

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL



FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL  
URUGUAY

INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO FINAL ESPECIALIZACIÓN

“MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO CLOACAL DE  
LA CIUDAD DE COLÓN ENTRE RÍOS”

DOCENTE: ING. FERNANDO RAFFO  
ALUMNO: ING. ROBERTO BERGARA

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>2. DIAGNÓSTICO</b> .....	4
2.1. Contexto socio-económico-demográfico .....	4
2.2. Contexto urbano-ambiental.....	4
2.3. Contexto Legal.....	5
<b>3. PROBLEMA</b> .....	7
<b>4. OBJETIVOS DEL TRABAJO</b> .....	9
4.1. Objetivo General .....	9
4.2. Objetivos Específicos .....	9
<b>5. ANTECEDENTES</b> .....	9
<b>6. ALTERNATIVAS</b> .....	15
6.1. Barros Activados .....	15
6.2. Lechos Percoladores .....	18
6.3. Lagunas de Estabilización.....	19
<b>7. MATRIZ DE ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD</b> .....	21
7.1 Matriz de Comparación FODA .....	23
7.2 Análisis FODA de la Alternativa Elegida.....	24
<b>8. DESARROLLO</b> .....	25
8.1. Lagunas de Estabilización.....	25
8.1.1. Datos Climáticos .....	26
8.1.2. Estimación de la Población Actual y Futura.....	27
8.1.3. Diseño Sistema Australiano de Lagunas de Estabilización.....	29
8.1.4. Pre tratamiento .....	29
8.1.5. Cálculo y Dimensionamiento de Lagunas .....	30
8.1.6. Parámetros de Diseño .....	31
8.1.7. Diseño de Lagunas Anaeróbicas .....	31
8.1.8. Temperatura de Laguna Anaeróbica .....	31
8.1.9. Eficiencia Bacteriológica.....	32
8.1.10. Parámetros de diseños usuales .....	32
8.1.11. Dimensiones.....	32
8.1.12. Acumulación de lodo sedimentado.....	33

8.1.13. Diseño de Lagunas Facultativas .....	33
8.1.14. Eficiencia de Reducción orgánica (DBO5).....	33
8.1.15. Modelo del CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria) .....	33
8.1.16. Modelo de Equilibrio Continuo basado en cinemática de primer orden .....	34
8.1.17. Tabla comparativa evaluación de los distintos modelos aplicados .....	34
8.1.18. Resumen de dimensiones lagunas de Estabilización.....	35
8.1.19. Ubicación del nuevo sistema .....	35
8.2. Riego Forestal con Efluente Tratado .....	36
8.2.1. Balance Hídrico.....	37
8.2.2. Captación de gases y emisión de oxigeno .....	38
8.2.3. Balance Económico .....	39
<b>9. CONCLUSIÓN</b> .....	<b>41</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>42</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

Mi nombre es Roberto Adrián Bergara soy Ingeniero en Construcciones e Ingeniero Civil, graduado en la Facultad Regional Concepción del Uruguay, de la Universidad Tecnológica Nacional.

En la actualidad me desempeño como responsable ambiental adjunto en obras viales de la Provincia de Buenos Aires.

Entre los años 2008 al 2015 formé parte de la gestión en la Secretaría de Ambiente de Entre Ríos.

El presente trabajo aborda una problemática recurrente en la mayoría de las ciudades de la provincia de Entre Ríos como lo son los sistemas de tratamientos cloacales y descarga final de los mismos. Se consideró la Ciudad de Colón, como base para el estudio y desarrollo de alternativas en busca de una solución, técnico económica, social y ambientalmente viable.

Dicha ciudad posee una particularidad, es uno de los centros turísticos más importantes de la provincia y es visitado en épocas estivales por un número de turistas que prácticamente duplica la población estable, agravando de esta manera la problemática producto del aumento de caudal de efluente a tratar, quedando sub dimensionado el actual sistema de tratamiento, el que ya se encuentra en el fin de su vida útil de diseño.

## **2. DIAGNÓSTICO**

### **2.1. Contexto socio-económico-demográfico**

Colón es un Municipio de primera categoría, capital del Departamento homónimo, ubicado sobre la margen derecha del Río Uruguay, su ejido abarca 13.400 ha y su Planta Urbana 387 ha, aproximadamente. Sus principales vías de acceso son la Ruta Nacional N°14 (ubicada al Oeste de la Planta Urbana) y vinculada a ésta la Ruta Nacional N°135, que permite un enlace vial con la ciudad de Paysandú, República Oriental del Uruguay, y la ex Ruta Provincial N° 26, que la comunica con San José, ambas oficiando de ingreso a la Planta Urbana.

Históricamente, el desarrollo de Colón estuvo ligado a la vigencia del puerto y a las actividades extractivas de canteras de canto rodado. En la actualidad, si bien la región cuenta con potencial agrícola principalmente arroz, se registran asimismo otros tipos de producciones como forestal, avícola, apícola, ganadera, y en la parte industrial aserraderos, metalmecánica y frigorífica, sin embargo buena parte de la economía local se basa en el desarrollo de servicios turísticos.

Desde hace unos años Colón forma parte de la “Microregión Tierra de Palmares” la que fue creada con la finalidad de que comunas que se encontraban formado parte de una “región turística”, pudieran asociarse para el tratamiento de problemáticas comunes dentro del Departamento Colón. Su nombre se debe a que dentro de la misma se encuentra una de las reservas ecológicas más importantes del país, el Parque Nacional El Palmar, ofreciendo a los visitantes áreas naturales, playas y aguas termales, a los que se suman atractivos de índole productivo, gastronómico y recreativo. Esta masiva afluencia de turistas en época estival y durante todo el año en fines de semanas, ha cambiado drásticamente el número de usuarios de los servicios de agua y saneamiento. Se debe destacar que en virtud de esta condición de ciudad turística, Colón tiene la mayor tasa de crecimiento de la construcción en la provincia.

### **2.2. Contexto urbano-ambiental**

Colón se encuentra emplazado en las terrazas antiguas, arenosas y escasamente onduladas de la costa del Río Uruguay, perteneciendo a su cuenca. El relieve muestra frecuentes depresiones locales y se eleva hacia el Oeste, lo que determina pendientes generales hacia el Este, evidenciadas por algunos de los cursos de agua con relevancia ambiental. Entre ellos, cabe destacar el Arroyo Artaláz y Arroyo De la Leche, que bordean la Planta Urbana al Norte y al Sur, respectivamente, delimitando además la zona de playas de Colón, que se extiende por todo el frente urbano oriental sobre el Río Uruguay.

Los principales suelos de la región son arenosos profundos sobre terrazas aluviales y arenosos pardos sobre aluviales arcillosos (Udifluvents, Quartzipsamments óxicos y Haplumbreprs, Hapludolles fluventicos), aptos para citricultura, forestación, cultivos labrados y pastoreo. El clima es templado húmedo de llanura, sin situaciones extremas, con una media anual de precipitaciones de 1.200 mm y variabilidad interanual. La vegetación natural (monte semixerófilo, selva en galería, praderas de porte medio y pastos en matas) se concentra sobre todo en las orillas de ríos y arroyos debido a las intensas actividades agropecuarias de la zona que han causado en gran parte su eliminación y el enmalezamiento. Una particularidad de la zona es la vigencia de consorcios de palmera yatay, que ha dado origen a la creación del Parque Nacional El Palmar, 35 km al Norte de Colón, con un área de 8.500 ha.

La Planta Urbana se desarrolló desde el casco fundacional en una serie de dameros irregulares en torno a la avenida de acceso central (zona más elevada); cuenta en la actualidad con mayoría de calles enripiadas y sólo en el casco céntrico pavimentadas. En dicho casco, la urbanización se encuentra consolidada, no existiendo edificación en altura significativa; en su entorno, se ubica un sector de baja consolidación y mayor dispersión de las edificaciones. Si bien la Planta Urbana se emplaza en una zona elevada respecto a su entorno, la expansión de la urbanización ha ido ocupando zonas bajas, e incluso anegadizas tanto al Norte como al Sur, situación que complejiza la expansión de Desagües Cloacales.

En la actualidad, la tendencia más fuerte de expansión se da hacia el Oeste y Noroeste, en la zona elevada y próxima al acceso, aunque subsisten una importante cantidad de lotes próximos a la zona costera aún sin edificación. Se distinguen asimismo barrios de viviendas precarias y de interés social principalmente al Sur y Suroeste de la Planta Urbana. Es importante destacar que ambos aspectos, tanto el crecimiento demográfico como la afluencia de turistas inciden en la prestación del servicio de Agua Potable, contribuyendo a incrementar de manera significativa los requerimientos de consumo, tanto público como privado, y por lo tanto la generación de líquidos cloacales.

### **2.3. Contexto Legal**

#### Normativa Nacional

- Artículo 41 de la Constitución Nacional: garantiza que todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y que tienen el deber de preservarlo.

También indica que las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

- Ley N° 25.675/02 “Ley General del Ambiente”, es una ley de presupuestos mínimos, que establece en el artículo 1° los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable, fija los objetivos que debe cumplir la política ambiental nacional.
- Digesto del Río Uruguay, “La prevención de la contaminación en el Río se regirá por las disposiciones del Tratado, del Estatuto, de los convenios internacionales aplicables, del presente Digesto y de la legislación respectiva vigente en cada una de las Partes”.

#### Normativa Provincial

- Decreto N° 4.977/09 de Impacto Ambiental.
- Decreto N° 2.235/02 “Los organismos responsables de prestar los servicios de Provisión de Agua potable y de Evaluación de Desagües Cloacales en el ámbito de la Provincia de Entre Ríos, deberán arbitrar los medios para que los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del agua potable suministrada a la población y de los efluentes tratados o no, que vuelquen al medio ambiente, cumplan con los valores de los parámetros que se fijan en los Anexos I y II, que adjuntos forman parte del presente Decreto”.
- Resolución N° 554/15 Secretaría de Ambiente, ”todo establecimiento productivo, industrial y/o de servicio, instalado o por instalarse en el territorio provincial, cuyos efluentes líquidos puedan ser reutilizados para riego forestal, cumplan con determinados parámetros que eviten posibles impactos en el ecosistema acuático, en determinadas condiciones hidrológicas y ambientales, los vuelcos de efluentes industriales y residuales urbanos, aun cumpliendo la normativa de referencia, pueden ocasionar la disminución de los parámetros de calidad de agua necesarios para el sostenimiento de la vida acuática”.

### 3. PROBLEMA

La Municipalidad de Colón tiene a cargo los servicios de agua potable y desagües cloacales a través de una Dirección de Obras Sanitarias, responsable de las funciones técnicas y operativas.

Por otro lado, el grueso de la gestión operativa de agua y saneamiento se desarrolla desde la planta potabilizadora, ubicada sobre la avenida costanera, al Noreste de la planta urbana.

Si bien la planta urbana cuenta con un porcentaje muy alto de servicio de agua potable y conexión a red cloacal, estas conexiones no siempre se encuentran requiriendo la prestación del mismo ya que gran parte de esta se encuentra destinada al alquiler turístico, ya sea casas de familia que poseen plazas, como bungalós, hoteles, hospedajes, restaurantes, parrillas, confiterías y servicios de comidas.

Existen reiterados problemas con respecto al tratamiento debido a esta fluctuación estacional producto de la afluencia de turistas, pero también a que el sistema de tratamientos actual fue diseñado y construido a fines de los setenta, y preveía una vida útil en función del crecimiento poblacional de 25 años, con lo cual el fin de la vida útil calculada en el diseño llegó en el año 2004, o sea hace 14 años aproximadamente, según cálculos teóricos. Otro de los problemas son debido a la expansión y crecimiento de la ciudad en zonas con diferencias de niveles con respecto a la ubicación del sistema de tratamiento el que se encuentra en el límite sur de la planta urbana, con lo cual para poder transportar los líquidos cloacales hasta el sistema de tratamiento, la red está diseñada y construida para transportar por gravedad hacia los puntos más bajos y de ahí mediante bombeo se los impulsa hasta su tratamiento, lo que genera inconvenientes en épocas de crecidas del río Uruguay, por quedar fuera de servicio, o cuando por inconvenientes mecánicos en las estaciones de bombeo estas dejan de funcionar y vuelcan el efluente sin tratar al ambiente, por medio de vertederos aliviadores de presión y de ahí por canales de pluviales que llegan al río.

