicadores en distintas etapas del proceso a fin de evaluar la evolución del sistema.
- Realización de batimetría de laguna a fin de determinar en términos volumétricos la cantidad de fango depositado, su tiempo de degradación y retención.
- Plantear alternativas de mejoramiento para incrementar la eficiencia del tratamiento teniendo en cuenta las variaciones de los indicadores seleccionados.
- Exponer un tratamiento a líquidos provenientes de descargas de camiones atmosféricos (no incluidas en el tratamiento de líquidos cloacales).

## **3. HIPÓTESIS**

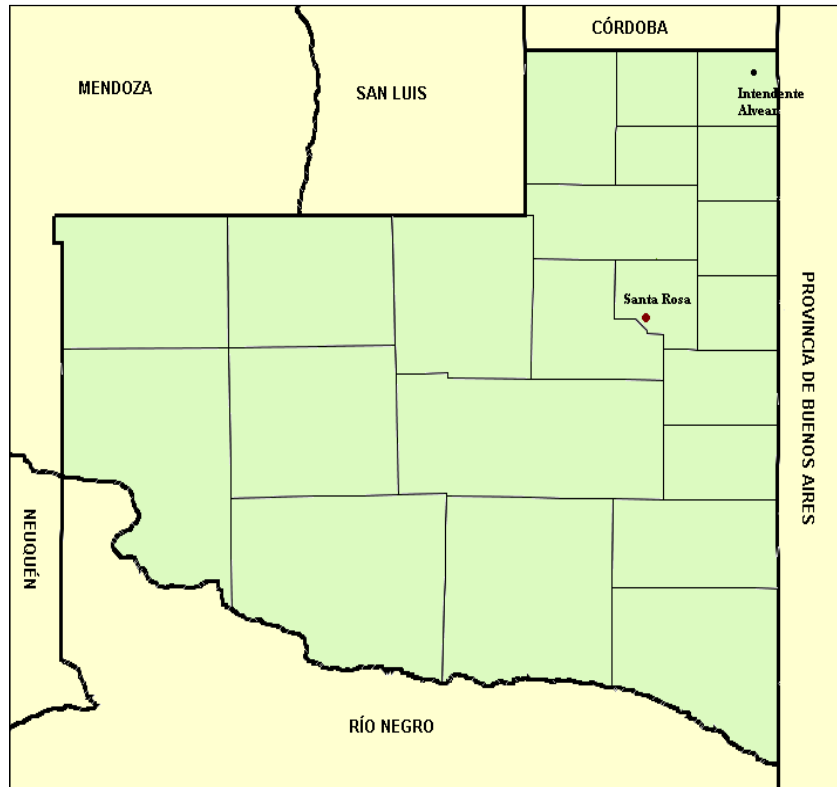
**H<sub>1</sub>:** El sistema de tratamiento de líquidos cloacales utilizados en la localidad de Intendente Alvear, La Pampa, no es eficiente.

## **4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La localidad de Intendente Alvear (Depto Chapaleufú, La Pampa) fue fundada en el año 1896. Cuenta con una población de aproximadamente 8000 habitantes (según datos municipales) y posee una red cloacal creada por medio de la primera parte del Convenio de Asistencia Financiera de La Nación a la Provincia de La Pampa y su Municipalidad (Ley 1966 del 24 de Noviembre de 2000) y cuya puesta en marcha se dio en 2005, se encuentra diseñada para abastecer a 3400 hogares, de los cuales se encuentran conectados 1800 con un aporte medio de 380 m<sup>3</sup>/día de agua cloacal.



Dicha localidad, se encuentra aproximadamente a 220 Km al noreste de la ciudad de Santa Rosa (Capital de la provincia); y sus coordenadas son 35°14'24.13" de latitud sur y 63°35'26.10" de longitud oeste (Figura 1).



**Figura 1:** Ubicación en mapa de las localidades de Intendente Alvear y Santa Rosa (Capital de la Provincia de La Pampa).

#### 4.1 Geomorfología y suelos

El área sufrió procesos morfogenéticos de carácter hídrico (escurrimiento difuso) y eólico (de acumulación- deflación). Inicialmente, se elaboró una superficie calcárea con pendiente hacia el este, sobre ella, el viento acumuló un manto arenoso de espesor variable. Hoy encontramos un paisaje llano suavemente ondulado con sentido norte-sur y médanos aislados, también áreas deprimidas y lagunas temporales (Cano et al., 1980).

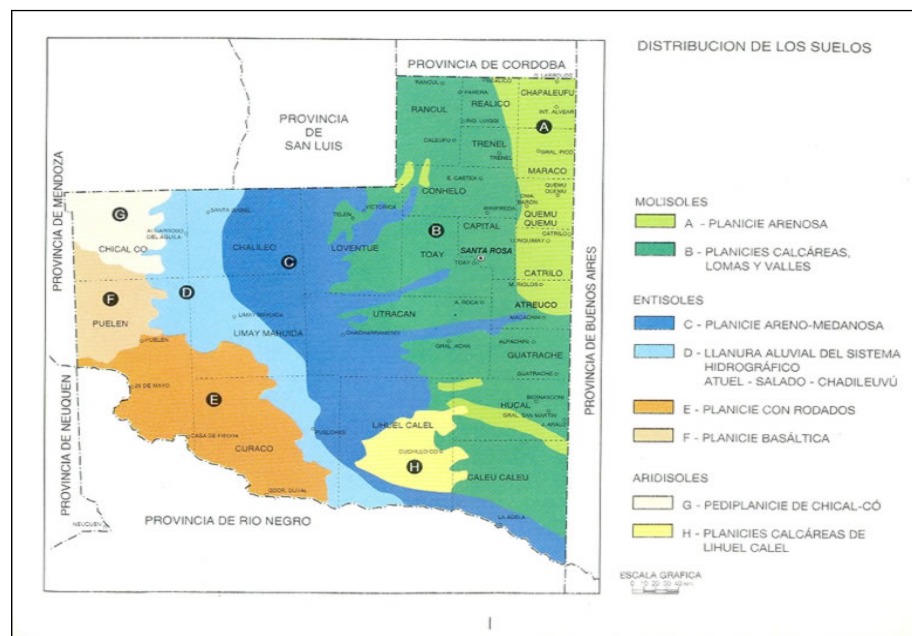
Estudios geomorfológicos realizados por Malagnino (citado por Castro, 2008), proponen que el campo de dunas o médanos que hoy se encuentran en superficie, ha sepultado un antiguo sistema de drenaje desde el Noroeste del área, ahora ocupado por el Río Quinto.

Las características que se observan, están relacionadas con una serie de interrupciones que el ciclo fluvial ha tenido y que en forma recurrente actuó desde el

Pleistoceno a la actualidad, vinculados con cambios climáticos en los que se alterna ciclos áridos y húmedos que afectaron los regímenes de ríos dando lugar a la aparición de procesos eólicos y fluviales. Cuando estos sistemas fluviales dejaron de funcionar o mermaron su caudal, las acumulaciones en las planicies aluviales fueron modeladas por el viento y comenzaron a ser deflacionadas y movilizadas; produciendo médanos arenosos longitudinales que cubrieron el paisaje fluvial preexistente. Posteriormente, se sucedieron períodos húmedos que favorecieron la aparición de cubierta vegetal. Durante ese lapso de tiempo las crestas de los médanos fueron degradados y rebajados por procesos fluviales locales y los elementos clásticos así removidos se acumularon en los espacios inter-médanos (Castro, 2008).

En las interdunas o inter-médanos también se acumularon otras granulometrías más finas transportadas por suspensión. De esta forma las dunas longitudinales compuestas lograron un perfil aproximado al actual: crestas chatas y rebajadas y ambientes interdunales planos y agradados (Castro, 2008).

La unidad cartográfica que ocupa la localidad de Intendente Alvear, es la de planicies medanosas (Figura 2) suavemente onduladas con cubetas de 10 a 50 m de diámetro con suelos ácidos (Cano et al., 1980).



**Figura 2:** Tipología de suelos de La Pampa

El material parental de su suelo está compuesto de arenas loessicas de reciente deposición, de textura franco arenosa fina con 10 % de arcilla y 25 % de limo total. A partir

de 1.20 a 1.50 m de profundidad presenta alrededor de 2% de Carbonato de Calcio en concreciones y en la masa (Castro, 2008).

El suelo dominante, tiene incipiente evolución genética con un sencillo perfil del tipo A-AC-C donde la tosca se encuentra cercana a los 2 m. Es profundo con un buen contenido de materia orgánica, cercano al 2%, reuniendo las exigencias de un epipedón mólico. Presenta drenaje algo excesivo, con una permeabilidad rápida y un escurrimiento nulo. El régimen de humedad es de tipo údico, marginal al ústico con una temperatura térmica y su clase granulométrica de tipo franco gruesa (Cano et al., 1980).

La capa freática en esta zona se encuentra a una profundidad de entre 7 y 8 metros, aunque en algunos sectores puede tener menos de 5. Se observan también zonas de descarga (que representan menos del 1% de la unidad cartográfica) y algunos bajos que a veces presentan suelos parcialmente salinizados producto de la intensa evaporación. Sus limitaciones son las características para suelos de áreas semiáridas, es decir regular capacidad de retención de la humedad, erosión eólica ligera y sequías estacionales. El suelo dominante es Hapludol éntico, familia franca gruesa, mixta térmica y el asociado es de reacción ácida moderadamente bien drenado (Cano et al., 1980).

#### **4.2 Clima**

No existen registros de la temperatura en la localidad de Intendente Alvear, por lo que se utiliza generalmente como referencia la de la localidad de General Pico (INTA) dada su cercanía con ésta.

Presenta una Temperatura Media anual de 16 °C (serie 1961-2003), con una media máxima de 23,3 anual y de 31,8 °C en los meses de verano, una media mínima de 8,4°C anuales y 1,8°C en los meses de invierno (Castro, 2008).

La velocidad promedio anual del viento oscila entre 10 y 15 km/h (Cano et al., 1980), siendo la primavera la estación en la que sopla con mayor intensidad (coincidiendo con el período de menor precipitación).

Las precipitaciones medias (Castro, 2008) anuales por décadas muestran:

Entre 1961 y 1970 651.2 mm

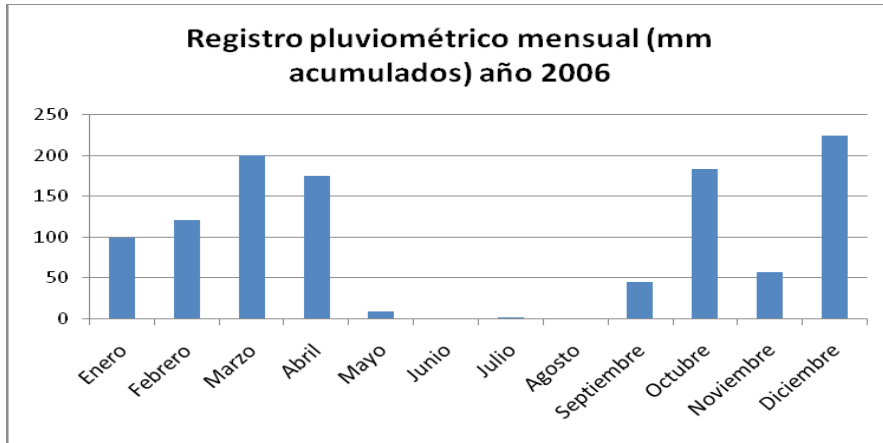
Desde 1971 y 1980 887.8mm,

Entre 1981 y 1990 950.3 mm

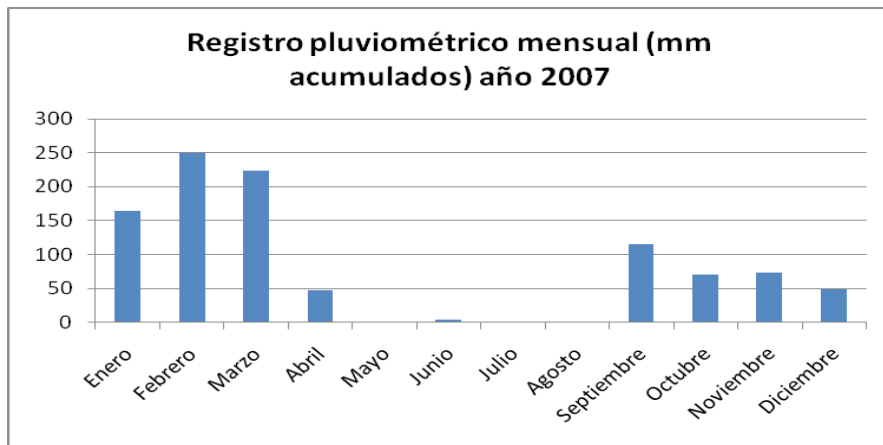
Entre 1991 y 2000 1032.4 mm

Hasta el momento, se observa una clara tendencia de aumento en las precipitaciones que se ha mantenido constante en la fecha considerada, presentando valores mínimos de 492 mm en 1964 y valores máximos de 1496 mm en el año 1997 (Castro, 2008).

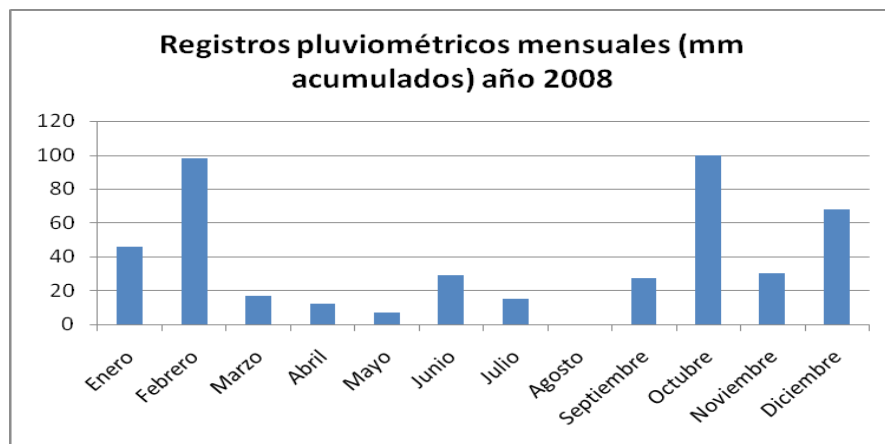
En el período comprendido entre 2001 y 2006 la precipitación alcanzó los 1006 mm. Los registros mas recientes muestran una disminución de las precipitaciones teniendo en 2006 una precipitación acumulada de 1115 mm (Figura 3), en 2007 de 999 mm (Figura 4) y en 2008 (Figura 5) de 449,5 mm anuales (datos de precipitaciones obtenidos de la página de la policía de La Pampa)



**Figura 3:** Registro pluviométrico mensual (Año 2006)



**Figura 4:** Registro pluviométrico mensual (Año 2007)



## Figura 5: Registro pluviométrico mensual (Año 2008)

El análisis de pluviogramas indica que los registros mensuales presentan cierta regularidad en su distribución anual, dado que existen ciclos de importantes en enero y febrero, muy importantes en marzo, para decaer a importante en abril y comenzar una marcada disminución hasta julio-agosto, desde donde comienza el ciclo hidrológico a ascender sostenidamente hasta diciembre.

## 5. CONFORMACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

El agua residual se encuentra conformada de distintas sustancias producto de los desechos del hombre. Las sustancias mas comunes encontradas son:

### 5.1 Sólidos suspendidos: partículas visibles que se mantienen entre

la superficie y el fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación. Los sólidos suspendidos totales son la porción de los sólidos totales retenidos en un filtro de tamaño de poro especificado (1.58  $\mu\text{m}$  en filtro Whatman de fibra de vidrio).

Los sólidos suspendidos se dividen en dos grupos: sedimentables (aquellos que por su peso y tamaño pueden sedimentar en un lapso determinado de tiempo, ensayo de cono Imhoff) y coloidales (aquellos que no sedimentan).

La acumulación de sólidos forman lodo que fomenta las condiciones anaeróbicas (Metcalf and Eddy, 1995).

**5.2 Materia orgánica biodegradable:** se compone principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas.

Si el efluente es descargado sin tratamiento previo, la degradación de materia orgánica, agota las fuentes de oxígeno y se fomenta las condiciones sépticas (Metcalf and Eddy, 1995).

**5.3 Patógenos:** muchas enfermedades pueden transmitirse a través del agua contaminada por agentes que se clasifican en bacterias, protozoarios, helmintos y virus. Las bacterias mas importantes son: *Escherichia coli*, *Legionella pneumophila*, Salmonella; protozoarios: *Cryptosporidium parvum* y virus: Hepatitis A entre otros (Metcalf and Eddy, 1995).

Los contaminantes biológicos son los responsables de la transmisión de enfermedades en el agua de abastecimiento como por ejemplo cólera, tifoideas y paratifoideas.

**5.4 Nutrientes:** tanto el nitrógeno, como fósforo y el carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento y el desarrollo de la vida, que cuando son descargados a ambientes acuáticos pueden fomentar la proliferación de seres no deseados.

Cuando la concentración de estos nutrientes es elevada, y son descargados en suelos permeables pueden afectar los acuíferos (Metcalf and Eddy, 1995).

**5.4.1 Nitrógeno:** Los seres vivos requieren átomos de nitrógeno para la síntesis de moléculas orgánicas esenciales como las proteínas, los ácidos nucleicos y el ADN.

El nitrógeno, tiene como fuente a la atmósfera donde se combina con el oxígeno del aire.

Las bacterias nitrificantes son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico que utilizan las plantas para llevar a cabo sus funciones. También algunas algas verde-azules son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, de esta forma el  $N_2$  es convertido en otras formas químicas (nitratos y amonio) asimilables por las plantas.

En ausencia de oxígeno, las bacterias utilizan el nitrato para sustituir el oxígeno como aceptor final de electrones que se desprenden durante la respiración. De esta manera, el nitrógeno, vuelve a la atmósfera.

**5.4.2 Amoníaco:** aumenta la demanda de cloro; puede convertirse a nitratos y agotar los recursos de oxígeno; con el fósforo puede llevar al desarrollo de algas. Es tóxico para peces. Este compuesto posee una concentración variable en el agua residual dependiendo del pH y la temperatura.

**5.4.3 Nitrato:** Estimula el crecimiento acuático y de algas. Puede causar metahemoglobinemia en niños (niños azules).

**5.4.4 Fosfatos:** Estimula el crecimiento acuático y de algas. Interfiere con la coagulación y con el ablandamiento de la cal-sosa.

Una fuente importante de fosfatos en agua residual doméstica son los detergentes, semejantes a los jabones porque tienen en su molécula un extremo iónico soluble en agua y otro extremo no polar que adsorbe los aceites. Están formados básicamente por un agente tensoactivo que actúa modificando la tensión superficial, disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas a una superficie flocculando y emulsionando a las partículas de suciedad, además de otros componentes que actúan como solubilizante, blanqueador, bactericida, perfumes, abrillantadores ópticos (tinturas que dan a la ropa el aspecto de limpieza), etc.

