

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA

ESCUELA DE TECNOLOGÍA



EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA PLANTA DEPURADORA CLOACAL DE LA CIUDAD COSTERA DE SAN CLEMENTE DEL TUYÚ (BUENOS AIRES - ARGENTINA) CON MIRAS A SU REACONDICIONAMIENTO

**Propuesta de Plan de Gestión Ambiental, con programa de
gestión de lodos, monitoreo, control y evaluación preliminar
ecotoxicológica del efluente vertido.**

AUTOR: Arlette Lera Nahabetyan (Leg. N° 103870)

DIRECTOR: Rosso, Alfredo Daniel

TESIS PRESENTADA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

BUENOS AIRES

SEGUNDO CUATRIMESTRE, 2020

Agradecimientos

Son muchas las personas a quienes quisiera expresar mi mayor agradecimiento. En primer lugar a Hernán Ivas, compañero de la Maestría, quien me contactó con la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de San Clemente (COS) y de esta manera surgió la posibilidad de realizar este trabajo. Segundo a Oscar Perelli, quien me brindó toda la información disponible, me acompañó en cada visita a la planta y siempre estuvo disponible para contestar las preguntas que surgían de la investigación.

A mi esposo Andrés por acompañarme en este proceso y viajar conmigo un frío 20 de junio para conocer la planta y un caluroso día de temporada alta para traer muestras cloacales y transportarlas en su vehículo por más de 5 horas. Un especial agradecimiento a mi hija Lucía que esperaba paciente el momento en que finalmente me desocupara y pudiera jugar con ella y queriendo saber... *“ma, ¿por qué página vas?”*.

A mi tutor Alfredo Rosso quien me guió y acompañó en este trabajo dándome tranquilidad y optimismo.

A Ariana Rossen (responsable del laboratorio de microbiología del centro de tratamiento del uso del agua en INA) que me permitió realizar los ensayos de ecotoxicidad en su laboratorio brindando todo el apoyo y materiales para poder realizarlo. A mi gran amiga Ana Suarez Anzorena quien estuvo muy presente para la revisión final, en cada detalle y me hizo correr para poder llegar a presentar el trabajo, y Santiago Roca por su invaluable tiempo dedicado a la revisión de citas, edición y por conseguir siempre los libros que he necesitado.

Por último al Ing. Gabriel Bill quien me orientó la manera de realizar un plan ambiental, al Ing. José Rosón por aportarme material, y a Nicolás Gambino (Serviur) quien me brindó la corrida del sistema de aireación que comercializan.

INDICE

1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	8
2.1. Objetivos	9
2.1.1. Objetivos generales.....	9
2.1.2. Objetivos específicos:	9
2.2. Problemática asociada a la Planta en estudio	10
3. ESTADO DE LA SITUACIÓN	15
3.1. Problemática ambiental por descarga de efluentes sin tratar	15
3.2. Descripción Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.....	17
3.3. Características hidrológicas de la zona costera – Acuífero	25
3.3.1. Vulnerabilidad del acuífero y posibles contaminantes	29
3.4. Humedal de la Bahía Samborombón – Ubicación de la planta depuradora	30
3.5. Marco Regulatorio.....	33
3.5.1. Antecedentes	33
3.5.2. Dominio y jurisdicción de recursos naturales.....	35
3.5.3. Normativa de aplicación en el Partido de la Costa – San Clemente.....	37
3.5.4. Manejo sustentable de efluentes en la Planta Depuradora.....	43
3.5.4.1. Resolución 410/2018.....	45
4. DESARROLLO	48
4.1. Matriz de evaluación ambiental Planta Depuradora San Clemente del Tuyú	48
4.2. Condiciones de diseño de la planta – Proyecto de reacondicionamiento.....	50
4.2.1. Estudio técnico de reacondicionamiento de la Planta Depuradora Cloacal San Clemente del Tuyú.	50
4.2.1.1. Memoria de cálculo de la Planta Depuradora Cloacal San Clemente del Tuyú.....	50
4.2.2. Resumen de trabajos para el reacondicionamiento de la planta de tratamiento cloacal.	59
4.2.3. Cálculos de energía y generación de lodos.....	61
4.3. Caracterización de la planta.....	68
4.3.1. Análisis de laboratorio	68
4.3.2. Ensayo de ecotoxicidad.....	69
4.4. Generación de residuos.....	71
4.4.1. Disposición final de lodos.....	73
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
5.1. Proyecto de reacondicionamiento y su posible futura ampliación.	79

5.1.1.	Consumo energético estimado en la laguna de aireación.	79
5.2.	Plan de Gestión Ambiental.....	83
5.2.1.	Gestión ambiental - Descripción general	83
5.2.2.	Política ambiental	85
5.2.3.	Análisis ambiental del proyecto de reacondicionamiento.	85
5.2.3.1.	Impactos positivos	87
5.2.3.2.	Potenciales impactos negativos.	88
5.2.4.	Medidas de manejo ambiental.	90
5.2.4.1.	Programas de prevención.	90
5.2.4.1.1.	Medidas de prevención y control en el aire.....	90
5.2.4.1.2.	Medidas de prevención y control en el agua	92
5.2.4.1.3.	Medidas de prevención y control en el suelo	92
5.2.4.1.4.	Medidas prevención y control sociales	93
5.2.4.2.	Programa de gestión de residuos	93
5.2.4.2.1.	Acciones para reducir/ evitar la generación de residuos	98
5.2.4.2.2.	Separación y clasificación de los residuos	99
5.2.4.3.	Programa de contingencias y capacitación.....	99
5.2.4.4.	Programa de manejo de quejas y reclamos	100
5.2.4.5.	Programa de monitoreo y seguimiento	101
5.2.4.5.1.	Indicadores	101
5.2.4.5.2.	Monitoreo ambiental en el aire.....	102
5.2.4.5.3.	Energía.....	103
5.2.4.5.4.	Monitoreo ambiental en el suelo	103
5.2.4.5.5.	Monitoreo ambiental en el agua	104
5.2.4.5.6.	Monitoreo social.....	108
5.2.5.	Registro de gestión medioambiental- Seguimiento.....	108
5.2.6.	Auditorías del sistema ambiental- Evaluación y Mejora	109
6.	CONCLUSIONES	110
6.1.	Evaluación ambiental y Plan de Gestión Ambiental.....	110
6.2.	Recomendaciones de operación y diseño.....	110
6.3.	Líneas de investigación futura.....	113
7.	REFERENCIAS.....	115
8.	ANEXOS	118
8.1.	Área de estudio	118
8.2.	Vulnerabilidad del acuífero.....	119
8.2.1.	Índices de vulnerabilidad.	120
8.2.2.	Contaminantes en el agua del acuífero.....	122
8.3.	Valoración del Humedal Samborombón.....	124
8.3.1.	Problemática ambiental en Bahía de Samborombón.....	125
8.3.2.	Beneficios del Humedal de la Bahía de Samborombón.	126
8.4.	Importancia del tratamiento de efluentes- Descripción de los contaminantes y las distintas tecnologías para su tratamiento.....	129

8.4.1.	Principales contaminantes en aguas negras	129
8.4.2.	Principios de tratamiento de efluentes domiciliarios	134
8.5.	Descripción del tratamiento de lagunas	138
8.5.1.	Lagunas aireadas aerobias.....	138
8.5.2.	Diseño de lagunas aireadas mecánicamente y de sedimentación.....	140
8.5.2.1.	Laguna de aireación con mezcla completa.....	140
8.5.2.2.	Lagunas de sedimentación	146
8.6.	Sistema de aireación – Serviur	148
8.7.	Tratamiento y disposición de lodos	151
8.7.1.	Tratamiento de lodos y generación	151
8.7.2.	Disposición de lodos en el mundo	153
8.7.3.	Sitios de generación de lodos	154
8.7.4.	Sitios de generación de olores	156
8.7.5.	Procesos que reducen significativamente patógenos (PRSP) y reducción de atracción de vectores	158
8.7.5.1.	Reducción de patógenos	160
8.7.5.2.	Reducción en atracción de vectores.....	160
8.7.6.	Deshidratación de lodo por playa de secado.....	162
8.7.6.1.	Playa de secado- Proceso de reducción significativa de patógenos (PRSP).....	164
8.8.	Plan Bio: biodiesel a partir de aceite vegetal usado.....	166
8.9.	Toxicidad	167
8.9.1.	Áreas de estudio en toxicidad.....	167
8.9.2.	Principios generales de la ecotoxicología.....	168
8.9.3.	Valoración de la relación entre dosis y respuesta	169
8.9.4.	Legislación sobre residuos peligrosos.....	169
8.9.5.	Legislación sobre efluentes en otros países	170
8.10.	Ensayos de ecotoxicidad	171
8.10.1.	Introducción	171
8.10.2.	Ensayo <i>Lactuca sativa</i>	172
8.10.2.1.	Resumen de la descripción del ensayo	174
8.10.2.1.1.	Ensayo	175
8.11.	Gestión integral zona costera.	185
8.11.1.	Recomendaciones de manejo de aguas residuales y pluviales.....	186
8.12.	Cómo mejorar la gestión de residuos.	191
8.12.1.	Plan de gestión de residuos en las obras de construcción y demolición.....	191
8.12.2.	Gestión a pie de obra	193
8.12.2.1.	Planificando la obra.....	193
8.12.3.	Manipulación de los residuos en la obra	194
8.12.3.1.	Responsabilidades de cada uno de los agentes de la obra.....	195
8.13.	Entrevista con Oscar Perelli – Prosecretario Cooperativa COS (Cooperativa de Obras y Saneamiento San Clemente del Tuyú). Agosto 2019.....	197
8.14.	Permiso para el uso del estudio del proyecto de reacondicionamiento.	200
8.1.	Presentación en PDF para la defensa.....	201

1. Resumen

La localidad de San Clemente del Tuyú, ubicada en el extremo sur de la Bahía de Samborombón, Provincia de Buenos Aires, cuenta con una planta depuradora que no está funcionando conforme a su diseño, por lo que la sustentabilidad del ambiente en el que tiene influencia se encuentra comprometido. Para esta Planta operada hoy por la COS (Cooperativa de Obras y Servicios de San Clemente del Tuyú) por solicitud de la Dirección Provincial de Agua y Cloacas (DIPAC), la constructora Prates y Cía elaboró en el año 2018 un informe con las especificaciones técnicas que debería reunir el Pliego de Licitación para el Reacondicionamiento de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú. Debido a que en la época estival y por cuestiones turísticas la población de la ciudad se quintuplica, en ese informe se señala la necesidad de una ampliación (proyectada para el año 2030), con un tren de tratamiento equivalente al actual.

El presente trabajo caracteriza el ambiente en el que se encuentra la Planta Depuradora en las condiciones actuales y realiza una evaluación ambiental. A través de la misma se busca señalar los aspectos con mayor susceptibilidad a la contaminación y concientizar en la importancia de contar con la financiación necesaria para llevar el proyecto de reacondicionamiento adelante. Entre los aspectos analizados, uno es el acuífero freático, fuente de agua potable que abastece a la población, y otro es el Humedal que recibe las descargas del tratamiento.

Se verificaron los aspectos principales de operación de la planta como requerimientos energéticos, generación de lodos cloacales y dimensionamiento de las unidades de operación (laguna de aireación y de sedimentación) y para esto último se tuvo en cuenta la normativa legal para el cumplimiento de los parámetros de vuelco. A su vez se realizó un estudio de ecotoxicidad preliminar del efluente actual con el propósito

de proyectar el resultado al lodo cloacal que se podría obtener con la planta reacondicionada y se propusieron distintas posibilidades de disposición final.

Con la información recabada se desarrollo un Plan de Gestión Ambiental donde se consideró como línea de base el resultado del análisis de la evaluación ambiental como si la planta ya hubiera sido reacondicionada. El Plan Ambiental cuenta con un programa de gestión de residuos, un programa de medidas de prevención y control ambiental, un programa de monitoreo, un programa de contingencias y capacitación y un programa de manejo de quejas y reclamos donde se tuvieron en cuenta aspectos correspondientes tanto a la etapa de construcción como a la etapa de operación de la planta reformada.

El trabajo concluye con recomendaciones de operación y diseño de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú reacondicionada y señala una serie de trabajos de investigación que podrían contribuir a una mayor sustentabilidad en el manejo de recursos de la localidad. Por último, se invita a otras ciudades costeras a tomar las medidas que puedan ser aplicables en sus propias plantas de tratamiento transitando el camino hacia una gestión integral del área.

2. Introducción

Las regiones costeras tienen una importancia vital tanto desde lo social como económico y ecológico. El ser humano tiene la capacidad de alterar el equilibrio del ecosistema dependiendo de las acciones que desarrolle. La sustentabilidad y la disponibilidad de los recursos para futuras generaciones dependen de que los recursos tomados del ambiente vuelvan de alguna manera al mismo para mantener un equilibrio. La extracción de agua potable, la conservación de las especies y la calidad de vida de las personas se encuentran cada vez más comprometidas. Un manejo correcto de ordenamiento y regulación de los vínculos entre sociedad y naturaleza es fundamental.

Las grandes concentraciones humanas en áreas costeras traen aparejados problemas en la calidad del agua tanto por sus prácticas en el manejo de los desechos, como en el trabajo de la tierra (Carretero, 2011 p. 7; National Research Council [NRC], 1993, pt. preface).

Por ser San Clemente un centro turístico balneario, el incremento de la densidad poblacional en el verano sobre exige la capacidad de procesamiento de su planta depuradora que en estas condiciones se encuentra al límite. Al aumentar la demanda, crece también el volumen de las aguas residuales cuyo vertimiento sin tratamiento adecuado por superar la capacidad de depuración, contribuye con el deterioro del entorno.

El humedal de la Bahía de Samborombón, precisamente donde se encuentra San Clemente del Tuyú, es el más extenso de la República Argentina (ver anexo 8.3). El 24 de enero de 1997 obtuvo su categoría de Sitio Ramsar (RAMSAR, s. f.), lo que lo posiciona como humedal de gran importancia internacional y reafirma la necesidad de protegerlo para las presentes y futuras generaciones (Volpato, 2017, p. 6). Un sitio Ramsar es un humedal designado como de importancia internacional bajo la Convención de Ramsar. La Convención sobre los Humedales es el tratado intergubernamental que

ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Se adoptó en la ciudad iraní de Ramsar en 1971 y entró en vigor en 1975 (RAMSAR, s. f.).

En San Clemente, el agua de consumo es extraída del acuífero freático. La actividad turística en la zona no solo influye en el aumento de la demanda del agua año tras año sino que, en verano, el consumo se quintuplica y en consecuencia su vertido como agua residual. La única manera de prevenir esto es con un manejo apropiado de la extracción por bombeo del agua del acuífero y el tratamiento final de las aguas residuales generadas para garantizar la disponibilidad del recurso y reducir el impacto en el ecosistema.

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivos generales

1. Hacer una evaluación ambiental de la planta actual y la planta reacondicionada tomando como punto de partida el informe de la constructora Prates y Cía. (El estudio técnico no fue publicado aún, por lo que se otorga a este trabajo un permiso de uso académico del mismo que se encuentra en el anexo 8.14).
2. Diseñar un Plan de Gestión Ambiental. que contenga el desarrollo general de un programa de medidas de prevención y control, un programa de monitoreo y seguimiento, un programa de gestión de residuos, un programa de contingencias y capacitación y un programa de manejo de quejas y reclamos.
3. Realizar recomendaciones de operación generales de funcionamiento y de diseño para optimizar el consumo energético donde se tiene en cuenta la normativa vigente.

2.1.2. Objetivos específicos:

4. Caracterizar el ambiente en el que se encuentra la Planta Depuradora y su área de influencia para sensibilizar sobre la importancia de un manejo sustentable de la zona

para la aprobación de la financiación necesaria por quien corresponda y llevar adelante la obra.

5. Describir las características más relevantes del humedal de la Bahía de Samborombón e identificar las principales áreas problemáticas para abordar un enfoque integral del área.
6. Describir las características geológicas y el comportamiento del acuífero del cual se extrae el agua potable para el consumo de la población.
7. Hacer una evaluación ecotoxicológica primaria del efluente de la Planta mediante bioensayos de inhibición y elongación de raíces de productores primarios terrestres para estimar posible toxicidad en los lodos que se obtendrán con la planta reacondicionada.
8. Contribuir a través del presente trabajo con material que podrá ser utilizado para la elaboración de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto a ser ejecutado conforme la exigencia del art.10 de la Ley 11.723 y las pautas establecidas en la Res 492/2019.
9. Incentivar a que otras localidades costeras tomen como base el presente Plan Ambiental y puedan aplicarlo en sus plantas de depuradoras cloacales en la medida en que las mismas lo permitan.

Finalmente, se busca brindar a la comunidad de San Clemente del Tuyú un aporte de los elementos científicos objetivos de ingeniería y de la toxicología ambiental, desde el sistema académico a través del Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) para que la comunidad local pueda llevar la obra de reacondicionamiento adelante.

2.2.Problemática asociada a la Planta en estudio

La Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú, ciudad costera en Buenos Aires, Argentina es actualmente operada por la Cooperativa de Provisión de Obras y

Servicios Públicos de San Clemente del Tuyú Ltda. (COS), que a su vez tienen el manejo de la explotación y distribución de agua potable de la zona. La Planta Depuradora tiene problemas operacionales asociados a la no disponibilidad de todas las unidades de operación conforme fue su diseño original y a su vez problemas asociados a la estacionalidad del año debido a la quintuplicación de caudal que deben manejar en épocas vacacionales.

Por otro lado, la fuente de agua potable es un acuífero con alta vulnerabilidad a la contaminación debido a las características geológicas del suelo y a su profundidad. Esto se desarrolla en el punto 3.3.1-Vulnerabilidad del acuífero y posibles contaminantes.

A partir del trabajo de tesis de Silvina Carretero (2001), en el anexo 8.1 se detalla la ubicación geográfica del área, la estimación de la población permanente y su variación con la población estival (que la quintuplica) y los principales problemas que acarrea la actividad turística en la zona con la contaminación y la sobre-explotación del acuífero de agua dulce. La población estable proyectada para el año 2040 se estima en 17371 habitantes, proyectada al año 2040 (Prates y Cia, 2018).

Según O. Perelli (comunicación personal, Agosto, 2019) la red de agua potable llega a 4.000 viviendas y la red de agua cloacal, a 14.500 aproximadamente (ver anexo 8.13). A su vez, se estima que en la localidad hay 10.000 pozos negros. La red de agua potable se puede observar en la figura 1 y la red cloacal en la figura 2. A la planta de tratamiento llega el efluente de estas 14.500 conexiones más los camiones atmosféricos de la localidad (O. Perelli, comunicación personal, Agosto, 2019, anexo 8.13).



Figura 1: Red de agua potable (en celeste) sobre mapa de la zona urbana de San Clemente. Adaptada de COS. Obras sanitarias (<https://www.cos.org.ar/sanitarias.html>). Consultado el 25/06/2020.

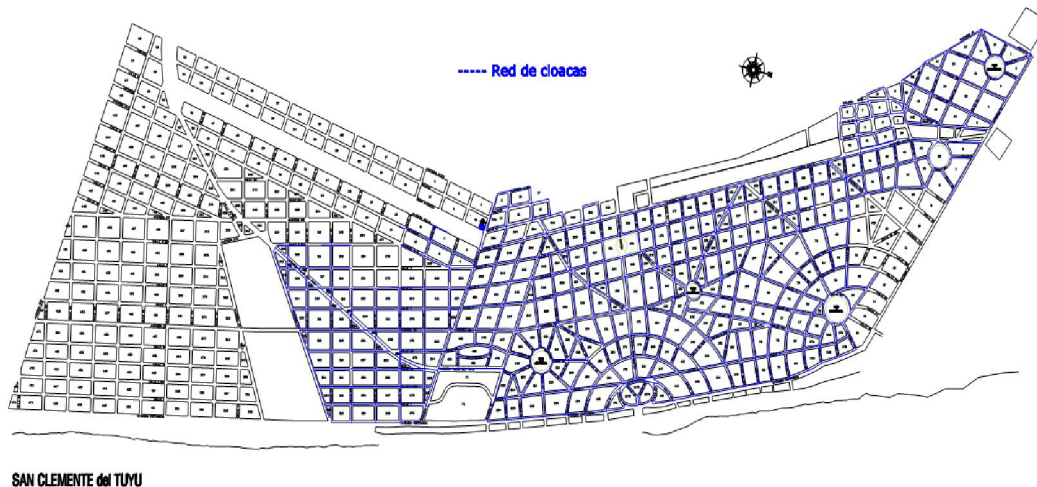


Figura 2: Red de Efluentes Cloacales (en azul) sobre mapa de la zona urbana de San Clemente. Adaptada de COS. Obras sanitarias (<https://www.cos.org.ar/sanitarias.html>). Consultado el 25/06/2020.

Como menciona Ivas (2018), la operación de la planta de tratamiento de efluentes resulta de importancia por varias razones. Por un lado, se hace necesaria la extensión de la red cloacal para evitar la contaminación por residuos cloacales desde los pozos negros mencionados dada la alta vulnerabilidad del acuífero. Además, existe la posibilidad de contaminación del acuífero por pozos de extracción de agua domiciliaria (Carretero,

2011). Por otro lado, la ubicación de la planta que se encuentra dentro de un área definida como Reserva Natural Integral, Reserva Natural de Objetivo Definido y Refugio de Vida Silvestre “Bahía de Samborombón”, donde el comportamiento hidrológico resulta afectado por factores antrópicos. A su vez, las obras de infraestructura como la ampliación de la calzada de la Ruta Provincial °56 y la construcción de la segunda calzada de la Ruta Provincial N° 11 en el tramo General Conesa y Mar de Ajó, pasando por San Clemente del Tuyú impactarán de modo inminente en el crecimiento de la región. Se espera entonces que el número de potenciales beneficiarios de la obra, considerando el crecimiento poblacional actual y proyectado, ascienda a aproximadamente 100.000 personas con el flujo de turistas actual y proyectado (Ivas, 2018, secc. Síntesis ejecutiva).