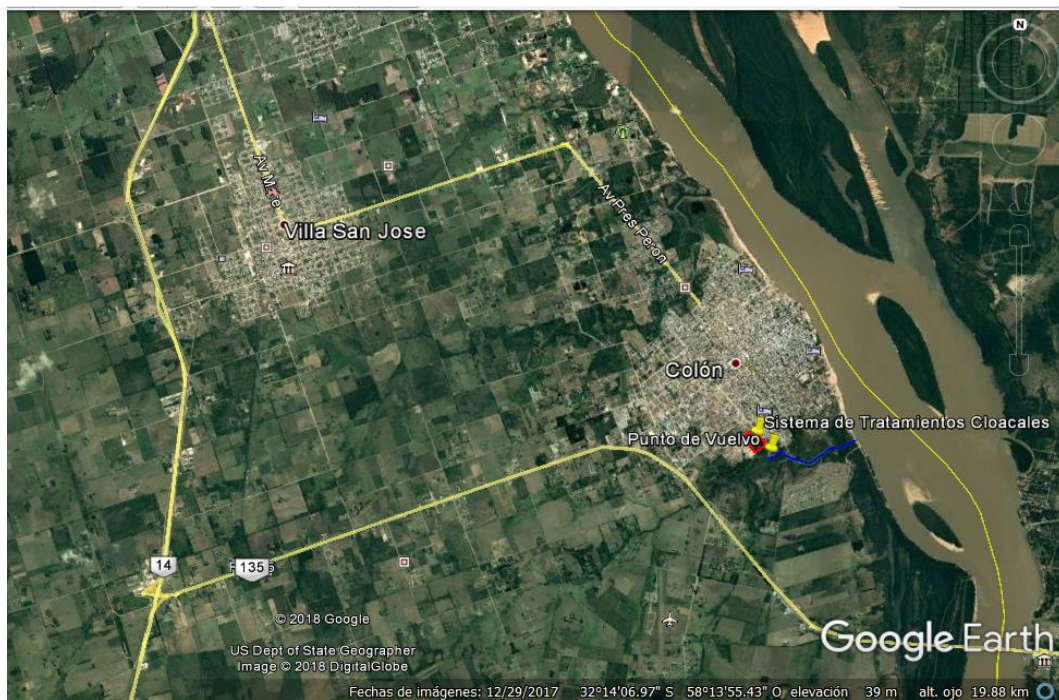
En la actualidad si el sistema estuviese funcionando correctamente con los dos trenes de lagunas anaeróbicas y facultativas podemos obtener el tiempo de residencia hidráulico para las dimensiones que fueron diseñadas, las que se detallan a continuación:

- Lagunas anaeróbicas:  $2 \times (80 \text{ m} \times 90 \text{ m}) = 14.400 \text{ m}^2$  y si estimamos una profundidad útil de trabajo de 3,5 m tenemos un volumen de  $50.400 \text{ m}^3$ .
- Lagunas facultativas:  $2 \times (80 \text{ m} \times 175 \text{ m}) = 28.000 \text{ m}^2$  y si estimamos una profundidad de trabajo de 2 m tenemos un volumen de  $56.000 \text{ m}^3$ .



Con las cuatro lagunas funcionando correctamente tendríamos un volumen de tratamiento de  $106.400 \text{ m}^3$  aproximadamente, lo que si suponemos un consumo de  $250 \text{ lt/hab. día}$  y una población estable de  $27.695$  habitantes se generara un caudal de  $6.923.750 \text{ l/día}$  o sea  $6.923 \text{ m}^3/\text{día}$ , calculando el tiempo de residencia hidráulico en el sistema de tratamiento tenemos  $Q=V/t$  por lo tanto el tiempo de residencia hidráulico va a ser volumen sobre caudal  $\text{TRH}=106.400 \text{ m}^3/6.923 \text{ m}^3/\text{día} \Rightarrow \text{TRH}=15,4$  días, si consideramos que en época estival y fines de semanas largos estos caudales llegan a duplicarse, estos tiempos de permanencia y tratamiento se reducen con lo cual el problema se agrava aún más.

Otro de los inconvenientes que se presenta es la ubicación actual del sistema ya que quedó dentro de la planta urbana, rodeada de vecinos, y a una distancia de  $1200$  metros al centro cívico, los malos olores generados producto de los gases despididos por el proceso biológico propio del sistema de tratamiento causan molestias al vecindario más cercano, y para determinadas condiciones atmosféricas llega a gran parte de la ciudad. Sumado a esto el vuelco final del sistema de tratamiento se realiza al Arroyo de la Leche, que si bien en ese tramo del curso posee un caudal importante por su cercanía con el Río Uruguay, su nivel depende del nivel del río con lo cual en épocas de estiaje se ve comprometido por los aportes provenientes de la descarga del sistema de tratamiento, observándose en determinadas combinaciones atmosféricas e hídricas la formación de algas, producto de la presencia de nutrientes.



Figural: Imagen Satelital Ciudad de Colón.

En la imagen satelital se observa la ubicación de la ciudad de Colón, las principales vías de acceso, y la ubicación del actual sistema de tratamientos de efluentes cloacales. El cual es motivo de estudio en el presente trabajo.

## 4. OBJETIVOS DEL TRABAJO

### 4.1. Objetivo General

- Mejora del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Colón Entre Ríos.

### 4.2. Objetivos específicos

- Analizar distintos tipos de tratamientos para proyecto futuro.
- Analizar la viabilidad de realizar un riego forestal con el vuelco final del nuevo sistema de tratamiento.

## 5. ANTECEDENTES

Para la mención de antecedentes se realiza una revisión de relevamiento de datos estadísticos, documentos bibliográficos, estudios técnicos y proyectos realizados relacionados con la problemática planteada en el presente trabajo.

- Según Censo INDEC del año 2010 “Cobertura Hogares con servicio de Agua Potable y Desagües Cloacales por red pública”.

	Total Hogares	Agua	Cloacas	Agua	Cloacas
<b>TOTAL PAÍS</b>					
Agua por red pública dentro de vivienda	10.958.800	9.454.549	6.383.234	77%	52%
Red Pública y Agua por red pública en terreno	1.050.954	669.190	124.391	5%	1%
Agua por red pública fuera de terreno	268.183	85.145	76	1%	0%
<b>TOTAL HOGARES</b>	<b>12.277.937</b>	<b>10.208.884</b>	<b>6.507.701</b>	<b>83%</b>	<b>53%</b>

Tabla 1: Cobertura Hogares con servicio de Agua Potable y Desagües Cloacales por red pública, en Argentina.

	Total Hogares	Agua	Cloacas	Agua	Cloacas	
<b>ENTRE RÍOS</b>	Agua por red pública dentro de vivienda	344.862	318.679	256.337	85%	68%
	Red Pública y Agua por red pública en terreno	25.404	18.396	5.586	5%	1%
	Agua por red pública fuera de terreno	4.855	1.884	0	1%	0%
	<b>TOTAL HOGARES</b>	<b>375.121</b>	<b>338.959</b>	<b>261.923</b>	<b>90%</b>	<b>70%</b>

Tabla 2: Cobertura Hogares con servicio de Agua Potable y Desagües Cloacales por red pública, en Entre Ríos.

- Según “*Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento (Segunda versión Junio 2017), generado por la Dirección Nacional de Agua potable y Saneamiento. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Secretaría de Obras Públicas. Ministerio del Interior Obras Públicas y Vivienda. Presidencia de la Nación*”.

El 15% de la población Argentina no tiene acceso al agua potable, el 40% vive sin cloacas y apenas el 20% de las aguas residuales cuenta con un tratamiento en el país. Estas cifras podrían dar la idea de un gran retraso. Sin embargo, a nivel mundial al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces y otras 2300 millones siguen sin tener instalaciones de saneamiento básicas como inodoros o letrinas que no estén compartidas con otras familias. De ellas, 892 millones todavía defecan al aire libre.

El sector de agua y saneamiento de Argentina tiene un atraso significativo en la cobertura de agua y cloaca, y requiere mejoras en la calidad y eficiencia de los servicios. Se estima que 39,8 millones de personas residen en áreas urbanas (2015), de las cuales 87% tienen acceso a agua por red pública y el 58% a cloacas. No hay estadísticas confiables respecto del nivel de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, algunas fuentes calculan que se encuentra entre el 15% al 20% de las aguas recolectadas.

- La presentación de *“El proyecto en desarrollo toma como antecedente el Plan Director de Sistemas de Desagües Cloacales, Ciudad de Colon, desarrollado oportunamente por el CFI con fecha Noviembre de 2011. Plan Director del Sistema de Sistemas de Desagües Cloacales”*, se encuentra en la página oficial del gobierno municipal.

El proyecto en desarrollo toma como antecedente el Plan Director de Sistemas de Desagües Cloacales, Ciudad de Colon, desarrollado oportunamente por el CFI con fecha Noviembre de 2011. En base al relevamiento de la totalidad de las instalaciones existentes de la ciudad, surgió la necesidad de generar un proyecto integral tendiente a la re funcionalización, ampliación y adecuación tanto de las redes colectoras cloacales existentes, como pozos de bombeo, cloaca máxima, y planta de tratamiento.

A tal efecto como primera acción se procedió a recalcular los parámetros de diseño para un crecimiento poblacional establecido a 10 años para los equipos electromecánicos (2027) y 20 años para las obras civiles (2037) desde la fecha de confección del proyecto ejecutivo.

En cuanto a la planta de tratamiento, su problemática se genera por un lado como consecuencia de que su capacidad funcional no satisface la necesidad de tratamiento actual y consecuentemente futuro de los efluentes volcados, a lo que se le suma el inconveniente de encontrarse en una zona densamente poblada con barrios consolidados, adyacente a la misma.

La necesidad de contar con terrenos de propiedad municipal y el requerimiento de una implantación alejada de los centros urbanos para minimizar su impacto ambiental, hacen que su factibilidad de ubicación se concrete en zonas aledañas al Puente Internacional, en donde se dispone a la fecha de terrenos de propiedad fiscal y escasa densidad poblacional.

- *Proyecto Forestal Remediativo con Reúso de los Efluentes Tratados para Riego de Plantaciones Productivas. Fadel S.A..*

La planta Fadel S.A. se encuentra ubicada en un área rural, futura área industrial, sobre ruta provincial N°23, km 40 entre las localidades de Pronunciamento y 1° de Mayo, la misma se dedica a la faena de aves vivas. El proyecto como lo menciona el título aprovecha el efluente generado en la planta de faena para el riego forestal.

Dicho efluente es tratado mediante procesos biológicos y acondicionado, para luego mediante bombeo ser distribuido en los distintos lotes forestados, brindando a los mismos además de agua, una importante aporte de nutrientes como el nitrógeno y fósforo.

- *Evaluación de Factibilidad en el Reúso de Aguas con Destino Industrial-Primer Avance.*

Esandi<sup>1</sup>, Juan; Sartor<sup>2</sup>, Aloma y Schmidt<sup>2</sup>, Patricia

1: Departamento de Ciencias de la Administración Universidad Nacional del Sur (UNS) 12 de Octubre y San Juan, 8° Piso – (8000) Bahía Blanca e-mail: juaniesandi@gmail.com, web: <http://www.uns.edu.ar>

2: Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA) UTN - Facultad Regional Bahía Blanca 11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca e-mail: [asartor@frbb.utn.edu.ar](mailto:asartor@frbb.utn.edu.ar), [pschmidt@frbb.utn.edu.ar](mailto:pschmidt@frbb.utn.edu.ar), web: <http://www.frbb.utn.edu.ar>

El presente trabajo forma parte del Proyecto de investigación “Gobernanza y Gestión Integrada Recursos Hídricos”, en el eje que investiga sobre la viabilidad socioeconómica en la implementación del reúso de aguas residuales urbanas con destino a la zona industrial portuaria de Bahía Blanca. El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación sobre el marco institucional, normativo y de gestión de proyectos de reutilización de aguas residuales. En particular la disponibilidad de agua en la región de Bahía Blanca está limitada a un desfase entre crecimiento de la demanda urbana e industrial que no estuvo acompañada por incorporación de nuevas fuentes significativas al sistema de abastecimiento, ni por planes de optimización en la gestión del recurso. Actualmente el complejo industrial portuario consume casi un 25% del total del agua que se consume en la ciudad. Desde hace algunos años se impulsa la recuperación y tratamiento del efluente de salida de líquidos cloacales de la Planta de Tratamiento Bahía Blanca como fuente alternativa para reemplazar este porcentaje de agua destinada al uso industrial, a fin de mejorar la oferta de agua para consumo urbano.