El uso de los compuestos tensoactivos en el agua, al ser arrojados a los lagos y ríos provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto, con lo cual se dificulta la vida acuática, también actúan quitándoles la grasa de las plumas a las aves acuáticas lo que

provoca el escape del aire aislante de entre las plumas y permitiendo su mojadura, esto puede ocasionar el deceso por frío o ahogo del animal, de manera semejante como les ocurre con los derrames de petróleo en el mar.

### **5.5 Otros compuestos inorgánicos:**

#### **5.5.1 Calcio y Magnesio:** aumenta la dureza y los sólidos totales disueltos.

Su fuente, principalmente se debe a la disolución de rocas y suelos al igual que el cloruro. También, los organismos vivos han formado inmensos depósitos de  $\text{CaCO}_3$  sedimentario (Cole, 1988).

**5.5.2 Cloruro:** imparte sabor salado e interfiere en los usos agrícolas e industriales del agua.

Además de las características edáficas, la evaporación y la atmósfera (cerca de costas marinas), la contaminación por excreciones humanas y animales son fuente de este ión, dado que contienen en promedio 5 g de  $\text{Cl}^-$  por litro, reduciéndose al tomar contacto con el agua formando HCl.

**5.5.3 Sulfato:** acción catártica. Las fuentes atmosféricas de sulfato se han incrementado desde el comienzo de las actividades industriales del hombre, además de que las emisiones volcánicas han agregado compuestos azufrados al aire, ahora el hombre aporta 2.4 veces más  $\text{SO}_2$  que la contribución anual de volcanes. La combustión de carbón de hulla, la fundición de metales sulfurosos, y manufactura de papel también produce gases y escurrimiento rico en azufre. Sin embargo, la contribución edáfica es extraordinariamente importante y aguas altamente sulfatadas reflejan la presencia de antiguos sedimentos marinos (Cole, 1988).

El sulfato disuelto en agua es la principal forma disponible del azufre; es reducido por las plantas e incorporado a las proteínas, siendo, un constituyente principal de ciertos aminoácidos. Cuando los cuerpos vegetales y animales son descompuestos por heterótrofos es liberado como hidrogeno sulfurado ( $\text{H}_2\text{S}$ ) donde una parte es convertida por bacterias en sulfato. Algunas bacterias denominadas quimiosintéticas viven en sedimentos y tienden a desarrollarse en condiciones anaeróbicas, con el resultado de que mucho  $\text{H}_2\text{S}$  no puede oxidarse pero pasa al banco de reserva.

**5.6 Contaminantes prioritarios:** son los compuestos orgánicos e inorgánicos, seleccionados si se sospecha o conoce su carcinogenicidad, habilidad para causar mutaciones o alteraciones en las células, así como su elevada toxicidad (Metcalf and Eddy, 1995).

**5.7 Contaminantes refractarios:** estos compuestos tienen una degradación biológica muy lenta y por lo tanto se consideran como refractarios y tienden a resistir los

tratamientos convencionales. Algunos ejemplos son los surfactantes, fenoles y pesticidas (Metcalf and Eddy, 1995).

**5.8 Metales pesados:** provienen en general de descargas industriales y deben ser removidas en su totalidad del agua en caso que quiera ser reutilizada (Metcalf and Eddy, 1995).

**5.9 Materia Orgánica Disuelta:** provienen en general de descargas industriales y deben ser removidas en su totalidad del agua en caso que quiera ser reutilizada (Metcalf and Eddy, 1995).

## 6. MÉTODOS DE DEPURACIÓN DE EFLUENTES

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del lodo activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico.

En la actualidad, existen varios métodos de tratamiento para aguas residuales, el mismo será seleccionado según las características y el volumen del líquido de desecho. Dichos parámetros determinan la necesidad o no de un pretratamiento que comienza, en general, con: desbaste (eliminación de sólidos gruesos), dilacerado y homogenización de caudal, pasando luego, en algunas plantas, por un proceso de floculación, trampas de grasa y sedimentación.

Seguidamente, se inicia el tratamiento propiamente dicho, que puede ser muy variado.

Los métodos empleados se pueden clasificar en anaeróbicos, aeróbicos y facultativos dependiendo de la presencia o no de oxígeno y de los microorganismos que actúen en la estabilización de la materia orgánica.



## **6.1 Aeróbicos**

Dentro del tratamiento aerobio se pueden distinguir dos tipos de procedimientos, tratamiento aerobio de cultivo en suspensión y de cultivo fijo. En el primero se puede utilizar un proceso de fangos activados (donde se produce una masa de microorganismos que estabiliza aeróbicamente la materia orgánica); un sistema de lagunas aireadas (donde se utiliza un reactor excavado en terreno al que se le suministra oxígeno por medio de difusores o aireadores superficiales); un reactor de flujo discontinuo secuencial (que trata de un sistema de tratamiento de fangos activados en el que se suceden ciclos de llenado y vaciado cuyos procesos de aireación, sedimentación y clarificación ocurren en un mismo tanque) y un proceso de digestión aeróbica, donde el fango se airea en un tanque abierto produciendo su digestión (Metcalf and Eddy, 1995).

En cuanto a procesos aerobios de tratamiento de cultivo fijo (correspondiente al segundo grupo), se emplean generalmente para eliminar materia orgánica y procesos de nitrificación. Este proceso incluye filtros percoladores, filtros de desbaste, reactores biológicos rotativos de contacto y reactores de nitrificación de lecho fijo. De todos, el proceso de filtros percoladores es el más empleado (Metcalf and Eddy, 1995).

## **6.2 Anaeróbicos**

El tratamiento anaerobio (digestión anaeróbica) consta de un sistema de descomposición de materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular cuyas principales aplicaciones son la estabilización de fangos concentrados de tratamientos de aguas residuales y de determinados residuos industriales (Metcalf and Eddy, 1995).

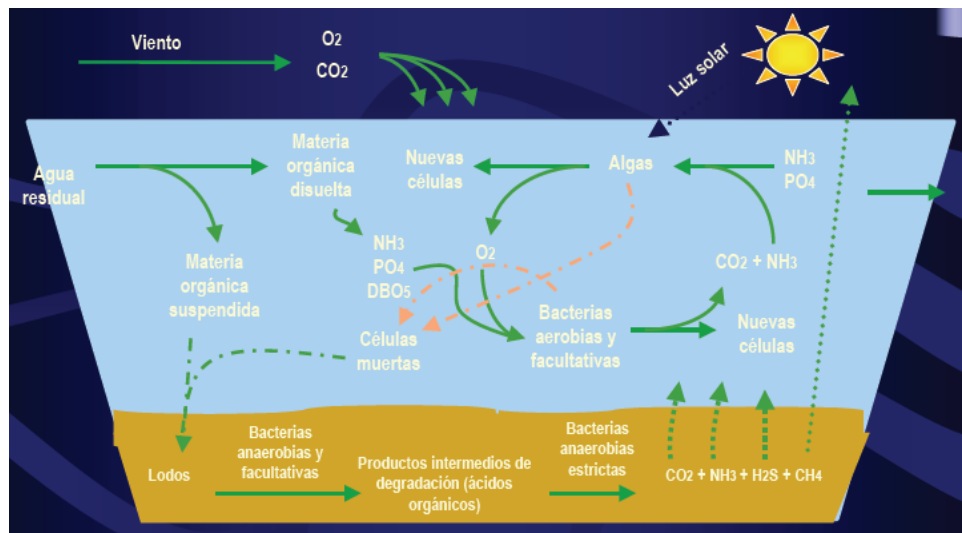
## **6.3 Facultativo**

Por último, el sistema de tratamiento de efluentes implementado en la localidad de Intendente Alvear, las lagunas facultativas (Figura 6). Dicho proceso, retiene el líquido por un determinado período de tiempo a fin de que se produzca la estabilización de la materia orgánica. Sus principales ventajas son la sencillez del tratamiento, que no requiere de personal capacitado ni grandes equipamientos, así como la posibilidad de utilizar tierras de escaso valor económico. Por otro lado, se encuentran sus desventajas: la dependencia del clima para la actividad de los microorganismos y el tiempo que requieren los mismos para degradar la materia orgánica (Von Sperling, 1996).

En las piletas, el líquido es depurado por la acción de bacterias que estarán influenciadas por las condiciones del mismo, determinando zonas aeróbicas, anaeróbicas y facultativas.

La zona superior es ocupada por algas y bacterias adaptadas a un medio oxigenado, donde se producirá fotosíntesis y se dará oxígeno al agua. En la zona intermedia o facultativa se encuentran bacterias adaptadas tanto a la presencia como a la ausencia de oxígeno, debido a la oscilación del mismo a lo largo del día.

Por último, en la zona del fondo, donde no llega la luz, se generan condiciones de anaerobiosis que determinan la acción de bacterias degradadoras adaptadas a dicho medio.



**Figura 6:** Esquema simplificado de una laguna facultativa y sus procesos internos.

## 7. PROCESOS QUE SE DESARROLLAN EN EL INTERIOR DE UNA PILETA FACULTATIVA

Ocurren varios procesos en el interior de una laguna facultativa, entre ellos se destacan:

### 7.1 Degradación de materia orgánica e inorgánica

El producto final de la descomposición aeróbica de la materia orgánica nitrogenada da como productos finales NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, la descomposición de forma anaeróbica genera meta cáptanos, indoles, escatol, H<sub>2</sub>S y otros. Mientras que la descomposición aeróbica de materia carbónica da CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y la anaeróbica: ácidos, alcoholes, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y otros productos complejos (Ramalho, 1993).

La medida de biodegradabilidad de un efluente considera dos parámetros:

**D.B.O.** Su determinación indica cantidad de oxígeno disuelto requerido por microorganismos vivos, existentes en el medio natural: río, lago, etc, para la utilización o destrucción de la materia orgánica por oxidación bioquímica (Ramalho, 1993).

La DBO es baja en aguas no contaminadas, ya que no hay materia orgánica presente para consumir oxígeno.

La estabilización biológica total de un agua residual puede durar largo tiempo. En la práctica se ha aceptado como referencia la DBO a los 5 días de tratamiento ( $DBO_5$ ).

**D.Q.O.** Cantidad de oxígeno que corresponde a la materia orgánica total de una muestra, que es susceptible de oxidarse por un producto químico altamente oxidante en un medio ácido. El dicromato potásico es el oxidante apropiado para este fin. Es decir, la DQO, mide la masa orgánica e inorgánica oxidable.

## **7.2 Procesos de fotosíntesis y respiración**

Durante el plazo diurno, las algas y otras plantas dan oxígeno al agua a través de la fotosíntesis. Esta cantidad de oxígeno puede llegar a sobresaturarla en algunos períodos diurnos (Ramalho, 1993).

Mientras ocurre la fotosíntesis también hay respiración, que continúa durante las 24 horas sin tener en cuenta la iluminación. Durante la respiración se consume oxígeno y se produce  $CO_2$ . En el día, las algas pueden producir mayor cantidad de oxígeno que el necesario para su respiración, la de otros organismos y la satisfacción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Durante la noche, la fotosíntesis no se produce, por lo que la cantidad de oxígeno disuelto alcanza puntos mínimos en las primeras horas de la mañana (Ramalho, 1993).

Asimismo, en una laguna de tratamiento de líquidos cloacales, la fotosíntesis es más elevada en la superficie; a medida que profundizamos en la misma, la penetración de la luz disminuye ocasionando el predominio del consumo de oxígeno sobre la producción, con ausencia de oxígeno a partir de cierta profundidad. El punto donde el consumo de oxígeno se iguala a la producción se conoce como oxipausa, que varía durante el día en función de la variación fotosintética (como respuesta a la variación de la carga del lago). Debido a este dinamismo, es esencial para el tratamiento de líquidos cloacales mediante lagunas facultativas la presencia de diversos grupos de bacterias, responsables de la estabilización de la materia orgánica que puedan sobrevivir y proliferar durante la noche en presencia y ausencia de oxígeno. En ausencia de oxígeno libre, son utilizados otros aceptores de electrones como nitratos y sulfatos o dióxido de carbono (Von Sperling, 1996).

El pH también varía según la profundidad del cuerpo de agua y a lo largo del día. Durante la fotosíntesis se consume dióxido de carbono ( $CO_2$ ) del líquido, el ión bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) tiende a convertirse en  $OH^-$  y el pH se eleva. Durante la respiración, se produce  $CO_2$ , el ión bicarbonato tiende a convertirse en  $H^+$  y el pH se reduce (Von Sperling, 1996).

Durante el día, en las horas de máxima actividad fotosintética el pH puede adquirir valores que rondan a 10, en estas condiciones, el ión amonio libre ( $\text{NH}_4^+$ ) se convierte en amonio libre ( $\text{NH}_3$ ) lo que tiende a liberarse a la atmósfera, los fosfatos precipitan (remoción de nutrientes), y el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) se convierte en bisulfito inodoro  $\text{HS}^-$  (Von Sperling, 1996).

El sistema de tratamiento mediante lagunas facultativas, si es eficiente (se encuentra bien diseñado y ocupa una superficie adecuada), no necesita ningún tipo de equipamiento, por esta razón, la estabilización se realiza a tasas mas lentas, necesitando de un tiempo de retención mayor en la misma (usualmente entre 15 y 45 días dependiendo de factores climáticos como son vientos y fundamentalmente las temperaturas medias, por la actividad biológica). La fotosíntesis para que sea efectiva necesita de una mayor área de exposición para mejor recepción de energía solar por las algas, implicando la necesidad de grandes áreas (Von Sperling, 1996).

### **7.3 Crecimiento bacteriano y algal**

El crecimiento acelerado de las bacterias es una respuesta a suministros ricos en nutrientes de las aguas residuales domésticas. Durante el período de rápida asimilación de nutrientes, la reproducción bacteriana alcanza su óptimo y la utilización de oxígeno disuelto es proporcional a la cantidad de materia orgánica o alimento utilizado (Ramalho, 1993).

Existe un alto consumo de oxígeno por la alimentación bacteriana con los compuestos de base proteicas disponibles en el momento de vertido. Conforme van disminuyendo dichos compuestos la concentración de oxígeno disuelto se va recuperando hasta alcanzar un valor inicial de 7 mg/L (Ramalho, 1993).

Un proceso similar tiene lugar con nutrientes como hidratos de carbono y grasas.

Las algas, al igual que las demás plantas, almacenan energía mediante el proceso de fotosíntesis por lo que requieren de la luz solar para consumir el dióxido de carbono y liberar el oxígeno. Necesitan también de otros elementos químicos nutritivos inorgánicos como potasio, fósforo, azufre y hierro.

El nitrógeno y el fósforo presentes en las proteínas de aguas residuales genera inconvenientes en los sitios receptores de la misma, ya que como el vertido se produce en aguas quietas, se estimula el crecimiento de algas indeseables que hacen que el líquido

aparezca de color verdoso, pudiendo oler y teniendo un aspecto poco atractivo (Ramalho, 1993).

Los principales grupos de algas encontrados en lagunas de estabilización son algas verdes (género *Chlamydomonas*, *Euglena*, *Chlorella*, los primeros dominantes en períodos fríos) y azules (pueden proliferar en cualquier ambiente donde haya apenas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , minerales y luz; se encuentran en pH bajos los géneros *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Anacystis* y *Anabaena*)

Según Von Sperling (1996) se pueden presentar distintos procesos dentro de un reactor como respuesta a las fluctuaciones en clima y nutrientes:

- En el caso de que las algas mueran, la estabilización de su masa celular consumirá oxígeno.
- Si las algas fueran consumidas por el zooplancton y entraran en la cadena alimentaria se generarán ventajas en el caso que se practique la acuicultura.
- Si las algas continúan multiplicándose, podrán tener efectos benéficos en la producción de oxígeno. Las algas realizan tanto fotosíntesis como respiración, pero generan alrededor de 15 veces más oxígeno que el consumido en la respiración.
- En el caso que el efluente sea utilizado para irrigación, las algas pueden ser también benéficas. Las cianofíceas contribuyen a la fijación de nutrientes, otras algas, cuando mueren, liberan nutrientes que luego pueden ser usados por las plantas. No obstante, las excesivas concentraciones de algas, pueden afectar la porosidad del suelo.

Dentro de cualquier cuerpo de agua cerrado ocurre un fenómeno conocido como eutrofización o eutrofización (del griego *eú*, bien, y *trophé*, alimentación) que es un proceso natural de envejecimiento de agua estancada o de corriente lenta con exceso de nutrientes y que acumula en el fondo materia vegetal en descomposición. Las plantas se apoderan del lago hasta convertirlo en pantano y luego se seca. El proceso de eutrofización resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes en los cultivos agrícolas, de la materia orgánica de la basura, de los detergentes hechos a base de fosfatos que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos, y que son un problema muy grave para las aguas estancadas cerca de los centros urbanos o agrícolas. Durante las épocas cálidas la sobrecarga de estos productos químicos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lenteja de agua, las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno (Ramalho, 1993).

Si el exceso de nutrientes sigue fluyendo a los lagos las bacterias anaerobias predominan en ellos y quedan putrefactos debido a la producción del ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y metano ( $CH_4$ ) durante la descomposición de la materia orgánica.

## **8. INFLUENCIAS AMBIENTALES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Existen condiciones ambientales que influyen en una laguna de estabilización como la radiación solar, la temperatura y el viento. La radiación solar junto a la temperatura afecta la velocidad de la fotosíntesis; ésta última incide en la tasa de descomposición bacteriana, la solubilidad, la transferencia de gases y las condiciones de mezcla del líquido (Von Sperling, 1996).

La mezcla de una laguna de estabilización ocurre a través del viento y la diferencia de temperatura. Dicha mezcla, genera beneficios por: minimización de ocurrencia de cortocircuitos hidráulicos, minimización de ocurrencia de zonas estancadas, homogenización vertical de la DBO, algas y oxígeno; transporte a la zona fótica superficial de algas no motoras que tienden a sedimentar y transporte a las zonas más profundas del oxígeno producido por la fotosíntesis (Von Sperling, 1996).

Una laguna está sujeta a la estratificación térmica en la cual la zona superior (caliente) no se mezcla con la inferior (fría). A medida que aumenta la profundidad, la temperatura del líquido decrece e incrementa su densidad y viscosidad. Se denomina termoclina a la línea imaginaria que diferencia dos zonas distintas, una superior (menos densa) y una inferior (de mayor densidad), las cuales no se mezclan (Von Sperling, 1996).

El comportamiento de las algas es influenciado por esta estratificación haciendo que aquellas que carecen de movilidad propia sedimenten dejando de producir oxígeno y consumiéndolo. Aquellas algas que tienen locomoción, tienden a ir a la zona superior (30-50 cm) de elevada temperatura (eventualmente  $35\text{ }^{\circ}C$ ) formando una densa capa de algas que dificulta la penetración de energía solar (Von Sperling, 1996).