Paralelamente se debe asegurar que durante la etapa de turismo la planta no opere de manera deficiente ya que los caudales de tratamiento se quintuplican. La evaluación técnica de Prates y Cía afirma que para poder cumplir con los requerimientos de depuración en verano, la planta deberá ampliarse a un módulo adicional equivalente al existente (Prates y Cía, 2018, secc. verificación PDL C San Clemente-v2).

Finalmente, como menciona Ivas (2018) siendo que la población depende en gran medida de los bienes y servicios que suministra el ecosistema natural que lo rodea, las propuestas de gestión ambiental preventiva deben tener en cuenta el consumo eficiente de sus recursos, la concientización de la población y la importancia del ordenamiento ambiental territorial (Ivas, 2018, secc. Síntesis ejecutiva).

Para poder realizar el presente trabajo, se efectuaron dos visitas a la planta de tratamiento en cuestión acompañados por un miembro de la COS, el Sr Oscar Perelli (Prosecretario). La primera, en junio 2018 donde se tomaron las fotografías presentadas en este trabajo para describir el estado actual de la planta. La segunda, en marzo 2019, se tomaron muestras para analizar algunos parámetros y se realizó un estudio de

ecotoxicidad en el laboratorio del Instituto Nacional del Agua (INA) con la dirección y colaboración de Ariana Rossen, (responsable del Laboratorio de Microbiología del Centro de Tratamiento del uso del Agua, en INA).

3. Estado de la Situación

3.1. Problemática ambiental por descarga de efluentes sin tratar

La figura 3 muestra un esquema simplificado del ciclo del agua en el uso urbano. En la misma se ve la toma de agua para consumo y uso y su posterior descarga al río, lago o estuario. La importancia del tratamiento de efluentes radica en impactar los ecosistemas acuíferos y terrestres lo menos posible para sostener el equilibrio natural en el que se encuentran y que se pueda hacer uso de los ríos, como por ejemplo nadar y pescar en aguas libre de contaminación. El tratamiento de efluentes acelera los procesos naturales por los cuales el agua se purifica a sí misma. En tiempos pasados, los procesos naturales que ocurrían en lagos y ríos eran adecuados para realizar un tratamiento de efluentes básico, pero el crecimiento de la población mundial y desarrollo industrial ha incrementado la demanda de recursos naturales alterando la situación dramáticamente ya que las descargas de efluentes tanto en suelos como en cursos de agua afectan la calidad de los recursos naturales disponibles. Esto conduce a la necesidad de tratamiento tanto en descargas de efluentes domiciliarios como industriales (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2004, p. 5).

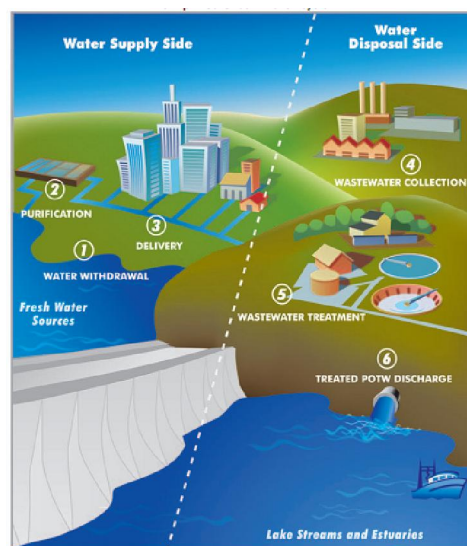


Figura 3: Ciclo urbano del agua. Fuente: EPA (2004, p.7).

Muchas ciudades costeras hoy día o en un futuro cercano, se enfrentarán a la necesidad de manejar asuntos complejos de calidad costera. Con la presión de una población en crecimiento, las ciudades costeras se enfrentan con la necesidad de establecer objetivos y fijar prioridades para la protección de los recursos costeros (NRC, 1993, p. 74).

El impacto de la actividad humana en áreas urbanas costeras continúa en un nivel de severidad que amenaza la integridad biológica de muchos sistemas marinos y deteriora seriamente su capacidad de producir bienes y servicios valorados por la población. Existe una necesidad de poder valorar e identificar las consecuencias y oportunidades asociadas con sus varios usos, pero lamentablemente no existe un sistema que se pueda utilizar para determinarlo con precisión. No existe un conjunto de herramientas que permita desarrollar e implementar estrategias de una óptima gestión costera que pueda satisfacer las metas de la sociedad (NRC, 1993, p. 75).

Un enfoque integrado para una gestión costera es un componente cada vez más importante de la agenda internacional para el manejo ambiental racional. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992, la gestión costera integrada fue un elemento importante del documento de política que aborda los problemas del medio ambiente marino que los gobiernos acordaron. Del mismo modo, el Banco Mundial se encuentra actualmente en el proceso de desarrollar directrices para la gestión costera integrada que serán utilizados por los países que reciban asistencia (NRC, 1993, p. 77) .

El anexo 8.4 describe los principales contaminantes del agua (carga orgánica, patógenos, sustancias químicas entre otras) que puede presentar las descargas de los efluentes cloacales y la prioridad (alta, media, baja) con la que, según NRC (1993), deberían tenerse en cuenta para realizar una gestión de los mismos. Uno de los que se

hace mención son los sólidos sedimentables ya que son “la principal causa de las acumulaciones localizadas de sedimentos anaerobios y ecosistemas dañados del fondo marino” (NRC, 1993, p. 7). Este puede ser uno de los grandes problemas que podrá tener la zona de descarga de efluentes de la Planta Depuradora Cloacal San Clemente del Tuyú porque la misma está operando sin el sedimentador.

Parte del programa de la gestión integral implica que las aguas residuales sean correctamente tratadas y los residuos generados de las mismas sean dispuestos de manera adecuada. Existen otras medidas importantes como, por ejemplo, evitar descargas innecesarias de contaminantes en las aguas residuales como puede ser aceites o reducir el uso de productos de limpieza con compuestos químicos no biodegradables (por ejemplo en detergentes). En el anexo 8.11-Gestión integral zona costera, se presentan los puntos clave identificados por NRC (1993) sobre los que se debería hacer foco para una correcta gestión. Los más aplicables, considerando la infraestructura existente para la zona de San Clemente, es la separación de contaminantes en los puntos de generación, educación y concientización a la población para evitar descargas de contaminantes y un monitoreo y evaluación de los planes de acción para poder realizar correcciones a los mismos y se tiene en cuenta una planta depuradora operativa.

3.2.Descripción Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú

Existe una variedad de tratamientos de aguas residuales, los mismos se clasifican en dos grandes grupos, físico químicos y biológicos. En el anexo 8.4.2 se describen los principales tratamientos de ambos grupos y las características operativas que los definen. La Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú dispone de un tratamiento biológico mediante un sistema de laguna aireada de mezcla completa seguida por una laguna de sedimentación sin recirculación de lodos. La descripción general de funcionamiento se detalla en el anexo 8.5. donde se describen las funciones del

pretratamiento (rejas/desarenador), del tratamiento secundario (tratamiento biológico) y de la desinfección (adición de hipoclorito en el caso de la presente planta).

En la figura 4 se muestra un esquema del proceso de tratamiento de la planta. La misma consiste de un pretratamiento con una reja para desbaste y un desarenador seguido de un tratamiento biológico compuesto por un módulo de laguna aireada mecánicamente de mezcla completa y un sedimentador para finalmente pasar por una etapa de desinfección.

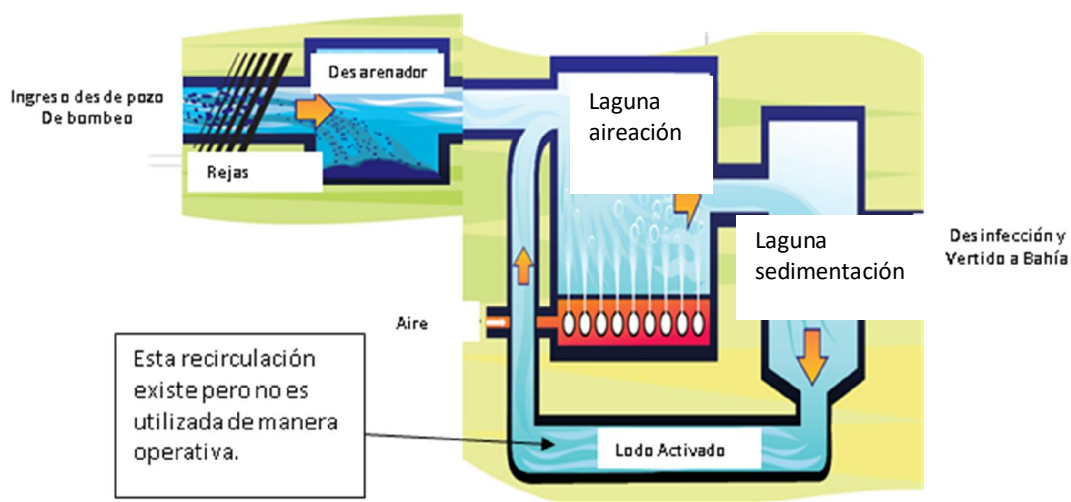


Figura 4: Esquema general de la Planta de Tratamiento de Efluentes de San Clemente del Tuyú. Adaptado de EPA (2004, p.13)

Originalmente existió la posibilidad de recircular el lodo a la cámara de carga (punto de entrada a la laguna de aireación tal como se ve en la figura 4) pero ha quedado en desuso. (La laguna de sedimentación no tiene la posibilidad de recolección de lodos en el centro como un sedimentador secundario convencional donde el mismo equipo dispone de sistemas de recolección y barrido de lodos continuo, y la recirculación de los mismos es parte de la operación normal de tratamiento biológico. En este caso, la recirculación estaba prevista únicamente como una situación operativa de contingencia).

La planta cuenta con una playa de secado de lodos, también en desuso, contigua al sedimentador y una cámara de llegada de camiones atmosféricos al lado del desarenador. Las fotos que se presentarán en la siguiente descripción de la Planta Depuradora son propias de la autora, tomadas en junio del 2018.

El efluente llega a la cámara de carga del pretratamiento mediante bombeo desde un pozo receptor donde llega la red de conexiones cloacales descrita anteriormente.

El pozo de bombeo está a 200 metros aproximadamente de la cámara de carga donde se encuentran las rejas y el desarenador, tal como se muestra en la figura 5.



Figura 5: Vista de pozo de bombeo desde cámara de rejas.



Figura 7: Pretratamiento de la Planta Depuradora. Cámara de rejas.



Figura 6: Pretratamiento de la Planta Depuradora: Desarenador.

El efluente atraviesa la reja (figura 7) y es luego conducido hacia el desarenador (figura 6). Los residuos retenidos por la reja son recolectados manualmente y dispuestos

como residuo sólido. Las rejas retienen los sólidos de mayor tamaño, mientras que en el desarenador se retienen las arenas y sólidos en suspensión arrastrados en las aguas residuales. El principio de funcionamiento del desarenador se basa en la reducción de la velocidad del agua y de las turbulencias lo que permite que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo, de donde es retirado periódicamente hacia la playa de secado (figura 8).



*Figura 8: Playa de secado de arenas (en primer plano).
Atrás laguna de aireación.*

El líquido sobrenadante del secado de arenas se dirige hacia el pozo de recepción de aguas servidas donde se descargan los efluentes de pozos ciegos domiciliarios particulares (figura 9). Ambos son bombeados a la cámara de carga, aguas arriba de las rejas.



*Figura 9: Pozo de recepción de camiones
atmosféricos.*

Luego del pretratamiento el efluente es conducido hacia la laguna de aireación. La misma tiene un largo de 78,6m, un ancho de 117,6 m y una profundidad de 3,2 m. La laguna de aireación dispone de un suministro de aire mediante cuatro equipos sopladores, dos de potencia 34 HP (25,5 kW) y dos de 105 HP (78,75 kW), y un sistema de distribución de tuberías con difusores de membrana en el fondo del tanque cuya función es la incorporación de aire (gracias al contacto estrecho entre burbujas y efluente o licor mixto) y mezcla del efluente gracias a la turbulencia generada por el caudal de aire suministrado por los equipos soplantes (figura 10).



Figura 10: Laguna de aireación.

La laguna de aireación no cuenta con ningún tipo de instrumentación para monitoreo de oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto puede ser medido por laboratorio o con instrumentación local. La ventaja de la instrumentación local es que el monitoreo es continuo y se puede tomar acción con respecto a la cantidad de oxígeno a suministrar tomando en cuenta esa medición. La operación de los sopladores es manual; los operadores son quienes determinan cuántos equipos ponen en funcionamiento dependiendo de la estación del año en el que se encuentren (O. Perelli, comunicación personal, agosto, 2019)

El proyecto original contemplaba en su diseño una laguna de sedimentación a continuación de la de aireación, pero al día de hoy ese equipo se encuentra totalmente inutilizable (figura 11). El efluente tratado en el tanque de aireación es conducido directamente hacia los puntos de vuelco disponibles en la planta. Los puntos de vuelco son dos: uno a orillas de la Ría de San Clemente y otro 100 m aguas arriba de aquel punto.



Figura 11: Laguna de sedimentación. En desuso.

La figura 12 corresponde a la vista en planta (aérea) o implantación de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú donde se visualizan las unidades que han sido descriptas hasta el momento.

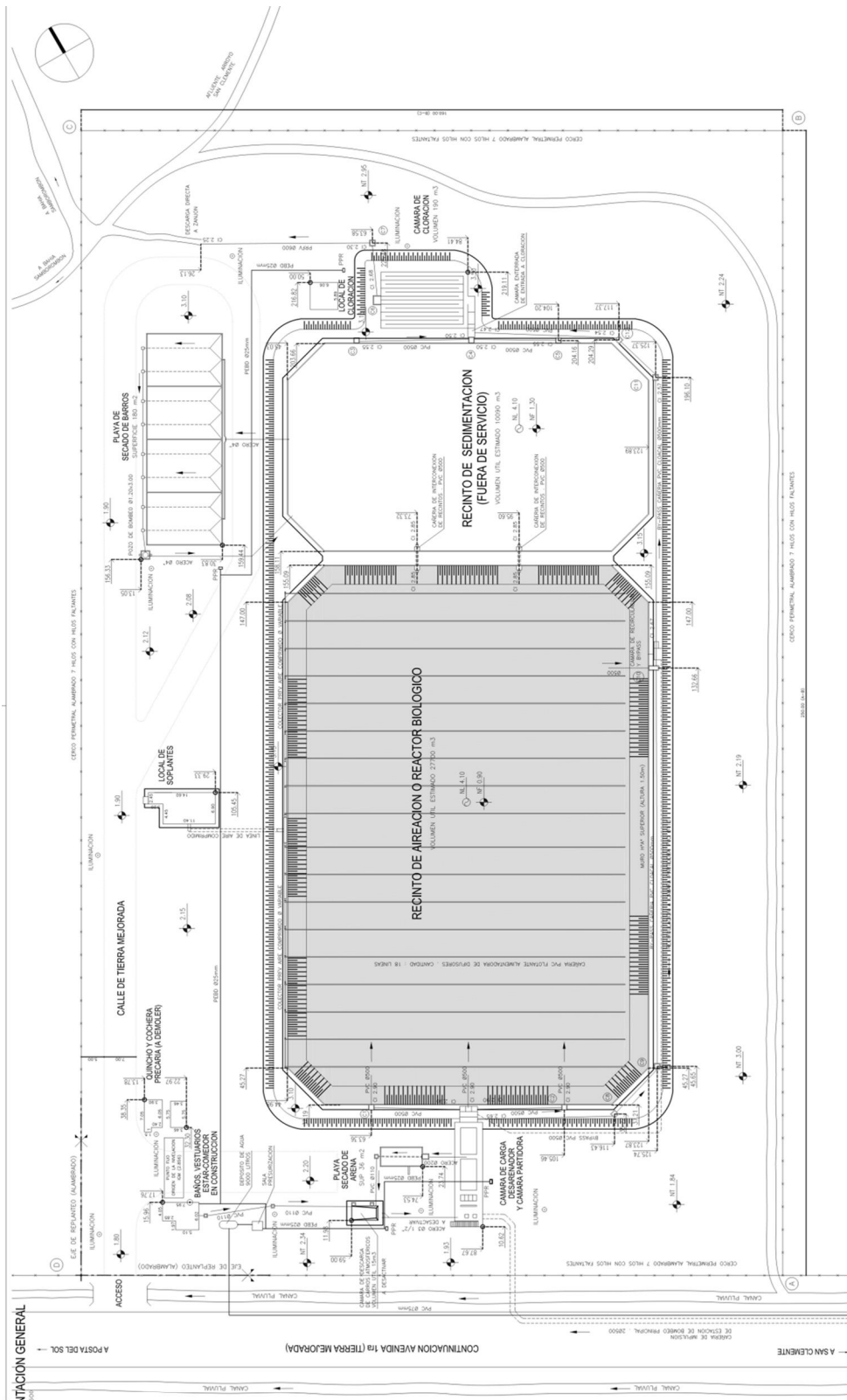


Figura 12: Vista en planta del tratamiento de efluentes en San Clemente del Tuyú. (Implantación- Cortesía COS)

Muchas unidades de las que dispone la Planta están fuera de uso. Por ejemplo el recinto de sedimentación, donde en este caso se indicó que la estructura no soportó las cargas y comenzó a tener pérdidas a los dos años de haberse iniciado la operación en la planta (O. Perelli, comunicación personal, agosto, 2019). Sin el sedimentador, el efluente de salida de la laguna de aireación es conducido todo a la Ría sin haber separado los sólidos sedimentables producto del tratamiento biológico acarreado los mismos a la zona del Humedal. La playa de secado de lodos es otra unidad fuera de uso por no contar con los lodos para deshidratar. La cámara de contacto con cloro para la desinfección tampoco está disponible. La figura 13 muestra la proyección del estado de la planta en el tiempo tomada desde Google Earth. La primera foto es del año 2005 y en la misma se observa que la laguna de sedimentación se encontraba en uso. La segunda foto es del año 2009 cuando se paró toda la planta. Luego hasta el año 2015 no se observa que la laguna de aireación haya vuelto a entrar en funcionamiento. Ese año ya se observa que la laguna de aireación se encuentra operativa pero la de sedimentación sigue parada. Dado que las fotos son estáticas, no es posible afirmar que entre las fotos del 2015 y la anterior, 2013 no haya sido puesta en funcionamiento la aireación, pero sí que la de sedimentación no volvió a utilizarse.

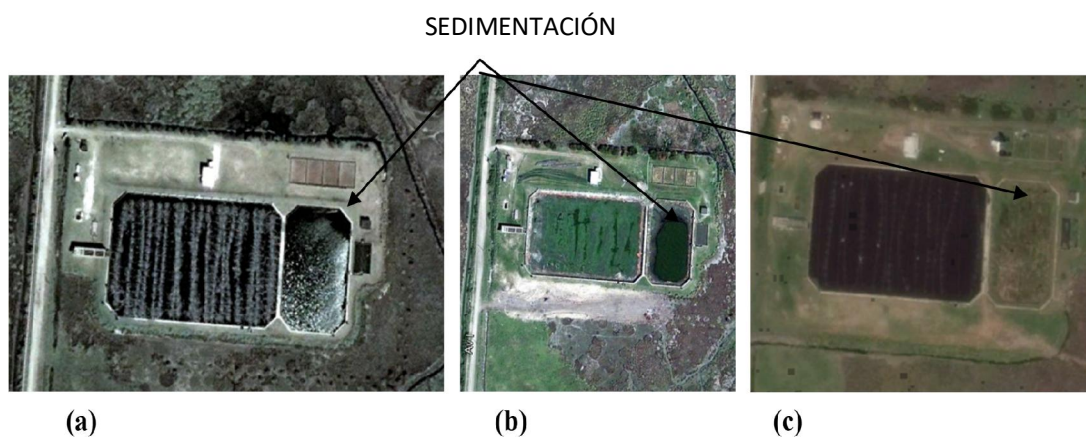


Figura 13: Proyección en el tiempo de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú. (a) 2005, (b) 2009, (c) 2015 (Recuperado de Google Earth, marzo 2020)

La figura 14 muestra la foto de la planta tomada desde Google Earth en el corriente año (2020) y un extracto del plano de implantación donde se puede ver el punto de descarga. La descarga se realiza en un canal pluvial que es conducido hacia el punto de vertido en la Ría. El canal está indicado por el trazo rojo.

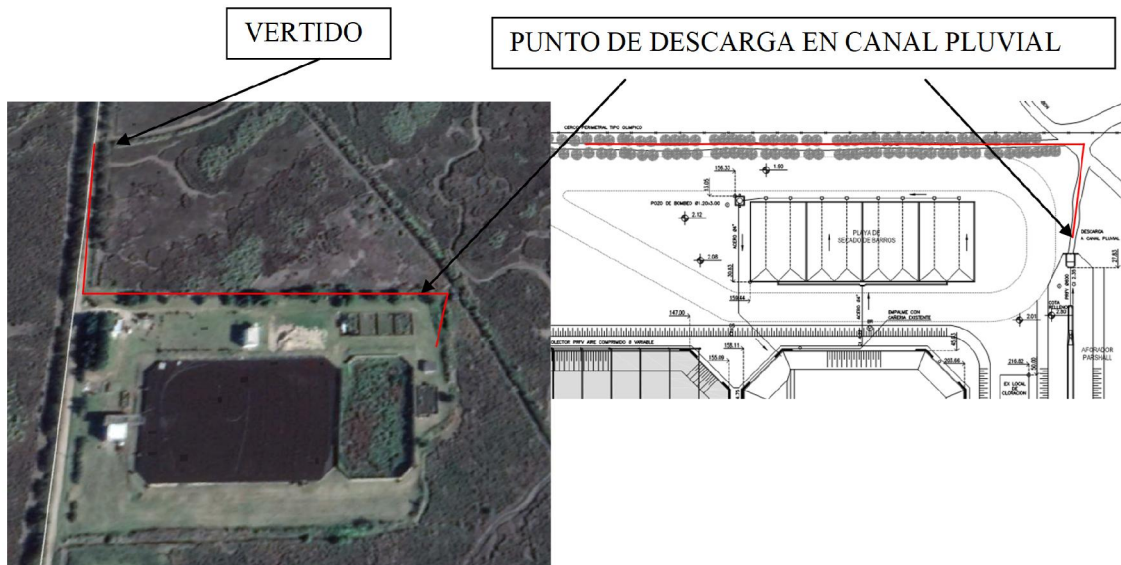


Figura 14: Vista en Planta de la Planta Depuradora desde Google Earth (recuperado el 5/10/2020). Señalización del Punto de vertido.