- Puerto Madryn, pionera en el tratamiento y reutilización de aguas

Es una de las pocas ciudades del mundo que tiene “ciclo hidrológico nulo”. El agua deja de ser volcada al mar y es totalmente reutilizada en emprendimientos productivos. La ciudad está decidida a minimizar el impacto del uso de los recursos naturales.

Desde el centro de la Patagonia, Puerto Madryn ocupa un lugar de privilegio como una de las pocas ciudades del mundo que tiene “ciclo hidrológico nulo”. Es decir -explica el secretario de Ecología y Medio Ambiente, Ricardo Arranz- que su ciclo del agua da una vuelta completa, y permite que el agua sea totalmente reutilizada en emprendimientos productivos. De este modo el agua deja de ser volcada en el mar, como ocurría hasta hace cuatro años en la región del Doradillo, y se preserva un recurso de importancia vital.

En una región como la Patagonia, al borde de la estepa y el desierto, este no es un dato menor y habla de la conciencia ambiental de una ciudad que multiplicó su población en los últimos años, pero está decidida a minimizar el impacto del uso de los recursos naturales y turísticos.

Si bien en el mundo existen experiencias similares, la única que llega con la “tercera conexión” de estas características en la Argentina es la de Puerto Madryn: es decir que en la ciudad hay ahora “una cañería de agua potable, una de cloaca y otra de reúso, que llega al sector público y pronto irá a la Universidad y clubes deportivos”.

En otras palabras: el cien por ciento de los efluentes cloacales se transforman en emprendimientos forestales, para los que no se usa agua potable.

Así, con agua de reúso, Puerto Madryn empieza a prestar un servicio ambiental al cambio climático.

El “ciclo hidrológico nulo” en cifras.- Ricardo Arranz subraya que gracias a este sistema se están ahorrando 18 millones de litros de agua potable por día, frente a los 42 millones disponibles que tiene la ciudad en temporada alta, cuando se suma la masiva presencia turística.

Legislación y reglas.- La secretaría de Ecología de Puerto Madryn, publica en Internet el reglamento de agua de reúso; es decir, qué competencias, derechos y obligaciones rigen el uso del agua en Puerto Madryn. Existe legislación tanto para el Distrito Forestal Norte (camino a Puerto Pirámides) como para el Distrito Forestal Productivo (al oeste de la ciudad). En ambos casos, explica Arranz, “la gente compra su parcela, pide su dotación de agua y en ese momento se le notifica dónde está el punto de conexión y la normativa que debe cumplir”.

- Una planta de tratamiento de efluente con impacto social en Complejo Arroyito, Córdoba

El 35% del efluente cloacal generado en la Ciudad de Arroyito es tratado en la planta de tratamiento de efluente del complejo industrial de Grupo Arcor.

Desde 1994, el Complejo Arroyito cuenta con instalaciones que aseguran el adecuado tratamiento del efluente líquido.

En el marco del sistema de gestión ambiental implementado en el Complejo, hace varios años se inició un trabajo de reducción en origen de carga y caudal de efluente líquido. Para ello, cada unidad productiva y de servicios estudia en detalle las operaciones que generan efluente, evalúa las posibilidades de disminuir el caudal total y la carga orgánica generada, y establece planes de mejora que se van ejecutando paulatinamente.

La mejora lograda generó capacidad ociosa que permitió concretar un proyecto ambicioso, de gran impacto social y ambiental: el tratamiento del efluente cloacal generado en la ciudad de Arroyito. Se firmó un convenio con las autoridades municipales por el cual Grupo Arcor se comprometió a tratar el efluente cloacal generado en un amplio sector de la ciudad. La Municipalidad y la Cooperativa de Arroyito iniciaron entonces las gestiones y obras para la instalación de la red colectora domiciliar. Finalmente, en abril de 2011 se comenzó a recibir y tratar el efluente cloacal de las primeras viviendas conectadas, que a fines de 2016 alcanzaron 3.860.

La construcción de la nueva planta industrial de Molienda Húmeda en el Complejo demandó una ampliación de la planta de tratamiento de efluente que se inició en 2014. A la fecha, la planta de tratamiento de efluente cuenta con equipamiento de última generación, que tiene capacidad para tratar el efluente del complejo industrial y el cloacal generado en la ciudad de Arroyito, cumpliendo con los parámetros de descarga establecidos en la legislación. En el proceso se genera un barro biológico que es utilizado en terrenos propios para mejorar las características del suelo y el rendimiento de los cultivos.

- El INTA está llevando a cabo un proyecto de uso de aguas residuales industriales (lavaderos de lana) en Trelew (Chubut) para riego en plantaciones de especies forestales y en Pico Truncado (Santa Cruz) un proyecto de reúso de aguas cloacales para una forestación con fines recreativos.

En Comodoro Rivadavia, los efluentes cloacales tratados se destinan para riego en la zona del Cordón Forestal.

- INTA Concordia está llevando adelante un trabajo conjunto con la empresa Masisa Argentina, regando una plantación de eucaliptus con el efluente cloacal tratado de la localidad de Colonia Ayuí.

## 6. ALTERNATIVAS

En general las soluciones existentes para la problemática planteada en el presente trabajo, son variadas, la elección de una u otra o la combinación de diferentes técnicas, va a definirse mediante un análisis técnico-económico-ambiental y social, que debe realizarse para encontrar la mejor solución al problema.

Existen varios tipos de procesos para el tratamiento de efluentes cloacales domiciliarios los biológicos aeróbicos como lagunas aireadas, lagunas de estabilización, barros activados, lechos percoladores, zanjas de oxidación, discos biológicos rotativos, y combinaciones de sistemas lagunares con un tren de lagunas anaeróbicas, facultativa y finalmente laguna aeróbica, cada uno de estos con ventajas y desventajas, las que deberán ser comparadas en una matriz de decisión.

Observando alguno de los proyectos mencionados en los antecedentes existe una tendencia marcada en cuanto al reúso del efluente tratado, desde el aprovechamiento en determinados procesos industriales, riego agrícola y riego forestal con fines económicos y ambientales muy importantes.

Se analizarán tres alternativas, para el tratamiento de los efluentes cloacales:

- Barros Activados.
- Lecho Percolador.
- Lagunas de Estabilización.

### 6.1. Barros Activados

Dentro del proceso de barros activados existen varios métodos para el tratamiento de efluentes cloacales en este caso vamos a realizar una clasificación previa comparando ventajas y desventajas de los mismos.

- **Barros Activados Convencional**

#### Ventajas

- Elevada eficiencia en la remoción de DBO
- Normalmente se puede obtener nitrificación
- Posibilidad de remoción biológica de N y P



- Bajo requerimiento de área
- Proceso confiable
- Posibilidades reducidas de malos olores, insectos y gusanos

#### **Desventajas**

- Costos de instalación y operación elevados
- Elevado consumo de energía
- Necesidad de mano de obra especializada para su operación
- Elevado índice de mecanización
- Relativamente sensible a descargas tóxicas
- Necesidad de tratamiento completo del barro y de su disposición final
- Posibles problemas ambientales con ruidos y aerosoles

#### • **Barros Activados Aireación Extendida**

##### **Ventajas**

- Similares al barro activado convencional
- Sistema con mayor eficiencia en la remoción de DBO
- Nitrificación consistente
- Operación más sencilla que el barro activado convencional
- Menos generación de barro que para el caso de barro activado convencional
- Estabilización del barro en el mismo reactor
- Elevada resistencia a las variaciones de carga y cargas tóxicas
- Satisfactoria independencia de las condiciones atmosféricas

##### **Desventajas**

- Elevados costos de instalación y operación
- Mayor consumo de energía
- Elevado índice de mecanización, aunque menor que para barro activado convencional
- Necesidad de remoción de humedad del barro y de su disposición final, aunque más simple que para barro activado convencional

#### • **Barros Activados Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)**

##### **Ventajas**

- Sistema simple y confiable

- Muy adecuado para amplias variaciones de caudal
- Se obtiene un efluente de alta calidad debido a la etapa de sedimentación
- Requiere de menor atención por parte del operador con respecto a la mayoría de los sistemas mecánicos
- Alta flexibilidad operativa que permite remover nutrientes y controlar el crecimiento de bacterias filamentosas

### Desventajas

- Pueden presentarse inconvenientes en los sistemas de decantación
- Requiere operadores expertos y una rutina de inspección y mantenimiento

### Aplicación de barros activados

- Rango de concentraciones de trabajo: 50 –2000 mg DBO<sub>5</sub> /L
- Complejidad: Requiere operador calificado
- Disposición del lodo: Requiere digestión/deshidratación (Aireación extendida sólo deshidratación)

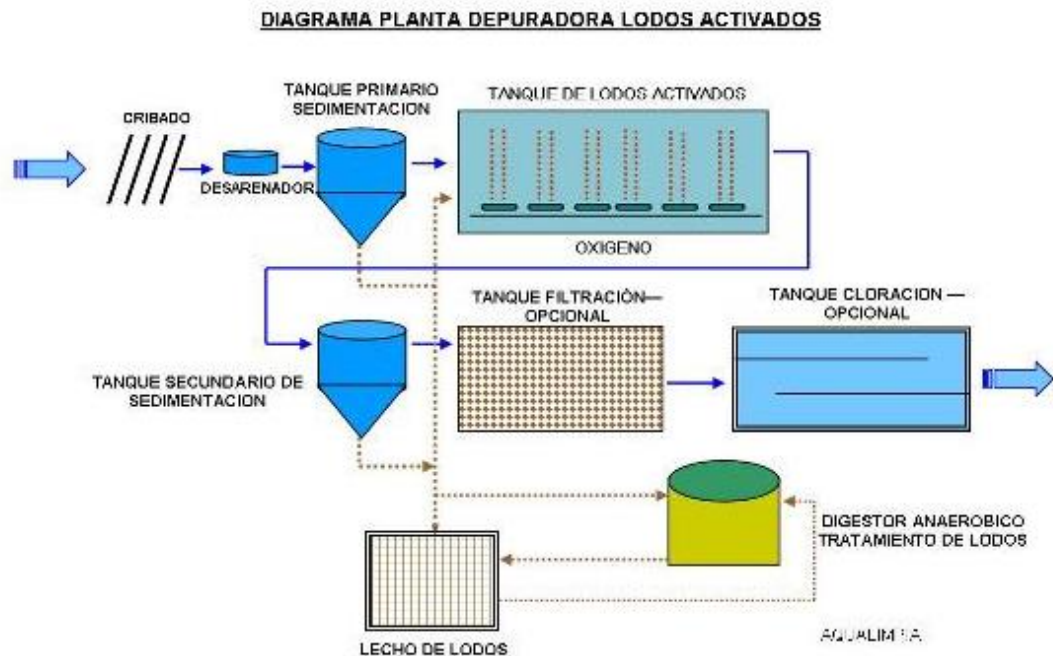


Figura 2: Diagrama Planta Depuradora de Barros Activados.

## **6.2. Lechos Percoladores**

En los lechos percoladores al igual que los barros activados, existen diferentes diseños según el tipo de relleno que lo conforma y si estos son de alta o baja carga, para ello realizaremos una clasificación según sus ventajas y desventajas.