Debido a estos aspectos, en lagos estratificados hay una baja presencia de algas en la zona fótica que reducen la producción de luz en el sistema y, en consecuencia, la capacidad de estabilizar la materia orgánica. En lugares con poco o ningún viento, la superficie de la laguna permanece estratificada (Von Sperling, 1996).

La estratificación puede ser interrumpida por medio de mecanismos de mezcla natural, denominado "Inversión Térmica". En lagos tropicales estratificados, la inversión térmica puede ocurrir en períodos frío (invierno) en lagunas de poca profundidad, como lagunas de estabilización, la mezcla puede ocurrir una vez al día: al inicio de la mañana con

viento se incrementa la temperatura del agua por encima de la termoclina, pero en el fondo varía poco. Al inicio de la noche sin viento por encima de la termoclina se empieza a perder temperatura mas rápido que en el fondo. En caso que la temperatura de ambas zonas se aproxime, ocurre la mezcla. Durante la noche, con viento se propensa la mezcla y la parte inferior pasa a ser superior y viceversa (Von Sperling, 1996).

## **9. CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAGUNAS FACULTATIVAS COMO MÉTODO DE DEPURACIÓN DE EFLUENTES**

### **9.1 Tasa de aplicación superficial y tiempo de retención**

Los principales parámetros a tener en cuenta en la construcción de una laguna facultativa son: tasa de aplicación superficial y tiempo de retención. La primera, trata de determinar el área de exposición solar del lago en la que ocurre la fotosíntesis. El objetivo es garantizar la fotosíntesis, e indirectamente el crecimiento de algas, para tener la cantidad de oxígeno suficiente para igualar su demanda. Así, el criterio de tasa de aplicación superficial está basado en la necesidad de oxígeno para estabilizar la materia orgánica. La tasa se expresa en términos de carga de DBO (Von Sperling, 1996).

$$A = L/Ls$$

A: área requerida para la laguna.

L: carga de DBO<sub>total</sub> afluente (Kg DBO<sub>5</sub>/d)

Ls: tasa de aplicación superficial (Kg DBO<sub>5</sub>/ha \*d)

La tasa adoptada debe variar con la temperatura local, la latitud y la exposición solar. Lugares con clima e insolación extremadamente favorables permiten adoptar tasas elevadas superiores a 300 Kg DBO<sub>5</sub>/ha \*d que implica menores áreas superficiales de lagunas. En el caso de climas templados, las tasas deben ser inferiores a 100 Kg DBO<sub>5</sub>/ha \*d.

En cuanto al tiempo de retención, se trata de aquél necesario para que los microorganismos procedan a la estabilización de la materia orgánica en la laguna.

El volumen para una laguna puede ser calculado en base al tiempo de retención adoptado. El tiempo de retención se expresa en días (Von Sperling, 1996).

$$V = t.q$$

T: tiempo de retención

Q: caudal afluente

De esta fórmula puede despejarse el tiempo de retención “t” con la relación entre el volumen V y el caudal afluente q.

El tiempo de retención varía con las condiciones locales, usualmente, se admite entre 15 y 45 días.

Los tiempos de retención menores pueden ser adoptados en aquellas regiones donde la temperatura del líquido es más elevada disminuyendo así la necesidad de tener una gran capacidad volumétrica de laguna. Además, el tiempo de retención requerido se encuentra en función de la DBO y del régimen hidráulico, lo que determina que en lugares donde las aguas residuales son muy concentradas (alta DBO) el tiempo de retención deberá ser mayor.

La tasa de aplicación superficial y el tiempo de retención se encuentran vinculados, por lo que el área o volumen obtenidos deben ser coherentes. Para ello, el tiempo de retención puede ser utilizado de dos formas:

1. Adoptar **t** como un parámetro explícito del proyecto, es decir después de seleccionar **t**, se calcula el volumen V ( $V=Q.t$ ) y partiendo de allí, se puede calcular la profundidad H ( $H=V/A$ ).

2. Adoptar un valor para la profundidad H, donde teniendo A se calcula el volumen V y en consecuencia el tiempo de retención t ( $t=V/Q$ ). En caso que el caudal efluente no cumpla con los valores de DBO<sub>5</sub> admisibles por la legislación, se debe incrementar el volumen o sea el tiempo de retención del líquido.

La profundidad de una pileta facultativa depende de la penetración de la luz solar para soportar la actividad fotosintética. La intensidad de la luz decrece a medida que avanzamos en la profundidad de la pileta por causa de una mayor turbidez del agua y un incremento en la concentración de algas, esto determina que por debajo de cierta profundidad, el ambiente no sea propicio para ellas.

Por todo esto, el área y volumen de una pileta deben generar una profundidad H acorde a los efectos deseados para ese sistema:

- 1º) Una pileta de profundidad inferior a 1 metro pueden comportarse como totalmente aeróbicas, para cumplir con el tiempo de retención el área a cubrir debe ser elevada, la penetración de la luz en profundidad es prácticamente total generando la precipitación de fosfatos (remoción de nutrientes), determina una mayor eliminación de patógenos, puede generar una vegetación emergente potenciando la posibilidad de proliferación de larvas de mosquitos, las piletas poco profundas son mas afectadas por la variación de la temperatura ambiente, pudiendo incluso generar condiciones anaeróbicas en



períodos calientes (aumento de la tasa de descomposición de la materia orgánica y mayor influencia en solubilidad de subproductos de la descomposición anaeróbica del lodo del fondo)

2º) Las piletas con una profundidad superior a 1.2 metros posibilitan un mayor tiempo de retención para la estabilización de materia orgánica, también permiten una menor incidencia de las condiciones ambientales (lo que genera un líquido efluente con características uniformes en todo el año). Hay mayor almacenamiento de lodo, la zona inferior permanece anaeróbica donde la tasa de remoción de DBO y la mortandad de patógenos es reducida. Por otro lado, la descomposición anaeróbica no consume oxígeno disuelto, por lo que éste permanece elevado.

En conclusión se puede seleccionar la profundidad de la pileta generando la mayor cantidad de beneficios posibles. En general se tiende a adoptar una profundidad que varía de 1,5 a 3 metros (Von Sperling, 1996).


## 9.2 Régimen hidráulico


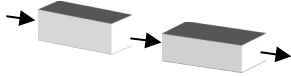
Un factor importante a tener en cuenta es el régimen hidráulico, dado que tiene gran influencia en la remoción de DBO y en el sistema en general.

A pesar que la cinética de remoción de DBO sea la misma en los distintos regímenes hidráulicos, la concentración efluente de DBO varía. Según la cinética de primer orden, la tasa de remoción de DBO es tanto más elevada cuanto mayor es la concentración de DBO en el medio (Von Sperling, 1996).

Teniendo en cuenta el régimen hidráulico (Cuadro 1), la mayor eficiencia en remoción de contaminantes es el flujo en pista, le siguen los reactores de mezcla completa en serie, los de flujo disperso y por último el de mezcla completa.

**Cuadro 1:** Distintos modelos hidráulicos para tratamiento de líquidos cloacales mediante lagunas facultativas

Modelo hidráulico	Esquema	Características
Flujo en pista		Las partículas de fluido ingresan continuamente en una extremidad del tanque, pasan a través del mismo y son descargadas por la extremidad opuesta. El flujo sufre mezclas longitudinales. Las partículas permanecen en el tanque por un tiempo igual al tiempo de retención hidráulico. Este tipo de flujo es producido en tanques largos con una elevada relación ancho /largo, en la cual la dispersión longitudinal es mínima.

Mezcla completa		Las partículas que ingresan al tanque son inmediatamente dispersadas en todo el reactor. El flujo de entrada y salida es continuo. La mezcla completa puede ser obtenida en tanques circulares o cuadrados donde el contenido se encuentra uniformemente distribuido.
Reactores de m. completa en series		Son utilizados para modelar un régimen hidráulico entre el flujo en pista y el de mezcla completa. Son unidades de reactores de mezcla completa colocados en serie, donde el flujo de entrada y salida es continuo.
Flujo disperso		El flujo disperso es obtenido en un sistema con un grado de mezcla intermedia entre dos extremos de flujo en pista y mezcla completa. La mayor parte de los reactores presenta flujo disperso. El flujo de entrada y salida es continuo.

### 9.3 Remoción de DBO y número de dispersión

Teniendo en cuenta que la DBO afluente es admitida como DBO total (soluble mas particulada), serán convertidos en sólidos disueltos por medio de enzimas creadas por las propias bacterias. Así, en principio, toda la DBO estaría disponible para las bacterias. La DBO total o efluente estaría formada por dos fuentes: a) la DBO remanente del tratamiento (DBO soluble) y b) DBO causada por los sólidos en suspensión del efluente (DBO particulada).

Los sólidos en suspensión del efluente son predominantemente algas, que podrán ejercer o no alguna demanda de oxígeno del cuerpo receptor, dependiendo de las condiciones de sobrevivencia del mismo

Von Sperling (1996) afirma que según Mara (1995), los sólidos en suspensión de algunas lagunas están conformados por el 60 o 90 % de algas y que 1 mg de algas genera una DBO<sub>5</sub> alrededor de 0.45 mg/L.

La remoción de DBO está ligada al régimen hidráulico adoptado.

Los modelos de mezcla completa y flujo en pista constituyen un modelo teórico ideal, dentro de lo cual se sitúan todos los reactores en la realidad. El reactor de mezcla completa representa un extremo (dispersión longitudinal infinita), mientras que el reactor de flujo en pista representa el otro extremo (dispersión longitudinal nula). Dentro de estos extremos se encuentran los reactores de flujo disperso, que comprenden todas las lagunas de tratamiento encontradas en la práctica (Von Sperling, 1996).

Este modelo, necesita del cálculo de dos parámetros, coeficiente de remoción de DBO (K) y el número de dispersión (d).

#### 9.3.1 Coeficiente de remoción de DBO<sub>5</sub>:

El coeficiente de remoción de DBO (K) determina la velocidad de descomposición de la materia orgánica independientemente del reactor.

Von Sperling (1996) propone el cálculo de K teniendo en cuenta las fórmulas de Arceivala y Vidal:

Según Arceivala (1981)  $K=0.132*\log L_s-0.146$

Donde  $L_s$  es la tasa de aplicación superficial

Según Vidal (1983)  $K= 0.091+2.05*10^{-4}*L_s$

Este último, no considera el efecto de la temperatura y el tiempo de retención.

### 9.3.2 Coeficiente de dispersión:

Se puede calcular el coeficiente de dispersión, **d**, a partir del siguiente cálculo propuesto por Von Sperling (1996) donde cita la fórmula de Yanez :

$$d = \frac{(L/B)}{-0.261+0.254*(L/B)+1.014*(L/B)^2}$$

Donde:

**L**: Largo de la pileta (m)

**B**: Ancho de la pileta (m)

Un coeficiente **d** que tienda a infinito determina un régimen de mezcla completa, en cambio, cuando tiende a cero, el régimen característico es de flujo en pista.

### 9.4 Tasa de acumulación de lodo

La acumulación de lodo en lagunas facultativas se da como resultado de los sólidos en suspensión sumado a microorganismos del fondo. La fracción orgánica del lodo es estabilizada anaeróbicamente, dando como resultado agua y gases, por lo que el volumen acumulado es menor que el sedimentado.

Según Von Sperling (1996) donde cita a Arceivala 1981 la tasa de acumulación de lodo en lagunas facultativas es teóricamente de entre apenas 0,03 a 0,08 m<sup>3</sup>/hab.\*año. El mismo autor afirma que Silva (1993) observó a través de mediciones una la acumulación normal de lodo de entre 1,5 a 2,3 cm/año y como consecuencia de esta baja acumulación, la ocupación del volumen del reactor será también bajo, concluyendo que a menos que el lago

tenga una elevada carga, el lodo podrá acumularse por varios años, sin necesidad de su remoción.

Del lodo acumulado, apenas un 5% es representado por arena, que tiende a depositarse próximo a las entradas de líquido, por lo que puede necesitar remoción.

La estabilización anaeróbica del lodo del fondo, puede generar subproductos solubles no estabilizados, los cuales son reintroducidos a la masa líquida superior, produciendo una nueva carga de DBO. Esto ocurre en mayor medida en períodos de mayor temperatura, es así que, los meses de verano, no son los de mejor desempeño para lagunas facultativas. El impacto que esto genere dependerá de la magnitud de carga de DBO reintroducida, en comparación a la DBO afluente.

### **9.5 Interpretación visual de las condiciones del líquido**

Si se interpretan las condiciones del líquido, se puede tener una idea preliminar, del estado del mismo antes y después del tratamiento y la necesidad o no de la implementación de un complemento a fin de que el líquido tratado no genere problemas ambientales (Von Sperling, 1996):

Es así que un líquido de aspecto verde oscuro parcialmente transparente, indica una presencia importante de microorganismos en el efluente, así como también un alto pH y oxígeno disuelto, por lo tanto nos encontramos frente a un lago en buenas condiciones.

Un agua verde amarillento o excesivamente claro puede indicarnos la presencia de rotíferos, protozoos o crustáceos que se alimentan de algas, pudiendo causar su destrucción en pocos días. En caso que estas condiciones continúen, disminuirá el oxígeno disuelto y se generará un mal olor.

Un líquido gris nos alerta sobre una sobrecarga de materia orgánica y/o tiempo de retención escaso, fermentación incompleta de lodo y el lago debe ser puesto fuera de operación.

En caso de encontrarnos con un agua residual en reactor de color verde lechoso muestra un proceso de autofloculado debido a una elevación del pH y la temperatura, así como precipitación de hidróxido de magnesio y calcio, arrastrando consigo algas y otros microorganismos.

Un líquido azul-verdoso indica alta proliferación de algas azules, y floración de ciertas especies formando una crema que se descompone fácilmente, provocando malos

olores, disminuyendo la penetración de la luz, y en consecuencia, disminuyendo la producción de oxígeno.

## **10. BREVE DESCRIPCIÓN DE MEMORIA TÉCNICA DE OBRAS PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LÍQUIDOS CLOACALES DE INTENDENTE ALVEAR**

El tratamiento dado a los líquidos cloacales en la localidad se conoce como lagunas facultativas, proceso que consiste en el depósito del líquido en cuencos el tiempo suficiente como para que actúen procesos naturales de depuración.

El agua residual es transportada por cañerías e impulsadas por cinco estaciones de bombeo (para salvar las diferencias de altura existente entre la colectora y la planta de tratamiento) ubicadas en intersecciones de avenidas, 4 de ellas secundarias que bombean el efluente hasta una planta principal que envía mediante bombeo el total de líquidos cloacales hasta la Planta de Tratamiento.

La red de colectoras son cañerías con tubos de P.V.C. y unión elástica de diferentes diámetros (315, 250, 200 y 160 mm)

Las estaciones elevadoras constan de una estructura de hormigón armado compuesta por: un pozo de bombeo y una cámara de válvulas, ambas estructuras cerradas con una losa y tapas metálicas superiores. En el pozo de bombeo se alojan la reja canasto, que impide el ingreso de sólidos al interior del mismo, y las electrobombas sumergibles.

Para el izaje de la reja compuerta y la reja canasto, se proveyó un aparejo manual de 500 kg de capacidad, instalado en una ménsula montada sobre una columna conformando un pórtico.

El equipamiento electromecánico comprende:

Tres estaciones con dos electrobombas cada una para un caudal de 36 m<sup>3</sup>/h y una altura de 10.7m.c.a., y 2.7 KW de potencia.

Una estación con tres electrobombas para un caudal de 93.6 m<sup>3</sup>/h, 21 m.c.a. de altura y una potencia de 10 KW

La última estación de bombeo contiene dos electrobombas para un caudal de 72 m<sup>3</sup>/h, 11.3 m.c.a. de altura y una potencia de 4.85 KW

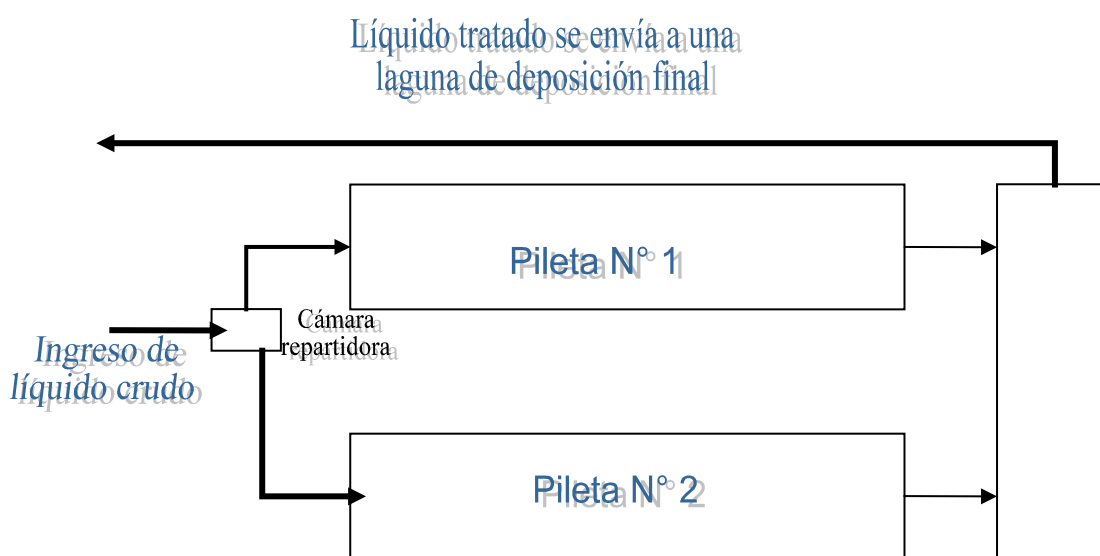
El líquido cloacal proveniente de la estación de bombeo llega a la cámara partidora ubicada en la planta que se encuentra dimensionada para distribuir en partes iguales el líquido hacia las lagunas primarias (Figura 7).

La planta consiste en dos lagunas de decantación de 220 m por 28 m de superficie y 1.8 m de profundidad, que pueden trabajar de forma conjunta o alternada.

El efluente que ha sido tratado, se conduce a una laguna emplazada al sur de la Planta para su deposición final.

La conducción de los líquidos ya tratados, se efectúa mediante un canal a cielo abierto de sección trapezoidal, que descarga al Canal de Desagüe Sur del Sistema de Evacuación de Excedentes Hídricos de la localidad.

Las lagunas de tratamiento del líquido cloacal han sido ejecutadas con la excavación y terraplenado del suelo del predio y, posteriormente impermeabilizadas con una membrana de polietileno que impide que el afluente a tratar infiltre por el fondo y los taludes de las lagunas.