3.3. Características hidrológicas de la zona costera – Acuífero

Parte de la caracterización de la zona es describir la hidrología. Para ello se utilizó el trabajo de tesis de Silvina Carretero (2011), “Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires”. Se resalta de este trabajo que las arenas finas son la componente principal de la constitución del suelo en esta área y que el acuífero se encuentra a poca profundidad, contribuyendo estas características a su vulnerabilidad. Por otro lado, también se indica que la recarga natural del acuífero se ve afectada por la urbanización y el aumento de la población por lo que se resalta la importancia de una adecuada planificación para que estos impactos también puedan ser reducidos.

Silvina Carretero (2011), en su trabajo mencionado plantea una caracterización del esquema hidrodinámico de la región como "un esquema hidrogeológico compuesto por un sistema somero y otro profundo" (Carretero, 2011, p. 66). La descripción del mismo se transcribe a continuación:

[Primero está el *acuífero freático* [énfasis añadido], con un] espesor de entre 7-18 m representado por arenas finas a medianas castaño amarillentas (5-8 m); arenas conchíferas (2-6 m) que aumentan de espesor al E, desaparecen al O; arenas finas y arenas arcillosas (2,5-5m).

[Luego la] *unidad acuitardo-acuicludo* [énfasis añadido], compuesta por arcillas y arcillas arenosas verde grisáceas con valvas enteras, con un espesor de 2,5 a 5 m. que presenta un techo casi horizontal con suave pendiente al sur, situándose entre 8 y 9 m debajo del nivel del mar. [Luego el] *complejo acuífero semiconfinado* [énfasis añadido] (CAS), incluye a limos arenosos y arenas limosas castaño amarillentas friables con propiedades más arcillosas en la base.

[Luego el] *acuitardo-acuicludo* [énfasis añadido], compuesto de arcillas plásticas verde-gris con valvas gruesas y moteados férricos.

[Por último], el *sistema profundo* [énfasis añadido]: integrado por sedimentos más antiguos que pertenecen al relleno de la Cuenca del Salado, comenzando con un depósito de arenas cuarzosas, claras y pardo amarillentas, de carácter acuífero, que se localiza entre los 90 y 120 m de profundidad. Continúa la secuencia limos y arcillas con intercalaciones psamíticas acuíferas hasta los 800 m. Sigue un depósito con areniscas y arcillas rojas hasta los 1200 m, que presenta niveles acuíferos, acuicludos y acuitardos. Las capas acuíferas del sistema profundo se caracterizan por aguas de elevada salinidad (Carretero, 2011, p. 66)

En la figura 15 se pueden observar las unidades descriptas con anterioridad.

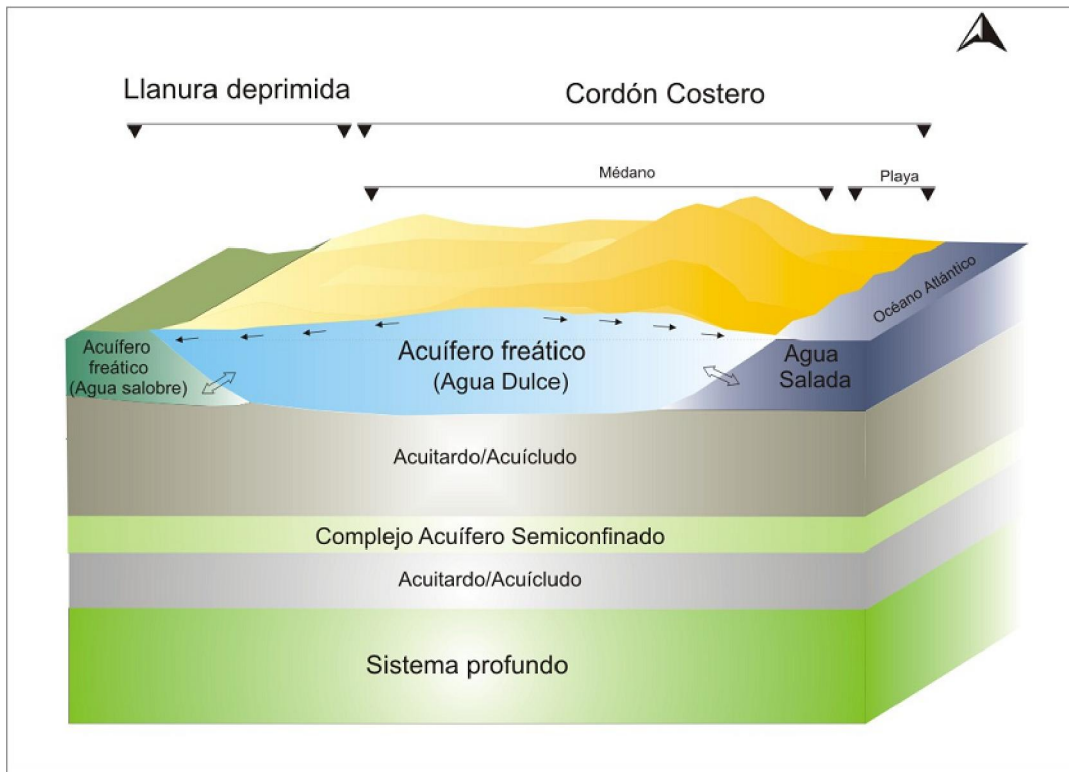


Figura 15: Esquema Hidrodinámico Regional. Fuente: Carretero (2011, p. 69)

El trabajo de investigación de Silvina Carretero (2011) describe donde está ubicada la capa freática, fuente de agua dulce que es utilizada por la población y su ciclo hidrodinámico de recarga. También se menciona la manera en la que la urbanización y las actividades humanas influyen en esta recarga reduciendo la misma.

En el sistema somero se incluye al ambiente de las dunas costeras donde se desarrolla la capa freática de agua dulce, directamente relacionada con el ciclo hidrológico actual, con un espesor que oscila entre 4 y 10 m. [...] Los rasgos geomorfológicos tienen una influencia directa en la dinámica y química del agua subterránea. El cordón costero (conformado por dunas) es el área de predominio de recarga, dada por las áreas más elevadas en la morfología freática (sector sur) que son coincidentes con las mayores alturas de las dunas. [...] La dinámica freática natural está supeditada a las condiciones climáticas. El ascenso de los niveles freáticos es una respuesta a los excesos de agua de las precipitaciones. Periodos sin

excesos dan lugar a la profundización de la capa freática. [...] En la región costera, los eventos de altas precipitaciones representan un aporte significativo a las reservas de agua dulce, por lo que deben ser aprovechados de manera eficiente. En el caso de San Clemente del Tuyú, en los sectores urbanizados, los menores porcentajes infiltrados (15%), ponen de manifiesto los mayores volúmenes disponibles para transformarse en escurrimiento superficial, que pueden generar anegamientos de magnitud en el área urbana. Un volumen importante de lo que constituiría una recarga potencial es eliminado del sistema hídrico mediante desagües al mar [como consecuencia directa de la urbanización]. Eventos de precipitaciones mayores a 60 mm dan origen a la recuperación y mantenimiento de las reservas de agua dulce, aun cuando en términos anuales se registren períodos muy secos. [...] Las actividades del hombre, en especial la importante actividad turística, originan modificaciones en el medio natural y consecuentemente en las condiciones hidrológicas. Los procesos de urbanización, destrucción de dunas, impermeabilización del terreno, afectan el régimen de las aguas subterráneas, como consecuencia de la disminución de la infiltración y la restricción de las áreas de recarga. Además se modifica la amplitud de las fluctuaciones de los niveles freáticos y se generan procesos de escurrimiento superficial. Los cambios en el uso de la tierra suelen modificar la relación entre los diferentes componentes del ciclo hidrológico, limitando la disponibilidad de agua dulce. El desarrollo turístico es acompañado por un incremento en la infraestructura y por la expansión de áreas con superficies impermeables. El proceso de urbanización, en distintos grados, trae aparejada la disminución de las posibilidades de infiltración de los excesos de agua, restringiendo las áreas de recarga natural y por consiguiente, las reservas de agua dulce disponibles. La disminución en la recarga es superior al 10% de lo que ocurre en el medio natural. (Carretero, 2011, pp. 190-191).

3.3.1. Vulnerabilidad del acuífero y posibles contaminantes

A partir del informe de Silvina Carretero y Eduardo Kruse, “Vulnerabilidad ante la contaminación del acuífero costero en San Clemente del Tuyú”, se indica que la vulnerabilidad del acuífero analizada por el método GOD y DRASTIC es “ALTA” y “MUY ALTA” respectivamente (Carretero & Kruse, 2018, secc. Índices de vulnerabilidad). El anexo 8.2 resume los resultados del mencionado informe donde además se presentan los posibles contaminantes del acuífero (desechos cloacales, aceites minerales, estaciones de servicio y aceite vegetal usado de desechos de comercios gastronómicos) y sus recomendaciones. Las mismas abarcan desde la separación in situ de los aceites generados en los comercios gastronómicos para evitar su llegada a la planta de tratamiento y un plan de monitoreo en las principales zonas donde se encuentran localizadas las posibles fuentes (Carretero & Kruse, 2018).

Como mencionan los autores Carretero y Kruse (2018), “el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento a la población ya sea estable, como al flujo turístico el cual constituye la principal actividad económica. Se concluye que es necesario proteger los recursos hídricos de cualquier tipo de contaminante”. (Carretero & Kruse, 2018, secc. Contaminantes). También resaltan la necesidad del monitoreo del acuífero como por ejemplo en las estaciones de servicio y en zonas donde haya mayor cantidad de pozos para aguas negras por la falta de extensión de la red cloacal. A su vez, enfatizan la necesidad de realizar un “control del estado de las redes de saneamiento y ampliación a los sectores que carecen del mismo, así como la recolección de los aceites minerales y vegetales usados [donde para ello] se recomienda la implementación de una ordenanza Municipal que apoye la iniciativa de recolección de los aceites vegetales usados aún carente de legislación” (Carretero & Kruse, 2018, secc. Contaminantes). Esto se alinea con el concepto de plan de gestión integral donde uno de los principales objetivos es evitar

la llegada de contaminantes al tratamiento mediante la separación desde el punto de generación.

3.4. Humedal de la Bahía Samborombón – Ubicación de la planta depuradora

El Humedal de la Bahía de Samborombón es una reserva de aves acuáticas y migratorias debido a la abundancia de moluscos, crustáceos y peces que lo habitan. También es uno de los últimos lugares en donde habita el venado de las Pampas, una de las especies en peligro de extinción en Argentina (Volpato, 2017, p. 6) debido a la actividad humana (caza furtiva) con sus posibles consecuencias al ecosistema existente.

A partir del trabajo de tesis realizado por Guillermo Volpato (2017) “La Valoración del Humedal de la Bahía de Samborombón” en el anexo 8.3, se puede encontrar una descripción de las características principales del Humedal de la Bahía de Samborombón. Asimismo, en el punto 8.3.1, se describe a su vez la problemática de la zona asociado a las diferentes actividades humanas y sus consecuencias, destacando entre ellas la contaminación de las aguas por efluentes cloacales y en el punto 8.3.2, se describen las principales funciones y atributos del Humedal. Las principales funciones y atributos descriptos permiten al autor valorar al humedal “entre U\$S 2.319.643.404 y U\$S 2.331.768.050 representando los valores de uso directo entre el 1,1% y el 0,5%” (Volpato, 2017, p. 56). En este valor se considera toda la extensión del Humedal como se ve reflejado en la figura 16. (Los usos directos del Humedal se corresponden con los recursos utilizados directamente como la pesca, caza, extracción de conchillas, etc. y los usos indirectos se corresponden con los servicios de regulación y apoyo que ofrece el Humedal). Este dato es interesante al momento de evaluar los aspectos económicos del proyecto, ya que en general no se tiene en cuenta la valoración económica ambiental (que en este caso es el que ofrece el Humedal) para compararla con la inversión necesaria para llevar adelante el proyecto y conservar de esta manera los servicios que el ambiente en

estudio ofrece. Para hacer esta comparación se debería definir el área de afectación directa por la falta de contar con la planta de efluentes.

La figura 16 muestra la ubicación geográfica de la Bahía Samborombón. Se muestra sombreado lo que está definido como “Reserva Natural de Objetivo Definido Bahía Samborombón”. La figura 17 muestra una ampliación a la zona donde se encuentra la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú para mostrar que la misma está ubicada dentro de los límites establecidos de la Reserva.

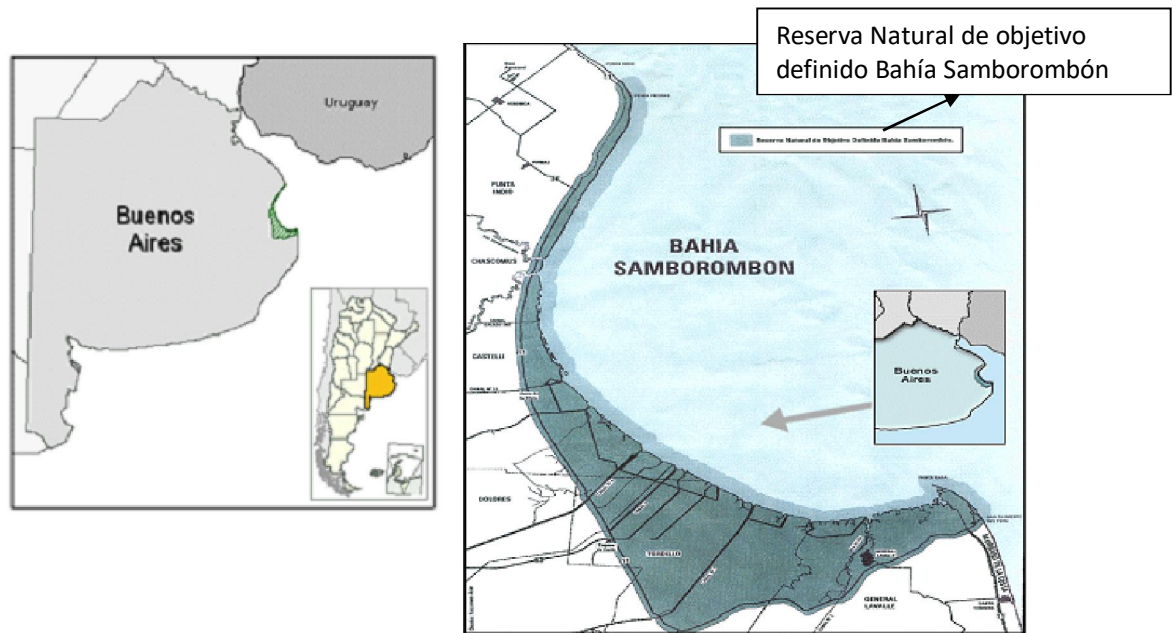


Figura 16: Ubicación geográfica del Humedal de Bahía de Samborombón. Fuente: Volpato (2017, p. 33)

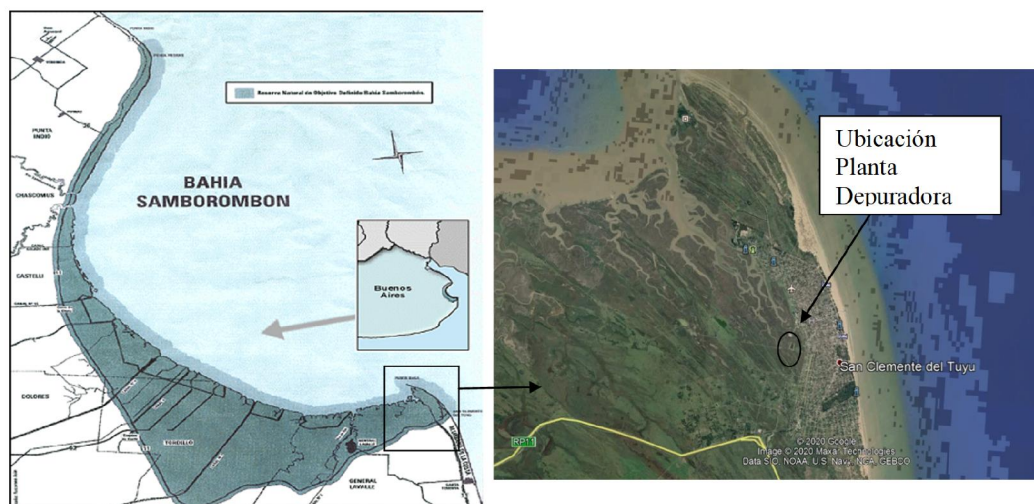


Figura 17: Izquierda Reserva Bahía Samborombón. Fuente: Volpato (2017, p. 34). Derecha, ampliación de zona recuadrada vista desde Google Earth. Ubicación de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.



Figura 18: Humedal de Bahía de Samborombón y áreas protegidas. Fuente: Volpato (2017, p. 36).

A su vez, en la figura 18 se puede observar las diferentes áreas protegidas que se encuentran dentro de lo que está definido como sitio Ramsar de Bahía de Samborombón o Reserva Natural Integral Bahía de Samborombón. El Parque Nacional Campos del Tuyú es lo que se encuentra más próximo a la planta. Según Guillermo Volpato (2017), “los temas ambientales prioritarios tanto para la gestión municipal como para la población son

los relacionados con el abastecimiento de agua, los efluentes cloacales y el tratamiento de los residuos sólidos” (Volpato, 2017, p. 75). Nuevamente se destaca la sensibilidad de la zona y la importancia de un adecuado manejo de los recursos.

3.5.Marco Regulatorio

3.5.1. Antecedentes

En 1972 tuvo lugar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (conocida como la Conferencia de Estocolmo), sobre cuestiones ambientales internacionales. Asistieron 113 países y más de 400 organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales. En la misma, se adoptó una declaración de 7 puntos y resolución de 26 principios para la conservación y mejora del medio humano y un plan de acción que contenía recomendaciones para la acción medioambiental internacional (Volpato, 2017, p. 11).

En 1983 la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece la Comisión sobre Medio Ambiente y Desarrollo (conocida luego como la Comisión Brundtland), cuyo objetivo fue desarrollar un informe para la comunidad internacional discutido en la Asamblea General del año 1987 y publicado con el título de Nuestro Futuro Común. En dicho informe se define al desarrollo sustentable como un proceso de cambio por el cual “la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación de los procesos tecnológicos y la modificación de las instituciones concuerden tanto con las necesidades presentes como futuras” y no como un estado de armonía fijo (Volpato, 2017, pp. 11–12).

En 1992 fue realizada la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente que reafirmó la Declaración de Estocolmo y de la que surgió la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo que buscaba alcanzar acuerdos internacionales en los que sean respetados los intereses de todos. En la declaración fueron proclamados

27 principios y el concepto de desarrollo sostenible se instaló en el debate internacional con énfasis en que la sustentabilidad sólo se logrará manteniendo un equilibrio entre la especie humana y los recursos de su entorno garantizando disponibilidad de los mismos para las generaciones futuras (Volpato, 2017, p. 12).

La Conferencia de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo de Río de Janeiro, significó un hito importante en la historia del derecho internacional ambiental y Argentina participó en ella incrementando el proceso de inserción de la dinámica ambiental y adoptando varios acuerdos internacionales en la materia (Nonna et al., 2011).

“La República Argentina aprueba la Convención por Ley N° 23.919, que fue promulgada el 16 de abril de 1991 y entró en vigor en setiembre de 1992, y por la Ley N° 25.335 (sancionada en octubre de 2000) aprueba las enmiendas y el texto ordenado de la Convención sobre los Humedales” (Volpato, 2017, p. 11).

En el año 1994 por Ley 24.375, reglamentada por Decreto N° 1347/97 la Argentina aprobó el Convenio sobre la Diversidad Biológica, (CDB) del cual se destacan los siguientes tres objetivos: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de los componentes de la diversidad biológica y la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Por estos objetivos es el CDB es considerado como el principal instrumento internacional para el desarrollo sostenible. Introduce el enfoque por ecosistemas como una estrategia integrada para gestionar recursos, y el término ‘uso sostenible’. (Volpato, 2017, pp. 13-14).

De acuerdo con los principios reconocidos por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente Humano de Estocolmo en 1972 y por la Cumbre de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro en 1992, los constituyentes

reformadores introdujeron la cuestión ambiental en el artículo 41 de nuestra Constitución Nacional. La reforma constitucional de 1994, ha consagrado el derecho a un ambiente sano y el correlativo deber de preservarlo, y que a su vez permita un efectivo desarrollo sostenible. Incorpora temas como los presupuestos mínimos de protección al ambiente, el uso racional de los recursos naturales, la recomposición de daño ambiental, la educación e información ambiental, la protección de la biodiversidad, la preservación del patrimonio natural y cultural. Entre las leyes de presupuestos mínimos que se han promulgado desde el año 2002 se encuentra la Ley 25.688 Régimen de Gestión Ambiental de Aguas con el fin de establecer los presupuestos mínimos para la preservación de aguas y su uso racional (Nonna et al., 2011).

Por otro lado cabe mencionar que en 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible donde se cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades. Dentro del “objetivo 6, agua limpia y saneamiento” se definen varias metas, entre ellas “de aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial” y “de aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos” (Naciones Unidas, s. f.).

3.5.2. Dominio y jurisdicción de recursos naturales

La Constitución Nacional en su artículo 124 establece que corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio. Es

Cada Provincia o jurisdicción local posee su propia normativa sobre el recurso agua. La Nación, hasta la sanción de la ley 25.688 de régimen de Gestión Ambiental de Aguas (publicada en Boletín Oficial del 28 de noviembre del año 2002), solo había regulado lo concerniente a la navegación y al recurso en general dentro de lugares de jurisdicción nacional. (Flores, 2010).

Complementariamente, el artículo 41 incorporado en la reforma de La Constitución en el año 1992 (donde en su texto indica 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), “en su párrafo tercero, afirma que la nación dictará las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección sin que alteren las jurisdicciones locales y las provincias las normas necesarias para complementarlas” (Flores, 2010).