### **Características**

#### **Estructura de contención**

- Piedra
- Relleno plástico

Ordenado

Desordenado

#### **Distribuidor**

- Rotativo
- Fijo

- **Lecho Percolador de Alta/Baja Carga**

#### **Ventajas**

- Buena eficiencia de remoción de DBO, aunque ligeramente inferior que para el caso de lechos percoladores de baja carga
- Requisitos de área bajos
- Sistema conceptualmente más simple que el barro activado
- Mejor resistencia a las variaciones de carga que los lechos percoladores de baja carga
- Posibilidad reducida de generación de malos olores

#### **Desventajas**

- Operación ligeramente más sofisticada que los lechos percoladores de baja carga
- Costo de instalación elevado
- Relativa dependencia de la temperatura ambiente
- Necesidad de tratamiento completo del barro generado y de su disposición final
- Elevada pérdida de carga

### ESQUEMA DE PLANTA DEPURADORA DE LECHOS PERCOLADORES

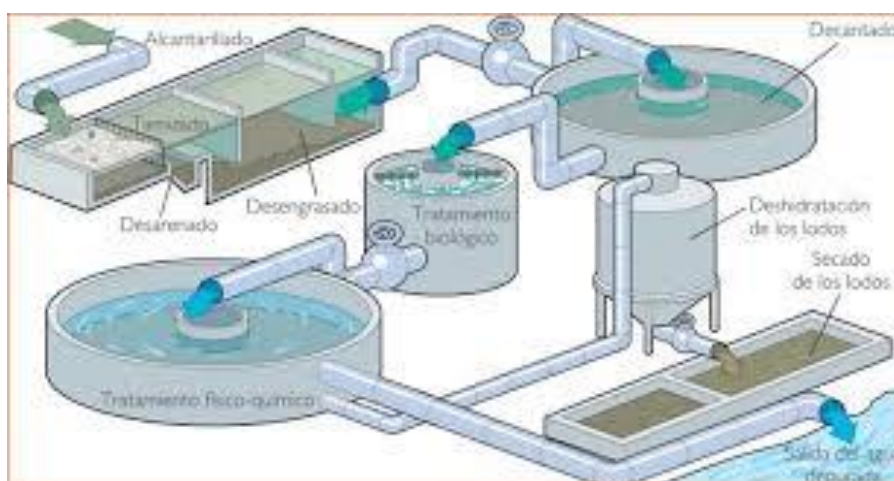


Figura 3: Esquema de Planta Depuradora de Lechos Percoladores.

**TABLA 2 - Características típicas de lechos percoladores**  
(Adaptado de Metcalf & Eddy 1991)

CARACTERÍSTICA	CARGA				Pretratamiento
	Baja	Intermedia	Alta	Muy Alta	
Tipo de relleno	Piedra	Piedra	Piedra	Plástico	Plástico
Carga hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)	1,2 - 3,5	3,5 - 10,0	10,0 - 40,0	12,0 - 70,0	50,0 - 190,0
Carga orgánica volumétrica (kg/DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> *día)	0,08 - 0,4	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0	0,5 - 1,6	1,6 - 8,0
Altura del lecho (m)	1,8 - 2,4	1,8 - 2,4	0,9 - 1,8	3,0 - 12,0	1,8 - 2,4
Relación de recirculación	0	0 - 1	1 - 2	1 - 2	1 - 4
Remoción % de DBO <sub>5</sub>	80 - 90	50 - 70	65 - 85	65 - 80	40 - 65

Tabla 3: Características Típicas de Lechos Percoladores.

### 6.3.Lagunas de Estabilización

Al igual que para los casos anteriores haremos una breve mención de ventajas y desventajas de este sistema de tratamiento.

#### Ventajas

- Buena eficiencia de remoción de DBO
- Buena eficiencia de remoción de patógenos
- Construcción, operación y mantenimiento simple

- Costos de instalación y operación reducidos
- Ausencia de equipamientos mecánicos
- Requerimientos energéticos prácticamente nulos
- Satisfactoria resistencia a las variaciones de carga
- Remoción de barro mayor a los 10 años

### Desventajas

- Se requieren grandes extensiones de terreno
- Dificultad de satisfacer niveles de vuelco demasiado restrictivos
- La simplicidad operativa puede traer aparejado el descuido del mantenimiento de las instalaciones ( ej.: crecimiento de vegetación)
- Posible necesidad de remoción de algas del efluente para el cumplimiento de niveles de vuelco rigurosos
- Comportamiento variable con las condiciones atmosféricas
- Posibilidad de crecimiento de insecto

### ESQUEMA DE PLANTA DEPURADORA CON LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

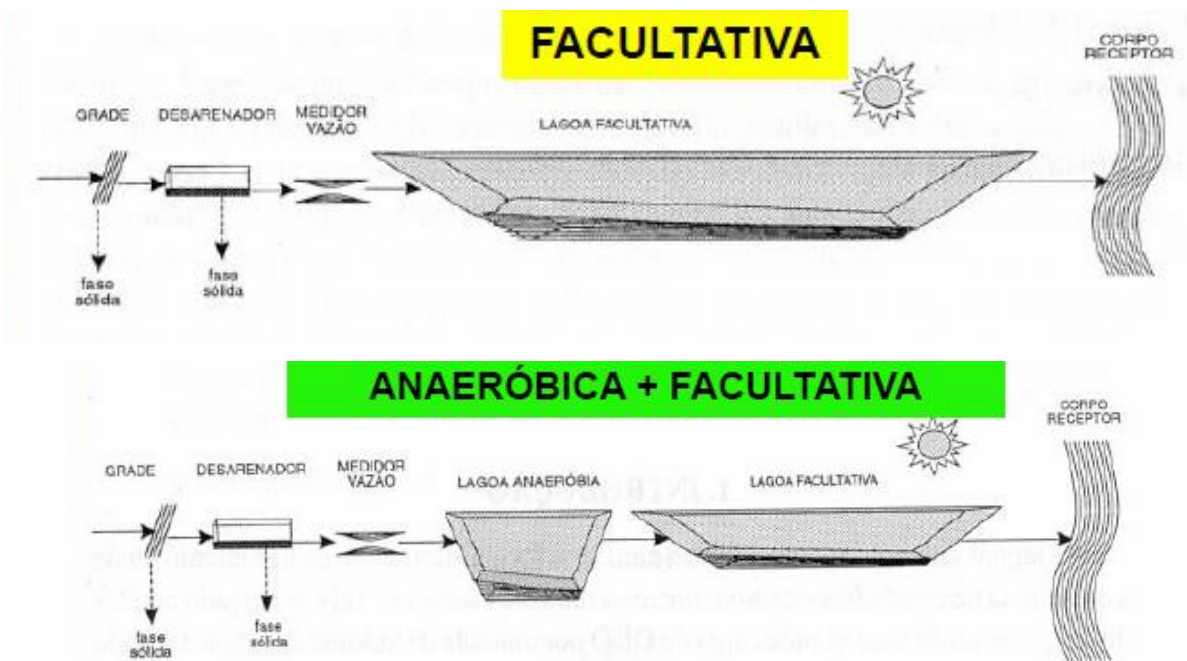


Figura 4: Esquema de Planta Depuradora con Lagunas de Estabilización.

## 7. MATRIZ DE ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Para la justificación del método elegido se realiza un análisis por medio de una matriz FODA de cada uno de las alternativas, luego para cada punto establecido en común se establece una puntuación que varía entre (-) 6 a (-) 1 para los aspectos negativos, es decir, que impliquen debilidades o amenazas, y desde (+) 1 a (+) 6 para los positivos, es decir, los que implican fortalezas y oportunidades, de esta forma la alternativa que obtenga en su suma el mayor número será la indicada.

Implican Aspectos No Deseados (Debilidades y Amenazas)	Alto	-6
		-5
	Medio	-4
		-3
		-2
	Bajo	-1
Implican beneficios deseados (Fortalezas y Oportunidades)	Bajo	1
		2
	Medio	3
		4
		5
	Alto	6

Tabla 4: Factor de Ponderación Matriz FODA.

### De origen interno

#### Fortalezas

- Disponibilidad: se refiere a la posibilidad de adquirir los bienes de uso, consumo y servicios en un tiempo prudencial a fin de comenzar a implementar la alternativa escogida.
- Efectividad: se refiere a la obtención de la solución de la problemática en el corto plazo, valorizando la solución de mayor durabilidad en el tiempo.
- Eficiencia: capacidad de remoción de carga de DBO, del sistema elegido.

### **Debilidades**

- Costo Inicial: se refiere a la inversión inicial necesaria para el desarrollo y construcción de la alternativa elegida.
- Costos Operativos: corresponde a los gastos asociados a las operaciones necesarias luego de la puesta en marcha y una vez en funcionamiento, por ejemplo consumo de energía del sistema elegido.
- Superficie necesaria: Se refiere a la superficie necesaria para ejecutar la alternativa elegida.

### **De origen externo**

#### **Oportunidades**

- Beneficio Ambiental: se refiere a la mejora ambiental del entorno afectado, impacto visual, calidad del aire ambiente, eliminación de la descarga puntual sobre Arroyo de la Leche, etc.
- Posibilidad laboral: contempla la cantidad de personal calificado y no calificado a incorporar para el funcionamiento del sistema seleccionado.
- Beneficios indirectos: se refiere a los beneficios que en el corto plazo van a comenzar a generarse, eliminación de vectores, patógenos, malos olores, etc.

#### **Amenazas**

- Riesgos asociados: se refiere a la evaluación de los riesgos reales y potenciales que pudieran generarse por la implementación y desarrollo de la alternativa escogida.
- Modificación visual: está relacionado al impacto visual que la alternativa podría tener, en el nuevo sitio donde se desarrollará el proyecto.
- Cumplimiento Normativa Ambiental: corresponde al control y cumplimiento de los parámetros fijados en la normativa ambiental tanto para el vuelco directo como para el reúso del efluente a la salida del sistema elegido.

### **Elección de Alternativa**

Como se observa en la presentación de los diferentes sistemas de tratamiento previamente seleccionados para dar solución a la problemática planteada, se describieron tres tipos de barros activados, los cuales tienen un funcionamiento similar, cada uno con sus ventajas y desventajas, para la realización de la matriz de comparación, se eligió el sistema de los Barros Activados Reactor Discontinuo Secuencial (SBR), por tener la ventaja de ser muy adecuado

para tratar amplias variaciones de caudal, que es uno de los problemas planteados. De igual manera, con los lechos percoladores tenemos de alta y de baja carga, seleccionándose en este caso el de alta carga por tener mejor capacidad de tratamiento para altas variaciones de carga. Se compararan entonces un sistema de los Barros Activados Reactor Discontinuo Secuencial (SBR), Lecho Percolador de alta carga y un sistema de Lagunas de Estabilización.

### 7.1 Matriz de Comparación FODA

	Barros Activados Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	Lecho Percolador de Alta Carga	Lagunas de Estabilización
<b>FORTALEZAS</b>			
Disponibilidad	3	3	6
Efectividad	5	5	5
Eficiencia	6	6	4
<b>OPORTUNIDADES</b>			
Beneficio Ambiental	6	6	6
Posibilidad laboral	3	3	1
Beneficios Indirectos	5	5	4
<b>DEBILIDADES</b>			
Costo Inicial	-5	-5	-2
Costo Operativo	-5	-4	-1
Superficie Necesaria	-2	-1	-5
<b>AMENAZAS</b>			
Riesgos Asociados	-2	-2	-1
Modificación Visual	-3	-3	-1
Cumplimiento Normativa Ambiental	-1	-1	-2
<b>Total acumulado</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>
<b>Mejor Alternativa</b>			<b>Lagunas de Estabilización</b>

Tabla 5: Análisis de Alternativas.



## 7.2 Análisis FODA de la Alternativa Elegida

Una vez concluida la etapa de comparación, y elección de la alternativa, por medio de la matriz FODA, se realiza un análisis de la misma con el fin de encontrar estrategias de minimización para los aspectos negativos que posee la alternativa elegida. Como se observa en la matriz los aspectos positivos fueron similares para las tres alternativas comparadas, no siendo así en los negativos pues la alternativa que fue elegida posee valores menores para las debilidades y amenazas.