**Figura 7:** Esquema de la Planta de Tratamiento para líquidos cloacales de la localidad de Intendente Alvear (La Pampa)

## 11. LEGISLACIÓN PROVINCIAL Y NACIONAL

En el año 2001 se legisló la Ley Ambiental Provincial N° 1914 en el marco del artículo 18° de la Constitución de la Provincia de La Pampa, que tiene como objeto la protección, conservación, defensa y mejoramiento de los recursos naturales y del ambiente en el ámbito provincial, a través de la definición de políticas y acciones, la compatibilización de la aplicación de las normas sectoriales de naturaleza ambiental y la coordinación de las áreas de gobierno intervinientes en la gestión ambiental.

En ella se destacan tres artículos que dan marco a la regulación de la descarga de efluentes contaminantes.

En el artículo 27, se prohíbe el vuelco, descarga o inyección de efluentes contaminantes a las masas superficiales y subterráneas de agua, atmósfera y suelo cuando

superen los valores máximos de emisión establecidos. El artículo 28, establece que las normas técnicas ambientales determinarán los parámetros y niveles guías de calidad ambiental de los cuerpos receptores que permitan garantizar la calidad de vida de la población, la perdurabilidad de los recursos naturales y la protección de todas las manifestaciones de vida.

El artículo 29, manifiesta que es la Subsecretaría de Ecología quien determinará los valores máximos de emisión, conforme el efluente y el cuerpo receptor, los que previamente deberán ser consensuados por el Ente de Políticas Ecológicas.

En el año 2006, por medio del Decreto Provincial N° 2793, la Subsecretaría de Ecología establece los límites máximos permisibles de parámetros físicos y químicos para la descarga al ambiente de efluentes líquidos y afirma que en desagües a conducto pluvial abierto, curso de agua superficial elemental cerrada y cursos de agua no permanente, no se deberán superar los niveles siguientes:

- Coliformes Totales/100 mL  $2.0 \times 10^4$  N.M.P.
- Coliformes Fecales/100mL  $5 \times 10^3$  N.M.P
- D.B.O.<sub>5</sub> 50 mg/L
- D.Q.O. 250 mg/L
- Sólidos sedimentables en 10 min. ausente ml/L
- Sólidos sedimentables en 2 hs. 1.0 ml/L
- Temperatura 45 °C
- S.S.E.E. 50 mg/L Solidos solubles en eter etilico (GRASAS)
- Sulfuros 1.0 mg/L
- Nitrógeno Total 15 mg/L
- Hidrocarburos Totales 50 mg/L
- Cloro residual 0.5 mg/L
- pH 6.5-10.0
- Detergentes (SAAM) 2.0 mg/L
- Cianuros 0.1 mg/L
- Sustancias Fenólicas 0.5 mg/L
- Fosfatos 10 mg/L
- Arsénico 0.5 mg/L
- Cromo Total 0.5 mg/L

- Plomo 0.5 mg/L
- Mercurio 5.0 Ug/L

## **12. MATERIALES Y MÉTODOS**

A fin de determinar las eficiencias estructurales y funcionales de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de Intendente Alvear, se realizaron una serie de mediciones y análisis:

Como primera medida, se realizó una descripción organoléptica del líquido de los reactores a fin de tener una primera impresión del funcionamiento de la planta. También se midió caudal y volumen de líquido en cada reactor.

Posteriormente, en gabinete, se analizaron variables físicas, químicas y bacteriológicas (análisis cedidos por la Municipalidad de Intendente Alvear , y realizados por la entidad APA), y se realizaron cálculos de eficiencia para cada parámetro seleccionado.

### **12.1 Determinación de régimen hidráulico**

Teniendo en cuenta la morfología de las piletas, se puede determinar el régimen hidráulico de las mismas; que deberá ser comprobado mediante relaciones entre sus dimensiones por medio de la fórmula del coeficiente de dispersión.

### **12.2 Determinación visual del estado del líquido dentro del reactor**

Observaciones del líquido permiten tener una idea preliminar de sus condiciones y del estado de depuración en que se encuentra.

### **12.3 Medición de caudal**

Para medir el caudal afluente a las piletas se determinó el tiempo de llenado de un recipiente con una capacidad de 20 litros en distintos horarios del día a fin de determinar el caudal medio diario.

### **12.4 Medición de volumen de líquido**

Seguidamente se procedió a medir altura de agua en cada reactor, tomando como base la altura original de 1,8 metros, el cual disminuye a medida que el líquido ingresa a la planta por la sedimentación de las partículas sólidas de mayor peso. Para ello se realizaron



ocho mediciones por reactor (cuatro de cada lado) a 7 metros de la orilla con un varilla metrada.

Se observó la membrana impermeabilizante por encima del pelo de agua en la pileta facultativa n° 1 conformando un globo o “lomo de ballena”; y a fin de determinar su volumen aproximado (dado que le quita volumen a la pileta, y por ende, disminuye el tiempo de residencia), se midió su perímetro en sentido norte-sur y este-oeste (encontrándose alguna diferencia entre ambos), y se igualaron las medidas a una semiesfera sobre un cubo cuyos lados son los respectivos radios de los círculos; dado que la escasa transparencia del líquido dificulta su determinación exacta.

### **12.5 Cálculo de eficiencia por medio de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos**

En gabinete, se recopilaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de líquido antes y después del tratamiento; se procedió a su graficado y comparación a fin de determinar la evolución del líquido en las piletas facultativas. Para ello se analizaron los parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, SS en 2 hs, SS en 10', coliformes totales y fecales.

Con los datos obtenidos en campo, se determinó volumen de líquido, caudales, volumen de lodo, tiempo de residencia, remoción de DBO según el régimen hidráulico y tasa de aplicación superficial.

## **13. RESULTADOS**

### **13.1 Determinación de eficiencia estructural**

Con los caudales obtenidos, se comienza por calcular el tiempo de residencia, es decir, el tiempo que pasa el líquido en la planta de tratamiento para su purificación, este cálculo se obtiene de la relación existente entre el volumen del líquido contenido en el reactor y el caudal efluente. En el caso de la pileta N° 1, este volumen se ve reducido por la elevación de la membrana impermeabilizante (fotografía 1 y 8) producida por una filtración en la misma permitiendo el deslizamiento de líquido y la posterior acción de bacterias metanógenas que cargaron de gas el fondo elevando la membrana aún por encima del pelo de agua. Por tanto, al volumen de la pileta, se debió restar el volumen aproximado de la burbuja de gas (53 m<sup>3</sup>).

#### **13.1.1 Estado del líquido utilizando la percepción visual**

Como primera impresión del estado del líquido y del funcionamiento de la planta se tuvo en cuenta la percepción visual del agua residual contenida en ambas piletas donde se denota un color marrón grisáceo (fotografía 10), denso, donde prácticamente no penetra la luz. Esto indicaría una sobrecarga de materia orgánica (el tiempo de retención se estima correcto) y la fermentación incompleta de lodo.

Una observación importante es la presencia de flóculos (fotografía 12 y 13), aparentemente de grasas, en la superficie del líquido ubicadas en las esquinas de cada piletta (sobre todo la N° 1), probablemente a causa de cortocircuitos hidráulicos. Esto genera una disminución de la tasa de aplicación superficial y, consecuentemente, en la remoción de DBO y DQO.

### **13.1.2 Cálculo del caudal medio diario**

Se calculó el caudal medio diario obteniendo valores de 340.63 m<sup>3</sup>/día para la piletta N° 1 y de 320,16 m<sup>3</sup>/día para la N° 2.

### **13.1.3 Volumen de líquido**

El volumen de líquido final para la piletta 1 fue de 12.584,76 m<sup>3</sup>, generando un tiempo de residencia de 37 días.

En el caso de la piletta N° 2, se obtuvo un volumen de 12.107,958 m<sup>3</sup>, con un tiempo de residencia de 38 días.

### **13.1.4 Tasa de aplicación Superficial**

El cálculo de la tasa de aplicación superficial expresa la carga de DBO<sub>5</sub> que puede ser tratada por unidad de área.

$$A=L/Ls$$

Para su cálculo, se necesita determinar los parámetros, Ls y L:

Ls es la cantidad de materia orgánica degradada durante el tratamiento por hectárea y día (kg DBO<sub>5</sub>/ha.d), mientras que L es la DBO<sub>5</sub> afluente del sistema, calculada como la media de las DBO<sub>5</sub> registradas en análisis de líquido crudo realizados durante tres años de funcionamiento de la planta (desde 2006 a 2008).

Von Sperling (1996) propone la fórmula creada por Mara (1996) para el cálculo de Ls:

$$Ls= 350 \times (1,107-0,002 \times T)^{(T-25)}$$

Donde  $t$  es la temperatura media del líquido en el mes más frío ( $^{\circ}\text{C}$ ), registrándose en este caso una temperatura media de líquido crudo en  $12,3^{\circ}\text{C}$  para ambas piletas.

Se calcula que en regiones con un invierno e insolación moderada,  $L_s$  toma valores entre 120 y 240  $\text{Kg DBO}_5/\text{ha.d}$

Este parámetro muestra un valor calculado de 128,94  $\text{Kg DBO}_5/\text{ha.d}$  para ambas piletas (ya que la variable temperatura permanece constante), lo que se encontraría dentro de valores normales.

El parámetro  $L$  es la media de la  $\text{DBO}_5$  afluente que toma valores de 89,7  $\text{kg DBO}_5/\text{d}$  para la pileta  $\text{N}^{\circ} 1$  y de 85,6  $\text{kg DBO}_5/\text{d}$  para la  $\text{N}^{\circ} 2$ .

Teniendo ambos parámetros se puede calcular el área de exposición solar ( $A$ ) que genera un valor de 0,6957 y 0,653 hectáreas para la pileta  $\text{N}^{\circ} 1$  y 2 respectivamente, siendo sus dimensiones reales de 0,637 has.

En base a la tasa de aplicación superficial, se puede calcular la  $L_s$  para cada pileta ( $L_s = L/A$ ), siendo de 140.81  $\text{kg DBO}_5/\text{ha}^*\text{día}$  para la pileta  $\text{N}^{\circ} 1$  y de 134.37  $\text{DBO}_5/\text{ha}^*\text{día}$  para la pileta  $\text{N}^{\circ} 2$ .

### 13.1.5 Cálculo de Coeficiente de remoción de $\text{DBO}_5$

El siguiente paso es calcular por medio de las fórmulas propuestas por Von Sperling (1996), y creadas por Arceivala y Vidal, el valor de  $k$  (coeficiente de remoción de  $\text{DBO}_5$  modeladas para el régimen de flujo disperso en función de la tasa de aplicación superficial).

#### Arceivala

$$K = 0.132 * \log L_s - 0.146 \quad \text{valores teóricos } 0,137 - 0,145 \text{ d}^{-1}$$

#### Vidal

$$K = 0,091 + 2,05 \times 10^{-4} L_s \quad \text{valores teóricos } 0,120 - 0,124 \text{ d}^{-1}$$

En la pileta  $\text{N}^{\circ} 1$  la fórmula de Arceivala proporciona un valor de  $0.1376 \text{ d}^{-1}$  y Vidal de  $0.1198 \text{ d}^{-1}$ ; mientras que en la pileta  $\text{N}^{\circ} 2$  se obtienen valores de  $0.134 \text{ d}^{-1}$  para el primero y  $0.1181 \text{ d}^{-1}$  para el segundo ( $L_s = L/A$ ).

Para  $L_s$  calculado mediante la fórmula de Mara los valores de  $k$  son inferiores, dando  $0,1181$  y  $0,1174 \text{ d}^{-1}$  para las fórmulas de Arceivala y Vidal respectivamente.

Por último, se determina el número de dispersión donde Von Sperling 1996 cita a Yanez 1993, el cual no varía entre las piletas, dado que sus dimensiones se mantienen iguales en ambas, generando un valor de 0.1233, lo que indicaría alta tendencia al flujo en pista.

### **1.3.6 Régimen hidráulico**

Morfológicamente, las piletas son de tipo régimen de flujo disperso, aunque teniendo en cuenta la relación entre sus dimensiones, se trataría de un sistema de flujo en pista.

## **13.2 Determinación de eficiencia funcional**

### **13.2.1 Batimetría de piletas y porcentaje de lodo acumulado.**

Las mediciones batimétricas realizadas en la laguna 1 arrojan un promedio de 11.86 centímetros de espesor de lodos depositados por sedimentación, lo que representaría una media de 6,6 % de la profundidad de diseño (180 centímetros). Se observa un mayor volumen de sólidos sedimentados en la primer porción del reactor cuando el líquido ingresa al mismo (llegando a registrarse un máximo de 23,5 centímetros), disminuyendo conforme nos alejamos de la boca de ingreso (registrándose un valor de 7.5 centímetros de espesor).

La batimetría de la segunda pileta arroja un espesor promedio de lodos de 19.26 centímetros que representan el 10.7 % de la profundidad de diseño de la pileta, asimismo se repite el patrón de depósito que en la primer pileta, se registra un mayor espesor de lodos depositados al ingreso del líquido (máximo 24.4 centímetros) para disminuir paulatinamente conforme se aleja de la boca de ingreso del mismo (con un mínimo de 8.85 centímetros de espesor).

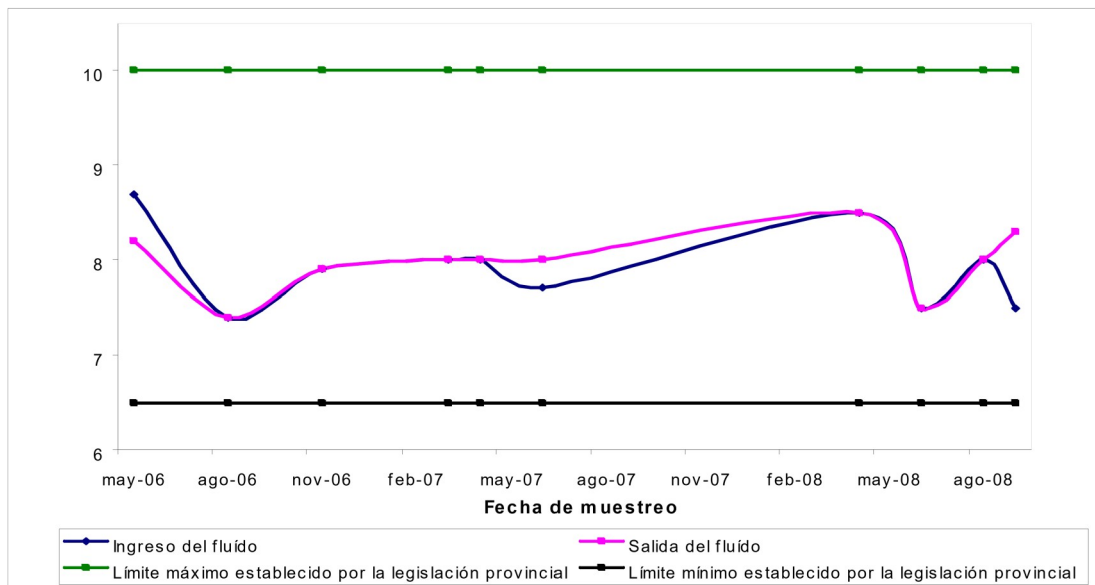
### **13.2.2 Variación de parámetros en el tiempo**

Se recopilaron en total doce análisis de líquido de la primer pileta y once de la segunda, esta diferencia se debe a que en algunas ocasiones, sólo una de ellas se mantenía en funcionamiento obstruyendo el ingreso de líquido a la otra que no era analizada. Dichos análisis se realizaron conforme a las técnicas analíticas especificadas en el Standard Methods of the examination of water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF 1998).

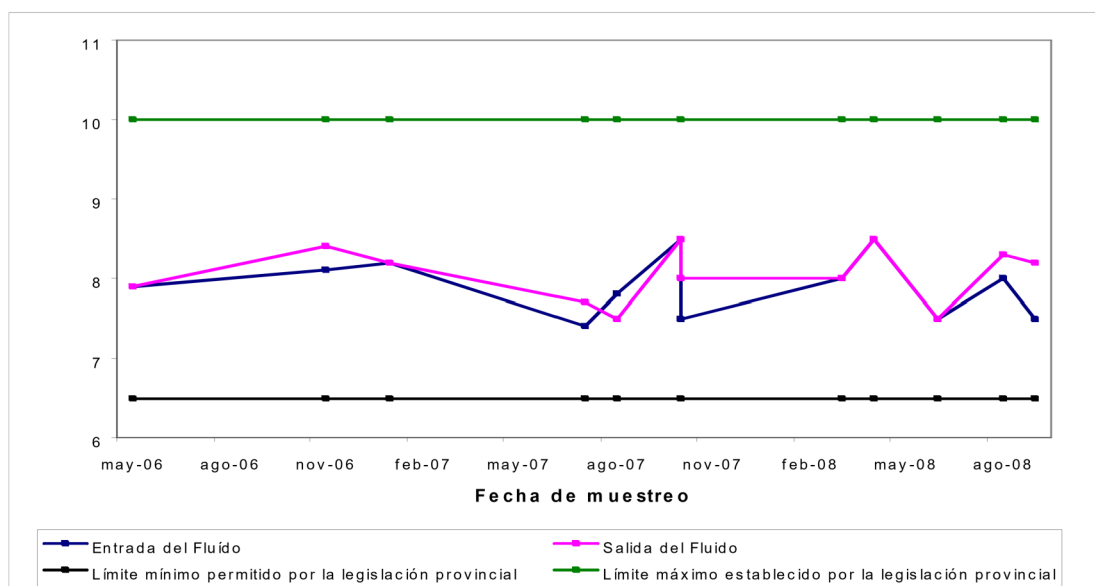
#### **13.2.2.1 pH**

En primer lugar se tuvo en cuenta la variación en **pH** para líquido efluente, el mismo presentaba una media de 7.98 para la primera pileta (Figura 8), con un desvío de 0.33, un máximo de 8.5 y un mínimo de 7.4 (agosto 2006) encontrándose todos estos rangos dentro de los parámetros legales (de 6,5 a 10).

Para la segunda pileta (Figura 9), se obtuvieron valores medios de 8.05 con un desvío de 0.355 un máximo de 8.5 en (agosto de 2007 y abril de 2008), registra un mínimo de 7.5 en agosto de 2007 y junio de 2008, cumpliendo en todo momento con el rango establecido por la ley.