[La ley 25.688 de presupuestos mínimos para la Gestión Ambiental de Aguas, establece que] será competencia del Estado Nacional determinar límites máximos de contaminación aceptables para aguas de acuerdo a los distintos usos (fijar niveles de calidad de agua), definir directrices de recarga de acuíferos, elaborar un plan para la gestión integral del recurso bajo los principios de prevención, uso racional y protección, y declarar zonas críticas de protección especial a determinadas cuencas cuando esto sea explícitamente requeridos por las jurisdicciones locales.

Las Autoridades Provinciales y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, conservan su competencia para fijar límites de vuelcos, determinar usos e incluso definir niveles de calidad de agua cuando no hayan sido fijados por el Estado Nacional, o bien quiera fijar un límite más estricto (Flores, 2010).

3.5.3. Normativa de aplicación en el Partido de la Costa – San Clemente

Al tratarse de una planta de efluentes cloacales, aplica el marco regulatorio de aguas y cloacas ley provincial Ley 11.820 y Decreto 878/2003.

La tabla 1 resume la matriz legal aplicable. En ella se menciona la normativa de cumplimiento obligatoria aplicable en San Clemente del Tuyú. Se deberá tener en cuenta que en materia medioambiental también rige el artículo 41 de la Constitución Nacional (derecho a un ambiente sano) que no está reflejado en la tabla 1.

Tabla 1: Matriz Legal de aplicación en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Aspecto	Característica	Organismo	Norma	Requisitos	Cumplimiento	Obs.
Aire.	Efluentes gaseosos.	OPDS. ¹	Ley 5.965 Dec 1.074/18.	Permiso de vuelco.	Sí.	Material particulado. Olor.
Suelo.	Residuos sólidos.	OPDS.	Res. 322/1998.	Presentación de plan de control de monitoreo y medidas de seguridad.	Sí.	Unidad de disposición final.
		ADA. ²	Ley 11.820 Dec 878/03.	-	Sí.	No se permite descarga de barro en la red colectora. ³
		OPDS.	Ley 11.720 Residuos Especiales.	-	Sí.	Por mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o hidrocarburos y agua. ⁴
Agua.	Vuelco.	ADA.	2.222/19.	Permiso de obra, planos. Permisos de vuelco	Sí.	Procesos de aptitud de obra y permisos.
		ADA. ⁵	Ley 11.820 Dec. 878/03.	Permiso de vuelco	Cumplimiento según Anexo "B".	No permite vuelcos en colectores cloacales.
EIA.			Ley 11.723.	EIA	Anexo "II". Incluye plantas de tratamiento de efluentes.	
			Res. 492/2019.		Sí.	Fija pautas para el EIA que deberá ser presentado para el proyecto de remodelación.

1- OPDS: Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible.

2- La ley 14989 en su artículo 58 suprime el Organismo de Control del Agua de Buenos Aires (OCABA) y determina que la autoridad de control de la prestación de los servicios públicos de agua potable y desagües cloacales será la Autoridad del Agua (ADA), quien absorberá todas las funciones atribuidas al OCABA, sin que ello implique la supresión de las competencias, obligaciones, misiones y funciones ya atribuidas al ADA.

3-Los barro deben tratarse conforme a su composición: como residuos especiales, peligrosos o industriales

4-Si el barro no tiene una composición peligrosa es especial, si no se encuentra por su composición listado como residuo especial, es residuo industrial asimilable a domiciliario

5-Idem nota 2.

A modo de resumen de las leyes de aplicación se presenta la tabla 2 donde se describen los puntos más relevantes mencionados en las correspondientes leyes.

Tabla 2: Leyes aplicables en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú- Descripción.

Ley	Denominación/ Considerando	Aspectos relevantes para el presente trabajo
Ley 5.965	Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera.	Se prohíbe envío de efluentes líquidos, sólidos, gaseosos de cualquier origen, a la atmósfera, acequias ríos arroyos, etc. Se prohíbe envío de efluentes líquidos a calzadas. Los permisos de descarga residuales a fuentes, cursos o cuerpos receptores de agua o a la atmósfera, concedidos o a concederse serán de carácter precario y estarán sujetos por su índole a las modificaciones que en cualquier momento exijan los organismos competentes.
Dec 1.074/18	Aprueba la reglamentación de la ley 5965 de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. Deroga el Dec 3395/96. Designa autoridad de aplicación al OPDS (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible).	Todos los establecimientos alcanzados deberán obtener la Licencia de Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA). Indica las normas de calidad de aire de vertido. Se indican requisitos para la obtención del LEGA y período de validez. (Parámetros aplicables: material particulado y olor).
Ley 11.820	Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales en la Provincia de Buenos Aires.	Presenta normas de calidad de vertido de efluentes líquidos cloacales en Anexo B. El Concesionario deberá mantener, operar y registrar un régimen de muestreo regular y de emergencias, de los efluentes vertidos en los distintos puntos del sistema, de acuerdo a las normas de calidad y plazos que se indican en los Contratos de Concesión y las disposiciones reglamentarias de aplicación. Se debe contemplar tratamiento secundario incluido el de barros. No se podrá recibir barros u otros residuos contaminantes en la red troncal de colectores como método de disposición.
Dec. 878/03	Por el Decreto N° 878/03 se dictó el Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales, por el cual se instrumentan las modalidades de gestión a efectos de garantizar la sustentabilidad del servicio.	La Entidad Prestadora deberá controlar las características de las aguas residuales y de los semisólidos resultantes de su tratamiento, previo a su vertido a cuerpos de agua o cualquier otro sitio de disposición final, informando los resultados al OCABA (Ahora ADA por ley 14.989). Mantener un programa permanente de muestreo de los efluentes vertidos y de las condiciones consecuentes del cuerpo receptor, en un todo de acuerdo a las disposiciones emitidas por la Autoridad del Agua.

Continúa

Tabla 2: continuación.

Ley	Denominación/ Considerando	Aspectos relevantes para el presente trabajo
Dec. 878/03		No se permitirá en ningún caso la descarga de residuos sólidos ni barros en la red pública de colectoras, siendo la Autoridad del Agua y la Subsecretaría de Política Ambiental, cada uno en el ámbito de su competencia, los encargados de establecer los sitios y condiciones del vertido de tales residuos. En caso de producirse algún inconveniente en el sistema de tratamiento que provoque el incumplimiento de las normas de vertido fijadas por la Comisión Permanente de Normas de Potabilidad y Calidad de Vertido de Efluentes Líquidos y Subproductos, la Entidad Prestadora deberá informar al OCABA de inmediato.
Ley 11.720 Residuos Especiales	Ley de Residuos Especiales. Objetivo de la ley: reducir la cantidad de residuos especiales generados, minimizar los potenciales riesgos del tratamiento, transporte y disposición de los mismos y promover la utilización de las tecnologías más adecuados, desde el punto de vista ambiental.	Anexo I define a mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.- como especial (este es el caso del lodo de aceites separado del sistema restaurantes). Ecotóxicos: Sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el ambiente debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos. Para las características de peligrosidad H11 y H12 se utilizará información disponible. Si no se dispone, se deberán realizar los ensayos necesarios cuando la Autoridad de Aplicación lo considere conveniente. En el caso de residuos especiales líquidos el análisis de ecotoxicidad se realizará en tres niveles tróficos de acuerdo a técnicas reconocidas a nivel internacional. Se deben disponer lugares especialmente acondicionados para el depósito permanente de residuos especiales en condiciones exigibles de seguridad ambiental. Los generadores deben registrarse.

Continúa

Tabla 2: continuación.

Ley	Denominación/ Considerando	Aspectos relevantes para el presente trabajo
Ley 11.723	Establecer el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y los requisitos para la obtención de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).	Todos los proyectos consistentes en la realización de obras o actividades que produzcan o sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales, deberán obtener una declaración de impacto ambiental expedida por la autoridad ambiental provincial o municipal según las categorías que establezca la reglamentación de acuerdo a la enumeración enunciativa incorporada en el anexo II de la presente ley. Dentro del Anexo II se encuentran los siguientes puntos: 2. Administración de aguas servidas urbanas y suburbanas. 7. Conducción y tratamiento de aguas.
Res. 492/19 OPDS	Fijar las pautas del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y las condiciones para la emisión de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) por parte de la Autoridad Ambiental Provincial, en el marco de la Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales N° 11.723.	Obras y Proyectos expresamente Pautados: Tratamiento y Conducción Cloacal: Plantas de tratamiento de efluentes cloacales. Redes de conducción cloacal y estaciones de bombeo (anexo I, punto “a”). Información que se debe adjuntar para Plantas de Tratamiento de efluentes Cloacales: Certificado de Prefactibilidad Hídrica Resol ADA N°333/17 (Ahora ADA 2.222/19) Por otro lado, la Res. 422 fija los lineamientos que debe seguir el EIA que se debe presentar ante la OPDS. A tener en cuenta: Capítulo I -Introducción 1-Nombre y Ubicación del Proyecto 2-Objetivos y Alcance del Proyecto. 3-Organismos/ Profesionales Intervinientes Capítulo II-Descripción del Proyecto 1-Análisis de Alternativas 2-Memoria Descriptiva del Proyecto Capítulo III-Characterización del Ambiente 1-Descripción del Sitio 2-Area de Influencia 3- Medio Físico 4- Medio Biológico 5- Medio Antrópico 6- Generación de Datos Primarios

Continúa.

Tabla 2: continuación.

Ley	Denominación/ Considerando	Aspectos relevantes para el presente trabajo
Res. 492/19 OPDS		Capítulo IV-Identificación y Valoración de Impactos Ambientales 1-Metodología 2-Acciones del Proyecto 3- Potenciales Impactos Ambientales 4- Conclusiones a partir de la Identificación de Impactos Capítulo V-Medidas para Gestionar Impactos Ambientales. Capítulo VI- Plan de Gestión Ambiental 1-Programa de Seguimiento y Control 2-Programa de Monitoreo 3-Programa de Contingencias Ambientales 4- Programa de Difusión. 5- Otros programas.
ADA 2.222/19	La Resolución 333 fue reemplazada por la 2.222 del ADA.	Aprobar el Proceso de Prefactibilidad Hídrica, y su tramitación electrónica e integrada a través del Portal Web de la Provincia de Buenos Aires, en los términos establecidos en la resolución (art. 1). Aprobar procesos de Aptitud de Obra (art. 2) y aprobar Procesos de Permisos (art. 3). Correspondientes a fases I, II y III respectivamente.
Res. OPDS N° 322/1998	La OPDS aplica para el depósito sobre tierra de los barros la Resolución OPDS N° 322/1998. Para obtener dicha aprobación es necesario presentar Auditoría Ambiental del sistema de disposición final resultados de un plan de monitoreo ambientales desarrollados hasta la fecha para su renovación al término de dos años de su otorgamiento.	Aquellos establecimientos generadores de Residuos Especiales o Industriales No Especiales que posean como lugar de disposición final de los mismos, "Unidades de Disposición Final" ubicadas en un predio de su propiedad, distinto al del lugar de generación, que se encuentren o no situadas en la misma jurisdicción municipal, serán alcanzados por las disposiciones de la presente resolución.

El presente trabajo toma la normativa presentada en la matriz legal para su desarrollo. Además, considera utilizar normativa nacional más exigente para la disposición de barros donde en lugar de que sea un relleno, se recomendará su utilización si aplicable, en agricultura, forestación u otras opciones como parte de una economía circular. Esto se verá reflejado en el programa de gestión de residuos en el Plan Ambiental

que, a su vez, podrá ser utilizado como parte del EIA exigido por la Resolución 492-19-OPDS.

3.5.4. Manejo sustentable de efluentes en la Planta Depuradora

Los barros generados en una planta de efluentes son los denominados barros cloacales. El barro cloacal se define como el residuo generado durante el tratamiento de aguas residuales domésticas (Ver figura 19).

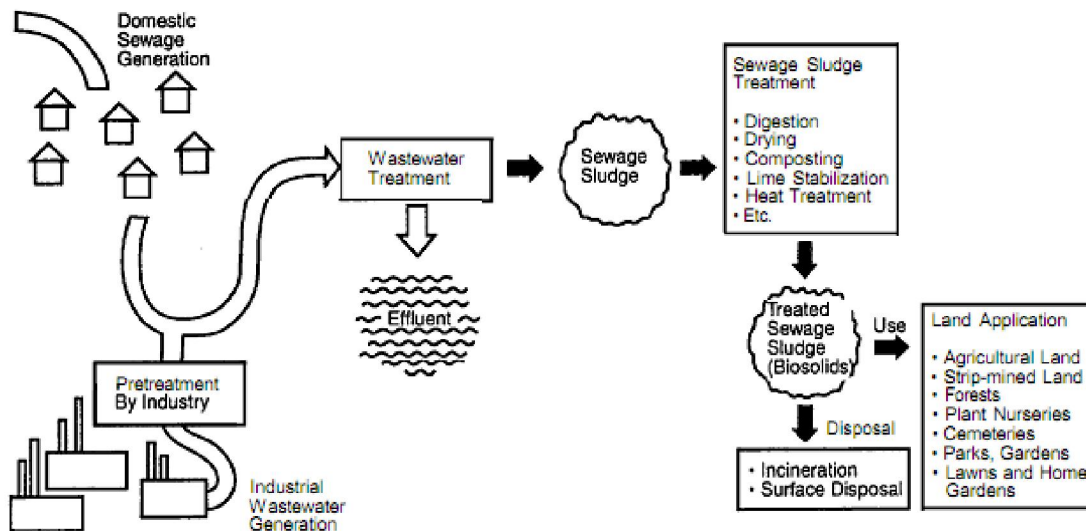


Figura 19: Generación tratamiento uso y disposición de barros cloacales. Fuente: EPA (2003, p. 1).

Los barros cloacales son utilizados tanto en Estados Unidos como en otros países como acondicionadores de tierras y como fertilizantes parciales. Se usan en agricultura (pastura y cultivos), áreas afectadas (minería, construcción, etc.), forestación, áreas recreacionales, cementerios, autopistas, y otros. La Agencia de Protección de Medioambiente, agencia federal principal responsable del manejo de lodos, alienta el uso del barro cloacal para su aplicación en tierra luego de que haya sido tratado adecuadamente para el uso al que se destine (EPA, 2003, p. 1).

El barro cloacal tiene nutrientes beneficiosos para las plantas y propiedades para el acondicionamiento del suelo, pero también dispone de bacterias patógenas, virus, protozoos, parásitos y otros microorganismos que pueden causar enfermedades. El uso en tierra y disposición en el suelo del lodo no tratado puede crear una exposición potencial de los humanos a estos organismos a través del contacto ya sea directo o indirecto. Para proteger la salud pública de estos organismos y de los posibles contaminantes que algunos barros pueden contener, muchos países regulan su uso (EPA, 2003, p. 1).

A lo largo de la industria del tratamiento de efluentes, el término barro cloacal fue reemplazado por el término “biosólidos”. El término “biosólidos” se refiere específicamente a barro cloacal que atraviesa un tratamiento para cumplir con estándares establecidos para su uso beneficioso (EPA, 2003, p. 1).

En Argentina, fue promulgada la Norma Técnica para el Manejo Sustentable de Barros y Biosólidos Generados en Plantas Depuradoras de Efluentes Líquidos Cloacales y Mixtos Cloacales-Industriales (Resolución Nacional 410/2018), jueves 26 de abril del 2018. En el artículo 3 dice que las provincias y la Ciudad pueden adoptar la norma dentro del ámbito de sus jurisdicciones.

La Provincia de Buenos Aires no adhiere a la misma, por lo que la planta de San Clemente del Tuyú no es alcanzada por este ordenamiento. Sin embargo, como esta norma da los lineamientos de manejo de biosólidos similares a los utilizados a nivel internacional (Ver anexo VII de la norma 410 donde se muestran todas las referencias nacionales e internacionales complementarias, como por ejemplo de “Environmental Protection Agency- EPA 40 CFR Part 503- Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge”) se la va a utilizar en este trabajo. La propuesta presentada podrá ser incluida en la EIA (Evaluación de Impacto Ambiental) para autorizar el proyecto de

reacondicionamiento y la autoridad de aplicación (OPDS junto con ADA) deberán aprobar la misma y emitir el Certificado de Aptitud Ambiental.

3.5.4.1. Resolución 410/2018

La norma técnica de la Resolución 410/2018 tiene por objeto establecer los criterios para el manejo, tratamiento, utilización, disposición o eliminación de los barros y biosólidos resultantes de las diferentes operaciones unitarias que realicen las plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos (cloacales-industriales), a efectos de asegurar una gestión sustentable de estos materiales (Res. 410/2018, art. 2).

Además, tiene el propósito de proteger y preservar la salud y el ambiente, conformando una guía metodológica de referencia para las diferentes jurisdicciones donde entes públicos o privados presten el servicio sanitario de depuración de efluentes líquidos cloacales y mixtos (cloacales-industriales) (Res 410/2018, art. 3).

Los biosólidos se definen en la norma como los “barros cloacales sometidos a tratamientos de estabilización y/o higienización mediante procesos físicos, químicos o biológicos” (Res 410/2018, art. 1). Los biosólidos se clasifican en clase A o B según el proceso de estabilización al que se los ha sometido y a su contenido de patógenos.

Los biosólidos deben clasificarse atendiendo el diagrama de flujo presentado en la figura 20 certificando algún procesos de reducción significativa de patógenos (PRSP), listados en el Anexo III, que será función del tratamiento de lodos de la planta. Por otro lado, deberá garantizar algún parámetro de cumplimiento de reducción de atracción de vectores (“potencial de los barros cloacales y biosólidos de atraer roedores, insectos voladores y rastrosos y otros organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos” (Res 410/18, art 1)) indicado en la tabla 1 del anexo II. Otros parámetros a considerar son la concentración de elementos potencialmente tóxicos y nivel de

patógenos (coliformes y salmonella) que se presentan en las tablas 2 y 3 del anexo II. El biosólido se clasificará como consecuencia de lo anterior en clase A o B.

En la tabla 3 se puede observar el resumen de la norma 410 siguiendo el diagrama de la figura 20.

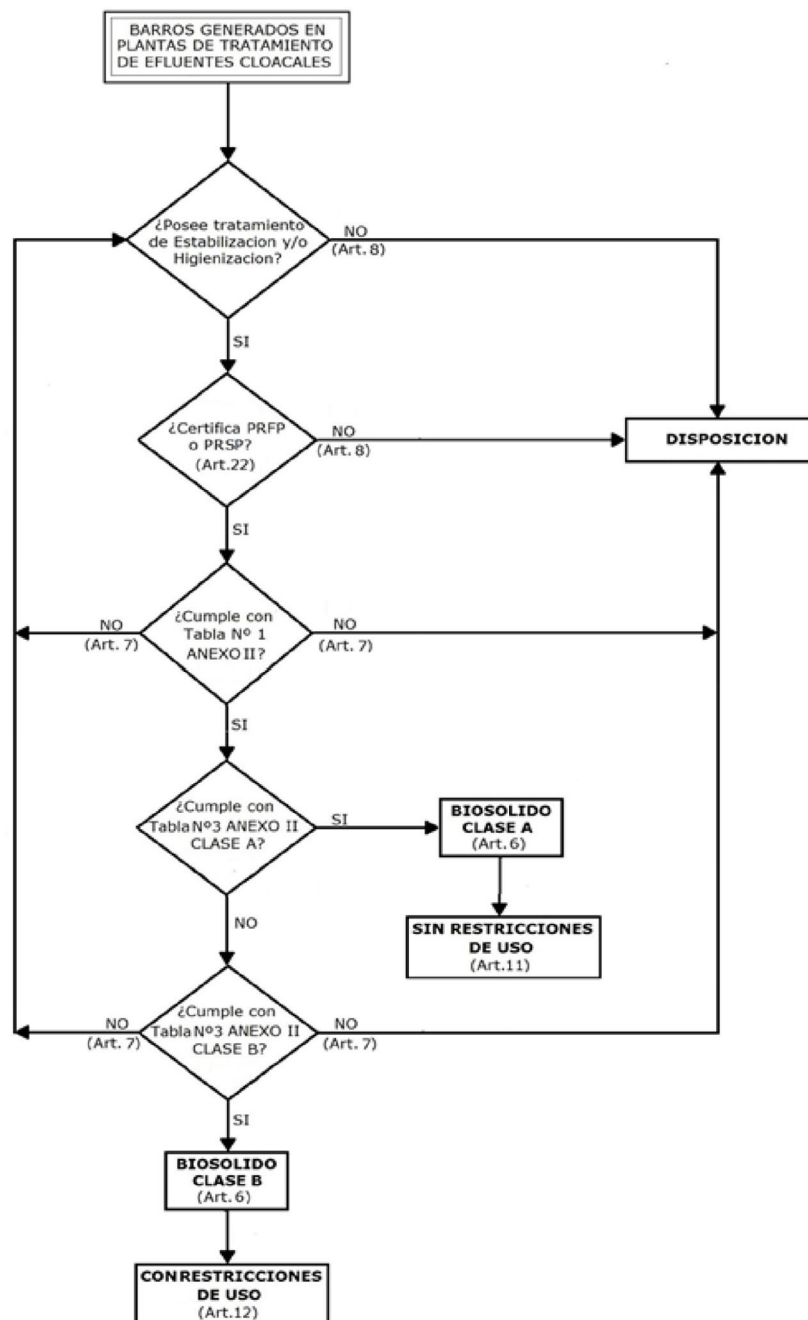


Figura 20: Diagrama de flujo para la clasificación de barros cloacales (Res. 410/2018, Anexo I)

Tabla 3: Resumen de la Resolución 410/2018. (Elaboración propia).