	<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
<b>ALTO</b>	F1-Disponibilidad F2-Efectividad F3-Eficiencia	D1-Superficie necesaria
<b>MEDIO</b>		
<b>BAJO</b>		D2-Costo Inicial D3-Costo Operativo
	<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<b>ALTO</b>	O1-Beneficio Ambiental	
<b>MEDIO</b>	O2-Beneficio Indirecto	
<b>BAJO</b>	O3-Posibilidad Laboral	A1-Riesgos asociados A2-Modificación Visual A3-Cumplimiento Normativa Ambiental

Tabla 6: Análisis FODA de la Alternativa Seleccionada.

Las estrategias de minimización de los aspectos negativos de la alternativa elegida son:

- E1-para D1: Una de las principales desventajas que posee este sistema de lagunas con respecto a los otros comparados, es la necesidad de una gran extensión de terreno, como el proyecto busca la reutilización del efluente tratado para riego, y el área de implantación del mismo existe, por lo tanto se debería realizar una restricción en cuanto al desarrollo urbano hacia la zona donde funcionará el nuevo sistema de tratamiento, generando un espacio de amortiguación y pulmón verde, con lo cual la superficie de lagunas queda inmersa en dicha forestación perdiendo peso su alto requerimiento de área disponible ya que funciona todo como un conjunto.
- E2-para D2: En este tipo de obras el principal costo pasa por el movimiento de suelo y la impermeabilización de las lagunas, una posibilidad sería la ejecución de las mismas con maquinaria municipal, y verificar la impermeabilización del suelo con compactación si esto fuera viable, con lo cual se reduciría el costo significativamente.

- E3-para D3: El costo operativo en estos sistemas es prácticamente nulo, generalmente mantenimiento perimetral en taludes para evitar erosión, y el exceso de vegetación, el que se puede minimizar revistiendo bordes de taludes donde fluctúa el nivel del efluente con geo textil, o concreto y con esto reducir las zona de corte por parte del personal que realiza las tareas de mantenimiento.
- E4-para A1: En este punto los riesgos generados son los inherentes al desarrollo de obra, los mismos deben tener para su ejecución la aprobación de un plan de gestión ambiental aprobada que lo regula la normativa ambiental vigente.
- E5-para A2: El impacto visual generado por la presencia del sistema de lagunas tendrá una minimización a mediano plazo ya que dependerá de la velocidad de crecimiento de las cortinas forestales implantadas en su perímetro y en todo su entorno, pues se prevé el reúso del efluente tratado para el riego forestal.
- E6-para A3: El cumplimiento de la normativa ambiental ya sea en cuanto al impacto como así también a los valores de los parámetros de vuelco exigido se minimizan o mitigan con la propuesta del reúso para riego forestal, ya que los mismos son más permisivos que para vuelco directo a curso superficial, Resolución N°554/15.

## **8. DESARROLLO**

### **8.1. Lagunas de Estabilización**

#### **Introducción**

Aunque en la literatura abundan informes sobre investigaciones para determinar el comportamiento de lagunas de estabilización, éstos se concentran en la determinación de eficiencias en la remoción de DBO, patógenos y otros parámetros, en función de la carga orgánica aplicada y de los tiempos de retención disponibles. Alguna referencia se suele hacer a la profundidad de las lagunas y a las temperaturas observadas durante el período de estudio.

Sin embargo, en la mayoría de los estudios se ignoran aspectos sumamente importantes como:

- Forma de las lagunas
- Diseño y ubicación de las estructuras de entrada y salida
- Facultativas primarias versus facultativas secundarias o terciarias
- Dispositivos para medición de flujos
- Dispositivos para distribución de flujos

- Remoción de flotantes
- Diseño y mantenimiento de los diques
- Problemas con pérdidas excesivas de agua
- Problemas con vectores y olores
- Acumulación, manejo y remoción de lodos

Llama la atención que los investigadores de lagunas de estabilización con mucha frecuencia concentren sus actividades en aspectos de química, biología y bioquímica, olvidándose de aspectos hidráulicos e hidrológicos igualmente importantes que, sumados a los climáticos, juegan un papel trascendental en la cinética de las reacciones que se llevan a cabo y por consiguiente en el funcionamiento de estos reactores.

Los sistemas de lagunas tienen como función tratar los efluentes mediante el pasaje de los mismos por diferentes estanques donde el agua residual es retenida por largos períodos permitiendo que diversos microorganismos lleven a cabo la degradación de la materia orgánica.

El proceso de tratamiento de efluentes cloacales posee cinco etapas:

- Tratamiento preliminar: remoción y la desintegración de los sólidos de mayor tamaño.
- Tratamiento primario o sedimentación: remoción de sólidos sedimentables.
- Tratamiento secundario o biológico: oxidación de la carga orgánica disuelta y coloidal por microorganismos.
- Tratamiento terciario: remoción BOD<sub>5</sub>, bacterias, sólidos en suspensión, componentes tóxicos y nutrientes.
- Tratamiento de barros: estabilización y disposición del barro generado.

### **8.1.1. Datos Climáticos**

El clima es templado y cálido con precipitaciones durante todo el año, hasta el mes más seco tiene mucha lluvia, la precipitación promedio es de 1174 mm al año. Este clima es considerado Cfa según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura promedio es de 18.4 ° C, con 25.5 ° C en enero que es el mes más cálido, y julio que es el mes más frío del año con una temperatura media de 12.0 °C.

## CLIMOGRAMA DE COLÓN

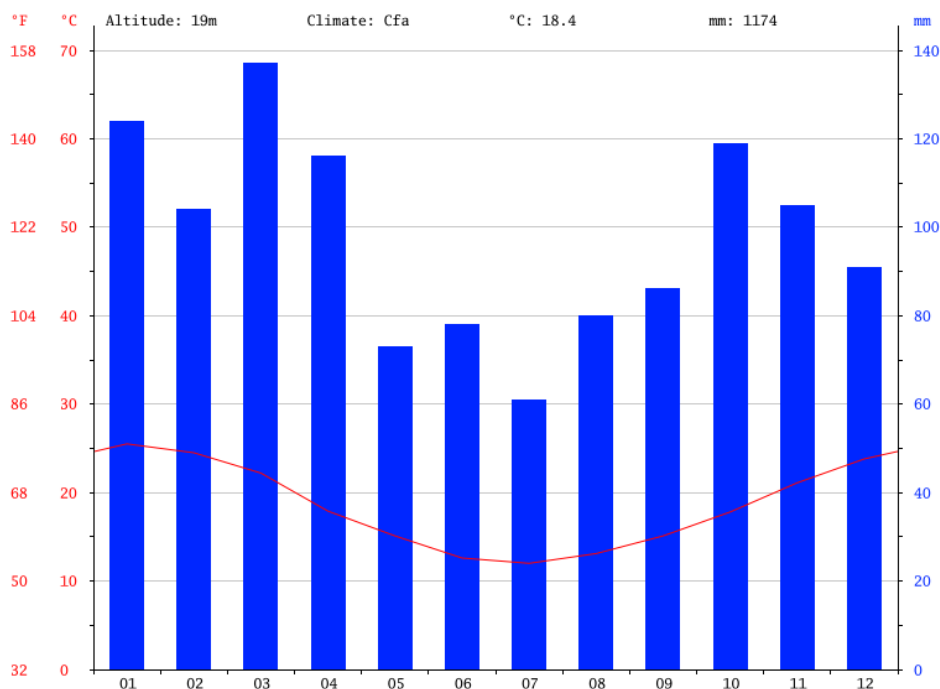


Gráfico 1: Climatograma de Colón.

## TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO EN COLÓN

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	25.5	24.5	22.2	17.9	15.1	12.6	12	13.1	15.1	17.8	21.1	23.8
Temperatura mín. (°C)	18.5	17.9	15.9	11.8	9.4	7.6	6.6	7.3	9.3	11.7	14.2	16.7
Temperatura máx. (°C)	32.5	31.2	28.5	24	20.8	17.6	17.4	19	20.9	23.9	28	30.9
Temperatura media (°F)	77.9	76.1	72.0	64.2	59.2	54.7	53.6	55.6	59.2	64.0	70.0	74.8
Temperatura mín. (°F)	65.3	64.2	60.6	53.2	48.9	45.7	43.9	45.1	48.7	53.1	57.6	62.1
Temperatura máx. (°F)	90.5	88.2	83.3	75.2	69.4	63.7	63.3	66.2	69.6	75.0	82.4	87.6
Precipitación (mm)	124	104	137	116	73	78	61	80	86	119	105	91

Tabla 7: Datos Históricos del Tiempo en Colón.

### **8.1.2. Estimación de la Población Actual y Futura.**

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina el último dato conocido es de unos 26.000 habitantes para el año 2015. Si la tasa de crecimiento de la población sería igual que en el periodo 2011-2015 (+2.13%/Año), la población en 2018 sería: 27 695 habitantes.

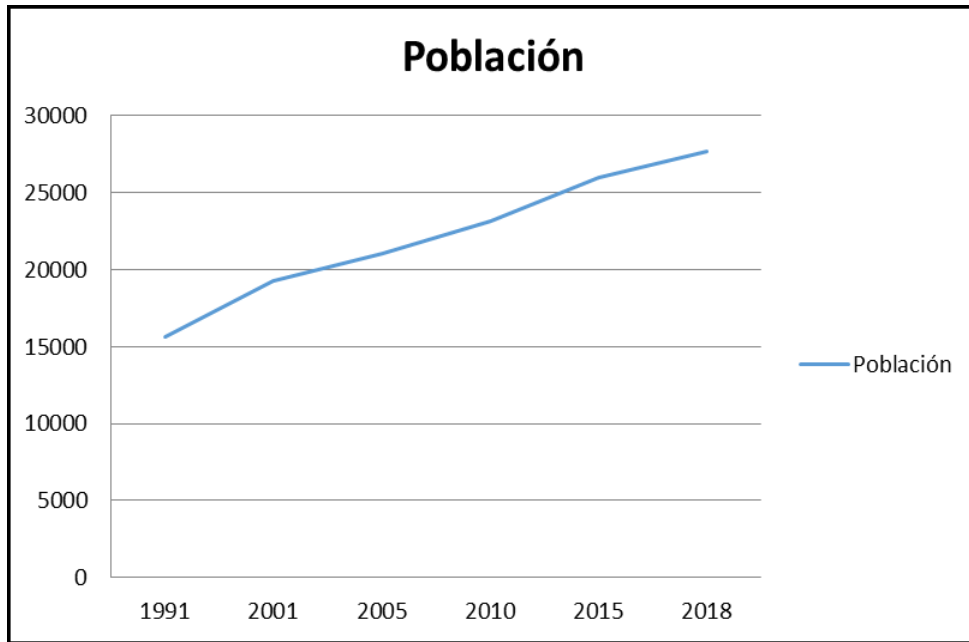


Gráfico 2: Crecimiento demográfico Colón desde 1991 a 2018.

El promedio de las tasas de crecimiento demográfico de los últimos 25 años es 2,38 %, si realizamos un cálculo estimativo a 15 y 25 años utilizando una proyección aritmética tenemos:

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

Donde “P” es el número de habitantes para el año considerado y “t” es el período de tiempo entre censos.

La constante de crecimiento aritmético  $K_a$  se determina para 2 intervalos reales de tiempo: Para el período 1991 a 2001 es  $K_{a1}$  y para el período 2001 a 2010 es  $K_{a2}$

$P_1$	15.620	$t_1$	1991	$K_{a1}$	367
$P_2$	19.290	$t_2$	2001		hab./año
$P_1$	19.290	$t_1$	2001	$K_{a2}$	386
$P_2$	23.150	$t_2$	2010		hab./año

Tabla 8: Proyección Aritmética del crecimiento demográfico anual de Colón.