**Figura 8:** Variación y límites legales establecidos para valores de pH efluente pileta facultativa n° 1

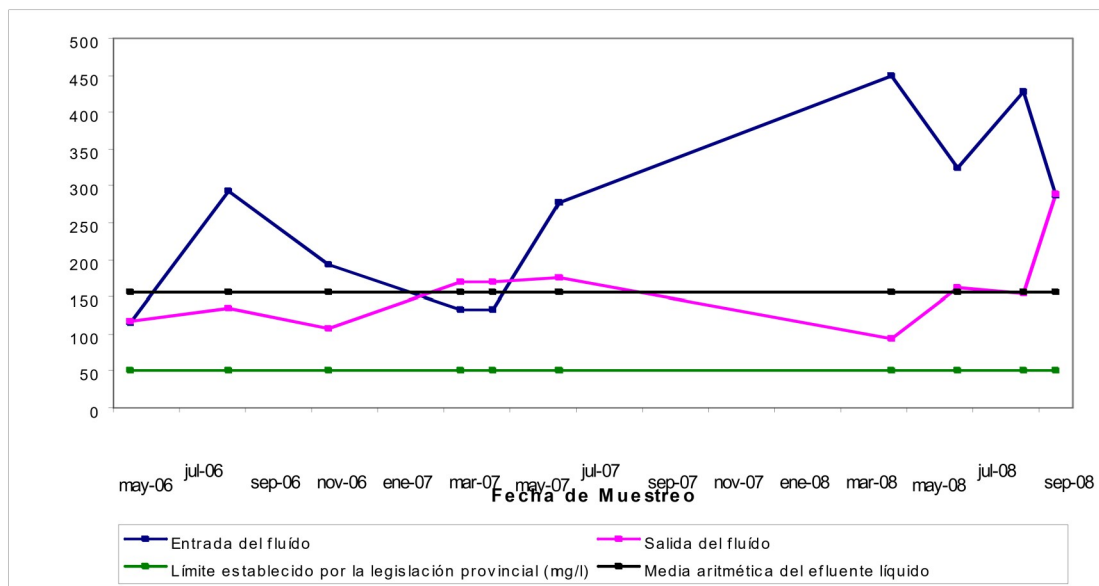


**Figura 9:** Variación y límites legales establecidos para valores de pH efluente pileta facultativa N° 2

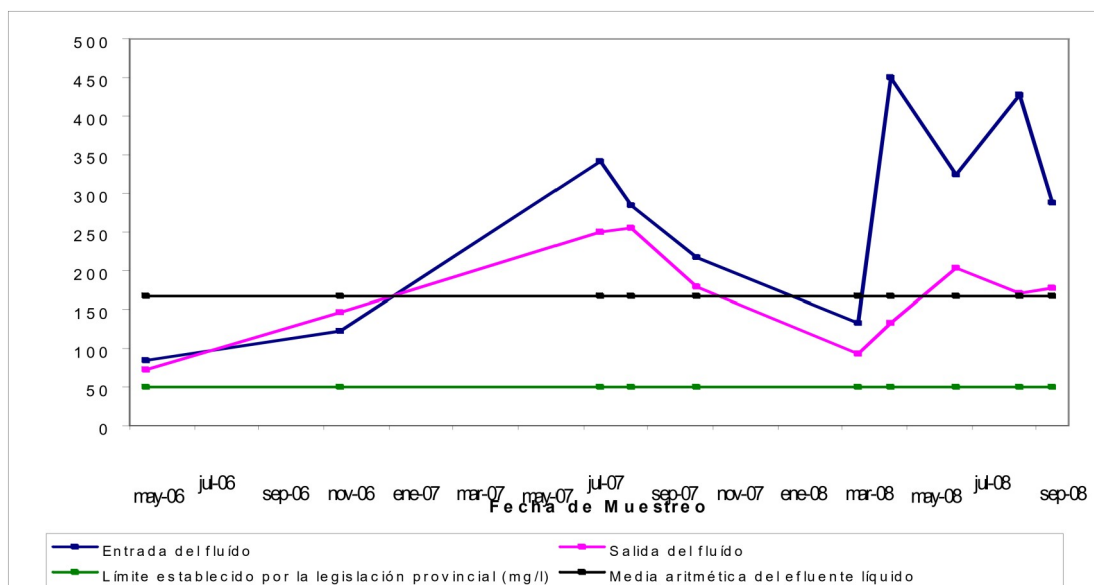
### 13.2.2.2 DBO<sub>5</sub>

El siguiente parámetro fue **DBO<sub>5</sub> (mg/L)**, del mismo se obtienen datos de líquido afluente (crudo) y efluente (tratado). Para líquido crudo en la primera pileta se obtuvieron una media de 270 mg/L, con un desvío estándar de 115,79 mg/L, un máximo de 450 mg/L (Abril de 2008) y un mínimo de 115 (mayo 2006). Para líquido tratado, la media fue de 165,63 mg/L, el desvío estándar de 58,98 mg/L, el máximo valor fue registrado en Septiembre de 2008 (290 mg/L) y el mínimo de 94 mg/L en abril del mismo año (Figura 10).

Para la segunda pileta (Figura 11), el líquido ingresó con una media de 259.11 mg/L, un desvío de 130.99 mg/L, el valor máximo fue registrado en abril de 2008 (450 mg/L) y el mínimo en mayo de 2006 (85 mg/L). La media de salida del líquido fue de 158.78 mg/L con un desvío de 55.45 mg/L, el máximo valor se obtuvo en agosto de 2007 (255 mg/L) y el mínimo en mayo de 2006 (73 mg/L).



**Figura 10:** Variaciones DBO<sub>5</sub> efluente y afluente, media aritmética de valores efluentes y límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N° 1).



**Figura 11:** Variaciones DBO<sub>5</sub> efluente y afluente, media aritmética de valores efluentes y límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N° 2).

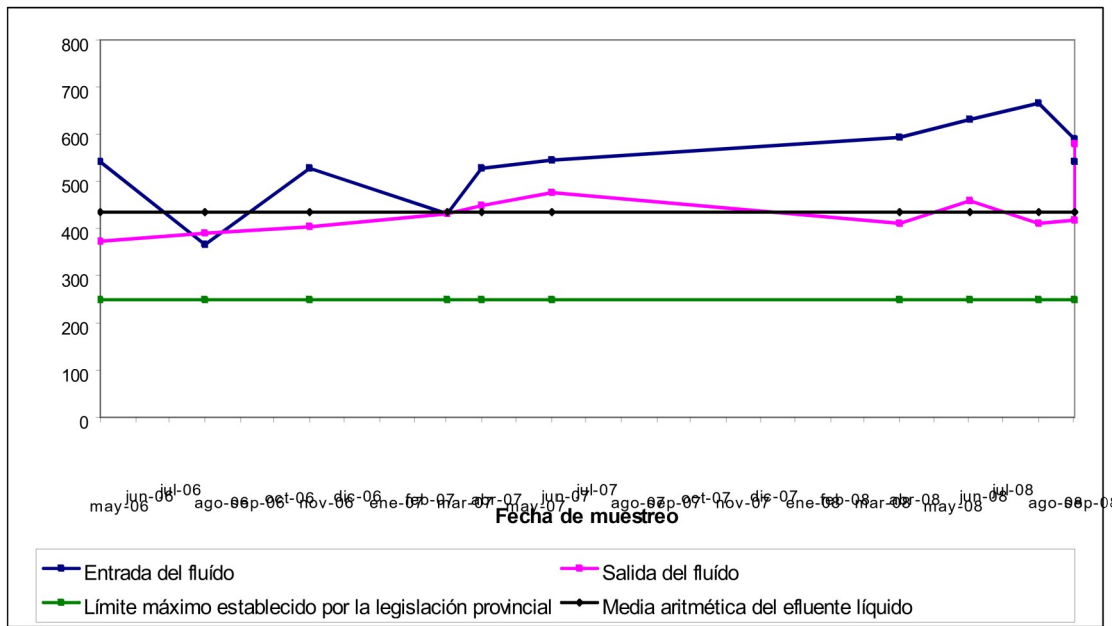
El líquido efluente, en ambas piletas, se encuentra muy por encima del contenido máximo de materia orgánica admitido por ley (50 mg/L).

### 13.2.2.3 DQO

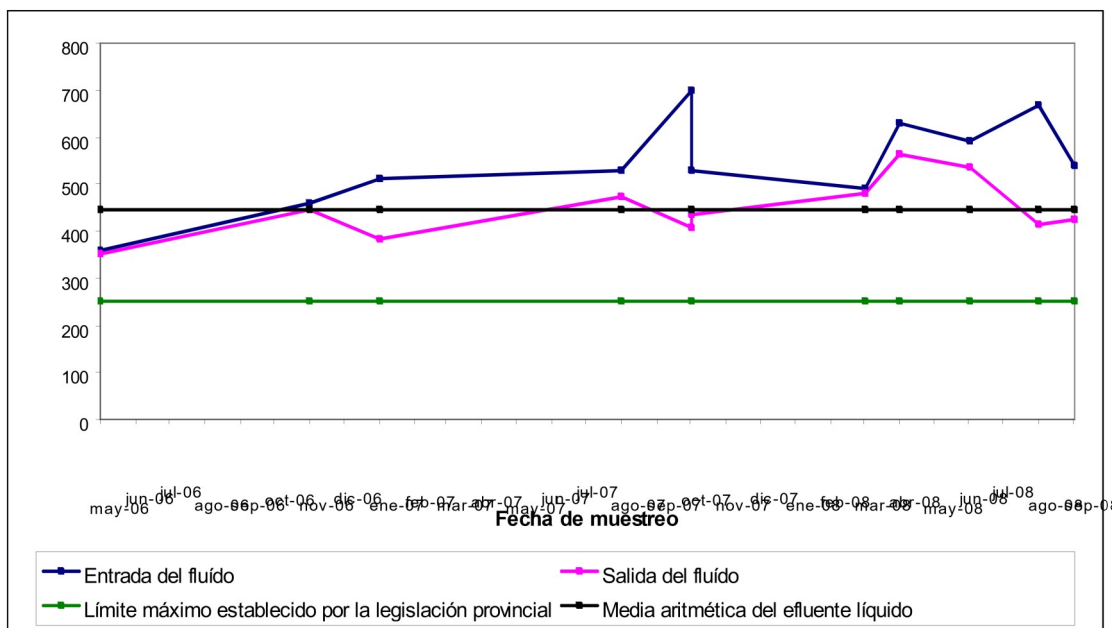
Las variaciones de **DQO** tienen una media de 541.7 mg/L y 436 mg/L para ingreso y egreso de líquido cloacal de la pileta N° 1 (Figura 12), con un desvío estándar para el primero de 84.3 mg/L y el segundo de 56.55 mg/L. El máximo valor de líquido efluente se registró en septiembre de 2008 para la salida de líquidos ya tratados (580 mg/L) y el mínimo de 372 mg/L en Agosto de 2006, mientras que para líquido crudo el máximo se dio en agosto de 2008 (667 mg/L), mientras que el mínimo fue en marzo de 2007 (366 mg/L).

La DQO de la pileta N° 2 (Figura 13), tiene una media aritmética de 545.72 mg/L para el ingreso y de 446.8 mg/L para el egreso de líquido ya tratado, mientras que el desvío mostraba valores de 97.5 para el primero y 63.77 para el segundo. El máximo registrado para líquido afluente se registró en octubre de 2007 (698 mg/L) y el mínimo de 357 mg/L en mayo de 2006. Para líquido efluente, se mostraron valores máximos en abril de 2008 (564 mg/L) y el mínimo en mayo de 2006 (350 mg/L).

En todos los análisis realizados a ambas piletas, se registraron valores para líquido efluente que superaron ampliamente el máximo establecido por ley para el parámetro DQO (250 mg/L).



**Figura 12:** Variaciones DQO efluente y afluente, media aritmética de valores efluentes y límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N°1).



**Figura 13:** Variaciones DQO efluente y afluente, media aritmética de valores efluentes y límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N° 2).

#### 13.2.2.4 Sólidos sedimentables

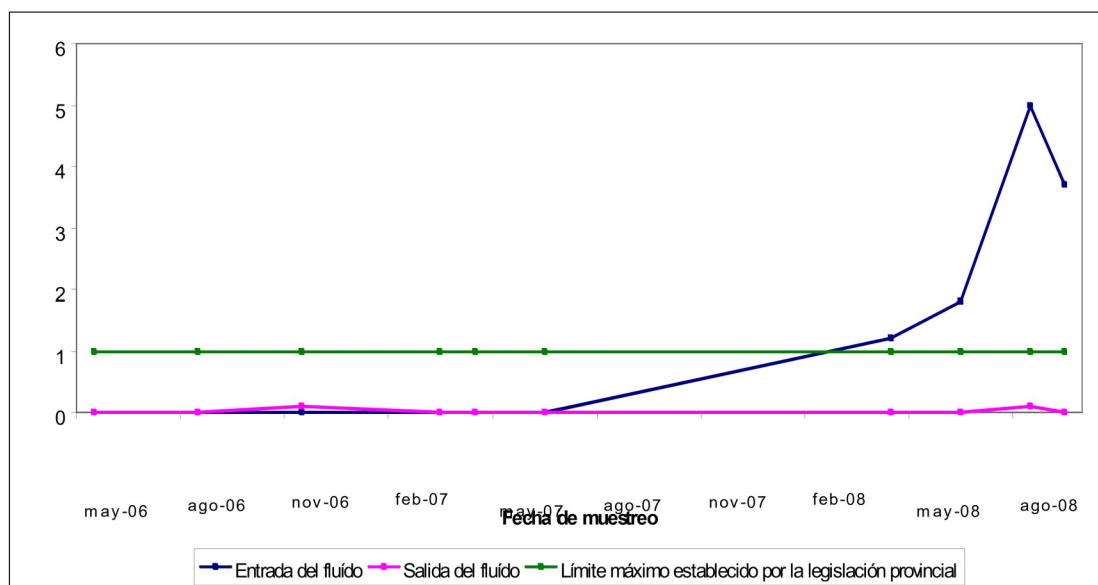
Los sólidos sedimentables en 2 hs para la primer pileta (Figura 14) registraron una media aritmética de 1,17 ml/L y un desvío de 1,8 ml/L, siendo visible un incremento casi constante de sólidos en los últimos meses del 2008, siendo el mayor valor el obtenido en agosto de dicho año con 5 ml/L para líquido afluente. El líquido tratado registra una media de 0,02 ml/L y un desvío de 0,0422, siendo de 0,1 el máximo valor registrado en agosto de 2008 y noviembre de 2006.



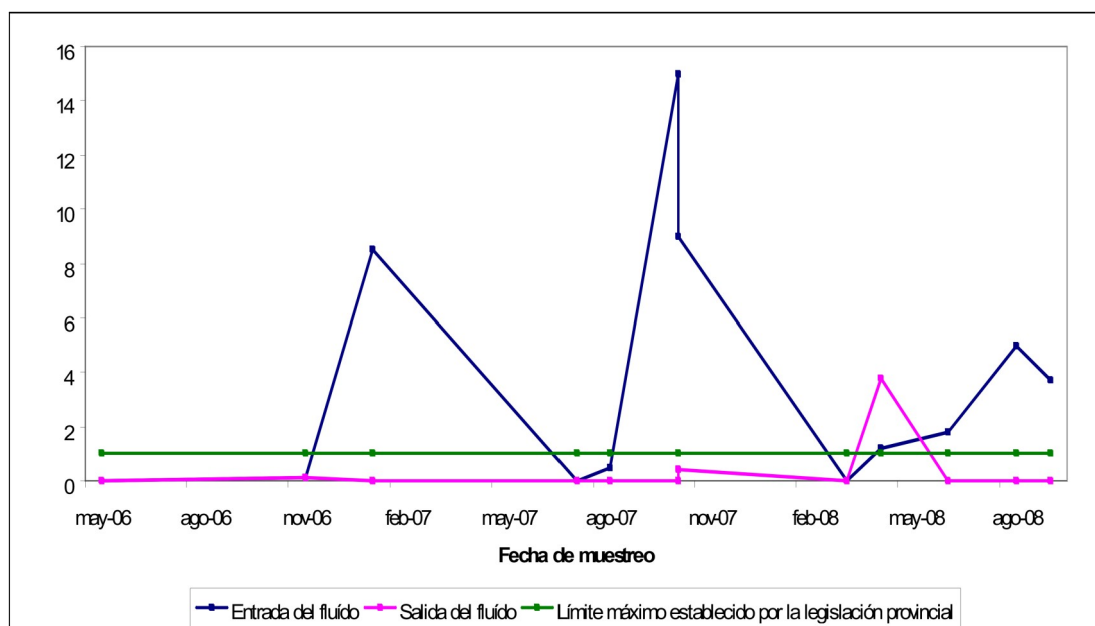
Para el mismo parámetro de la segunda pileta (Figura 15) la media es de 4,07 ml/L en su ingreso a la planta de tratamiento (desvío de 4,9), siendo de 15ml/L el máximo valor en octubre de 2007, y en marzo de 2008 la última vez que se detectó el mínimo valor de <0,1 en su análisis. En cuanto al líquido tratado, la media registrada es de 0,39 ml/L, un desvío estándar de 1,13 y máximo valor de 3,08 en abril de 2008.

Según el Decreto Provincial 2793, el máximo valor admisible para líquido efluente de aguas residuales en cuanto al parámetro sólidos sedimentables en 2 hs es de 1.0 ml/L, por lo que la mayoría de los análisis, mantuvieron valores por debajo de éste, pero en abril de 2008 (pileta N° 2), se observa un incremento de sólidos por encima de dicho máximo y superior en el líquido tratado que en el crudo, regresando en los meses subsiguientes a su valor mínimo. Se puede ver en el gráfico, que dicho pico no coincide con la tasa más alta de ingresos en líquido crudo para el parámetro (tampoco ocurre a los 38 días del máximo ingreso que sería el tiempo de residencia), con lo que podría concluirse que el incremento corresponde a muerte masiva de algas producidas en el interior del reactor.

En cuanto a la pileta N° 1, se mantuvo en todo momento por debajo del máximo admisible para el parámetro.



**Figura 14:** Variaciones de sólidos sedimentables en 2 hs para líquido efluente y afluente, representación de límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N° 1).

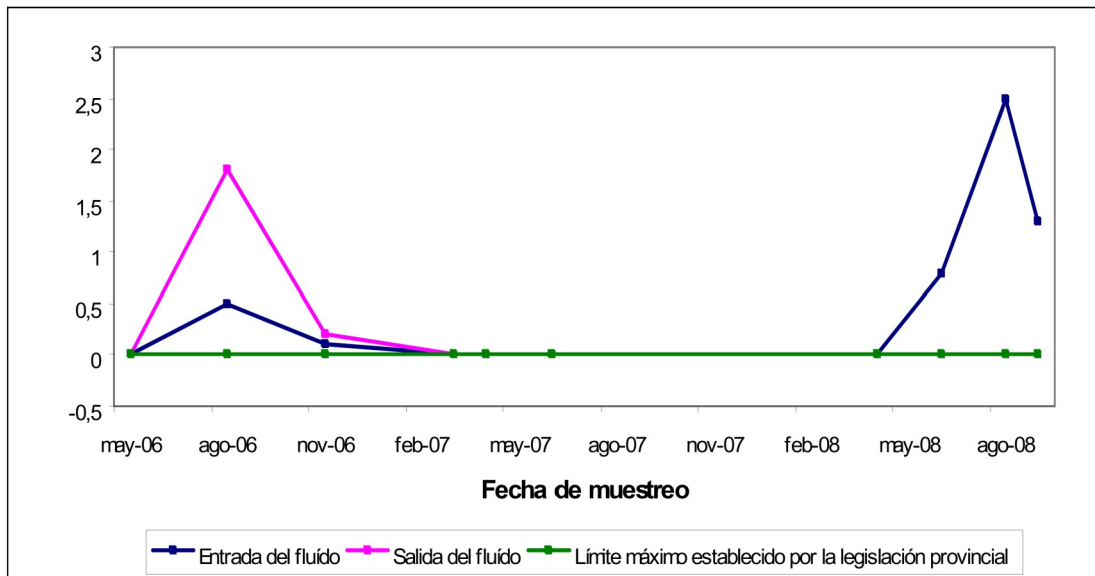


**Figura 15:** Variaciones de sólidos sedimentables en 2 hs para líquido efluente y afluente, representación de límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N° 2).