Indicador	Biosólido Clase A	Biosólido Clase B
PRSP (Procesos que reducen significativamente los patógenos) (Anexo III) y capacidad de atracción de vectores (Deben cumplir con reducción en SV (sólidos volátiles) en más del 38% o en Deflexión de oxígeno menor a 1,5mg O ₂ /h/g ST) (Tabla 1, Anexo II).	- Compostaje. - Digestión anaeróbica termofílica. - Digestión aeróbica termofílica. - Secado por Calor. - Tratamiento térmico. - Pasteurización. - Irradiación con Rayos Beta. - Irradiación con Rayos Gama.	- Compostaje. - Digestión anaeróbica mesofílica. - Digestión aeróbica . - Playa de Secado. - Encalado. - Atenuación natural.
Nivel de patógenos en biosólidos (Tabla 3, Anexo II).	- Coliformes fecales < 1.000 NMP/g MS. - Salmonella < 3 NMP/4g MS.	- Coliformes fecales < 2.000.000 NMP/g MS - Salmonella no aplica.
Disposición y uso final (según Artículo 10).	- Forestación y floricultura. - Recuperación de sitios degradados. - Restauración del paisaje. - Elaboración de abonos y enmiendas. - Cierre de rellenos sanitarios. - Paisajismo. - Otros usos.	- Para forestación y floricultura, recuperación de sitios degradados Restauración de paisaje el acceso al público y animales debe restringirse para luego de un año de su aplicación. - No podrán ser utilizados para paisajismo. - No podrán ser utilizados en sitios con alta exposición, de contacto directo o de alto tránsito, como tampoco en establecimientos tales como hospitales, escuelas o conjuntos de viviendas. - No podrán ser utilizados en sitios ubicados a menos de 100 metros de distancia de viviendas o establecimientos como los mencionados en el punto c.

Las distintas tecnologías para tratar el lodo de plantas depuradoras se describe en el anexo 8.7. En la planta de San Clemente, el lodo obtenido es el resultado de un proceso de digestión anaeróbica por acumulación de lodo en el sedimentador por dos años y luego deshidratado en playas de secado, con lo cual se estima que se podrá obtener un biosólido que según su nivel de patógenos podrá ser clase A o B (siempre y cuando no presente metales pesados con valores superiores a los límites establecidos).

4. Desarrollo

4.1. Matriz de evaluación ambiental Planta Depuradora San Clemente del Tuyú

En la tabla 4 se presenta un resumen de los aspectos ambientales que han sido considerados y descriptos y la manera en que se ven afectados por las condiciones actuales de operación de la Planta Depuradora.

En este punto se exhibe un resumen de la evaluación ambiental considerando el estado actual de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Tabla 4: Matriz de evaluación ambiental. Estado actual de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Aspectos analizados	Sobre la atmosfera	Sobre el agua	Sobre el suelo	Comunidad
Falta de estructura de red cloacal.		Pozos ciegos. Contaminación potencial del acuífero.		Potencial desarrollo de enfermedades por falta de estructura sanitaria.
Explotación del acuífero.		Intrusión salina.		Recurso no sustentable si no es manejado apropiadamente.
Mejoras en redes de acceso.				Aumento del turismo.
Aumento de turismo.		Sobreexplotación del acuífero. Recarga de acuífero afectada. Descargas potenciales fuera de especificación de la planta de efluentes.	Impermeabilización de suelos por el avance de zona urbana.	Mayor caudal de tratamiento de efluentes.
Capacidad de depuración actual deficiente.		Descargas fuera de especificación con alta carga, alto sedimento.		
Falta de operación de laguna sedimentación.	Aumento de gases GEI (gases de efecto invernadero) por procesos de anaerobiosis evitables.	Afectación del Humedal (zona costera).	Aumento de sedimentos en puntos de vertido de la planta. Aumento de procesos de anaerobiosis-afectación del humedal.	Potencial contaminación en peces y mariscos por descargas con patógenos u otros posibles contaminantes.

Las condiciones actuales de operación de la planta demuestran la importancia de realizar un reacondicionamiento de la misma para poder contar con una operación adecuada y gestión de sus residuos de manera sustentable. La matriz de evaluación ambiental presentada en la tabla 4 refleja los principales puntos que se han descripto hasta el momento. Los mismos tienen en cuenta la falta de la estructura de la red cloacal, la cantidad de pozos ciegos, el potencial de contaminación del acuífero asociado a la falta de ampliación de la red cloacal y red de distribución de agua potable (donde muchas viviendas cuentan con sus propios pozos de extracción de agua con los riesgos de contaminación que esto implica) y a una población en crecimiento que si no hay una adecuada planificación podrá provocar sobreexplotación del acuífero y reducción en recargas por el avance de la zona urbana. Por otro lado, la deficiencia en la operación de la planta depuradora provoca que el arroyo receptor del efluente esté actuando como sedimentador depositando en él, todos los lodos provenientes del tratamiento, generando zonas de anaerobiosis por la misma acumulación de sedimentos (ver figura 13, punto de descarga). En paralelo a esto último no se está logrando los niveles de vertido conforme las exigencias de la normativa vigente lo cual el ecosistema del Humedal se verá afectado.

La matriz de evaluación ambiental refleja los potenciales impactos negativos presentes donde la probabilidad de ocurrencia de los mismos es alta lo que implica que la operación en estas condiciones de la planta sea riesgosa para el ambiente. El proyecto de reacondicionamiento de la planta no prevé la ampliación de la red de distribución de agua potable ni las redes cloacales, pero se han indicado para mostrar la sensibilidad de la zona e ir abordando los temas de manera integral. Actualmente se está ampliando la red cloacal.

4.2. Condiciones de diseño de la planta – Proyecto de reacondicionamiento

La planta de tratamiento de efluentes de San Clemente fue concebida como un tratamiento de laguna aireada tal como fue descrito en el punto 3.2- Descripción Planta Depuradora Cloacal de San Clemente.

En la planta existe un módulo (conjunto de laguna de aireación y de sedimentación) que se corresponde con el diseño original de 1994 donde se había contemplado el diseño de dos módulos iguales, pero uno solo fue construido. La falta de operabilidad de algunas de sus unidades en el módulo construido hacen que sea necesario su reacondicionamiento. Se recuerda al lector que la DIPAC solicitó a Prates y Cía. un estudio técnico para el alcance del proyecto de reacondicionamiento inmediato, sin contemplar la construcción del segundo módulo como parte de la obra a ser realizada.

4.2.1. Estudio técnico de reacondicionamiento de la Planta Depuradora Cloacal San Clemente del Tuyú.

Se presentarán las condiciones de diseño que se adoptaron y la obra que comprende el proyecto. Estas consideraciones se utilizarán para ubicar la línea de base para la evaluación ambiental y la elaboración del Plan Ambiental de la planta reacondicionada.

4.2.1.1. Memoria de cálculo de la Planta Depuradora Cloacal San Clemente del Tuyú

Las tablas 5 y 6 reflejan la proyección de caudales a tratar desde el año 2020 al año 2040. Asimismo, se muestra la variabilidad entre la población estable (invierno) y la de verano donde la misma se quintuplica debido al turismo.

Tabla 5: Planilla de demanda para población estable de San Clemente. Fuente: Prates y Cía (2018, provista a la autora por COS).

SAN CLEMENTE PLANILLA DE DEMANDA ESTABLE						
Parámetro	Unidad	Año				
		2020	2025	2030	2035	2040
Población estable	Hab	13.184	14.010	14.894	16.078	17.371
Coefficiente de variación estacional α_1		1	1	1	1	1
Población de verano	Hab	13.184	14.010	14.894	16.078	17.371
Población hoteles y camping	Hab	0	0	0	0	0
Población total	Hab	13.184	14.010	14.894	16.078	17.371
Cobertura	%	90	90	95	95	98
Población servida	Hab	11.866	12.609	14.149	15.274	17.024
Dotación de agua	l/hab.día	300	300	250	250	250
Coefficiente de retorno (residencial) ϕ		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Caudal residencial	m ³ /d	2.848	3.026	2.830	3.055	3.405
Infiltración y desagües pluviales	%	5	5	5	5	5
Req. desagües cloacales	m ³ /d	2.990	3.177	2.971	3.208	3.575
Vuelco por habitante (aparente)	l/hab.día	252	252	210	210	210
Vuelco por habitante (real)	l/hab.día	240	240	200	200	200
Caudal medio QC	l/s	35	37	34	37	41
	m ³ /h	125	132	124	134	149
Caudal máximo horario Q _{ein}	l/s	59	63	58	63	70
	m ³ /h	212	225	210	227	253

Tabla 6: Planilla de demanda población verano de San Clemente. Fuente: Prates y Cía (2018, provista a la autora por COS).

SAN CLEMENTE PLANILLA DE DEMANDA VERANO						
Parámetro	Unidad	Año				
		2020	2025	2030	2035	2040
Población estable	Hab	13.184	14.010	14.894	16.078	17.371
Coefficiente de variación estacional a1		5	5	5	5	5
Población de verano	Hab	65.920	70.048	74.470	80.392	86.855
Población hoteles y camping	Hab	6.592	7.005	7.447	8.039	8.686
Población total	Hab	72.512	77.053	81.917	88.431	95.541
Cobertura	%	90	90	95	95	98
Población servida	Hab	65.261	69.347	77.821	84.009	93.630
Dotación de agua	l/hab.día	300	300	250	250	250
Coefficiente de retorno (residencial) Ø		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Caudal residencial	m³/d	15.663	16.643	15.564	16.802	18.726
Infiltración y desagües pluviales	%	5	5	5	5	5
Req. desagües cloacales	m³/d	16.446	17.476	16.342	17.642	19.662
Vuelco por habitante (aparente)	l/hab.día	252	252	210	210	210
Vuelco por habitante (real)	l/hab.día	240	240	200	200	200
Caudal medio QC	l/s	190	202	189	204	228
	m³/h	685	728	681	735	819
Caudal máximo horario Qeinv	l/s	324	344	322	347	387
	m³/h	1.165	1.238	1.158	1.250	1.393

Las tablas 5 y 6 muestran también las condiciones de diseño que se han tenido en cuenta para la verificación de la planta depuradora. El estudio de Prates y Cía (2018) utiliza el caudal medio para la verificación de las unidades diseñadas. Este valor es el producto del vuelco por habitante (real) con la población servida (cantidad de habitantes estimada) más un 5% de caudal correspondiente a infiltraciones y desagües pluviales. También se observa que se considera un vuelco por habitante (real) en el año 2020 de 240 l/hab.día y a partir del 2030 un valor de 200 l/hab.día lo que indica que se espera una mayor concientización de ahorro de agua por parte de la población. Esto hace que, si bien la población servida aumente año tras año, el caudal medio de tratamiento se mantenga en el mismo orden en el año 2030 que el 2020 debido a esta reducción esperada del vuelco por habitante, pero sí se aprecia un aumento más marcado para el 2040.

La siguiente descripción se extrae de la memoria técnica del estudio de Prates y Cía (2018) para resumir brevemente lo que se espera del proyecto:

Teniendo en cuenta la escasa información disponible con relación al dimensionado de las obras existentes, se definieron con datos actuales referidos a la población residente y la de verano, los parámetros de diseño a 20 años (2040) y con ellos, se verificó la capacidad de depuración de las lagunas existentes. Asimismo, considerando que no existe en el sistema cloacal de la localidad ningún dispositivo de medición de caudales, se dispuso la incorporación de un aforador Parshall, dotado con un sistema electrónico de lectura, registro y archivo detallado de caudales, que permitirá evaluar parámetros de las operación y eficiencia de la Planta. [...] Se considera de modo preponderante, la realización de tareas de reparación y puesta en valor de las obras existentes y la incorporación de equipamiento para la mejora del servicio y se agrega en ésta memoria, información técnica para la incorporación futura de un sistema para el lavado de arena, para cuando la operadora del servicio (Cooperativa C.O.S.) lo disponga (Prates y Cía, 2018, secc. Memoria técnica).

Por otro lado, se extrae de la verificación técnica del sistema de laguna presentada en el estudio Prates y Cía (2018) el siguiente párrafo que indica el modelo matemático que fue considerado:

El sistema de tratamiento se basa en el desarrollo de un cultivo de bacterias que se dispersan en un tanque aireado mecánicamente el cual es alimentado con el líquido residual a tratar. La verificación se desarrolla considerando la depuración mediante un proceso de lagunas aireadas de mezcla completa seguidas por lagunas de sedimentación. Se utiliza diseño recomendado por la EPA (Environmental Protection Agency) y según modelo matemático de O'Connor y Eckenfelder basado en la determinación de los niveles de DBO soluble en el efluente de la laguna y en la biomasa (X_v : Sólidos Suspendidos Volátiles) deducidos de los

balances de masa (Prates y Cía, 2018, secc. Verificación PDLC-San Clemente-v2).

[Las siglas de DBO corresponden a Demanda Bioquímica de Oxígeno que se define como la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en una muestra dada. Cuanto mayor la cantidad orgánica contenida, mayor el consumo de oxígeno. Es utilizada para evaluar estado o calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes].

Como parámetros de diseño se utilizaron los caudales medios presentados en las tablas 5 y 6. Los mismos muestran la proyección del aumento de población residente desde el año 2020 al 2040 y la quintuplicación del caudal entre invierno/ verano del mismo año analizado. Se consideró una DBO de entrada de 200 mg/l (valor adoptado) y una DBO de salida de 50 mg/l.

La verificación del sistema de aireación se realizó según el modelo matemático presentado en la figura 21 donde se considera los parámetros de DBO de entrada y salida mencionados anteriormente y se tiene en cuenta coeficientes cinéticos de remoción, (en este caso K_c) que en general son valores empíricos. Los coeficientes cinéticos son constantes de velocidad con la que los microorganismos degradan la materia orgánica y son dependientes de las condiciones climatológicas, para lo cual es necesario su ajuste según la temperatura de operación.

Verificación del sistema de lagunas de aireación con mezcla completa

El diseño de lagunas aireadas de mezcla completa se basa en el siguiente modelo

$$\frac{S_e}{S_0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{kc \cdot t}{n}\right)^n}$$

S_e	Concentración de DBO en el efluente a la laguna
S_0	Concentración de DBO en el afluente a la laguna
kc	Coefficiente de asimilación para mezcla completa
t	tiempo de permanencia hidraulica
n	numero de celdas aireadas en serie de igual volumen

Figura 21: Modelo matemático utilizado. Fuente: Prates y Cía (2018, secc. Verificación PDLC-San Clement Clemente-v2)

De la ecuación que se presenta en la figura 21, se obtiene el “t”, tiempo de permanencia hidráulico, necesario para lograr la remoción de DBO esperada. El tiempo de permanencia hidráulico se despeja de la ecuación presentada considerando S_e (50mg/l), S_0 (200mg/l) y 2.5 d^{-1} para el coeficiente de asimilación cinética, K_c (considerando una temperatura de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$). A su vez, el “t” tiempo de permanencia hidráulico es la relación entre el volumen del estanque de aireación y el caudal de tratamiento, por lo tanto, se obtiene el volumen que debería tener el estanque de aireación para lograr la remoción esperada, ya que el caudal de tratamiento es el caudal medio, valor indicado con anterioridad. El valor de “ $K_c = 2,5 \text{ d}^{-1}$ [es el valor que se recomienda utilizar en las normas del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento, ENOHSA] en caso de no disponer de parámetros obtenidos mediante ensayos” (Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento [CoFAPyS], 1993, p. 104)

Para la verificación del estanque de sedimentación, se considera el tiempo de permanencia hidráulico como parámetro de diseño. Se recomienda que no sea superior a 1,5 días (Prates y Cía, 2018, secc. Verificación PDLC-San Clemente-v2) aunque en otras bibliotecas se encuentra que máximo puede ser 2 días (CoFAPyS, 1993, p. 105;

Mendonça, 1999, p. 28). Con estas consideraciones de diseño tomadas del estudio de Prates y Cía (2018), se realizó la tabla 7.

Tabla 7: Resumen de condiciones de diseño de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Parámetro de diseño	Unidad	Año 2020		Año 2030		Año 2040	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Población servida de diseño	hab	11.866	65.261	14.149	77.821	17.024	93.630
Caudal medio diario de diseño	m ³ /d	2.990	16.446	2.971	16.342	3.575	19.662
Número de módulos de sistema de tratamiento ("n" en figura 21)	Unidad	1	1	1	2	1	2
Número de celdas adoptadas en serie	Unidad	1	1	1	1	1	1
Caudal medio diario de diseño por módulo	m ³ /d	2.990	16.446	2.971	8.171	3.575	9.831
Concentración orgánica del afluente ("So" en la figura 21)	mg DBO _{total} /l	200	200	200	200	200	200
Carga orgánica diaria	Kg DBO/d	598	3.289	594	1.634	715	1.966
Concentración de DBO del efluente tratado ("Se" en figura 21)	mg DBO _{total} /l	50	50	50	50	50	50
Coefficiente de asimilación p/ mezcla comp. p/T 20°C ("Kc")	d ⁻¹	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Tiempo de permanencia hidráulica total (c/Kc a 20°C)	d	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Tiempo de permanencia hidráulica total (c/Kc corregido por temp. inv.)	d	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
<i>Verificación Laguna de Aireación</i>							
Volumen necesario	m ³	7.475	41.114	7.428	20.428	8.937	24.578
Superficie Laguna	m ²	9.243	9.243	9.243	9.243	9.243	9.243
Altura Laguna	m	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
Volumen real de laguna	m ³	29.579	29.575	29.575	29.575	29.575	29.575
Tiempo de permanencia hidráulica real del sistema	d	9,89	1,80	9,95	3,62	8,27	3,01
<i>Verificación Laguna de Sedimentación</i>							
Área lag. sedimentación	m ²	3.537	3.537	3.537	3.537	3.537	3.537
Altura laguna	m	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Volumen real laguna	m ³	9.957	9.957	9.957	19.914	9.957	19.914
Tiempo de permanencia hidráulica real por laguna de sedimentación	d	3,33	0,61	3,35	1,22	2,79	1,01

Las conclusiones que se desprenden luego de analizar la tabla 7 son:

1. El caudal medio esperado se quintuplica en verano ya que la población estival quintuplica la de los residentes regulares.
2. Hay una proyección de aumento de población del 43% entre el año 2020 y 2040.
3. El volumen necesario para que la laguna de aireación funcione considerando como población servida la población de verano, no es suficiente con una sola laguna. Esto se refleja en la columna correspondiente a verano 2020 donde se considera una sola laguna (la existente) y el valor del volumen necesario para lograr la depuración es de 41.114 m^3 mientras que la laguna existente tiene un volumen de 29.575 m^3 . Ya para los años 2030 y 2040 se espera contar con el segundo módulo con lo cual, el caudal de tratamiento sería la mitad del caudal total por laguna y el volumen necesario sería de 20.428 y 24.577 m^3 respectivamente.
4. El estudio técnico indica que la capacidad de la laguna de sedimentación no es adecuada porque el tiempo de permanencia hidráulico supera los 3 días, por lo que se indica lo siguiente: “Para las condiciones generadas por la población estable de la localidad, época invernal, se puede observar que las lagunas, de aireación y de sedimentación, presentan una elevada permanencia. Teniendo en cuenta que esto puede acarrear problemas de crecimiento de algas en las mismas, se deberá controlar el aporte de aire y la eficiencia del sistema de aireación, y para la laguna de sedimentación se deberá considerar un compartimiento mediante pantallas para reducir la

permanencia total en la misma. También se deberá evaluar la cloración en la salida del agua tratada ya que se puede ver afectada por el crecimiento de algas ocurrido en el proceso” (Prates y Cía, 2018, secc. Verificación PDLC-San Clemente-v2).

- En este punto se presenta la figura 22 donde se extrae el esquema de tratamiento propuesto en el estudio técnico para poder cubrir con la mayor demanda de depuración:

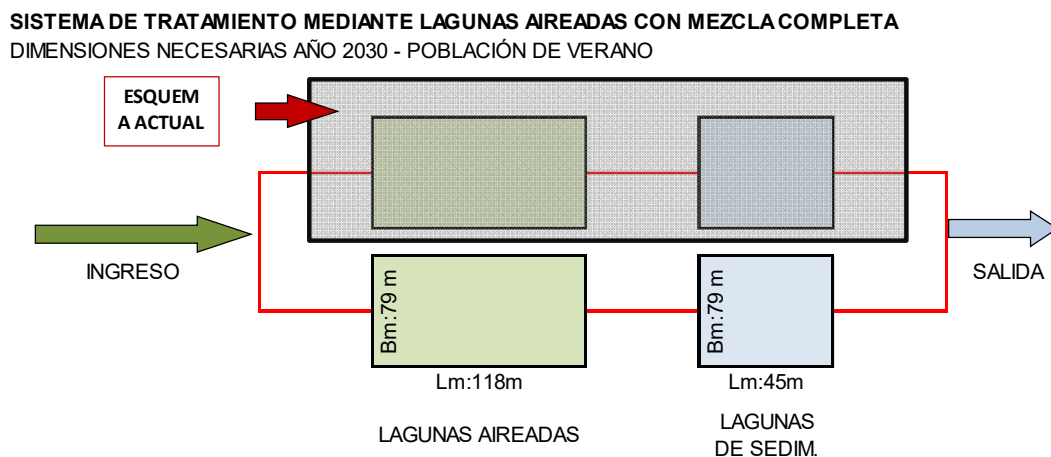


Figura 22: Esquema de tratamiento propuesto en estudio técnico por Prates y Cía (2018, secc. Verificación PDLC-San Clemente-v2)

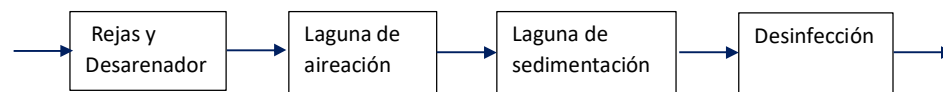
El mismo esquema presentado en la figura 22 aplicaría para la población de verano del año 2040.

Nota: como observación se quiere marcar que en el estudio realizado se utilizó la corrección por temperatura del coeficiente K_c donde se consideró las condiciones de invierno. Sin embargo en verano, el valor del K_c es muy próximo al valor para 20°C y en estas condiciones, si se realiza los mismos cálculos presentados en la sección de “Verificación PDLC-San Clemente v2” el tiempo de permanencia hidráulico requerido para cumplir con la remoción esperada resulta menor al tiempo de permanencia hidráulico real. Dicho en otras palabras, **el volumen disponible sería suficiente y no sería necesario ampliar la planta en una segunda laguna de aireación.** (Ver tabla 7 donde

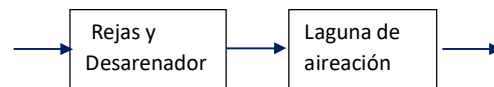
para la condición de verano el tiempo de permanencia hidráulico requerido está calculado utilizando el coeficiente K_c corregido por temperatura tomando el valor de invierno, y este tiempo de permanencia requerido sube de 1,2 días (con K_c a 20°C) a 2,5 días (con K_c a 11°C). En la columna de verano 2020 donde aún no se presentan los cálculos con el segundo módulo, se puede observar que el tiempo de permanencia hidráulico real es de 1,8 días lo cual supera a 1,2 días que sería la condición de operación necesaria para el verano).