Si consideramos el promedio de estos valores para la proyección aritmética tenemos un  $K_a=376$  hab. /año

Cálculo de población para 2033 y 2043 por proyección aritmética:

$$P_{2033} = P_{2018} + K_a (2033 - 2018)$$

$$P_{2033} = 27.695 \text{ hab.} + 376 \text{ hab. /año } 15 \text{ años} \Rightarrow P_{2033} = 33.335 \text{ hab.}$$

$$P_{2043} = P_{2018} + K_a (2043 - 2018)$$

$$P_{2043} = 27.695 \text{ hab.} + 376 \text{ hab. /año } 25 \text{ años} \Rightarrow P_{2043} = 37.039 \text{ hab.}$$

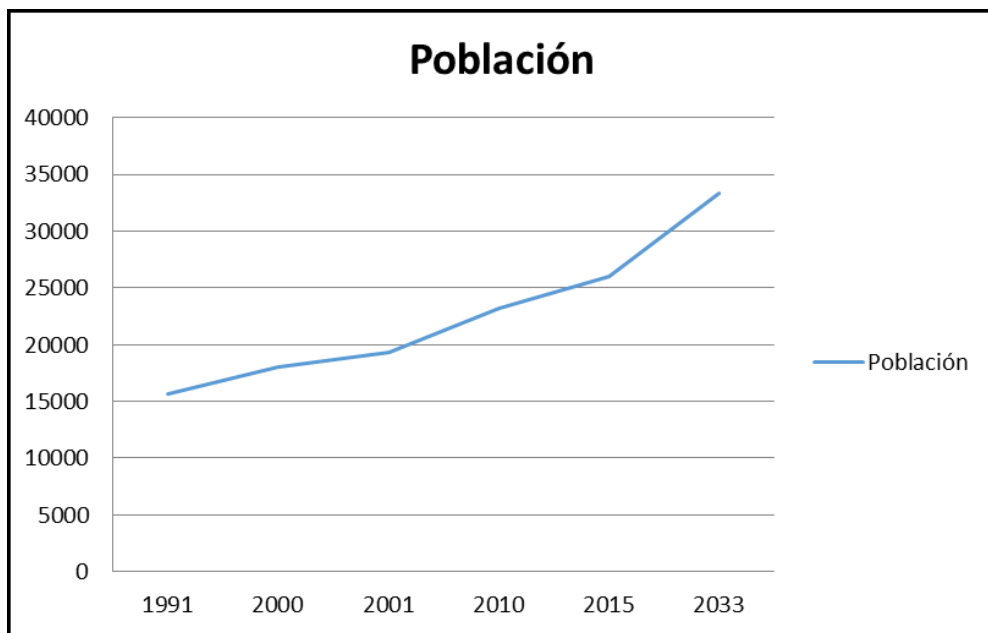


Gráfico 3: Crecimiento demográfico Colón desde 1991 a 2043.

### 8.1.3. Diseño Sistema Australiano de Lagunas de Estabilización

#### 8.1.4. Pre tratamiento

##### Cámara de rejas

GRUESAS Separación entre barras: 5 a 10 cm Limpieza manual Inclinación: 45 -60°

Medianas Separación entre barras: 1,5 a 5 cm

Finas Separación entre barras: <1,5 a cm Limpieza mecánica Inclinación: 60°-90°

##### Desarenador

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la

abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm.

En este caso particular como la red de colección cloacal es por gravedad hasta los puntos más bajos terminando en estaciones de bombeo donde se produce la decantación de las partículas más gruesas, llegando al sistema de tratamientos partículas en suspensión más finas, se debería realizar un análisis específico del sistema de colección e impulsión para conocer las características del efluente de la última estación de bombeo para poder diseñar y calcular el desarenador correctamente en función al tamaño de partícula que necesitamos retener.

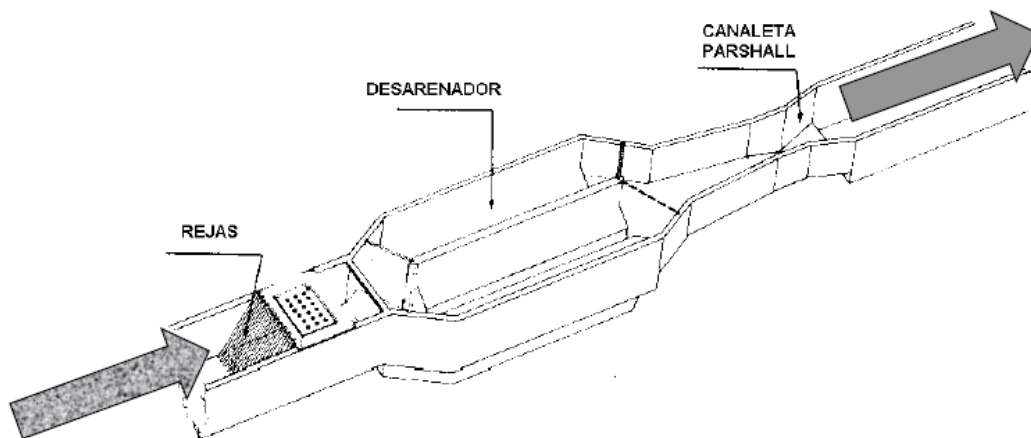


Figura 5: Esquema de Cámara de Rejas, Desarenador y Canaleta Parshall.

### 8.1.5. Cálculo y dimensionamiento de Lagunas

Para la realización del cálculo y dimensionado del sistema de lagunas se necesita conocer el caudal generado por día y la carga orgánica, el cual está en función de la cantidad de habitantes. Para ello se adopta un valor de consumo de agua de 250 litros por persona/día.

Caudal diario:

Para el año 2018= 27.695 hab. X 250 l/hab. = 6.923.750 l/día = 6.923 m<sup>3</sup>/día

Para el año 2033= 33.335 hab. X 250 l/hab. = 8.333.750 l/día = 8.333 m<sup>3</sup>/día

Para el año 2043= 37.039 hab. X 250 l/hab. = 9.259.750 l/día = 9.259 m<sup>3</sup>/día

### 8.1.6. Parámetros de diseño

Población actual	P <sub>0</sub> = 27.695 hab.
Población futura	P <sub>25</sub> = 37.039 hab.
Aporte medio de líquido a colectoras	D= 250 l/hab. día
Concentración de DBO <sub>5</sub> total del líquido a tratar	S <sub>a</sub> = 240 mg/l
Temperatura media del aire del mes más frío	T <sub>af</sub> =12 ° C
Temperatura media del líquido afluente del mes más frío	T <sub>0</sub> = 17 ° C
Número de módulos de lagunas en serie	N <sub>m</sub> = 2
Coeficiente máximo diario	α <sub>1</sub> =1,4
Coeficiente máximo horario	α <sub>2</sub> =1,7
Coeficiente mínimo diario	β <sub>1</sub> =0,7
Caudal medio diario inicial	Q <sub>0</sub> = 6.923 m <sup>3</sup> /día=80,14 l/s
Caudal medio diario a 25 años	Q <sub>C25</sub> = 9.259 m <sup>3</sup> /día= 107,17 l/s
Caudal máximo diario	Q <sub>D25</sub> =α <sub>1</sub> .Q <sub>C25</sub> =12.962,6 m <sup>3</sup> /día=150,04 l/s
Caudal máximo horario	Q <sub>E25</sub> =α <sub>2</sub> .Q <sub>C25</sub> = 15.740,3 m <sup>3</sup> /día=182,19 l/s
Caudal mínimo diario inicial	Q <sub>B0</sub> =β <sub>1</sub> .Q <sub>0</sub> = 4.846,1m <sup>3</sup> /día= 56,10 l/s
Caudal de auto limpieza inicial	Q <sub>L0</sub> = α <sub>2</sub> .Q <sub>B0</sub> = 8238,4 m <sup>3</sup> /día= 95,4 l/s
Carga orgánica a tratar en el sistema	LA = S <sub>a</sub> .Q <sub>C25</sub> = 2.222 KG DBO/día
Carga orgánica en cada módulo	La = LA / N <sub>m</sub> = 1.111 KG DBO/día

### 8.1.7. Diseño de Lagunas Anaeróbicas

Eficiencia del 30 % al 40 % en reducción de la DBO

Criterios de diseño a emplear:

- Carga orgánica volumétrica.
- Carga orgánica superficial.
- Tiempo de retención.

Carga orgánica volumétrica	C <sub>v</sub> = 0,040 a 0,080 KG DBO/día m <sup>3</sup>
Carga orgánica superficial	C <sub>s</sub> = 1.000 a 2.000 KG DBO/día Ha
Tiempo de retención para temperatura "T" del líquido entre 10° y 15° C	t=V/Q = 4 a 6 días
Se adopta un tiempo de retención para T=15°C	t= 4 días
Caudal de diseño de cada módulo	Q <sub>d</sub> = Q <sub>C25</sub> /N <sub>m</sub> =4.629,5 m <sup>3</sup> /d = 53,59 l/s
Volumen del líquido de cada laguna	V= t.Q <sub>d</sub> = 18.518 m <sup>3</sup>
Profundidad del líquido adoptada	H= 3,5 m
Área líquida media	A = V / H = 5.291 m <sup>2</sup> = 0,53 Ha
Determinación de la carga volumétrica	C <sub>v</sub> = La / V = 0,06 KG DBO/día m <sup>3</sup> Valor que verifica
Determinación de la carga superficial	C <sub>s</sub> = La / A = 1800 KG DBO/día Ha Valor que verifica
Eficiencia esperada en la remoción de la DBO	E <sub>f</sub> = 35 %
Concentración DBO <sub>5</sub> del efluente de anaeróbicas	S =(1 - E <sub>f</sub> ).S <sub>a</sub> = 156 mg DBO <sub>5</sub> /l

### 8.1.8. Temperatura de Laguna Anaeróbica

$$T = T_w = \frac{T_0 + \left( f \frac{t}{H} \right) T_{ai}}{1 + \left( f \frac{t}{H} \right)}$$



Temperatura media del aire en el mes más frío del año	T <sub>ai</sub> =12°C
Temperatura media del líquido afluente en el mes más frío del año	T <sub>o</sub> =17°C
Tiempo de retención hidráulica	t=4 días
Profundidad del líquido adoptada para laguna	H=3,5 m
Caudal medio diario anual a 25 años	Q=Q <sub>c25</sub> = 9.259 m <sup>3</sup> /día= 107,17 l/s
Coefficiente global de transferencia de calor del aire al agua	U=20 Kcal/h m <sup>2</sup> °C
Densidad del agua	D=1000 Kg/m <sup>3</sup>
Calor específico del agua	Ce= 1 Kcal/ Kg °C
Coefficiente "f"	f=U/(D.Ce)=0,02 m/h=0,48 m/día
Temperatura media de laguna en el mes más frío del año	T=15 °C

### 8.1.9. Eficiencia Bacteriológica

$$N/N_0 = \frac{4 a e^{1/(2di)}}{(1+a)^2 e^{a/(2di)} - (1-a)^2 e^{-a/(2di)}}$$

N: Concentración de coliformes fecales del efluente en NMP/100 ml

N<sub>0</sub>: Concentración de coliformes fecales del afluente en NMP/100 ml

a: Coeficiente de cálculo del modelo

NMP: Método de medición número más probable

### 8.1.10. Parámetros de diseños usuales

Factor o número de dispersión o difusión hidráulica para lagunas de superficie rectangular con relación (largo-ancho) = r =2	d <sub>i</sub> =0,5
Constante de mortalidad bacteriana para T °C. Valor intermedio entre 0.841/día (CEPIS) y 1.49/día (Ecuador)	K <sub>b20</sub> = 1 1/día
Coefficiente dependiente de la temperatura	Θ=1,07
Constante de mortalidad bacteriana para T=T <sub>w</sub> =15 °C (temperatura del mes más frío)	K <sub>bT</sub> =K <sub>b20</sub> . Θ <sup>(T-20)</sup> K <sub>bT</sub> = 0,713
Coefficiente de cálculo del modelo	a=(1+4 K <sub>bT</sub> t d <sub>i</sub> ) <sup>1/2</sup> a=2,59
Concentración de coliformes fecales del afluente en NMP/100 ml, estimado	N <sub>0</sub> =3,6 x 10 <sup>7</sup> NMP/100ml
Eficiencia Bacteriológica	N/N <sub>0</sub> =0,164
Concentración de coliformes fecales del efluente en NMP/100 ml, calculado	N= 5,9 x 10 <sup>6</sup> NMP/ 100 ml
Verificación de la eficiencia bacteriológica, según Marais, teórico	N= 4 x 10 <sup>7</sup> NMP/ 100 ml