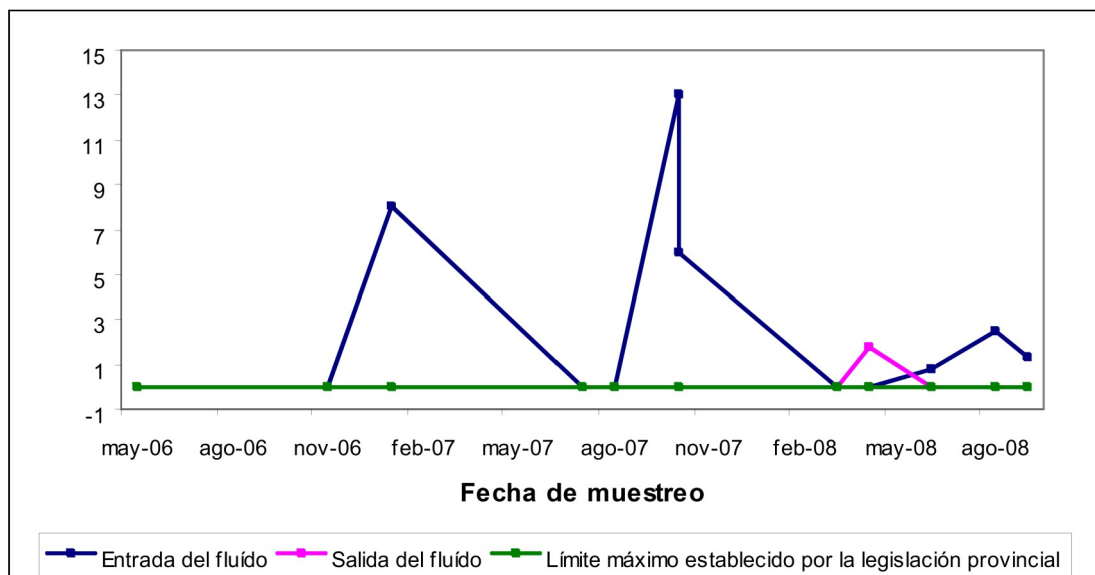
El siguiente parámetro a analizar son los sólidos sedimentables en 10 minutos. En la primera pileta se encontró una media aritmética de líquido afluente de 0,47 con un desvío estándar de 0,8, mientras que para efluente fue de 0,2 con un desvío de 0,54. El máximo valor fue registrado en agosto de 2008 para afluente (2,5 ml/L), el mínimo registrado para esta pileta y líquido ingresante de <0,1 ml/L en abril de 2008, mientras que para líquido tratado el máximo valor se obtuvo en agosto de 2006 (1,8 ml/L), el último registro de mínimo valor fue de <0,1 en septiembre de 2008 (Figura 16).

La segunda pileta facultativa (Figura 17), tuvo una media aritmética para líquido crudo de 2,87 ml/L con un desvío de 4,20 ml/L, el máximo valor se registró en octubre de 2007 (13 ml/L) y el mínimo en abril de 2008 (se obtuvo <0,1 por última vez). Para líquido tratado la media fue de 0,16 ml/L con un desvío 0,52 ml/L; el máximo valor efluente se registró en abril de 2008 y fue de 1,8 ml/L, la última vez que se obtuvo el mínimo valor fue en septiembre de 2008 (<0,1 ml/L).

La legislación provincial determina que el máximo valor de 0 para líquido efluente.



**Figura 16:** Variaciones de sólidos sedimentables en 10 minutos para líquido efluente y afluente, y representación de límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N° 1).



**Figura 17:** Variaciones de sólidos sedimentables en 10 minutos para líquido efluente y afluente, y representación de límites legales establecidos para líquido efluente (pileta N° 2).

### 13.2.2.5 Bacterias coliformes

Existen dos tipos de bacterias a tener en cuenta al momento de determinar la eficiencia de un tratamiento:

- Coliformes Totales
- Coliformes fecales

Las bacterias coliformes son un grupo de especies que tienen características en común y gran relevancia a la hora de determinar la contaminación del agua y alimentos.

El grupo coliforme es integrado por bacterias entéricas capaces de causar infecciones en el huésped (generalmente en el tracto urinario y respiratorio). Todas estas bacterias tienen características bioquímicas en común:

- Ser aerobias o anaerobias facultativas
- Ser bacilos gram negativos
- Ser oxidasa negativos
- No ser esporogéneas
- Fermentar la lactosa en 48 hs a 35 °C, produciendo ácido láctico y gas.

Existen coliformes tanto en forma libre en suelo, semillas y vegetales, como (y más comúnmente) en intestino de homeotermos.

El grupo de los coliformes está integrado por: *Escherichia*, *Klebsiella*, *enterobacter* y *citrobacter*.

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales (que comprende la totalidad del grupo) y los coliformes fecales (aquellos de origen intestinal)

Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

Las coliformes fecales en el suministro de agua son un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

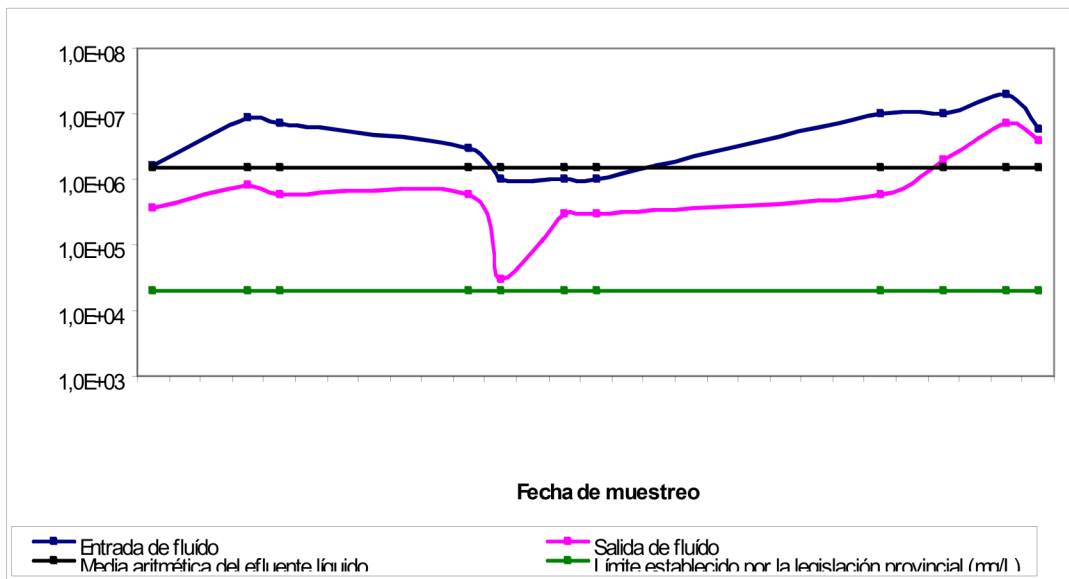
#### **13.2.2.5.1 *Bacteria coliformes totales***

Los análisis de Coliformes totales (N.M.P.) para la primer pileta (Figura 18) de líquido afluente se encontró, en promedio,  $6,33 \times 10^6$  NMP (con un desvío de  $5,83 \times 10^6$ ) el máximo valor fue registrado en agosto de 2008 ( $2 \times 10^7$  NMP) y el mínimo en junio y julio de 2007 ( $1 \times 10^6$  NMP), mientras que para líquido efluente se obtuvo una media aritmética de  $1,51 \times 10^6$  N.M.P (desvío estándar de  $2,14 \times 10^6$ ); el valor máximo se tuvo en agosto de 2008 ( $7 \times 10^6$ ) y el mínimo en abril de 2007 ( $3 \times 10^4$  NMP).

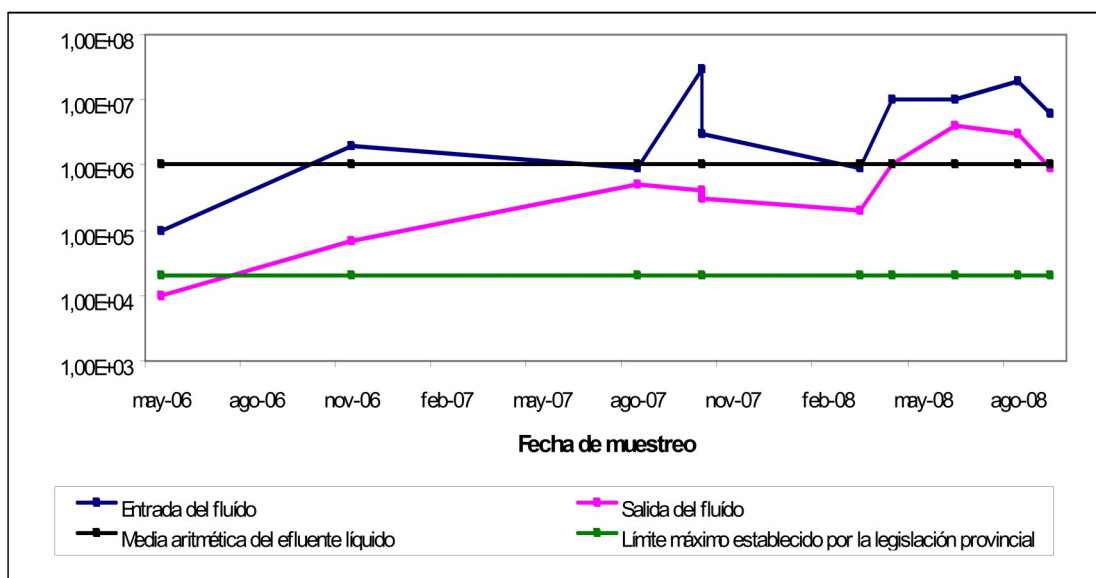
Para la segunda pileta, se obtuvieron valores medios de  $8,29 \times 10^6$  NMP en líquido afluente con un desvío de  $9,7 \times 10^6$  NMP, una cantidad máxima de individuos de  $3 \times 10^7$  NMP en octubre de 2007 y un mínimo de  $1 \times 10^5$  NMP obtenida en mayo de 2006. En

cambio, para líquido tratado, la media fue de  $1,04 \times 10^6$  NMP (desvío de  $1,3 \times 10^6$  NMP), el máximo valor de  $4 \times 10^6$  NMP se registró en junio de 2008 y el mínimo de  $1 \times 10^4$  NMP en mayo de 2006 (Figura 19).

La legislación provincial determina que el máximo valor tolerable para líquido efluente es de  $2 \times 10^4$  NMP de bacterias, la planta de tratamiento en casi la totalidad de los casos, arroja valores muy por encima del límite establecido generando un posible impacto en el medio ambiente, la biota y alertando ante un grave peligro de contaminación en acuíferos por posibles desbordes y la ruptura de la membrana impermeabilizante (tal como ocurre en la pileta N° 1).



**Figura 18:** Variaciones de Coliformes totales (NMP) para líquido afluente y efluente, y representación de límites legales máximos establecidos para líquido efluente (pileta N° 1).



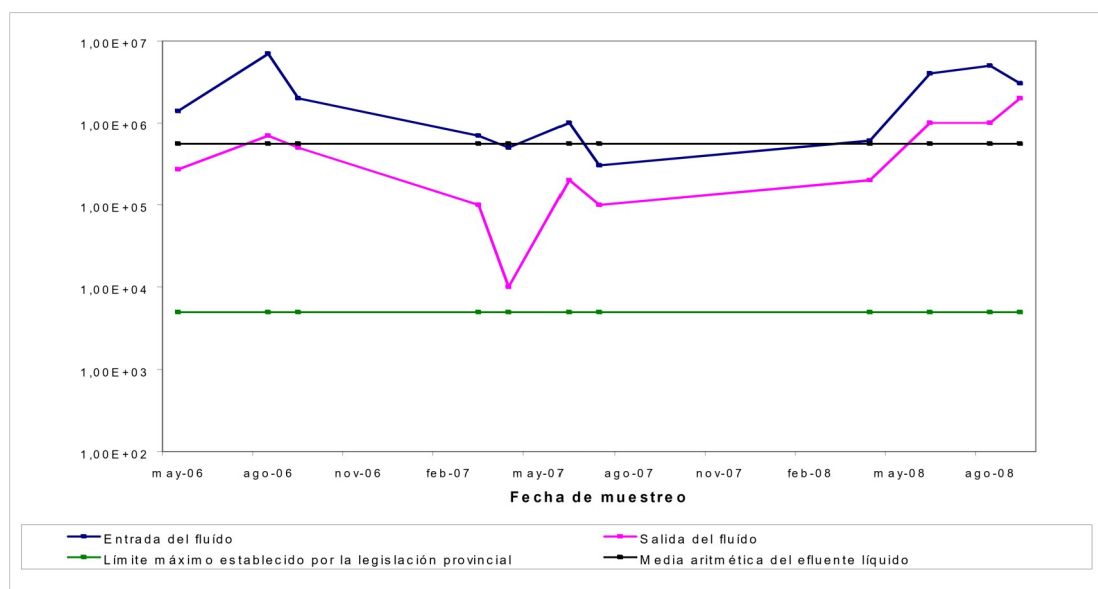
**Figura 19:** Variaciones de Coliformes totales (NMP) para líquido afluente y efluente, y representación de límites legales máximos establecidos para líquido efluente (pileta N° 2).

### 13.2.2.5.2 *Bacteria coliformes fecales*

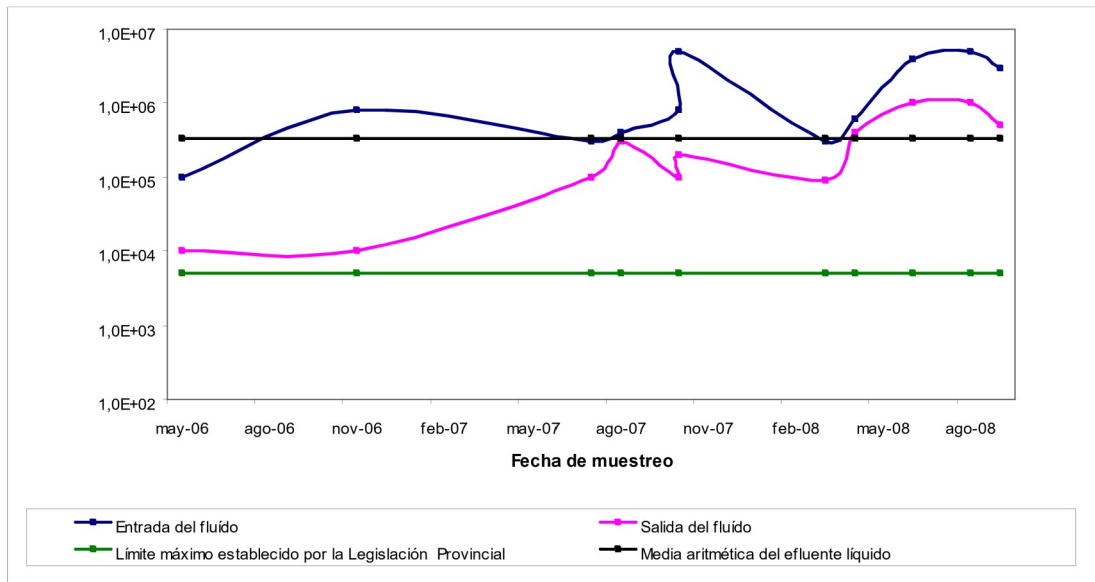
En la primer pileta (Figura 20), el líquido ingresa con un valor medio de  $2,3 \times 10^6$  NMP de individuos (desvío  $2,1 \times 10^6$  NMP) el máximo número de individuos se obtuvo en agosto de 2006 ( $7 \times 10^6$  NMP) y el mínimo de  $3 \times 10^5$  NMP en julio de 2007. Para líquido tratado la media de individuos fue de  $5,5 \times 10^5$  NMP (desvío estándar  $5,9 \times 10^5$  NMP) la máxima cantidad de individuos fue registrada en septiembre de 2008 con  $2 \times 10^6$  NMP y el mínimo en abril de 2007 ( $1 \times 10^4$  NMP).

Para la segunda pileta el líquido ingresó a la planta con  $1,85 \times 10^6$  NMP de individuos (desvío estándar  $1,9 \times 10^6$  NMP), teniendo un máximo valor de  $5 \times 10^6$  NMP en octubre de 2007 y agosto de 2008, el mínimo de  $<1 \times 10^5$  NMP se alcanzó en mayo de 2006. Luego de su tratamiento, se obtuvo un efluente con una media de  $3,6 \times 10^5$  NMP de individuos (desvío de  $3,6 \times 10^5$  NMP), un máximo de  $1 \times 10^6$  NMP en junio y agosto de 2008 y un mínimo de  $1 \times 10^4$  NMP en mayo y noviembre de 2006 (Figura 21).

El decreto Provincial 2793, determina un máximo permisible de  $5 \times 10^3$  NMP de individuos para líquido efluente, lo que indica que, según los datos analizados, se tienen valores muy por encima de lo permitido. Esto genera un alto impacto nocivo en el medio ambiente, la biota y las personas que puedan ser afectadas por bacterias generadoras de enfermedades.



**Figura 20:** Variaciones en Coliformes Fecales (NMP) para líquido afluente y efluente, y representación de límites legales máximos establecidos para líquido efluente (pileta N° 1).



**Figura 21:** Variaciones en Coliformes Fecales (NMP) para líquido afluente y efluente, y representación de límites legales máximos establecidos para líquido efluente (pileta N° 2).

### 13.3 Cálculo de porcentaje de eficiencia en la remoción de DQO, BDO<sub>5</sub>, Bacterias Totales y Fecales

Se llama eficiencia al cálculo derivado de la razón entre cada una de las características del efluente cloacal en su ingreso a la planta de tratamiento y luego del tratamiento aplicado.