4.2.2. Resumen de trabajos para el reacondicionamiento de la planta de tratamiento cloacal.

Antes de abordar las tareas de reacondicionamiento se recuerda cómo ha sido la transición de la planta desde su diseño original a la actualidad y su reacondicionamiento futuro.



a) Diseño original. Año 1994.



b) Planta Actual. Año 2020.



c) Proyecto de reacondicionamiento.

Figura 23: Esquemas de las distintas situaciones operativas de la Planta Depuradora Cloacal San Clemente del Tuyú.

La figura 23 muestra las distintas etapas de operación de la Planta desde lo que fue su concepción a la actualidad. El punto a) de la figura 23 muestra las unidades de operación de diseño. En el año 1994 se ha puesto en marcha y estuvo funcionando con estas unidades por aproximadamente dos años. Al cabo de ese tiempo, la laguna de sedimentación ha debido ser intervenida por problemas estructurales y no se ha vuelto a colocar en operación al igual que la unidad de desinfección. Es así como se llega al esquema de tratamiento actual ilustrado en el punto b) de la figura 23 donde luego del pretratamiento se incorpora a la laguna de aireación para finalmente ser enviado a la Ría sin haber sedimentado los lodos ni ser desinfectado. Con el proyecto de reacondicionamiento se busca volver a las condiciones de diseño del año 1994 tal como se muestra en el punto c) de la figura 23.

Con el proyecto de reacondicionamiento, además de llevar la planta a las condiciones de diseño del año 1994, se busca realizar algunas mejoras operativas como por ejemplo la construcción de una canaleta Parshal que es utilizado para la medición del caudal de tratamiento.

Se presenta a continuación el listado de tareas que es extraído de la planilla de valoración del estudio técnico de Prates y Cía (2018), con el objeto de dar una visión general de las obras previstas.

1. Ejecución de trabajos preliminares y obras complementarias en la planta existente.
2. Puesta en valor de la Unidad de Pretratamiento (compuertas, rejillas, desarenador, playa de secado de arenas).
3. Puesta en valor del Recinto de Aireación (reemplazo de membranas, revisión sistema de distribución de aire entre otros).
4. Puesta en valor del Recinto de Sedimentación.

5. Puesta en valor de las Playas de Secado de Barros.
6. Ejecución de Descarga de camiones atmosféricos.
7. Ejecución de Estación de bombeo de recirculación.
8. Ejecución del sistema de desinfección.
9. Ejecución de Cámaras de interconexión.
10. Ejecución de Cañerías de interconexión.
11. Ejecución de Cañería de Bypass.
12. Provisión de materiales y mano de obra para la ejecución de instalaciones eléctricas.
13. Provisión y colocación de instrumentos de medición y control. (sensor, transmisor e indicador de OD en laguna aireada, medidor de pH y temperatura en cámara de contacto de cloro, medidor de nivel/caudal ultrasónico).

El punto más importante es la readecuación del estanque de sedimentación ya que sin este, los lodos finalmente descargarán en la Ría y no serán eliminados del tratamiento. La puesta en valor de playas de secado es otra parte importante del tratamiento final de lodos para lograr su deshidratación y abaratar los costos de transporte cualquiera fuere su destino final.

4.2.3. Cálculos de energía y generación de lodos.

Para conocer la cantidad de residuo que se deberá manejar se requiere un cálculo del volumen del lodo que se producirá. Este valor no es presentado en el estudio técnico de Prates y Cía, por lo tanto, fue realizado en el presente trabajo. Para ello se utilizaron las fórmulas y lineamientos presentados en el anexo 8.5.2 - Diseño de lagunas aireadas mecánicamente y se elaboraron las tablas 8 y 9. Además de la cantidad de lodos que se generará se buscó verificar el dimensionamiento de la planta utilizando otros valores de

coeficiente de remoción de sustrato propuestos en otras bibliografías y el consumo energético. El anexo mencionado es un resumen de las fórmulas y datos de coeficientes utilizados en “Lagunas Aireadas Mecánicamente” elaborado por Sérgio R. Mendonça (1999). También se tuvieron en cuenta las normas adoptadas por ENOHSA (CoFAPyS, 1993), el libro de Ingeniería de Aguas Residuales de Metcalf & Eddy, Inc. (1995) y el de Jordão & Pessôa (2011).

Se obtuvo la salida esperada de DBO para lo cual se consideraron las dimensiones de la planta existente, la energía requerida para la aireación (oxigenación) y para la mezcla, y se comparó con la potencia instalada disponible de los sopladores existentes.

Para el cálculo de la producción de lodos anual se consideró la operación con el caudal de diseño de verano para 3 meses los otros 9 meses con el caudal de diseño de invierno.

Las tablas 8 y 9 presentan los resultados de las verificaciones particulares tanto para la laguna de aireación (tabla 8) como la laguna de sedimentación (tabla 9).

Tabla 8: Dimensionamiento de la laguna de aireación. Elaboración propia basado en Mendonça (1999).

Parámetro de diseño	Unidad	Año 2020		Año 2030		Año 2040	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
t mínimo de residencia	días	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52
t mínimo corregido por temperatura		3,73	1,58	3,73	1,42	3,66	1,47
kd	d ⁻¹	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
kd (corregido por temperatura)	d ⁻¹	0,08	0,19	0,08	0,21	0,08	0,21
k	l/mg.d	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
k (corregido por temperatura)	l/mg.d	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Y (0,5-0,8)		0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
S _o	mg/l	44,90	77,99	44,76	45,95	49,18	52,19
X _(v,a)	mg/l	43,01	45,36	42,94	43,50	44,74	45,58
S _o (DBO global salida aireación)	mg/l	68,12	102,48	67,95	69,44	73,34	76,81
E (eficiencia global del proceso)	%	65,94	48,76	66,03	65,28	63,33	61,60
a (0,3 - 0,63)	kgO ₂ /kgDBO	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
b (0,05 - 0,28)	kgO ₂ /kgSSVTA	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
O ₂ (AOR)	kg/ h	27	68	27	96	30	108
factor de corrección para N (f=AOR/SOR)		0,44	0,58	0,44	0,60	0,45	0,59
No (transferencia de oxígeno)	kgO ₂ /kWh	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
N	kgO ₂ /kWh	0,70	0,91	0,69	0,94	0,70	0,93
Potencia total necesaria	kW	39	75	39	103	42	116
Potencia específica para oxigenación necesaria	w/m ³	1,05	3,47	1,04	1,77	1,21	2,10
Potencia específica según Eck 2,3 a 3,9)	kW10 ³ m ³	4	4	4	4	4	4
Potencia necesaria para mezcla completa	kW	118	118	118	237	118	237

Nota: Todos los coeficientes mencionados en esta tabla están definidos en el punto 8.5.2.1

Con la verificación realizada se puede observar lo siguiente:

1. Utilizando los valores recomendados en la bibliografía utilizada para los coeficientes de Y, k y kd (ver anexo 8.5.2.1) y reflejados en la tabla 8, la DBO menor a 50 mg/l se cumple únicamente cuando se consideran dos módulos de tratamiento para la condición de verano.

(La S_o de salida supera 50 mg/l para el caso de verano 2020 donde aún no se cuenta con el segundo módulo mientras que los años 2030 y 2040 se mantiene próximo a los 50mg/l). En este punto es importante considerar que los coeficientes utilizados son valores experimentales y pueden ser distintos para la planta de tratamiento de San Clemente del Tuyú (ver 8.5.2.1, tabla 25 donde se muestra su variabilidad de los coeficientes de remoción).

2. La eficiencia global del tratamiento es del orden de 65% salvo en el caso de verano 2020 donde no se considera el segundo módulo. Para este último caso la eficiencia es de 48%.
3. Con la laguna de sedimentación la eficiencia podría aumentar a 85-90% (Jordão & Pessôa, 2011, p. 797).
4. Se calculó el requerimiento de oxígeno para las condiciones de campo (AOR Actual Oxygen Requirement. Corresponde a los requerimientos de aire necesarios para cumplir con la demanda biológica de oxigenación en las condiciones ambientales que se desarrolla el proceso) y se observa que el mismo varía de 27 kg/h (año 2020, invierno) hasta 108 kg/h (año 2040, verano).
5. Se calculó el factor de corrección entre AOR/ SOR llevando los requerimientos de aire a condiciones standard. (SOR corresponden a Standard Oxygen Requirement. Son los requerimientos de aire necesarios para cumplir con la demanda biológica de oxigenación en condiciones estándar de presión y temperatura, 20°C y ausencia de oxígeno disuelto en el líquido).

6. Se calculó la transferencia de oxígeno N considerando equipo mecánico de aireación. En este caso no es un equipo mecánico sino que es mezcla por incorporación de aire por difusión. Se utilizaron datos publicados considerando equipos de aireación mecánica para obtener un valor aproximado de potencia necesaria. También se solicitó una corrida del sistema de aireación que comercializa la empresa Serviur constatando que los datos de potencia obtenidos se encuentran en el orden de lo calculado. La información y solución de una propuesta alternativa de aireación comercializada por la empresa Serviur se puede consultar en el anexo 8.6. donde se muestran dos sistemas distintos de aireación por difusores. También se puede observar que la eficiencia entre una tecnología y la otra, varía en un 25%.
7. Los requerimientos energéticos que gobiernan los sistemas de lagunas son los requerimientos de mezcla (para evitar sedimentación en la laguna de aireación con consecuencia de zonas anaeróbicas y posibles focos de olor) y no los de oxigenación. Esto se puede ver en la tabla 8. Ahí se muestra que las potencias específicas para la oxigenación están siempre por debajo de los valores requeridos para la mezcla. Este punto es importante ya que demuestra que no debería haber variación entre la cantidad de sopladores operando en invierno/verano, porque los requerimientos de mezcla son función del volumen del estanque y no de la oxigenación.

8. La planta dispone de 208,5 kW de potencia instalada entre los cuatro sopladores con lo cual se cubre el requerimiento de aireación para la mezcla.

Tabla 9: Generación de lodos- Cuantificación- Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Parámetro de diseño	Unidad	Año 2020		Año 2030		Año 2040	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Salida específica total de laguna aireada (Tichit A, 1972)	kgMS/kgDBO _{elim}	377	2.418	374	2.304	450	2.772
Concentración SS entrada sedimentador.	mg/l	126	147	126	141	126	141
Concentración SS salida de sedimentador.	mg/l	30	30	30	30	30	30
Sólidos suspendidos retenidos en laguna	kg/año	252.114		241.705		290.806	
Sólidos volátiles retenidos en laguna (se toma 74%)	kg/año	186.564		178.862		215.196	
Sólidos fijos retenidos en laguna	kg/año	63.028		60.426		72.701	
Porcentaje de reducción de sólidos volátiles por descomposición	%	0,50		0,50		0,50	
Acumulación de lodo luego de un año	kg/año	156.310		149.857		180.300	
Reducción de sólidos volátiles en el segundo año por descomposición		0,50		0,50		0,50	
Acumulación lodo digerido luego de dos años	kg	265.980		254.999		306.800	
Densidad del lodo (CoFAPyS, 1993)	kg/m ³	90		90		90	
Volumen del lodo	m ³	2.955		2.833		3.409	
Volumen requerido para clarificación considerando 1 día	m ³	2.990	16.446	2.971	16.342	3.575	19.662
Volumen total mínimo	m ³	5.945	19.401	5.805	19.176	6.984	23.071
Cantidad máxima diaria de sólidos removidos si la limpieza es cada 2 años	kg/día	554		531		639	
Concentración del lodo removido diario	kg/m ³	25		25		25	
Caudal máximo de lodo removido por día	m ³ /día	50,31		51,31		52,31	
Horas de operación bomba lodos	hs	4		4		4	
Caudal de bomba de lodos	m ³ /h	12,58		12,83		13,08	

Para cuantificar la generación de lodos se consideró una salida específica de 0,98 kgMS/kgDBO_{elim} para 1 día de tiempo de permanencia en la laguna y 0,84 kgMS/kgDBO_{elim} para 3.5 días de tiempo de permanencia (Tichit, 1972) y una de efluente con 30 ppm de sólidos en suspensión totales. Se consideró una acumulación de lodos de dos años conforme recomendaciones de las normas de ENOHSA (1993) y se utilizaron los lineamientos de cálculo presentados en Lagunas Aireadas Mecánicamente de (Mendonça, 1999), los cuales se resumen en el punto 0. También se utilizaron los modelos descritos en Ingeniería de Aguas Residuales de Metcalf & Eddy (1995). Las conclusiones son las siguientes:

1. La generación de lodos anual estimada corresponde a 156 toneladas en el año 2020 y 180 toneladas en el año 2040.
2. La generación de lodos cada dos años estimada corresponde a 266 toneladas en el año 2020 y 307 toneladas en el año 2040.
3. Se requiere de la construcción del segundo sedimentador para poder disponer de volumen para la acumulación de lodos y garantizar un tiempo de residencia de 1 día para el período de verano. Se observa que el volumen total mínimo requerido es próximo al volumen de dos sedimentadores (19.914 m³, ver tabla 7).
4. La cantidad máxima diaria de sólidos removidos tiene en cuenta una extracción continua por 8 meses con una operación diaria de “x” horas en función de la bomba que se disponga. (En el ejemplo se supuso 4 horas de operación necesitando una bomba de 12-13 m³/h).

4.3.Caracterización de la planta

4.3.1. Análisis de laboratorio

La tabla 10 presenta un resumen de los resultados de los análisis brindados por la COS. Los mismos fueron realizados en un laboratorio que está habilitado por la OPDS bajo el Registro N° 017, Res 640/02. Se refleja los resultados de muestras de efluentes tomadas en distintas fechas. Además, en la misma tabla 10, se informan los parámetros de vuelco correspondientes regulados por la Ley 11.820 anexo B.

Tabla 10: Resultados de los análisis de laboratorio y la normativa de vuelco aplicable en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Parámetro	Unidad	Ensayos laboratorio p/ COS					Ley 11.480	Ensayos p/ autora		
		24/04 2015	28/12 2016	19/05 2017	24/04 2015	20/03 2018		Af	Ef	Lag
pH	U de pH	0-14	7,8	7,69	7,8	7,8	6,5-10	7,75	7,96	7,87
Sólidos sed. en 10 min	ml/l	0,1	1	1,6	0,9	0,3	Au- scente			
Sólidos sed. en 2 hs	ml/l	0,1	2,5	3,8	1,8	1,4	<1			
Sólidos tot. secados 103-105°C	mg/l	1	1.830		2.318	1.380				
Sólidos tot. fijos incinerados 550°C	mg/l	1	1.594		2.064	1.129				
Sólidos tot. volátil. incinerados 550°C	mg/l	1	236		254	251				
Sólidos susp. totales 103-105°C	mg/l	1	83,00		78,00	40,00		15,4	12,1	
Sólidos susp. fijos 550°C	mg/l	1	22,00		21,00	10,00				
Sólidos susp volátiles 550°C	mg/l	1	61,00		57,00	30,00				
SV/ST			0,73		0,73	0,75				
Cloro libre	mg/l	0,05	0,11		<0,05	0,07				
Nitrógeno total	mg/l	0,08	47,82		35,39	13,24	<10 (*)	129	98,7	
Nitrógeno amoniacal	mgN-NH ₄ /l	0,08	37,69		27,51	8,6				
Fósforo total	mg/l	0,01	4,68	0,93	3,53	3,52	<1 (*)		0,9	
SSEE (Sust soluble eter etílico)	mg/l	5	15		8,9	13	<50			
DBO ₅	mg O ₂ /l	1	15	35,5	95	16	<50	78,1		
DQO	mg/l	10	22	80	156	95	<250		110,5	
Detergentes SAAM (sustancias activas en azul de metileno)	mg/l	0,02	0,02	<0,10	0,05	0,09	<2	<0,5		
Coliformes fecales	NMP/100ml	3	23.000	9.300	230.000	<3	<=5.000			
Oxígeno disuelto	mg/l									0,5

(*) Estos límites serán exigidos en las descargas a lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutroficación. De ser necesario se fijará la carga total diaria permisible en Kg/día de fósforo total y de nitrógeno total.

De estos resultados de laboratorio se puede inferir lo siguiente:

1. Se observa que hay presencia de sólidos sedimentables en la salida de la planta, probablemente asociado a la falta de la laguna de sedimentación.
2. Los parámetros de nitrógeno y fósforo no cumplen con la especificación de vuelco.
3. No hay datos de temporada de verano para poder determinar cumplimiento de vuelco.
4. La relación sólidos volátiles contra sólidos totales es del orden de 73%, dato que se usó para el cálculo de los lodos en el sedimentador.
5. No se conoce el caudal de tratamiento al momento de la realización de los análisis con lo cual no se puede extraer conclusiones de la eficiencia de la planta.
6. Los ensayos por autora fueron realizados en el laboratorio Celerisbio. Se solicitó el dato de oxígeno disuelto para poder evaluar eficiencia en el aireador. Las muestras fueron tomadas el 3 de marzo 2019 (fin de temporada de verano). El dato de oxígeno disuelto puede no reflejar la operación del momento ya que los análisis se efectuaron una semana después de la extracción de la muestra. (Se tomó muestra de la entrada a la planta (“Af”), salida de la planta (“Ef”) y de la laguna de aireación (“Lag”). La muestra tomada en la laguna de aireación se utilizó para realizar los ensayos de ecotoxicidad en el INA.

4.3.2. Ensayo de ecotoxicidad

Para decidir si el lodo puede utilizarse como biosólido se debe caracterizar el mismo de acuerdo con la normativa técnica presentada en la Resolución 410 con el fin de evaluar la posibilidad de su disposición y uso final. Los residuos no podrán ser utilizados sin darle

cumplimiento a los límites establecidos para metales pesados, microorganismos patógenos y atracción de vectores.

Otro aspecto que está tomando relevancia es la evaluación de toxicidad debido a que los contaminantes en aguas y lodos se encuentran formando mezclas que pueden presentar efectos adversos sobre los organismos y el ecosistema circundante. Estos efectos pueden ser antagónicos, neutros, adictivos o sinérgicos (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], s. f., p. 224). En este último caso, reviste particular atención ya que se amplifica el daño e impacto negativo sobre los ecosistemas.

Hay muchas sustancias que pueden afectar la salud de la población. Además, hay sustancias potencialmente tóxicas que pueden encontrarse en concentraciones tan bajas, que no son detectables con los métodos químicos convencionales. La utilización de bioensayos es un instrumento alternativo que complementa los análisis químicos para la determinación de toxicidad de muestras ambientales, ya que los organismos vivos presentan algunas respuestas a niveles peligrosos de cualquier sustancia química o mezcla compleja de tóxicos presentes (Navarro et al., 2006, secc. Introducción). (Referirse al anexo 8.9 donde se define los conceptos de toxicidad y en particular la ecotoxicidad, las áreas de aplicación y el uso de ecotoxicidad en otras legislaciones).

El artículo 4 de la norma técnica de la resolución 410/2018 indica que los biosólidos cuyo contenido de elementos potencialmente tóxicos que se encuentren por encima de los valores de referencia de la Tabla N° 2 del anexo II (por ejemplo zinc 4000mg/kg materia seca o cobre 1750 mg/kg materia seca) o que posean alguna de las características que los definen como peligrosos en los términos del marco regulatorio vigente, no serán considerados aptos para su utilización según las formas de uso permitidas que se encuentran definidas en el Artículo 10 de la mencionada norma técnica. La peligrosidad de residuos está definida según la ley 24.051 como “todo residuo que pueda causar daño,

directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general” (Ley 24.051,1992; art. 2) según la procedencia del residuo o las características del mismo. Uno de los parámetros para definir peligrosidad es su ecotoxicidad y aunque la ley 24.051 lo defina como peligroso, no establece parámetros de cumplimiento (ver anexo 8.9.4).

Con el fin de hacer una evaluación preliminar de lo que podría ser el lodo que se pueda obtener, y el efluente de vertido a la Ría, se ha realizado en el laboratorio del INA con la dirección de Ariana Rossen, un ensayo de ecotoxicidad con *Lactuca sativa* de una muestra del efluente tomada de la laguna de aireación. El ensayo realizado en el INA de ecotoxicidad y los principios de este pueden verse en el anexo 8.10.

El resultado del ensayo muestra que, en principio, no se encuentra toxicidad en el efluente que afecte el crecimiento de las semillas, por el contrario, se observó una sobre-estimulación (esto también igualmente es perjudicial para el ambiente). El día que se ha tomado esta muestra, también se realizó un ensayo de nitrógeno total en otra muestra tomada del efluente que es vertido en la Ría y dio un valor de 98.7 mg/l por lo que ésta sobre-estimulación de crecimiento de la semilla era el dato que se esperaba encontrar del ensayo de este efluente. No encontrando efectos asociados a posible toxicidad, podríamos considerar que el lodo que se pueda obtener de la planta podría llegar a servir como biosólido. Paralelamente, podría también estudiarse la posibilidad de reutilización del agua de vertido a la Ría como agua de reúso si hubiera posibilidad de plantaciones u otras aplicaciones próximas que puedan aprovechar este uso.

4.4. Generación de residuos

Los lodos cloacales son unos de los residuos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales al igual que los residuos sólidos separados en la etapa de pretratamiento. A este residuo hay que darle un tratamiento para evitar generación de

olores y otros riesgos de lodos no tratados como transmisión de patógenos. En el anexo 8.7 - Tratamiento y disposición de lodos, se describe los distintos tipos de tratamiento utilizados en el mundo a título informativo. A su vez se da un orden de magnitud de la generación de lodos por habitante (dependiente de la tecnología aplicada ya que a mayor eficiencia de la tecnología utilizada mayor generación de lodos). La tecnología seleccionada es función de la escala de planta instalada y recursos económicos. Para plantas chicas como la de San Clemente, es frecuente la utilización de playas de secado. Los principios de construcción y funcionamiento de las playas de secado se describen en el anexo 8.7.6.