### 8.1.11. Dimensiones

Área líquida a la profundidad H/2= 1,50 m	A= 5.291 m <sup>2</sup>
Tirante líquido de laguna	H=3,5 m
Pendiente del talud de los diques perimetrales	i= 2
Revancha entre el coronamiento y la superficie libre	H <sub>0</sub> = 0,80 m
Relación entre largo "L" y ancho "B" de laguna	r= L/B=2
Ancho medio	B = (A /2) <sup>1/2</sup> = 51,4 m
Longitud media	L=2 B =102,8 m

### 8.1.12. Acumulación de lodo sedimentado

Tasa de acumulación de lodo	$V_L = 0,04 \text{ m}^3/\text{año hab.}$
Volumen de la laguna colmatada para ser retirado (50 % del volumen líquido)	$V_c = V/2 = 9.259 \text{ m}^3$
Población de diseño de cada laguna	$P = P_{25}/Nm = 18.520 \text{ hab.}$
Frecuencia de remoción del lodo depositado	$t_L = V_c / (P \cdot V_L) = 12,5 \text{ años}$

### 8.1.13. Diseño de Lagunas Facultativas Dimensionamiento

Caudal de diseño de cada laguna	$Q_d = Q_{C25}/Nm = 4.629,5 \text{ m}^3/\text{d}$
Permanencia hidráulica teórica, (valor adoptado)	$t = V/Q_d = 15 \text{ días}$
Volumen de la laguna	$V = Q_d \cdot t = 69.443 \text{ m}^3$
<b>Se adoptan las siguientes dimensiones de las lagunas</b>	
Pendiente del talud de los diques perimetrales	$i = 2 \text{ m/m } 1:2$
Tirante líquido de laguna	$H = 2 \text{ m}$
Área líquida media	$A = V / H = 34.722 \text{ m}^2 = 3,47 \text{ Ha}$
Relación entre largo "L" y ancho "B" de laguna	$r = L/B = 4$
Ancho de la superficie líquida de laguna	$B_s = 100 \text{ m}$
Longitud de la superficie líquida de laguna	$L_s = 4 B_s = 400 \text{ m}$

### 8.1.14. Eficiencia de Reducción orgánica (DBO5) Modelo de Flujo Disperso (THIRUMRTHY)

Concentración DBO soluble a la salida	$S = S_a \cdot \text{Scf} \cdot 4 \cdot a \cdot e^{-(1-a)/2dt} / (1+a)^2$
Resistencia hidráulica real considerando que es 2/3 la teórica, $t = 15$ días	$R = 2/3 t = 10 \text{ días}$
Constante de degradación orgánica sugerida por Mara (Brasil), para $T = 15^\circ\text{C}$ , $K_{20} = 0,3$ y $\Theta = 1,05$ .	$K_T = K_{20} \cdot \Theta^{(T-20)}$ $K_T = 0,235/\text{días}$
Coefficiente de dispersión propuesto por Yáñez (CEPIS), para $X = L/B$ , relación largo/ancho $r = 4$	$d_i = X / (-0.26118 + 0.25392 X + 1.01368 X^2)$ $d_i = 0,236$
Coefficiente del modelo	$a = (1 + 4 \cdot K_T \cdot R \cdot d_i)^{1/2} \quad a = 1,79$
Concentración DBO <sub>5</sub> del afluente de anaeróbicas	$S_a = 156 \text{ mg DBO}_5/\text{l}$
Factor de las características de sedimentación	$\text{Scf} = 1 \text{ mg/l}$ (para decantación previa)
Concentración DBO soluble a la salida	<b><math>S = 27 \text{ mg/l}</math></b>
Eficiencia en reducción orgánica de laguna facultativa	$E_f = ((S_a - S)/S_a) \cdot 100 \quad E_f = 80,7\%$
Eficiencia en reducción orgánica del sistema completo	$E_f = ((S_a - S)/S_a) \cdot 100 \quad E_f = 88,8\%$

### 8.1.15. Modelo del CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria)

Resistencia hidráulica real considerando que es 2/3 la teórica, $t = 15$ días	$R = 2/3 t = 10 \text{ días}$
Constante de degradación de la DBO para $20^\circ\text{C}$ , donde $A = -5,277$ y $B = 2,318$ , constantes en lagunas primarias	$K_{20} = R / (A + B + R)$ $K_{20} = 1,42/\text{días}$
Constante de degradación orgánica, para $T = 15^\circ\text{C}$ , $K_{20} = 1,42$ y $\Theta = 1,05$	$K_T = K_{20} \cdot \Theta^{(T-20)} \quad K_T = 1,11/\text{días}$
Relación entre la carga orgánica superficial reducida ( $C_{sr}$ ) y afluente ( $C_{sa}$ )	$C_{sr}/C_{sa} = K_T \cdot R / (1 + K_T \cdot R) = 0,92$
Eficiencia en reducción orgánica de laguna facultativa	$E_f = 100 \cdot C_{sr}/C_{sa} = 92\%$
Concentración de DBO <sub>5</sub> soluble efluente de la laguna facultativa	$S = (1 - E_f) \cdot S_a = 12,5 \text{ mg/l}$
Eficiencia en reducción orgánica del sistema completo	$E_f = ((S_a - S)/S_a) \cdot 100 \quad E_f = 94,8\%$

### 8.1.16. Modelo de Equilibrio Continuo basado en cinemática de primer orden

Constante de degradación de la DBO para 20 °C	$K_{20}=1,2/\text{días}$
Coefficiente dependiente de la temperatura	$q=1,085$
Temperatura media del líquido en el mes más frío del año	$T=15\text{ °C}$
Constante de degradación de la DBO para 15 °C	$K_T=K_{20}\cdot q^{(T-20)}$ $K_T=0,80/\text{días}$
Retención hidráulica teórica	$t=15\text{ días}$
Concentración de DBO5 soluble efluente según Marais y Shaw	$S=Sa/(1+K_T\cdot t)=12\text{ mg/l}$
Eficiencia en reducción orgánica de laguna facultativa	$Ef=((Sa-S)/Sa)\cdot 100$ <b><math>Ef=92,3\%</math></b>
Eficiencia en reducción orgánica del sistema completo	$Ef=((Sa-S)/Sa)\cdot 100$ <b><math>Ef=95\%</math></b>

### 8.1.17. Tabla comparativa evaluación de los distintos modelos aplicados

MODELO	EFICIENCIA %		Carga salida (mg/l DBO)	Lagunas facultativas	
	Facultativa	Sistema		Volumen (m3)	Área (m2)
Flujo Disperso (THIRUMURTHY)	80,7	88,8	<b>27,0</b>	80.000	40.000
CEPIS	94,8	94,8	<b>12,5</b>	80.000	40.000
Cinemática de primer orden	92,3	95	<b>12,0</b>	80.000	40.000

Tabla 9: Tabla comparativa evaluación de los distintos modelos aplicados.

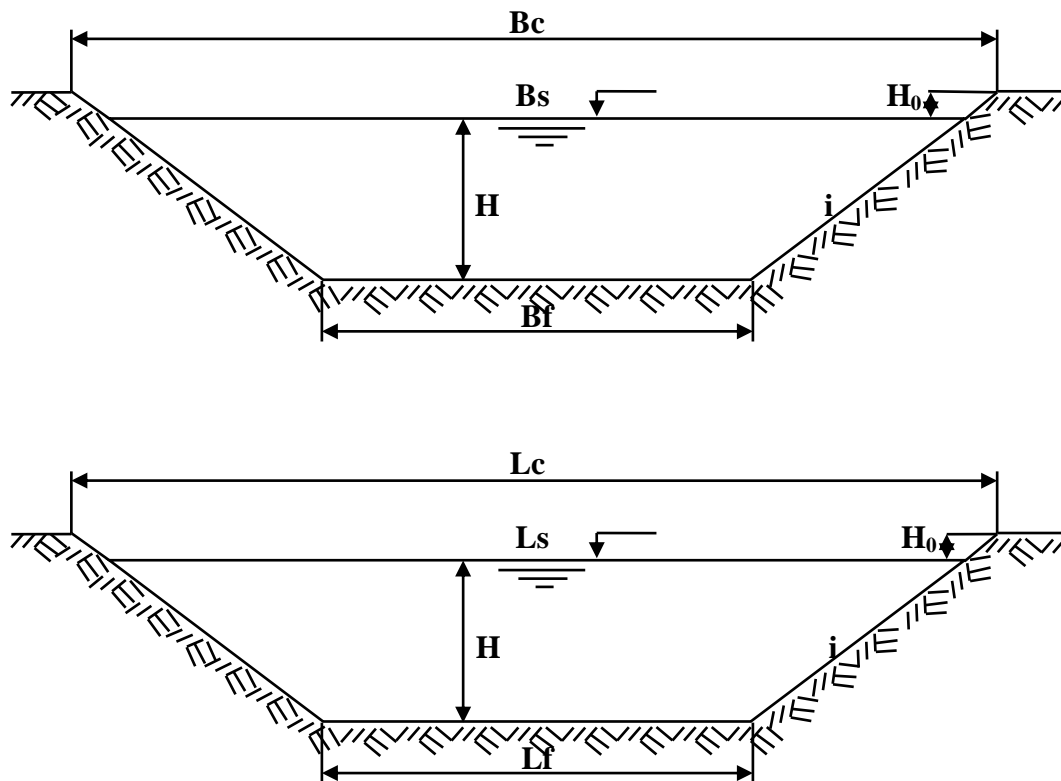


Figura 6: Croquis cortes transversales de Lagunas de Estabilización.

### 8.1.18. Resumen de dimensiones lagunas de Estabilización

	Cantidad	Ancho (m)			Largo (m)			Profundidad H(m)	Revancha H <sub>0</sub> (m)	Pendiente Taludes i(m/m)
		B <sub>f</sub>	B <sub>s</sub>	B <sub>c</sub>	L <sub>f</sub>	L <sub>s</sub>	L <sub>c</sub>			
Laguna Anaeróbica	2	36	50	53,2	86	100	103,2	3,50	0,80	2
Laguna Facultativa	2	86	100	103,2	386	400	403,2	2,00	0,80	2

Tabla 10: Resumen de dimensiones Lagunas de Estabilización.

### 8.1.19. Ubicación del nuevo sistema

El análisis se llevará a cabo sobre la zona sur de la ciudad, como se observa en la imagen satelital.

Para la construcción del nuevo sistema de lagunas se necesitarán unas 15 hectáreas más un área complementaria que se calculará en el estudio del segundo objetivo específico que es analizar la viabilidad de realizar un riego forestal con el vuelco final del nuevo sistema de tratamiento.

Ubicación posible para el desarrollo integral del tratamiento de efluentes y aprovechamiento del vuelco final para riego forestal.



Figura 7: Imagen Satelital Posible sitio desarrollo de Proyecto.