Es así que se utiliza para ello la siguiente fórmula:

$$E\% = \frac{\text{Parámetro en líquido previo al tratamiento} - \text{Parámetro en líquido tratado}}{\text{Parámetro en líquido previo al tratamiento}} \times 100$$

Los parámetros más significativos a tener en cuenta para el cálculo de la eficiencia:

- DQO

**Cuadro 2:** Porcentaje de remoción de DQO (Pileta N° 1)

Fecha de análisis	DQO líquido crudo	DQO líquido tratado	% DQO removido
Mar-07	430	432	-0,47%
May-06	540	372	31,11%
Nov-06	529	404	23,63%
Ago-06	366	388	-6,01%
Sep-08	589	416	29,37%
Jun-07	546	475	13,00%
Abr-07	529	450	14,93%
Jun-08	630	457	27,46%
Abr-08	593	411	30,69%
Ago-08	667	411	38,38%
Sep-08	540	580	-7,41%

Como puede observarse en el Cuadro 2, no se tiene una línea uniforme o un ciclo de eficiencia.

Se puede concluir que el sistema no es eficiente en la remoción de este parámetro en la pileta N° 1.

**Cuadro 3:** Porcentaje de remoción de DQO (Pileta N° 2)

Fecha de análisis	DQO líquido crudo	DQO líquido tratado	% DQO removido
May-06	357	350	1,96%
Nov-06	460	446	3,04%
Ene-07	512	381	25,59%
Ago-07	529	474	10,40%
Oct-07	698	408	41,55%
Oct-07	527	435	17,46%
Mar-08	490	481	1,8%
Abr-08	630	564	10,48%
Jun-08	593	537	9,44%
Ago-08	667	414	37,93%
Sep-08	540	425	21,30%

En el Cuadro 3, se observan marcadas diferencias entre unos meses y otros.

Se puede concluir que el sistema no es eficiente en la remoción de este parámetro en la pileta n°2.

- DBO<sub>5</sub>

**Cuadro 4:** Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> (Pileta N° 1)



Fecha de análisis	DBO <sub>5</sub> líquido crudo (ml/L)	DBO <sub>5</sub> líquido tratado (ml/L)	% Remoción DBO <sub>5</sub>
May-06	115	117	-1,74%
Ago-06	293	134	54,27%
Nov-06	193	107	44,56%
Mar-07	132	169	-28,03%
Abr-07	132	169	-28,03%
Jun-07	278	175	37,05%
Jul-07	341	250	26,69%
Abr-08	450	94	79,11%
Jun-08	325	163	49,85%
Ago-08	427	154	63,93%
Sep-08	288	290	-0,69%

Los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> son bajos para la pileta facultativa N° 1, lo que demuestra una situación de deficiencia en el tratamiento, dando incluso incrementos en los valores de salida con respecto a su ingreso, arrojando valores negativos en su eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> (Cuadro 4).

**Cuadro 5:** Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> (Pileta N° 2)

Fecha de análisis	DBO <sub>5</sub> líquido crudo (ml/L)	DBO <sub>5</sub> líquido tratado (ml/L)	% Remoción DBO <sub>5</sub>
May-06	85	73	14,12%
Nov-06	122	146	-19,67%
Jul-07	341	250	26,69%
Ago-07	285	255	10,53%
Oct-07	217	179	17,51%
Mar-08	133	93	30,08%
Abr-08	450	133	70,44%
Jun-08	325	203	37,54%
Ago-08	427	170	60,19%
Sep-08	288	177	38,54%

En la pileta N° 2 se observa un incremento en la eficiencia del tratamiento con respecto a la primera pileta, aunque la misma no es eficiente en cuanto al parámetro analizado (Cuadro 5).

- Coliformes totales

**Cuadro 6:** Porcentaje de remoción de Coliformes totales (Pileta N° 1)

Fecha de análisis	CT líquido crudo (NMP)	CT líquido tratado (NMP)	% CT removido
May-06	1,60E+06	3,00E+05	81%
Ago-06	9,00E+06	8,00E+05	91%
Sep-06	7,00E+06	6,00E+05	91%
Mar-07	3,00E+06	6,00E+05	80%
Abr-07	1,00E+06	3,00E+04	97%

Jun-07	1,00E+06	3,00E+05	70%
Jul-07	1,00E+06	3,00E+05	70%
Abr-08	1,00E+07	6,00E+05	94%
Jun-08	1,00E+07	2,00E+06	80%
Ago-08	2,00E+07	7,00E+06	65%
Sep-08	6,00E+06	4,00E+06	33%

En la primer pileta (Cuadro 6), se obtuvieron porcentajes de remoción aceptables en una primer etapa de año y medio aproximadamente, fluctuando desde junio de 2007 hasta el mismo mes del año siguiente, para luego disminuir drásticamente en el último período alcanzando un mínimo de 33 %.

**Cuadro 7:** Porcentaje de remoción de Coliformes totales (Pileta N° 2)

Fecha de análisis	CT líquido crudo (NMP/100 mL)	CT líquido tratado (NMP/100 mL)	% CT removido
May-06	1,00E+05	1,00E+04	90%
Nov-06	2,00E+06	7,00E+04	97%
Ago-07	9,00E+05	5,00E+05	44%
Oct-07	3,00E+07	4,00E+05	99%
Oct-07	3,00E+06	3,00E+05	90%
Mar-08	9,00E+05	2,00E+05	78%
Abr-08	1,00E+07	1,00E+06	90%
Jun-08	1,00E+07	4,00E+06	60%
Ago-08	2,00E+07	3,00E+06	85%
Sep-08	6,00E+06	9,00E+05	85%

En esta pileta (Cuadro 7), se observa también una leve tendencia al decaimiento en el porcentaje de remoción de coliformes totales aunque el mínimo se obtuvo en agosto de 2007, en junio de 2008 la eficiencia disminuyó en un 30 % con respecto al muestreo anterior de abril del mismo año.

• Coliformes Fecales.

**Cuadro 8:** Porcentaje de remoción de Coliformes fecales (Pileta N° 1)

Fecha de análisis	CF líquido crudo (NMP/100 mL)	CF líquido tratado (NMP/100 mL)	% CF removido
May-06	1,40E+06	2,70E+05	80,71%
Ago-06	7,00E+06	7,00E+05	90,00%
Sep-06	2,00E+06	5,00E+05	75,00%
Mar-07	7,00E+05	1,00E+05	85,71%
Abr-07	5,00E+05	1,00E+04	98,00%
Jun-07	1,00E+06	2,00E+05	80,00%
Jul-07	3,00E+05	1,00E+05	66,67%
Abr-08	6,00E+05	2,00E+05	66,67%
Jun-08	4,00E+06	1,00E+06	75,00%
Ago-08	5,00E+06	1,00E+06	80,00%
Sep-08	3,00E+06	2,00E+06	33,33%

En la primera pileta (Cuadro 8), se observa un mantenimiento del porcentaje de remoción durante el primer año de entre 90 y 80 % (desde mayo de 2006 hasta junio de 2007). A partir del siguiente muestreo realizado en julio de 2007, el mismo decae para luego incrementarse en los dos siguientes y concluir con el más bajo valor histórico de 33 %, analizado en septiembre de 2008.

**Cuadro 9:** Porcentaje de remoción de Coliformes fecales (Pileta N° 2)

Fecha de análisis	CF líquido crudo (NMP/100 mL)	CF líquido tratado (NMP/100 mL)	% CF removido
May-06	1,00E+05	1,00E+04	90%
Nov-06	8,00E+05	1,00E+04	99%
Ago-07	4,00E+05	3,00E+05	25%
Oct-07	5,00E+06	2,00E+05	96%
Oct-07	8,00E+05	1,00E+05	88%
Mar-08	3,00E+05	9,00E+04	70%
Abr-08	6,00E+05	4,00E+05	33%
Jun-08	4,00E+06	1,00E+06	75%
Ago-08	5,00E+06	1,00E+06	80%
Sep-08	3,00E+06	5,00E+05	83%

En la segunda pileta (Cuadro 9), se observan grandes fluctuaciones que no parecen responder a variaciones climáticas, dado que en abril de 2008 y agosto del 2007 fueron registrados los valores más bajos. Mientras que en junio y julio los valores fueron los esperados para la época (aún así, son superiores a los primeros que rondan el 30 %).

- Sólidos Sedimentables en 2 horas

**Cuadro 10:** Porcentaje de remoción de Sólidos sedimentables en 2 hs (Pileta N° 1)

Fecha de Muestreo	Ingreso de líquido crudo (ml/L)	Salida de líquido tratado (ml/L)	% Eficiencia en remoción SS 2hs
may-06	<0,1	<0,1	No mensurable
ago-06	<0,1	<0,1	No mensurable
nov-06	<0,1	<0,1	No mensurable
mar-07	<0,1	<0,1	No mensurable
abr-07	<0,1	<0,1	No mensurable
jun-07	<0,1	<0,1	No mensurable
abr-08	1,2	<0,1	100,00%
jun-08	1,8	<0,1	100,00%
ago-08	5	0,1	98,00%
sep-08	3,7	<0,1	100,00%

En general, no hay registros de ingresos de grandes cantidades de sólidos sedimentables finos. Aún así, la eficiencia de remoción es excelente (Cuadro 10).

**Cuadro 11:** Porcentaje de remoción de Sólidos sedimentables en 2 hs (Pileta N° 2)

Muestreo	Ingreso de líquido crudo (ml/L)	Salida de líquido tratado (ml/L)	% Eficiencia en remoción SS 2hs
may-06	<0,1	<0,1	No mensurable
nov-06	0,1	0,1	0,00%
ene-07	8,5	<0,1	100,00%
ago-07	0,5	<0,1	100,00%
oct-07	15	<0,1	100,00%
oct-07	9	0,4	95,56%
mar-08	<0,1	<0,1	No mensurable
abr-08	1,2	3,8	-216,67%

jun-08	1,8	<0,1	100,00%
ago-08	5	<0,1	100,00%
sep-08	3,7	<0,1	100,00%

En esta pileta se repite lo mencionado en la pileta numero 1 con una muy buena eficiencia en remoción de sólidos sedimentables, aunque cabe destacar que a pesar de haberse registrado a su ingreso la misma cantidad de SS que en la otra pileta, la eficiencia de remoción decayó notablemente (Cuadro 11).

- Sólidos sedimentables en 10'

**Cuadro 12:** Porcentaje de remoción de Sólidos sedimentables en 10' (Pileta N° 1)

Fecha de muestreo	Ingreso de líquidos crudo (ml/L)	Salida de líquido tratado (ml/L)	% de Eficiencia de remoción SS 10'
may-06	<0,1	<0,1	No mensurable
ago-06	0,5	1,8	-260,00%
nov-06	0,1	0,2	-100,00%
mar-07	<0,1	<0,1	No mensurable
abr-07	<0,1	<0,1	No mensurable
jun-07	<0,1	<0,1	No mensurable
jul-07	<0,1	<0,1	No mensurable
abr-08	<0,1	<0,1	No mensurable
jun-08	0,8	<0,1	100,00%
ago-08	2,5	<0,1	100,00%
sep-08	1,3	<0,1	100,00%

Tal como ocurre con SS 2 hs, no se registran grandes ingresos de SS en 10', aunque se observa una eficiencia negativa en los primeros tiempos de muestreo (es decir, ingresa menos sólidos de lo que egresa de la planta), el último tiempo la eficiencia fue excelente (Cuadro 12).

**Cuadro 13:** Porcentaje de remoción de Sólidos sedimentables en 10' (Pileta N° 2)

Fecha de muestreo	Ingreso de líquidos crudo (ml/L)	Salida de líquido tratado (ml/L)	% de Eficiencia de remoción SS 10'
may-06	<0,1	<0,1	No mensurable
nov-06	<0,1	<0,1	No mensurable
ene-07	8	<0,1	100,00%
jul-07	<0,1	<0,1	No mensurable
oct-07	13	<0,1	100,00%
oct-07	6	<0,1	100,00%
mar-08	<0,1	<0,1	No mensurable
abr-08	<0,1	1,8	No mensurable
jun-08	0,8	<0,1	100,00%
ago-08	2,5	<0,1	100,00%

sep-08	1,3	<0,1	100,00%
--------	-----	------	---------

En esta pileta (Cuadro 13), no se registraron bajas ni fluctuaciones en la eficiencia de remoción de estos sólidos manteniendo una excelente eficiencia durante todos los análisis realizados.

Este escaso ingreso de sólidos sedimentables a la planta de tratamiento puede deberse a su depósito en los canastos de las estaciones de bombeo ubicadas en la ciudad, lo que puede provocar obstrucciones en las cañerías hacia la planta y la necesidad de inyectarle agua a presión para su destape.

## 14. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

### **Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos**

Con respecto a los análisis examinados, se puede determinar que:

- pH: no se registraron grandes variaciones en el parámetro, encontrándose dentro de los límites admisibles por el decreto provincial 2793/06 que establece para este parámetro un mínimo de 6.5 y un máximo de 10.0.
- DBO<sub>5</sub>: En meses más fríos, generalmente, el líquido ingresa con una mayor carga orgánica y el porcentaje de remoción del parámetro decae por debajo de la media. De igual manera, en todos los análisis recolectados, se puede comprobar que la DBO<sub>5</sub> en el líquido tratado supera el límite máximo admisible por el Decreto Provincial. Esto indica que el líquido se encuentra muy contaminado, aún luego del tratamiento, con materia orgánica; por lo que se aconseja un pre o post- tratamiento complementario a fin de no seguir contaminando el ambiente.
- DQO: Este parámetro, al igual que DBO<sub>5</sub> con el que está relacionado, se encuentra por encima del límite máximo admitido por la ley, por lo que se sugiere lo mismo que para el ítem anterior.
- Sólidos Sedimentables en 10' y 2 hs: estos parámetros, prácticamente no interfieren con el tratamiento, ya que en la mayor parte de los análisis, se encuentra ausente o por debajo de 0.1 ml/L lo que es indetectable. Sin embargo, esto puede significar su depósito en las estaciones de bombeo distribuidas en la ciudad.
- Coliformes fecales y totales: a través de los análisis recolectados, se puede concluir que el líquido tratado se encuentra con una alta contaminación biológica lo que necesita de gran atención, dado que, prácticamente, no existe diferencia en este parámetro para líquido crudo y tratado, siendo en todos los casos superior al máximo admisible por ley. Esto puede

generar serias consecuencias en el ambiente y los pobladores en caso de que se utilice agua de pozo y dicha contaminación llegue al mismo.

### **Eficiencia estructural**

Se comprueba que el tiempo de residencia para ambas piletas se encuentra dentro de los parámetros normales (de 15 a 45 días), aunque se observan zonas de estancamiento, principalmente de materia grasa en forma de flóculos, a orillas de las piletas, aparentemente formado por cortocircuitos hidráulicos (Fotografías 12 y 13).

El área teórica de exposición a la luz (0.695 y 0.653 hectáreas para la pileta 1 y 2 respectivamente según la relación entre la DBO<sub>5</sub> afluente diaria y la DBO<sub>5</sub> tratada por hectárea y día), coincide con las dimensiones reales (0.637 hectárea).

La tasa de aplicación superficial (Ls) teórica en función de la temperatura (128,94 kg BDO<sub>5</sub>/ha.d según la fórmula de Mara) se encuentra dentro del límite normal establecido para el clima (entre 120 y 240 Kg DBO<sub>5</sub>/ha.d), al igual que las despejadas ( $Ls=A/L$ ) que fueron de 140.81 y 134.37 kg DBO<sub>5</sub>/ha.d para la pileta 1 y 2 respectivamente.

El coeficiente de remoción de DBO<sub>5</sub> (fórmulas de Aceivala 1981 y Vidal 1983) se encuentra por debajo de los límites inferiores normales, lo que permite determinar que la velocidad de fotosíntesis se encuentra por debajo de lo esperado para las condiciones climáticas de la zona.

Por último, se comprueba una diferencia entre el régimen hidrológico según las dimensiones de las piletas y su formato, correspondiendo para la primera a un régimen de flujo disperso y para la segunda de un régimen en pista. Esta disparidad entre las dimensiones (ancho/largo) puede generar zonas de estancamiento cuya depuración se realice de forma mas lenta y dificultosa.

### **Eficiencia funcional**

La eficiencia en remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO es muy baja, lo que permite sugerir la necesidad de un tratamiento complementario a fin de no seguir contaminando el ambiente. En ambos parámetros se registran algunos meses de eficiencia negativa, lo que permite concluir que este incremento podría deberse a la muerte de bacterias y algas en el interior de las piletas.

En cuanto a coliformes, a pesar de tener cierta eficiencia en su remoción, el número más probable de bacterias en líquido tratado se encuentra aún por encima del límite legal máximo establecido; esto generado tal vez por su capacidad de reproducción y las condiciones ideales del líquido para ello. Con estos datos se puede especular una baja

cantidad de oxígeno disuelto en el líquido dentro de las piletas, ya que estas bacterias son anaeróbicas.

La eficiencia en remoción de sólidos sedimentables (en 10' y 2 hs) es en general del 100 %, excepto en el mes de abril de 2008 en la pileta número 2 donde se registró una eficiencia negativa, tal vez generado por desobstrucciones en las cloacas o por voladuras de suelo producto de laboreos en predios lindantes.

Se concluye que el tratamiento de efluentes cloacales domiciliarios de la localidad de Intendente Alvear, La Pampa, es ineficiente en algunos parámetros analizados y no cumple con la normativa legal vigente que determina los valores máximos admisibles para los mismos.

El líquido efluente que es liberado al ambiente, se encuentra fuertemente contaminado orgánica y biológicamente. Por ello se recomienda un pronto accionar a fin de detener el aporte de contaminación al ambiente.

### **Sugerencias**

Se sugieren las siguientes medidas:

- Implementar un tratamiento para líquido de camiones atmosféricos (anexo II)
- La creación de una pileta de maduración impermeabilizada complementaria al tratamiento actual.
  - Implementación de algún método mecánico de aireación del líquido previo a su ingreso a las piletas facultativas primarias, sobretodo para la rápida degradación de grasas depositadas a orillas de las mismas que generan un impedimento de la oxigenación del líquido y un exceso de tiempo de retención en el sector.
  - Monitoreo y mantenimiento de la membrana impermeabilizante de ambas piletas (Fotografías 5, 6 y 7).
  - Mantenimiento de la planta de tratamiento en general (corte de pasto, limpieza, etc) a fin de impedir la proliferación de insectos, roedores, etc que provocan zoonosis (fotografía 1, 2, 3, 9 y 11).
  - Alambrado perimetral del predio (tipo olímpico) para impedir el ingreso de animales y sólidos transportados por el viento (plásticos, papeles, etc).
  - La cantidad de lodo depositado en el fondo de las piletas denotan la necesidad de la implementación de un desarenador o decantador previo al ingreso del líquido a las piletas.
  - Se recomienda la implantación de árboles en forma de cortina a fin de disminuir la proliferación de olores.

## **15. BIBLIOGRAFÍA**



**Cano E., G. Casagrande, H. Conti, J. Salazar Lea Plaza, C. Peña Zubiarte, D. Maldonado Pinedo, H. Martínez, R. Hevia, C. Scoppa, B. Fernández, M. Montes, J. Musto y A. Pittaluga** 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam, Buenos Aires pp 273-293.