Los puntos 8.7.3 y 8.7.4 describen los sitios de generación de lodos y sitios de generación de olores respectivamente que ocurre en general en las plantas de tratamiento. La figura 24, muestra los sitios de generación de residuos y posible generación de olores en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

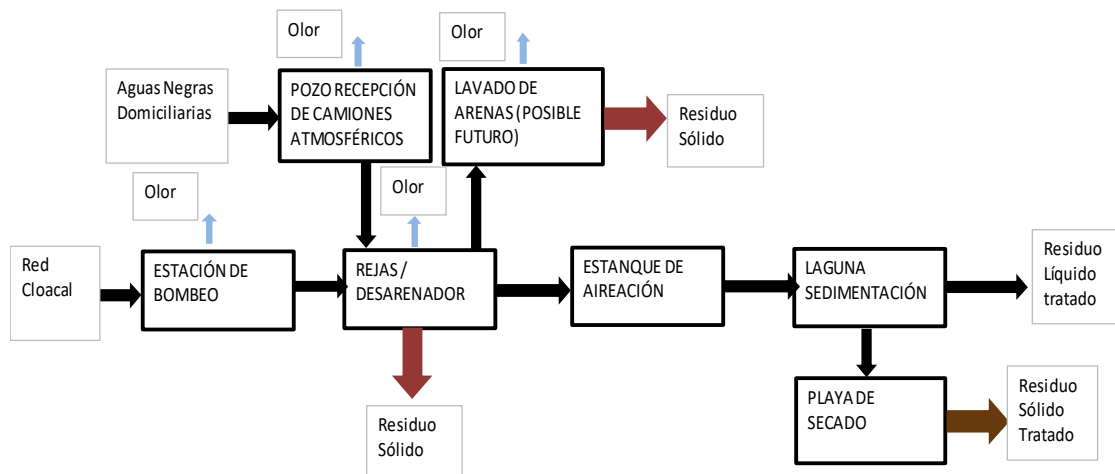


Figura 24: Esquema de tratamiento. Puntos de generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

Como se puede ver en la figura 24, la planta tiene cuatro tipos de residuos:

- Gaseosos: resultado de procesos anaeróbicos de descomposición/emisión de gases de efecto invernadero por uso de maquinaria electromecánica (sopladores por ejemplo).
- Residuos sólidos del tipo domiciliario: residuos de rejas, del desarenador, limpieza del sector.
- Residuos sólidos-semisólido /biosólidos: lodo del tratamiento biológico que luego de analizado podría ser considerado biosólido de clase A/B y disponerse como tal según sus características.
- Residuo líquido: efluente líquido tratado. Vertido en Ría. (Se podría evaluar su uso en riego en plantaciones cercanas que no sean de consumo humano)

Los principales sitios de generación de residuo gaseoso/olores son los pertenecientes a la zona de pretratamiento, la estación de bombeo, el pozo de recepción de camiones atmosféricos y la zona de rejas y desarenador. En un futuro, si se instalara el lavador de arenas, también será fuente de olor (aunque para esto está prevista su instalación dentro de un edificio según lo indicado en el estudio de Prates y Cía (2018)).

La laguna de aireación podría ser una fuente de olor si no fuera operada correctamente, es decir con la cantidad de aire requerida para evitar entrar en una descomposición anaeróbica de la materia.

A su vez, existe la generación de residuos de la planta. Se generan residuos sólidos de tipo domiciliario que deben ser dispuestos en relleno sanitario municipal.

4.4.1. Disposición final de lodos.

La planta de San Clemente del Tuyú, se encuentra dentro de lo que se define como una planta chica.

Es muy común que para plantas chicas, el lodo residual generado se disponga en suelo. No obstante reutilizar el lodo en agricultura es importante debido a que los lodos

municipales tienen gran contenido de nutrientes y materia orgánica. El uso del lodo tratado ha estado orientado por décadas al mejoramiento de suelos. En estos casos el lodo actúa como acondicionador aportando nutrientes, incrementando la retención de agua y mejorando el suelo para la agricultura. En este último caso, el lodo tratado sirve como un sustituto parcial de los fertilizantes que elevan el costo de la producción agrícola (Noyola et al., 2013, p. 38). Al estar el lodo tanto tiempo en las lagunas de sedimentación, tendría las propiedades de un lodo digerido estabilizado. “Un lodo estabilizado es un lodo en el cual no dispone de alimento para una actividad microbiana rápida” (EPA, 2003, p. 58). Este lodo con un proceso de deshidratación posterior podría cumplir con las características de biosólido según la clasificación y caracterización presentada en la Resolución 410/2018 que además utiliza estandarización acorde a EPA CFR Part 503. Tanto en la Resolución 410/2018 como en las regulaciones de la EPA CFR Part 503, utilizan dos conceptos para clasificar a los lodos; los procesos que reducen significativamente los patógenos y los de reducción en atracción de vectores. Para comprender el significado de estos dos conceptos y su forma de aplicación en la Planta Depuradora San Clemente del Tuyú, referirse al anexo 8.7.5.

Siguiendo el diagrama de flujo de la Resolución 410/2018 presentada en el punto 3.5.4.1 se espera que el lodo de la Planta de San Clemente del Tuyú siga el esquema de la figura 25:

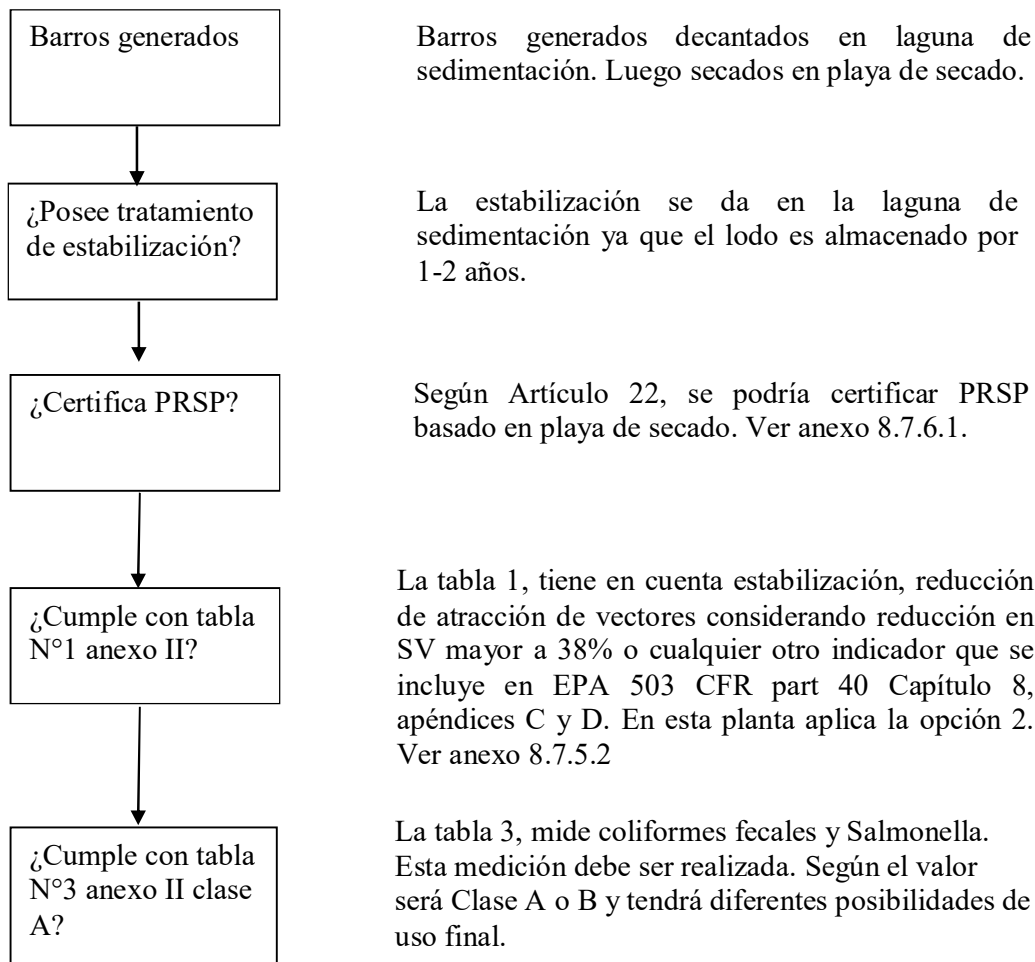


Figura 25: Esquema de seguimiento para clasificación de lodos de la Planta San Clemente del Tuyú.

Como se puede observar en la figura 25, uno de los objetivos para la estabilización del biosólido es que se pueda certificar algún proceso de reducción significativa de patógenos (PRSP) y la reducción de atracción de vectores. Los PRSP se encuentran descriptos en la Resolución 410/2018 y están resumidos en la tabla 3. En la Planta de San Clemente el PRSP que se podría certificar es el secado en playas. (El proceso de secado en playas como PRSP se encuentra desarrollado en el anexo 8.7.6.1- Playa de secado-Proceso de reducción significativa de patógenos (PRSP)).

A su vez, uno de los indicadores para reducción de atracción de vectores es la reducción de sólidos volátiles en los biosólidos de por lo menos un 38% por ciento durante

su tratamiento, pero tal como lo indica la Resolución 410/2018 en la nota de la tabla 1 del anexo II, se puede tomar otros indicadores para reducción de volátiles distintos al 38%. Esto es debido a que hay casos que por las mismas características del tratamiento esta reducción no podría cumplirse por el propio proceso que ya genera una degradación tal de sólidos volátiles que un tratamiento adicional de este lodo no podría dar cumplimiento a una reducción mayor en volátiles. Para este tipo de procesos la EPA CFR Parte 503 sugiere la aplicación de la opción 2 que implica la demostración de una reducción en 17% de volátiles (EPA, 2003, p. 60). Esto se encuentra desarrollado en el anexo 8.7.5.2.

Los biosólidos que vaya a generarse en la planta de San Clemente del Tuyú, posiblemente cumplan con un biosólido Clase B conforme a la caracterización indicadas en la Resolución 410/2018 certificando el PRSP de playa de secado indicado en el punto 2.4 del anexo III. A saber:

2.4. PLAYA DE SECADO: Los barros son secados sobre lechos de arena o sobre celdas con la superficie pavimentada o no pavimentada. El período de secado no puede ser inferior a los tres meses, y durante dos de ellos la temperatura media ambiente no puede ser inferior a 0°C (Res 410/2018, 2018, pt. Anexo III).

También referirse al anexo 8.7.6 que indica la manera en que la EPA - CFR Part 503 define a las playas de secado como un proceso de reducción fuerte de patógenos (que se encuentra en línea con la Resolución 410/2018).

El biosólido obtenido incluso podría llegar a ser clase A.

El objetivo del proceso de Clase A es reducir el nivel de patógenos a niveles por debajo de los valores no detectables y por debajo del nivel al que serían infecciosos. Los procesos Clase A han mostrado reducir de manera suficiente los niveles de patógenos en biosólidos, y estudios hasta el día de la fecha, no han encontrado que el crecimiento de

bacterias patógenas pueda ocurrir luego de haberse realizado el proceso, o durante el almacenamiento (EPA, 2003, p. 27).

Se encontró en EPA-CFR Part 503 una alternativa para que cumpla con Clase A que puede ser aplicable en San Clemente del Tuyú. Ver a continuación la figura 26 extraído de “Alternativa 4: Lodo Cloacal tratado en Procesos Desconocido. [503.32(a)(6)]” (EPA, 2003, p. 32) :

Example Of Meeting Class A Pathogen Vector Attraction Reduction	
Type of Facility	Unknown Process
Class	A
Pathogen Reduction	Sewage sludge is digested and retained in a lagoon up to 2 years. Sewage sludge is then moved to a stockpiling area where it may stay for up to 2 years.
Testing	Before sewage sludge is distributed, each pile, representing approximately 1 year of sewage sludge production, is tested for <i>Salmonella</i> sp., viable helminth ova, and enteric viruses. Since quarterly testing is mandated, based on the amount of sewage sludge which is used or disposed, four samples per pile are submitted
Vector Attraction Reduction	VAR is demonstrated by showing a 38 percent reduction in volatile solids. Records of incoming material and volume, bulk density, and percent volatile solids of outgoing material are used to calculate the reduction.
Distribution	Biosolids are distributed for land application and agricultural land.

Figura 26: Ejemplo de biosólido de Clase A extraído de Alternativa 4 de EPA-CFR-Part 503 (EPA, 2003, p. 32).

La clasificación “Alternativa 4: Lodo Cloacal tratado en Procesos Desconocido. [503.32(a)(6)]” indica cuáles son los límites que el lodo cloacal debe cumplir al momento en el que los biosólidos sean utilizados o dispuestos, o cuando el lodo cloacal sea preparado para la venta entregado en bolsones o contenedores para su uso en tierra. Esta alternativa da límite de virus (menor a 1PFU) por 4 gramos de sólidos totales y una densidad de huevos de helmintos viable en el lodo menor a 1 por 4 gramos de sólidos

totales (peso en base seca) e indica que depende de un buen programa de muestreo que provea una representación adecuada de la calidad microbiana del lodo cloacal (EPA, 2003, p. 32).

Las características de proceso de este ejemplo son similares a las del proceso de la planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú, por lo tanto, se podría esperar obtener un biosólido Clase A.

Otras consideraciones para un biosólido clase A es que, aunque la reducción de vectores y la reducción de patógenos sean requerimientos separados, en general son pasos que están relacionados en un proceso. La parte “503.32(a)(2)” requiere que la reducción de patógenos para Clase A sea cumplida antes o al mismo tiempo que la reducción de atracción de vectores excepto en los casos de reducción de vectores por adición de un alcalinizante o por secado (EPA, 2003, p. 26).

Este requerimiento es necesario para prevenir el crecimiento de bacterias patógenas luego de que el barro cloacal sea tratado. La contaminación de biosólidos con bacterias patógenas luego de que una de las alternativas de reducción de patógenos para Clase A ha sido conducida, puede permitir un crecimiento bacteriano extensivo a menos que: a) se presente un químico inhibitorio, b) el biosólido se encuentre muy seco como para permitir el crecimiento bacteriano, c) haya poca disponibilidad de alimento para permitir el crecimiento microbiano, o d) existe una población abundante de bacterias presente (EPA, 2003, p. 27).

5. Resultados y discusión

5.1. Proyecto de reacondicionamiento y su posible futura ampliación.

En el punto 4.2, se indicó que dependiendo de los coeficientes de crecimiento celular que se utilicen para el dimensionamiento de la laguna de aireación, se puede llegar a la conclusión de la necesidad de ampliación en una laguna de aireación adicional. La ventaja de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú es que se trata de una planta existente, por lo tanto, con una adecuada caracterización de la misma (una vez que la planta se encuentre reacondicionada) se podrán obtener estos coeficientes y verificar la capacidad de depuración real. Para poder realizar la caracterización es importante que el proyecto de reacondicionamiento se lleve a cabo y que se pueda contar con la medición de caudal de tratamiento de la planta.

Los lodos generados de la planta y deshidratados en la playa de secado deberán ser dispuestos en unidades de disposición final como indica la Res. 322/1998 de OPDS. Sin embargo, se presentará en el plan de gestión de lodos de la planta la reutilización de estos biosólidos siguiendo la normativa técnica 410/2018 ya que pueden ser aprovechados para otros usos beneficiosos considerando como sustento el ejemplo presentado en el punto 4.4.1.

5.1.1. Consumo energético estimado en la laguna de aireación.

Dado que el consumo energético en la laguna de aireación es uno de los parámetros operativos de mayor impacto tanto económico como ambiental, se ha solicitado a la empresa Serviur la evaluación de distintas tecnologías para la aireación con difusores de burbuja para poder contar con referencias de variación de potencia requerida. El anexo 8.6, presenta los valores de potencia estimados para la mezcla en la laguna de aireación de dos tipos de sistemas de mezcla con difusores, los Convencionales y los Biomizer (anexo 8.6). La aireación está gobernada por la mezcla y no por la oxigenación con lo

cual es importante tener en cuenta que cualquier sistema o distribución que permita un ahorro energético es muy importante y más aún si se construyera una segunda laguna de aireación, ya que el consumo energético no dependerá de la estacionalidad sino que del volumen a mezclar, duplicando el consumo energético por todo el año. Llegado el momento de evaluar la instalación de un segundo módulo o la renovación del equipamiento para el tanque existente, sería bueno contar y evaluar nuevas tecnologías incluso aireadores mecánicos superficiales por su mayor flexibilidad.

Con la información obtenida de la empresa Serviur se tiene que un sistema Convencional requeriría 146 kW de potencia en los sopladores (considerando las dimensiones de la laguna de aireación existente) mientras que un sistema tipo Biomizer requeriría 109 kW debido a que optimiza el mezclado mediante un suministro de aire pulsante (ver anexo 8.6). Esto representa un ahorro del 25 % aproximadamente y se ve reflejado en la tabla 11. La instalación del sistema Biomizer es más costosa ya que requiere de mayor equipamiento, pero al momento de tomar la decisión se podrá comparar el ahorro energético y de emisiones de gases GEI contra este extra-costo de instalación. A modo de ejemplo, se toman las potencias brindadas y se hace la comparación en ahorro económico y en dióxido de carbono equivalente por cada MWh consumido (1 MWh = 463 kg de CO₂e dada nuestra composición de generación eléctrica (Secretaría de Gobierno de Energía, 2018)). Estos valores se muestran en la tabla 11. Este consumo como ya se ha mencionado es constante a lo largo del año, es decir no es dependiente de la estación del año debido al mayor caudal de tratamiento.

Tabla 11: Comparativa de consumo energético entre dos sistemas propuestos por Serviur.

Sistema	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (MWh)	Costo USD mensual (ver tabla 12)	CO2eq (463kg/MWh)
Convencional	146	3.504	105,12	6.833	48,67 tn/mes
Biomizer (Serviur)	109	2.616	78,48	5.101	36,34 tn/mes

Ante la necesidad de construcción de la segunda laguna de aireación el consumo energético sería un tema crítico para esta planta y más aún si hay nueve (9) meses del año que no va a ser necesario disponer de la capacidad completa haciendo difícil a la COS poder afrontar este gasto.

Las opciones que se podrían evaluar (que no han sido estudiadas en este documento) son las siguientes:

- Dada la relación invierno/verano en AOR, operar en invierno, aireando 10 minutos cada media hora la totalidad de los equipos, o bien, operar los aireadores por tercios de zonas e ir alternando las mismas (La falta de agitación temporal, no produce sedimentaciones permanentes ya que luego se re-suspenden al reiniciar los aireadores).
- Operar en invierno como laguna facultativa, recalculando para estas condiciones que requieren menos agitación.
- Evaluar un cambio de tecnología de aireación por equipos de aireación superficial mecánicos que ofrecen mayor flexibilidad.
- Evaluar la posibilidad de utilización de energía de una fuente renovable. Hoy día se utiliza energía suministrada por la matriz eléctrica nacional. Se podría evaluar dos opciones adicionales:
 - Contrato entre privados (PPA): firmar un contrato de abastecimiento con un generador renovable mediante un contrato de largo plazo en USD se puede

cubrir hasta el 100% de la demanda. (Estrictamente, para firmar un contrato de abastecimiento entre privados, el sujeto debería migrar al mercado mayorista)

- Proyecto de autogeneración en el sitio. Comúnmente solar por escala, modularidad y simpleza. Se abastecería durante las horas de sol con el parque solar y el resto se puede complementar con red la red nacional.

Tabla 12: Tabla comparativa entre diferentes fuentes de energía (Cortesía Irigoyen M, MWh Solar).

Alternativa	Costo (USD/MWh)	Notas
Matriz energética nacional (costo de generación promedio del MEM (Mercado eléctrico mayorista)).	65	Supone compra en mercado mayorista y sin subsidios. Se debe sumar transporte+ distribuidora + impuestos.
Contrato entre privados con generador renovable.	60	Se debe sumar transporte+ distribuidora + impuestos.
Autogeneración con sistema solar.	50-55	Final.

La tabla 12 muestra la comparativa de costos entre diferentes fuentes de suministro eléctrico. Al momento de desarrollar una evaluación comparativa de distintos sistemas de aireación también se podrá evaluar la fuente energética.

Nota: Los valores presentados en la tabla 12 son estimativos. Por ejemplo, se verificó a través de una factura de luz disponible de una planta de tratamiento de efluentes de La Plata, que el valor que abonan por MWh corresponde a \$7.582 final (ya tiene en cuenta impuestos, transporte, distribución). Tomando una cotización de dólar a \$80 pesos, el precio por MWh abonado ronda 94 USD. Parece razonable el valor utilizado en la tabla 12 considerando que éste último no tiene en cuenta el costo de transporte, distribución e impuestos.

5.2. Plan de Gestión Ambiental

5.2.1. Gestión ambiental - Descripción general

La gestión ambiental es la forma de manejar los recursos organizando las actividades llevadas a cabo para realizarlas de la manera más efectiva teniendo en consideración la protección del medioambiente, la contaminación y las necesidades socio-económicas. Se deberán plantear los objetivos claros de cumplimiento y cada trabajador deberá asumir el compromiso de lograrlos. En la figura 27, se presenta una estructura típica de un sistema de gestión ambiental que podrá ser aplicable en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú. En este esquema se presentan cinco componentes, cuyo eje principal es el compromiso del organismo operador. El compromiso del organismo deberá estar plasmado en su política y la normativa que deberá cumplir. Luego, se deberá realizar un análisis ambiental para poder evaluar las actividades que puedan producir los impactos ambientales o sociales más significativos. Una vez realizado el análisis ambiental, pueden plantearse medidas de manejo ambiental para poder minimizar o evitar los impactos identificados en la propia evaluación. El monitoreo y seguimiento es el siguiente paso que permitirá evaluar el cumplimiento de los objetivos planteados. Para ello se utilizan indicadores ambientales para su seguimiento. Los resultados de estos últimos permitirán realizar una evaluación de la manera en que las actividades se están llevando a cabo, verificar la eficacia esperada y establecer planes para cumplir con los objetivos planteados. En este punto se podrán establecer nuevos objetivos o modificación de los existentes y contribuir a la mejora continua de las actividades de la organización. Se trata de un círculo cerrado porque cada componente puede ser reevaluado, en función de los resultados de otras instancias para lograr la mejora continua. Sin un compromiso claro con respecto a su responsabilidad ambiental no se podrá tener éxito en ninguna gestión que se pretenda hacer para mejorar

las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la actividad. “La política organizacional deberá comprender tres compromisos clave: continuo mejoramiento, prevención de la contaminación, y el cumplimiento de las leyes y normas vigentes (WEF, et al., 2012)” (WEF, et al., 2012, citado en CONAGUA, s. f., p. 20).