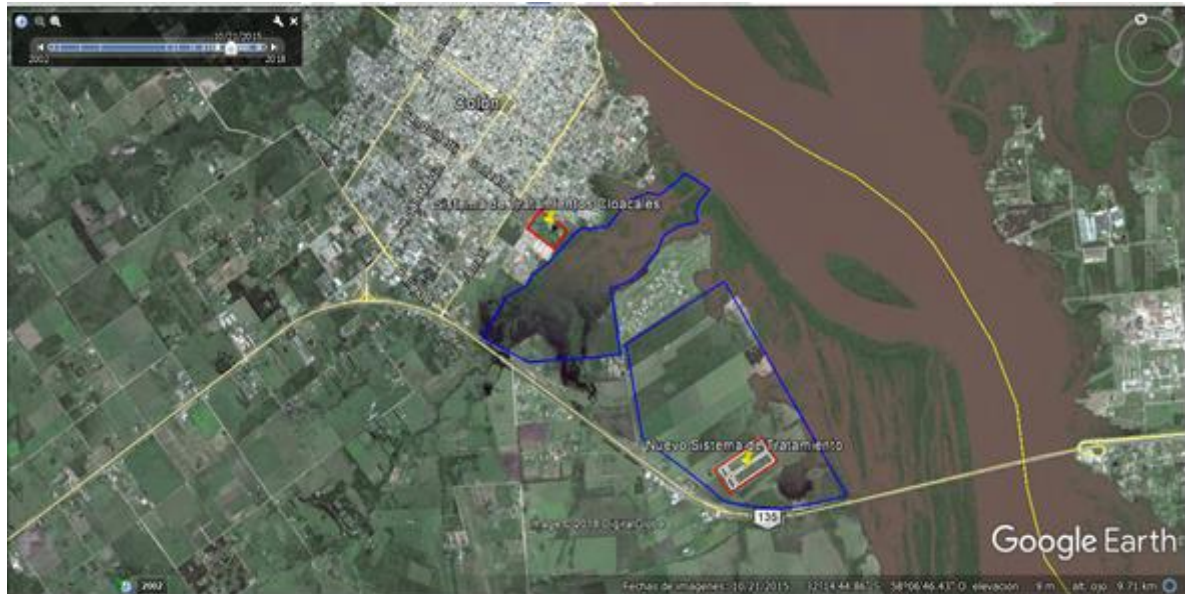


Figura 8: Imagen Satelital Predio desarrollo de Proyecto, para la crecida del año 2015, una de las más grandes en los últimos 50 años.

## 8.2. Riego Forestal con Efluente Tratado.

Como se planteó en el segundo objetivo específico el proyecto integral para la solución del tratamiento de los efluentes cloacales debería contemplar el manejo del vuelco final dando un aprovechamiento al mismo y reduciendo impactos sobre el ambiente.

Hay un consenso generalizado con el riego de árboles y forestaciones con efluente tratados, es más aceptado por las comunidades el uso de estos efluentes para riego forestal que para el riego agrícola y de hecho plantea menos problemas. Si bien siempre se afirma que planificando correctamente, el riesgo de contaminación es nulo, el cultivo forestal ofrece ventajas de eficiencia con respecto al agrícola, dado que tiene mayor capacidad de captación y fijación de los elementos pesados contaminantes y es capaz de receptor los barros cloacales, residuo siempre presente en cualquier tratamiento a que se somete un efluente. Existe suficiente experiencia y resultados que avalan los proyectos de uso de los efluentes con sistemas forestales, en diferentes climas donde naturalmente es posible el cultivo forestal.

Actualmente como se mencionó en los antecedentes el reúso de los efluentes tratados se está dando en pueblos y ciudades, en fábricas de la industria alimentaria, en minería, en frigoríficos y criaderos de cerdos, de pollos, vacunos, en la industria láctea; siendo el destino de los mismos en la mayoría de los casos el riego de plantaciones forestales que por lejos son los más productivos y amables con el medio ambiente.

Los contaminantes pesados u otros de alta movilidad y de fácil percolación son captados más eficientemente por los árboles que por otros cultivos, porque poseen sistemas radiculares de grandes dimensiones, que ingresan profundamente en el suelo y son de instalación permanente, constituyendo así verdaderos e inimitables filtros biológicos de máxima eficacia. Los barros que se generan en el tratamiento pueden ser aplicados en las áreas de producción de biomasa de especies como sauces o álamos que los fijan definitivamente en la madera que producen.

Podemos realizar el cálculo del área necesaria para forestar y la cantidad de árboles a plantar mediante dos métodos, uno en función a la evapotranspiración y el otro realizando un balance hídrico.

### **8.2.1. Balance Hídrico**

El sistema lagunar recibe un efluente a tratar de  $6.923 \text{ m}^3/\text{día} = 2.526.895 \text{ m}^3$  teóricos/ año, el que ingresa y recorre las lagunas anaeróbicas y facultativas. En ese trayecto el efluente es sometido a la actividad metabólica de microorganismos facultativos (adaptados a variaciones del oxígeno disuelto en las lagunas), a la oxigenación por aireación y por la actividad fotosintética de las algas para convertirse en un “efluente tratado”, depurado, de buena calidad que llegará al sistema de riego.

Se considera que la pérdida de volúmenes por efecto del trasegado, bombeo, de la aireación, tránsito lento y en especial a la gran y prolongada exposición al viento y a los rayos solares en un diseño de lagunas poco profundas y de gran superficie relativa, es del orden del 25%, es decir que dispondremos para el riego un caudal de  $1.895.171 \text{ m}^3$  finales por año.

Para la situación futura a los 25 años se estima un caudal de  $9.259 \text{ m}^3 / \text{día} = 3.379.535 \text{ m}^3$  teóricos/ año, considerando las pérdidas antes planteadas se dispondrá para riego de  $2.534.651 \text{ m}^3$  finales por año.

Tanto los álamos como los eucaliptos con densidades de 833 plantas en secano con una dotación de lluvia de  $12.000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  cuya eficacia productiva se considera del 60% especialmente por pérdida de escurrimiento en precipitaciones máximas o por infrecuencia de la lluvia o precipitaciones inferiores que apenas superan la canopia y se evaporan en superficie y representan unos  $7200 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  para el área del proyecto. Bajo riego de E.T. que aportan N, P y otros nutrientes con densidades de 833 pl. / ha podremos descargar unos  $20.000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  que bien administrados por el sistema de acequias podrán duplicar la

superficie foliar, el sistema radicular y en especial una continuidad ininterrumpida en la función fotosintética. La captación de energía y nutrientes y evitar así estrés temporario, sequía estacional, marchitez temporaria o defoliación parcial que afectan seriamente el crecimiento y la producción del macizo forestal.

Este caudal anual se calcula que podrá regarse a partir del 4 y 5 verde (se toma como un verde cada vez que rebrotan las hojas en especies caducas), mientras que entre el 2 y 3 año es la mitad, debido al incipiente desarrollo de las plantas.

En la zona estimada para realizar la forestación bajo riego disponemos de unas 200 ha.

Cálculo de superficie necesaria:

Para caudal actual:  $Q_{2018} = 1.895.171 \text{ m}^3/\text{año}$

Demanda anual por ha. :  $20.000 \text{ m}^3/\text{ha. año}$

Caudal disponible para riego( $\text{m}^3/\text{año}$ )		Demanda anual de riego, para densidades de forestación de 833 plantas/ha. ( $\text{m}^3/\text{ha. año}$ )	Superficie necesaria de forestación para los caudales proyectados (ha.)
$Q_{2018}$	1.895.171	20.000	<b>95</b>
$Q_{2043}$	2.534.651	20.000	<b>127</b>

Tabla 11: Cálculo de superficie necesaria a forestar.

Con lo cual con 200 ha., de forestación estaríamos pudiendo infiltrar el total del efluente tratado para una proyección de 25 años.

### 8.2.2. Emisión de Oxígeno y Captación de Gases

Un árbol o un conjunto de árboles con  $1.000 \text{ m}^2$  de superficie foliar en un día soleado producen 10 kg de materia orgánica para lo que usan 9.000 l. de anhídrido carbónico y evaporan 200 l de agua y liberan a la atmósfera 9.000 l. del vital oxígeno, cantidad necesaria para la respiración diaria de 10 hombres.

Las altas densidades de 833 plantas por ha. en álamos y pinos en un damero muy experimentado de cuatro metros entre líneas constituye un muy buen corredor de aire y por ende de captación de  $\text{CO}_2$  en gran escala por la fácil renovación de la masa atmosférica disponible.

Por día y por hectárea se liberan 180.000 litros de oxígeno que es la cantidad necesaria para 200 personas, mientras que se capturan 180.000 litros de anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$ .

Cantidad de oxígeno liberado por día/ha. Para densidades de 833 plantas/ha. (lt.O <sub>2</sub> /día)	Superficie necesaria de forestación para los caudales proyectados (ha.)	Litros de oxígeno generado por las hectáreas de forestación calculada según caudales proyectados. (lt. O <sub>2</sub> /día)	Cantidad de personas que se benefician por la generación de oxígeno de las áreas forestadas, siendo que el O <sub>2</sub> necesario para 200 personas es generado por una ha. Por día. (personas)
180.000	95	17.100.000	19.000
180.000	127	22.860.000	25.400

Tabla 12: Resumen del cálculo de emisión de oxígeno.

Cantidad de anhídrido carbónico CO <sub>2</sub> , capturado por día/ha. Para densidades de 833 plantas/ha. (m <sup>3</sup> .CO <sub>2</sub> /ha. día)	Superficie necesaria de forestación para los caudales proyectados (ha.)	Captación de anhídrido carbónico realizado por las hectáreas forestadas según caudales de proyecto. ( m <sup>3</sup> .CO <sub>2</sub> /día)	Cantidad de anhídrido carbónico captado en (ton./día). Peso específico del CO <sub>2</sub> 1,6 ton./ m <sup>3</sup>
180	95	17.100	27.360
180	127	22.860	36.576

Tabla 13: Resumen del cálculo de captación de anhídrido carbónico.

### 8.2.3. Balance Económico

Al pensar en una reutilización para riego forestal hay un retorno de U\$ 3000/ha/año en bruto, por lo que a los 10 años se va a generar una ganancia importante.

Para 200 ha forestadas: 200 ha x U\$ 3.000 / ha año en bruto = U\$ 600.000 / año

El retorno económico en bruto que se da para la primer aserrada a los 10 años es de unos U\$ 6.000.000.

Estos valores de retorno económico son estimativos y no se está teniendo en cuenta el aporte de bio fertilizantes, que posee el efluente tratado con el cual se realiza el riego. Además si se planteara un proyecto productivo mixto tipo silvopastoril con aprovechamiento para el engorde de animales, seguramente estos valores o tasas de retorno serían más elevadas, generando importantes ganancias para el municipio y/o el consorcio público privado que lo administre.





Figura 8: Imagen Satelital Predio desarrollo de Proyecto, ubicación Lagunas de Estabilización, Esquema riego de forestación.



Figura 9: Posible zona de forestación y riego con efluente tratado, en épocas de estiaje cuando la demanda es mayor. Recomposición del valle de inundación del arroyo de La Leche como futuro estudio.

## **9. CONCLUSIÓN**

Nos encontramos en un momento en el cual el cuidado de nuestros recursos naturales ha tomado relevancia y se encuentra en discusión habitual en todos los ámbitos, es por eso que las soluciones que se plantean para las problemáticas ambientales deben venir acompañadas de propuestas integrales donde se consiga el mayor beneficio con menores impactos y realizando un aprovechamiento integro de los recursos.

Si bien como se expresó en el desarrollo del trabajo existen experiencias que demuestran la viabilidad de este tipo de proyectos, para la implementación del mismo sería necesario la ejecución de tareas complementarias y del tipo legales administrativas, a través de ordenanzas y convenios con la finalidad de garantizar un ordenamiento en cuanto a la urbanización en la zona donde se prevé llevar adelante la instalación del nuevo sistema de tratamiento y la correspondiente forestación, y proyectar futuras áreas, como por ejemplo el valle de inundación del arroyo de La Leche el que puede ser reforestado y regado con efluente tratado, recomponiendo así toda esta zona.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF & EDDY, INC.
- DURÁN, Jorge, Cátedra Tratamiento de las Aguas, Maestría en Ingeniería Ambiental, UTN Regional Concepción del Uruguay.
- SAENZ, R. (1985). Proyecto de lagunas facultativas, anaerobias y aeradas. CEPIS/OPS/OMS, Lima, Perú.
- THIRUMURTHI, D. Design principle of waste stabilization ponds. Journal of the Sanitary Engineering Division. ASCE, Vol. 95, No. SA2, 1969, PP. 311-329
- THIRUMURTHI, D. Design criteria for waste stabilization ponds. Journal of the Water Pollution Control Federation. Vol. 46, No. 9, 1974, PP. 209 - 2106