**Castro, E.** 2008. Tesis para Magister en Ciencias Hídricas: Análisis hidrogeológico y modelo conceptual del funcionamiento del acuífero de Intendente Alvear, La Pampa. Argentina. Universidad Nacional de La Pampa. Capítulo I: pp 33. Capítulo 2: pp104. Capítulo 3: pp 162-168 y 181-189.

**Cole, G.** 1988. Manual de limnología. Editorial hemisferio Sur. Buenos Aires pp 287-310.

**Decreto Provincial 2793/06:** Límites para el vertido de efluentes líquidos en cuerpos de agua superficiales. Reglamento de ley 1914 pp 1-3.

**Echechuri, H. Ferraro, R. Bengoa, G.** 2002. Evaluación de Impacto Ambiental, entre el saber y la práctica. Editorial Espacio pp Capítulo 1 pp 40-45.

**Gomez Barros F. Del Nery, V. Rissato Zamarioli Damianovic, M. Pozzi Gianotti, E.** 2000. Modificação da população Microbiana de uma lagoa facultativa tratando efluente líquido de abatedouro de frango. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES (Asociación Brasileira de Ingeniería Sanitaria) pp1-7. (<http://bases.bireme.br/>).

<http://es.wikipedia.org/wiki/Coliforme>

<http://jabonesydetergentes.tripod.com>

<http://www.policia.lapampa.gov.ar/Lluvias/lluvias.htm>

**Ingallinella, A. Fernández, R. Sanguinetti, G. Hergert, L. Quevedo, H. Strauss, M. Montongero, A.** 2001. Lagunas de Estabilización para descarga de líquidos de

camiones atmosféricos. Centro de Ingeniería Sanitaria N° 54. Universidad Nacional de Rosario. AIDIS pp 1-20. ([www.ingenieroambiental.com/4014/lagestcam.pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4014/lagestcam.pdf)).

**Ley 1914/01:** Ley Ambiental Provincial. Título II: Disposiciones generales. Capítulo VI De la contaminación ambiental y de las normas técnicas. Artículos 27, 28 y 29 pp 4.

**Ley 1966 “CONVENIO”**. Aprobación de Convenio de Asistencia Financiera de la Nación con la Provincia y la Municipalidad de Intendente Alvear. BOP 2455- 21/12/01.

**Margalef, R.** 1986. Ecología. Cuarta edición. Barcelona. Editorial Planeta pp 15-20.

**Metcalf and Eddy.** 1995. Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse. Editorial McGraw-Hill. Capítulo 3: 53-58- Capítulo 8: Procesos biológicos unitarios pp 430-437; 453-460; 480-487. Capítulo 10: Proyecto de instalaciones para el tratamiento biológico pp 687-690.

**Miller Tyler G. Jr.** 1992. Ecología y Medio Ambiente. Editorial Iberoamericana S.A. pp Capítulo 13: Recursos y administración de los recursos pp 363-364 y Capítulo 22: Contaminación del agua pp 666-667.

**Muñoz, M. Buitrón, E. de Ormaechea, J.** 2005.- Tratamiento de líquidos cloacales en la localidad de General Acha- Diagnostico y Propuesta de medidas correctivas Universidad Nacional de Rosario- CIS.

**Muñoz, M. Buitrón, E. de Ormaechea, J.** 2006. Ineficiencia en el tratamiento del sistema de lagunas por mayor tiempo de retención 15° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente- AIDIS pp1-9.

**Muñoz, M. Buitrón, E. de Ormaechea, J.** 2007. Eficiencia en los sistemas de tratamiento de líquidos cloacales en la provincia de La Pampa. 2° Congreso Pampeano del Agua general Pico pp 85-93.

**Ramallo R. S.** 1993. Tratamiento de aguas residuales. Faculty of Science and Engineering. Laval University. Quebec, Canadá. Editorial Reverté S.A pp 15-25.

**Standard Methods of the examination of water and wastewater** (APHA, AWWA, WPCF 1998).

**Von Sperling, M.** 2000. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volumen 3. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. Lagoas de estabilizacao. Editorial DESA/ABES. Capítulo 2: pp17-47.

# ANEXO I

## Identificación de impactos (Echechuri et al., 2002)

VULNERABILIDADES		PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE IMPACTOS					PERSISTENCIA		MAGNITUD		REVERSIBILIDAD	
		INMINENTE	MUY POSIBLES	POTENCIALES	POCO PROBABLES	IMPOSIBLES	TEMPORAL	PERMANENTES	LOCAL	REGIONAL	REVERSIBLES	IRREVERSIBLES
SUELO	SUPERFICIAL (DERRAMES SUPERFICIALES)				X		X	X		X		
	SUBSUPERFICIAL (PERCOLACIÓN DE EFLUENTES DERRAMADOS SUPERFICIALMENTE)			X			X	X		X		
	PROFUNDO (ANTE ROTURA DE MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE Y POSTERIOR AVANCE DE EFLUENTES)	X					X	X			X	
AGUA	SUPERFICIALES				X		X	X		X		
	SUBSUPERFICIALES				X		X		X	X		
	SUBTERRÁNEAS			X			X		X		X	
AIRE	MICROCLIMA (AUMENTO DE EVAPORACIÓN, ETC)	X					X	X			X	
	CALIDAD DE AIRE (OLORES, SUSTANCIAS CONTAMINANTES, ETC)	X					X	X		X		
FAUNA	MAMIFEROS (GENERACIÓN DE HÁBITATS DE SP INDESEABLES)	X					X	X		X		
	INSECTOS (GENERACIÓN DE HÁBITATS DE SP INDESEABLES)						X	X		X		
	AVES (GENERACIÓN DE HÁBITATS DE SP)	X					X	X		X		
SOCIOECONOMÍA	VALOR INMOBILIARIO	X					X	X				
	CALIDAD DE VIDA	X					X	X				

X Impacto positivo  
 X Impacto negativo

### **Identificación de impactos positivos y negativos:**

- Generación de olores.
- Hábitat de especies vectores de enfermedades (roedores e insectos).
- Hábitat de aves.
- Posible contaminación de acuíferos por filtraciones en la membrana impermeabilizante (dada la alta permeabilidad del suelo, así como un nivel freático que se encuentra a una profundidad de entre 5 y 8 metros).
  - Contaminación de suelo por filtraciones de la membrana impermeabilizante (en superficie y fondo de pileta facultativa) a nivel superficial, subsuperficial y de suelo profundo (nutrientes, salinidad, microcontaminantes orgánicos y patógenos).
    - Aumento de evaporación de agua con modificación en el microclima.
    - Mejora en la calidad de vida de la población.
    - Aumento de servicios y, consecuentemente, el valor inmobiliario de la propiedad.
    - Mejora de la imagen institucional.
    - Generación de un mayor gasto energético por el funcionamiento de estaciones de bombeo.

### **Medidas correctivas**

- Mantenimiento de cámara repartidora de líquidos
- Vaciado de pileta n°1 (por filtraciones en la membrana impermeabilizante) y generar tratamiento de fangos depositado en el fondo de la misma a fin de impedir contaminaciones en suelo.
  - Creación de nueva pileta impermeabilizada para colocación de líquidos de la primera fuera de servicio.
  - Creación de pretratamientos (separación de natas, trampas de grasa, dilacerado, piletas de sedimentación o rejillas que retengan partículas sólidas) o postratamientos complementarios a fin de mejorar la calidad de líquido efluente que se vierte al medio.
    - Educación ambiental a la población a fin de concientizar sobre el desecho de residuos como aceites y otros sólidos no depurables por medio de tratamiento de líquidos cloacales (toallas higiénicas, restos de comidas y desechos de cocina).

### **Medidas preventivas**

- Desmalezado periódico para impedir la formación de hábitats propicios para aves, roedores e insectos.
  - Alambrado perimetral tipo romboidal alrededor de la planta de tratamiento para impedir el ingreso de animales y residuos sólidos trasladados por el viento.

### **Medidas mitigatorias**

- Creación de cortina forestal para disminución de dispersión de olores.

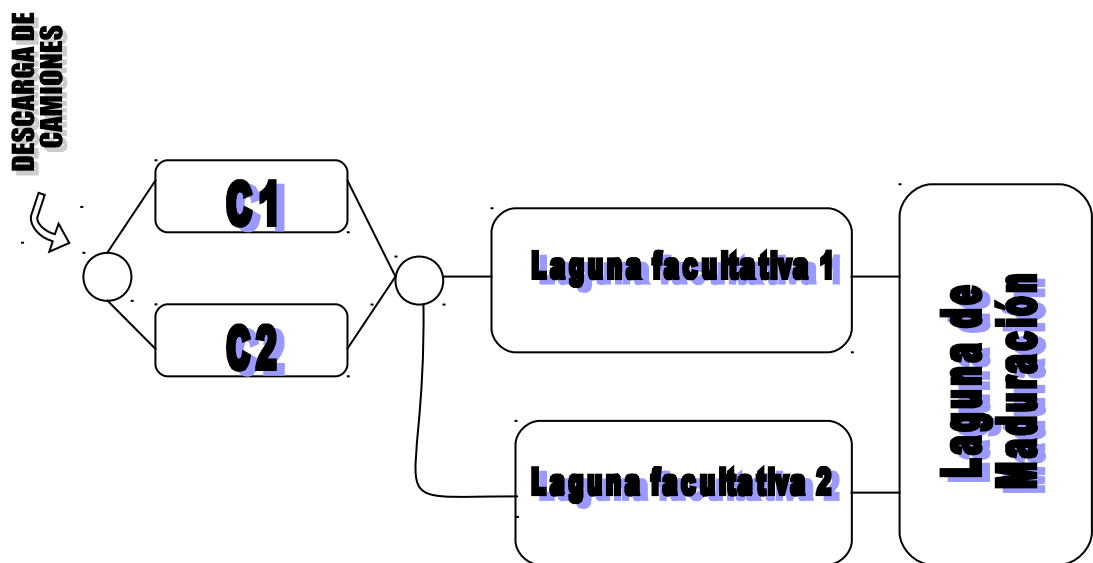
## ANEXO II

### Tratamiento para líquido proveniente de camiones atmosféricos

Los líquidos de fosas sépticas son la combinación de fangos, espumas y el líquido extraído por bombeo de las fosas sépticas. Para disminuir el impacto en el medio ambiente, el líquido se debe evacuar en forma controlada.

Tanto las características del líquido como su volumen varían en función del uso del agua, de si se emplean trituradores de basura de las cocinas y de la frecuencia de bombeo (Metcalf and Eddy; 1995).

Alternativa de tratamiento: Tratamiento conjunto con agua residual



Se puede realizar el tratamiento de líquidos de camiones atmosféricos creando una zona de descarga que conste de un tanque de almacenamiento con bombas dilaceradoras de transferencia que dirijan el líquido hacia dos lagunas de funcionamiento alternado de modo que los lodos pudieran secarse en las mismas antes de su disposición final (Ingallinella, et al., 2001).

En una primera instancia, los líquidos descargados serían conducidos hacia la pileta C1 y de allí a las piletas facultativas para su tratamiento junto a los líquidos de la red cloacal.

A los 6 meses se saca de operación C1, se bombea el líquido sobrenadante a C2 donde comenzará también a descargarse el líquido de camiones atmosféricos.

Las piletas C1 y C2 pueden ser de tipo aerobia o aerobia facultativa (entre 0,3 y 0,9 metros de profundidad) y tienen por función el secado de lodos para luego ser analizados y seguidamente, si sus características lo permiten, utilizados como abono en tierras de cultivo.



## FOTOGRAFÍAS



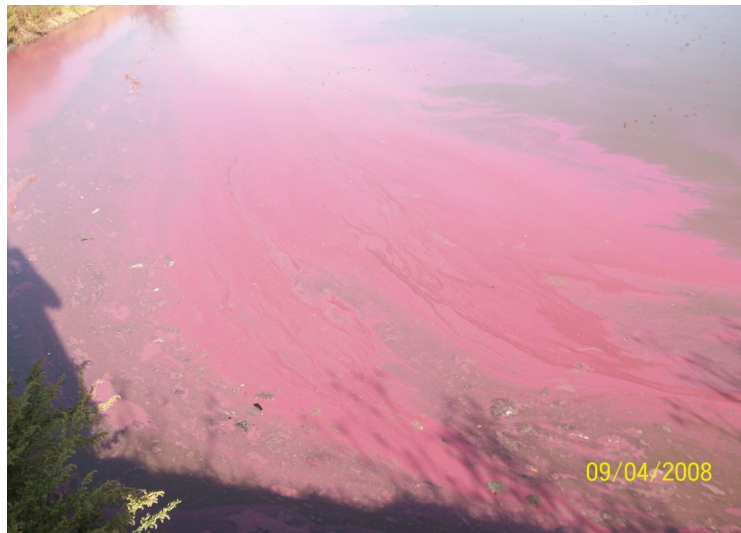
**Fotografía 1:** Presencia de numerosas aves en borde de pileta facultativa N° 1, se puede observar una parte del globo de gas de la misma.



**Fotografía 2:** Heces alrededor de las piletas indican la presencia de animales



**Fotografía 3:** Presencia de roedores



**Fotografía 4:** Líquido púrpura aparentemente (Gomez et al., 2001) debido a presencia de bacterias que crecen en ambientes anaeróbicos con bajas concentraciones de oxígeno disuelto y utilizan  $\text{CO}_2$ , alcoholes y ácidos orgánicos como fuente de carbono en un medio con  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}$  y  $\text{S}_2\text{O}_3$  como dadores de electrones en presencia de luz solar para producción de energía y síntesis . Las mismas se encuentran asociadas a altas concentraciones de amonio y sulfato con temperaturas elevadas y buena insolación. Estos organismos oxidan los sulfitos a sulfatos provocando aumento de la turbidez en la zona superior (imagen tomada a las 10 am hs).



**Fotografía 5:** Membrana impermeabilizante rota aparentemente por roedores.





**Fotografía 6:** Membrana impermeabilizante rota.



**Fotografía 7:** Membrana impermeabilizante rota.



**Fotografía 8:** Membrana impermeabilizante rota generó en la primer pileta un globo o “lomo de ballena” producto de la infiltración de líquido al suelo y la acción de bacterias degradadoras de la materia orgánica (pileta N°1)



**Fotografía 9:** Idem a fotografía 8

**Fotografía 10:** Aspecto general del líquido permite conocer el estado de evolución del líquido durante el tratamiento



**Fotografía 11:** Se puede observar el mantenimiento del predio que propensa la aparición de animales (roedores, insectos, etc)





**Fotografía 12:** Formación de flóculos a orilla de la pileta N° 1, aparentemente por cortocircuito hidráulicos Determinados por la relación entre sus dimensiones a fin de homogenizar las condiciones del mismo.



**Fotografía 13:** Formación de flóculos a orilla de la pileta N° 2 junto a desechos plásticos.



**Fotografía 14:** Salida de líquido desde la pileta N° 1 al canal que colecta el líquido tratado de ambas piletas y las dirige hacia su deposición final.



**Fotografía 15:** Detalle del estado del canal que colecta el líquido tratado de ambas piletas y las dirige hacia su deposición final (presencia de pastos). Se observa salida de líquido tratado desde la pileta N° 1

## ANEXO III

### Resumen de análisis bacteriológicos y fisicoquímicos

#### Laguna N°1

Muestras	pH		SS 10'		SS 2 hs		DBO5		DQO		Coliformes Totales		Coliformes Fecales	
	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
10/05/2006	8,7	8,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	115	117	430	432	1,60E+06	3,60E+05	1,40E+06	2,70E+05
02/08/2006	7,4	7,4	0,5	1,8	< 0,1	< 0,1	293	134	540	372	9,00E+06	8,00E+05	7,00E+06	7,00E+05
27/09/2006	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	7,00E+06	6,00E+05	2,00E+06	5,00E+05
01/11/2006	7,9	7,9	0,1	0,2	< 0,1	0,1	193	107	529	404	SD	SD	SD	SD
14/03/2007	8	8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	132	169	366	388	3,00E+06	6,00E+05	7,00E+05	1,00E+05
18/04/2007	8	8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	132	169	589	416	1,00E+06	3,00E+04	5,00E+05	1,00E+04
06/06/2007	7,7	8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	278	175	546	475	1,00E+06	3,00E+05	1,00E+06	2,00E+05
04/07/2007	7,4	7,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	341	250	529	450	1,00E+06	3,00E+05	3,00E+05	1,00E+05
16/04/2008	8,5	8,5	< 0,1	< 0,1	1,2	< 0,1	450	94	630	457	1,00E+07	6,00E+05	6,00E+05	2,00E+05
18/06/2008	7,5	7,5	0,8	< 0,1	1,8	< 0,1	325	163	593	411	1,00E+07	2,00E+06	4,00E+06	1,00E+06
06/08/2008	8	8	2,5	< 0,1	5	0,1	427	154	667	411	2,00E+07	7,00E+06	5,00E+06	1,00E+06
10/09/2008	7,5	8,3	1,3	< 0,1	3,7	< 0,1	288	290	540	580	6,00E+06	4,00E+06	3,00E+06	2,00E+06

#### Laguna N° 2

Muestras	pH		SS 10'		SS 2 hs		DBO5		DQO		Coliformes Totales		Coliformes Fecales	
	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
10/05/2006	7,9	7,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	85	73	357	350	<1,00E+05	<1,00E+04	< 1,00E+05	<1,00E+04
29/11/2006	8,1	8,4	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	122	146	460	446	2,00E+06	7,00E+04	8,00E+05	1,00E+04
04/01/2007	8,2	8,2	8	< 0,1	8,5	< 0,1	SD	SD	512	381	SD	SD	SD	SD
29/08/2007	7,8	7,5	< 0,1	< 0,1	0,5	< 0,1	285	255	529	474	9,00E+05	5,00E+05	4,00E+05	3,00E+05
03/10/2007	8,5	8,5	13	< 0,1	15	< 0,1	SD	SD	698	408	3,00E+07	4,00E+05	5,00E+06	2,00E+05
31/10/2007	7,5	8	6	< 0,1	9	0,4	217	179	527	435	3,00E+06	3,00E+05	8,00E+05	1,00E+05
05/03/2008	8	8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	133	93	490	481	9,00E+05	2,00E+05	3,00E+05	9,00E+04
16/04/2008	8,5	8,5	< 0,1	1,8	1,2	3,8	450	133	630	564	1,00E+07	1,00E+06	6,00E+05	4,00E+05
18/06/2008	7,5	7,5	0,8	< 0,1	1,8	< 0,1	325	203	593	537	1,00E+07	4,00E+06	4,00E+06	1,00E+06
06/08/2008	8	8,3	2,5	< 0,1	5	< 0,1	427	170	667	414	2,00E+07	3,00E+06	5,00E+06	1,00E+06
10/09/2008	7,5	8,2	1,3	< 0,1	3,7	< 0,1	288	177	540	425	6,00E+06	9,00E+05	3,00E+06	5,00E+05