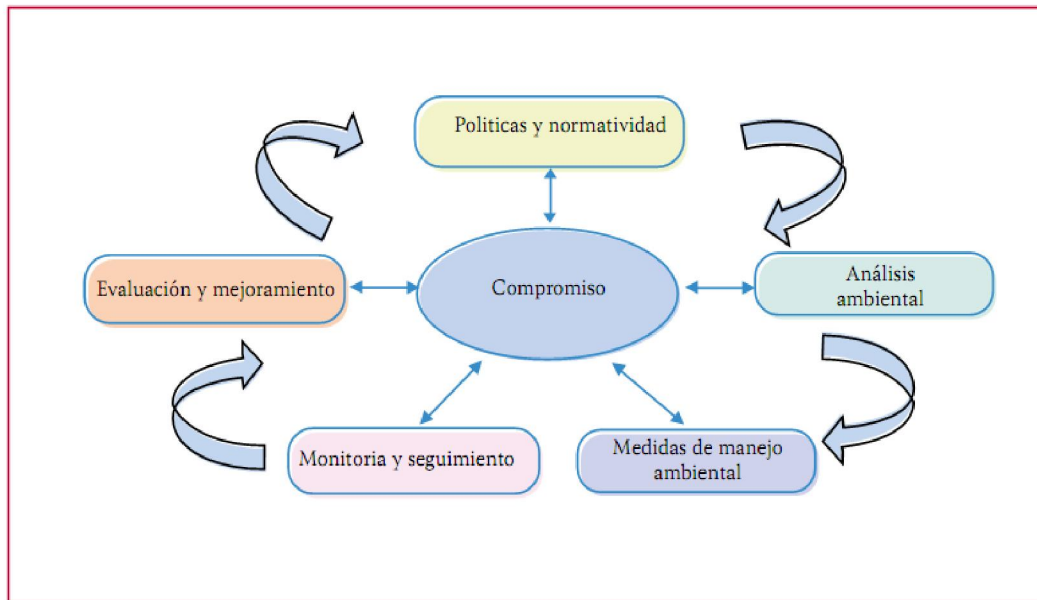


Figura 27: Sistema de gestión ambiental extraído del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento,(CONAGUA, s. f., p. 20).

En el presente plan se va a realizar una evaluación ambiental tal como se presentó en el punto 4.1, considerando la etapa de construcción y operación de la planta reacondicionada. La evaluación ambiental pone de manifiesto los puntos más importantes donde prestar atención para armar un programa de medidas de control sobre los aspectos que podrían tener un mayor impacto. Esta evaluación ambiental se realiza en este caso porque no se cuenta con una EIA. Cuando se cuente con la EIA se podrá ampliar las medidas consideradas de surgir otros impactos a ser tenidos en cuenta. Para ver la eficacia con la que se lleva adelante el programa de control o manejo ambiental, se armará un programa de monitoreo y seguimiento donde se establecerán indicadores para su ejecución.

5.2.2. Política ambiental

La política ambiental debe ser definida y redactada por la Cooperativa. Se sugiere tener en cuenta como objetivo mantener una primordial atención por el fiel cumplimiento de las normativas ambientales. Todos los integrantes de la organización deberán implementar y asumir una conducta en el cuidado del ambiente y con ello el cumplimiento de las normas afines de manera tal que permita gradualmente proporcionar y mantener condiciones de trabajo seguras y actividades que garanticen la sustentabilidad.

El cuidado del Medio Ambiente debe ser una tarea de todos y cada uno de los trabajadores de la organización, por lo que deberán considerarse siempre las medidas que protejan, prevengan y estimulen a trabajar de manera colectiva y en todo nivel, con compromiso, en una actitud reflexiva hacia el cumplimiento de todas las normas ambientales.

5.2.3. Análisis ambiental del proyecto de reacondicionamiento.

La tabla 13 presenta los principales impactos identificados en la etapa de construcción y en la operación de la planta. En los puntos siguientes se resumirá la posibilidad de producirse el impacto teniendo en cuenta los aspectos volcados aquí.

Tabla 13: Evaluación ambiental. Etapa de construcción y operación.

Aspectos analizados	Sobre la atmósfera	Sobre el agua	Sobre el suelo	Comunidad
Etapa de construcción en general.	Emisión de material particulado. Emisiones gaseosas.	Depresión de la napa para excavaciones y disposición de agua bombeada. Vuelco accidental de combustible.	Extracción de capa vegetal. Movimiento vehicular. Vuelco accidental de HC/ Combustible. Generación de residuos.	Aumento de puestos de trabajo. Ruidos molestos. Alteración del paisaje.
Manejo de residuos.	Generación de olores.	Contaminación del acuífero por mala disposición/ tratamiento.	Disposición en unidad de disposición final. Otros usos como biosólidos. Beneficio de retorno de nutrientes de biosólidos.	Manejo de biosólidos: aspectos económicos (Posible venta para agricultura).
Sistema de aireación.	Generación de olores. Generación gases GEI.	Deficiencia en la eliminación por mala aireación. Sedimentación en laguna en caso de falta de mezcla.		
Efluentes líquidos.		Disposición en Ría. Cumplimiento de la normativa de vuelco.		Posibilidad de reutilización (a analizar). Mejor calidad de agua costera. Actividades recreacionales más seguras.
Estacionalidad.		Impacto en calidad de efluentes (ajustes de operación).		
Población residente		Mejoras en servicio de cloacas. Mejor calidad de agua en humedal.		Generación de empleo en etapa de construcción.

5.2.3.1. Impactos positivos

Los impactos positivos que surgirán de la concreción de este proyecto serán muy beneficiosos para la zona, los enumeramos a continuación:

1. Se dará cumplimiento a los parámetros de vuelco establecidos para efluentes líquidos.
2. Se dará cumplimiento con la disposición de residuos sólidos según normativa vigente. Se incluye la posibilidad de utilización de biosólidos en otros usos según Resolución 410/2018 aprovechando los nutrientes que el lodo contiene. Esto podrá traer beneficios económicos por su comercialización además del beneficio del cierre del ciclo de nutrientes extraídos del suelo.
3. Se protegerá el acuífero por las mejoras en el servicio cloacal. (la ampliación de la red cloacal contribuye a la reducción del riesgo de contaminación por infiltración de efluentes cloacales desde pozos ciegos, inundaciones, etc. Esta ampliación ya se está haciendo y a medida que vaya mejorando la operación de la planta, la cantidad de usuarios podrá aumentarse también).
4. Se reducirán los posibles impactos en el ambiente del Humedal considerado sitio RAMSAR ya que se cumplirá con los parámetros de vuelco y se separarán los sedimentos provenientes de los lodos formados que hoy se depositan en el Humedal.
5. Se puede proyectar la recepción de mayor turismo en la zona activando la economía y garantizar sustentabilidad de recursos.
6. Las actividades asociadas a la recreación como pesca, natación etc., pueden ser más seguras ya que el riesgo de contaminación en peces y mariscos y de aguas se reduce por un vuelco dentro de especificación.

Por otro lado, durante la etapa de construcción se esperan los siguientes impactos:

7. La reactivación de la economía que se deriva de la construcción. En este contexto están involucradas personas (contratistas, subcontratistas, proveedores) y comercios de cercanía. Durante la etapa de construcción, la adquisición de insumos y servicios beneficiará a los comercios e industrias proveedoras de los mismos, así como también será generadora de empleo.

5.2.3.2.Potenciales impactos negativos.

Muchos de los impactos potenciales que se describen a continuación corresponden a la etapa de construcción. Finalizada esta etapa, no habrá posibilidad de que se produzcan.

Aire

Calidad de Aire

En la etapa de construcción puede haber un aumento de la concentración de partículas durante las excavaciones y movimientos de tierra y, por otro lado, un aumento de emisión de gases de efecto invernadero como consecuencia del movimiento y la operación de maquinarias.

Olor

En la etapa de operación y mantenimiento puede haber generación de olor en diferentes etapas del proceso (se desarrolló en la sección de generación de residuos). La generación de olor en muchos casos puede ser evitada con un correcto control operativo.

Nivel sonoro

Puede producir una elevación puntual o continua de los niveles sonoros en el área de afectación directa de las obras, derivados de las actividades de movimiento y operación de camiones y equipos. Las principales fuentes de ruido y vibraciones pueden ser las siguientes:

- Herramientas manuales,
- Movimiento del personal, vehículos livianos,
- Equipos móviles y maquinarias, retroexcavadoras, etc.

Suelos

Considerando que el recinto de sedimentación ya existía, lo que implica reacondicionamiento del mismo no se espera que haya variación en las características del suelo. Por otro lado, ciertas acciones pueden producir contaminación o pérdida de estabilidad de los suelos durante la etapa constructiva por tratarse de un suelo arcilloso como por ejemplo en la excavación propia que se hará a más de 3 m de profundidad.

Calidad

La calidad del suelo podría verse afectada, por lixiviados, vertidos y arrastre de materiales sólidos o líquidos que se encuentren en disposición transitoria o sean transportados hacia su disposición final (insumos y/o residuos).

También es común que se rompa alguna máquina por situaciones de falla de las instalaciones u otras contingencias.

Compactación de suelo

Los aspectos que pueden favorecer la compactación y/o asentos de los suelos del entorno de las obras, son:

- Excavaciones y moviendo de maquinaria pesada.
- Depresión de la napa freática.

Estabilidad

Durante el movimiento de tierra y/o excavaciones puede producirse el desmoronamiento de las paredes de la zanja, produciéndose así la pérdida de estabilidad del suelo, con sus consecuentes riesgos potenciales.

Aguas

Calidad del agua superficial y subterránea

Los aspectos ambientales que pueden afectar la calidad del recurso agua durante la etapa constructiva son:

- Arrastre de sólidos y/o líquidos durante la limpieza de los sitios de obras,
- Lixiviados, vertidos y/o arrastre de los sólidos que se encuentren en disposición transitoria o son transportados hacia su disposición final (insumos y/o residuos)
- Contaminación de la napa por arrastre de contaminantes en la apertura de zanjas y uso.
- Vertidos accidentales de combustible.

Capa Vegetal

Durante la obra la capa vegetal podrá verse afectada por uso de áreas de almacenamiento, disposición transitoria de las tierras excedentes y/o los residuos de obra, y el movimiento de vehículos y maquinaria pesada. Esto es transitorio por el período de duración de obra.

5.2.4. Medidas de manejo ambiental.

En este apartado se listarán los aspectos que se deberán tener en cuenta para la protección del ambiente. Se tendrán en cuenta programas de prevención, programa de monitoreo, programas de mitigación, programa de contingencias, programas de capacitación, programas de manejo de quejas y reclamos.

5.2.4.1. Programas de prevención.

5.2.4.1.1. Medidas de prevención y control en el aire.

La calidad del aire se afectará de diferente manera según la etapa en la que se encuentre el proyecto. Durante la etapa de obra y construcción se afectará la misma por

el uso de vehículos y maquinaria y por el manipuleo y transporte de tierra. Para ello es importante tener un control de vehículos, equipos y maquinaria.

Durante la operación, será también importante el control de olores. Las medidas de prevención y control en el aire se muestran en la tabla 14.

Tabla 14: Medidas de prevención y control en el aire.

Control	Etapas	Prevención
Control vehicular. Control de la maquinaria.	Construcción.	Mantener en buen estado los equipos de motores a combustión. Controlar la vigencia de la VTV (revisión técnica vigente). Proporcionar cobertores para evitar material particulado durante el traslado de tierra. Respetar la capacidad de carga de los vehículos de transporte de material/tierra según normativa local vigente. Reducir congestión de tránsito aunque no se espera que por la zona en la que se encuentra la planta pueda producirse este efecto.
	Operación.	Mantener en buen estado los equipos de motores a combustión. Mantener en buen estado los equipos electromecánicos utilizados para la operación.
Control de olores.	Construcción.	No se espera generación de olores en la etapa de construcción salvo por la operación misma de la planta existente.
	Operación.	En el esquema del punto 4.4 se observan todos los puntos de la planta de potenciales fuentes de olor. Deberá mantenerse un plan de monitoreo para realizar los ajustes que correspondan en la operación (ver el plan de monitoreo).
Control de ruido.	Construcción.	La planta se encuentra alejada de zona urbana. No se espera que haya ruidos molestos al vecindario.
	Operación.	Cumplir con normativa vigente en cuanto a los equipos electromecánicos instalados.
Material particulado.	Construcción y operación.	Cumplir con la normativa vigente de emisiones a la atmósfera mencionadas en punto 3.5.3.

5.2.4.1.2. Medidas de prevención y control en el agua

Se deberán implementar todas las medidas para la protección de los recursos hídricos (acuífero) y zona costera. Las medidas de prevención y control para minimizar o evitar impactos en aguas se muestran en la tabla 15.

Tabla 15: Medidas de prevención y control en el agua.

Control	Etapas	Prevención
Control vehicular. Control maquinaria.	Construcción.	Minimizar generación de barros y sedimentos producidos en obra. Evitar cualquier vertido, vuelco accidental o lixiviado de insumos, material de excavación, o residuos de cualquier clase en los cursos de agua.
	Operación.	Cumplir con la normativa de vuelco (ver 3.5.3). Evitar vertidos accidentales, residuos de cualquier clase en cursos de agua.

5.2.4.1.3. Medidas de prevención y control en el suelo

El principal cuidado en suelo, es evitar cualquier derrame, vuelco accidental o lixiviado de insumos, material de excavación, o residuos de cualquier clase en el suelo que puedan causar su contaminación. Las medidas de prevención y control en suelo se muestran en la tabla 16 a continuación:

Tabla 16: Medidas de prevención y control en suelo

Control	Etapas	Prevención
Control de las excavaciones y remoción de suelos.	Construcción.	Tener en cuenta el movimiento de tierra.
Control de vuelco, derrames de aceites/ combustibles.	Construcción y operación.	Realizar mantenimiento en áreas protegidas (suelo impermeabilizado). Disponer de áreas protegidas para el acopio de pintura, lubricante etc. En caso de vuelco aplicar programa de contingencias.
Control de residuos.	Construcción y operación.	Ver programa de gestión de residuos 5.2.4.2.

5.2.4.1.4. Medidas prevención y control sociales

Las medidas de prevención y control sociales se presentan en la tabla 17 a continuación.

Tabla 17: Medidas de prevención y control en la comunidad.

Control	Etapas	Prevención
Control ruidos y movimiento vehicular.	Construcción.	Fue desarrollado en control en el aire. No se espera gran afectación de este impacto ya que la planta se encuentra alejada de un punto de urbanización.
Concientización de vertidos en cloacas.	Operación.	Separación in situ de aceites de uso en restaurantes. (Ya implementado, ver anexo 8.8 plan biodiesel). Separación de aceite por cambio de aceite en automóviles. Educación para concientización en reducción de contaminantes (ver anexo 8.11).
Quejas y reclamos		Ver programa quejas y reclamos 5.2.4.4.

5.2.4.2. Programa de gestión de residuos

Residuos sólidos. Generalidades

Se considera residuos sólidos a todo material sólido, semisólido o contenedor de un fluido; que ha perdido valor para su propietario pero que sin embargo puede ser aprovechado por terceros a través de su reúso, reciclaje o aprovechamiento energético. Cuando un residuo no es aprovechable pasa a ser un desecho y corresponde su disposición final adecuada a fin de que no cause daños a la salud y/o al ambiente.

El manejo de residuos sólidos comprende las etapas desde la generación hasta la disposición final de éstos. La primera medida es prevenir su generación, ya que de esta manera se reduce la producción de desechos y, en consecuencia, la disposición final. La segunda medida es realizar la separación en origen para que los materiales aprovechables puedan ser fácilmente tomados y utilizados.

Los residuos de obra serán distintos a los residuos en la etapa de operación. En el anexo 8.12, Cómo mejorar la gestión de residuos., se agrega un apartado de gestión de residuos de obra tomado del Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya [Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya] (2000), que puede ser útil al momento de planificar la gestión de residuos de la obra.

Residuos sólidos asociados al tratamiento.

La planta tiene distintos puntos de generación de residuos que tendrán un manejo distinto de disposición según sus características. Recordando el esquema del punto 4.4, Generación de residuos, se puede observar que en la zona de pretratamiento se obtienen residuos sólidos producto del descarte de las rejillas y desarenador que serán distintos a los biosólidos obtenidos de la laguna de sedimentación. Eventualmente, si se instalara el lavador de arenas, también se obtendría un residuo sólido que podrá tener la misma disposición final que lo que se extrae de las rejillas actualmente.

En la actualidad, lo que sale del desarenador se envía al vivero municipal y es usado para plantines después de un tiempo de estacionado. Se recomienda mantener esta práctica. El residuo de las rejillas se junta y se envía al relleno municipal.

Los biosólidos o lodos cloacales son los que se generarán en la laguna de sedimentación. Los lodos son extraídos con una periodicidad (ejemplo dos años) y dispuestos en los lechos de secado para su deshidratación. Como ya se ha mencionado en el punto 4.4.1, los biosólidos podrían ser reutilizados si se aplicara la Resolución 410/2018 y se pudiera determinar si son Clase A o B. En caso de ser clase A, y se quisiera utilizar en agricultura, se deberá además determinar si el producto puede inscribirse para tal fin conforme la resolución conjunta 001/2019-SENASA-Medio Ambiente.

La implementación del programa de gestión de residuos es responsabilidad de quien opere la planta y de las decisiones que se adopten. Los puntos importantes que se deberán tener en cuenta son:

- Minimizar la generación de residuos.
- Estimar la cantidad que pueda llegar a generarse.
- Conocer empresas recicladoras de proximidad, puntos verdes, etc. para definir la ruta de gestión.
- Disponer de un lugar adecuado para almacenar cada tipo de residuo generado para poder aprovecharlo en un reuso o darle una correcta disposición.

La figura 28 representa una posible gestión de residuos. Como se puede observar en la misma, se diferencian los siguientes residuos:

No peligrosos

- A- Reutilizable (aprovechable), no posible biosólido Clase A/B.
- B- Reutilizable (aprovechable), posible biosólido Clase A/B.
- C- No reutilizable.

Peligroso

- D- Reutilizable.
- E- No reutilizable.

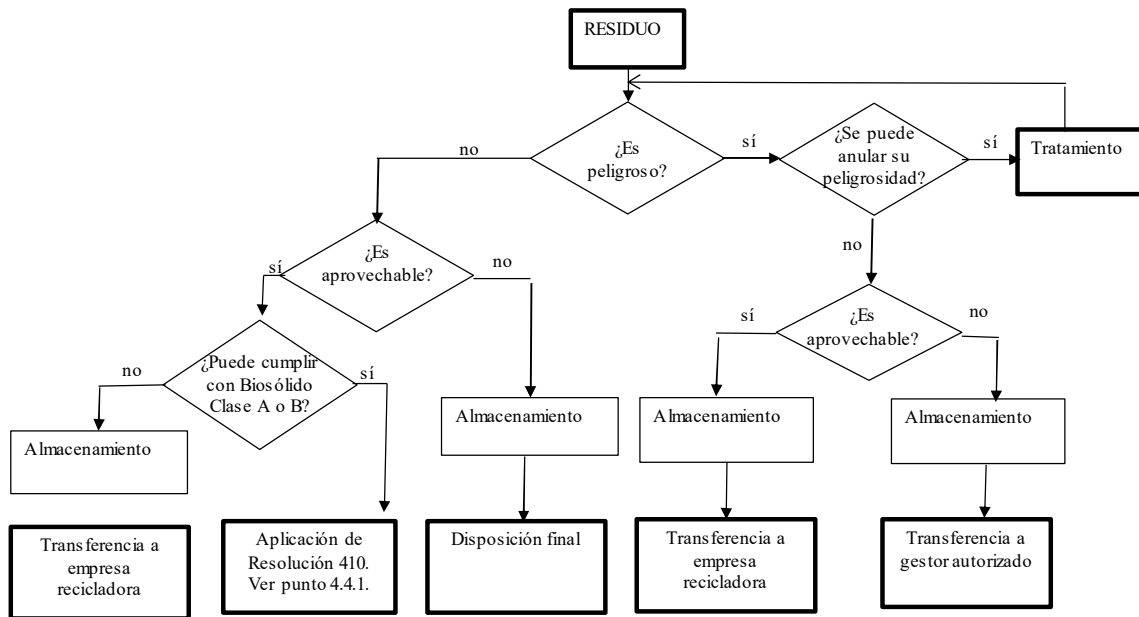


Figura 28: Esquema de propuesta de gestión de residuos generados en La Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Como generalidades para el manejo de residuos se sugiere:

- No enterrar desechos o materiales de desecho en la zona.
- No volcar materiales de desecho o materiales volátiles en cursos de agua o cloacas.
- No incinerar los desperdicios.
- El suelo y el material contaminado se dispondrán en contenedores habilitados para tal fin.
- Se deben extremar las precauciones para evitar derrames. La carga de combustible en las máquinas y equipos se debe efectuar en lugares predeterminados en zonas de los obradores.

Tabla 18: Programa de gestión de residuos- Planta San Clemente del Tuyú.

Clasificación del residuo	Tipo de residuo	Prevención
A - Residuos sólidos/ líquidos reutilizables, no posible biosólido Clase A/B	Tipo domiciliario (Domiciliarios, papeles, cartones, maderas, guantes, plásticos, etc.).	Acciones para reducir su generación (ver punto 5.2.4.2.1) Separación diaria en contenedores dispuestos para tal fin (ver punto 5.2.4.2.2, separación de residuos de tipo domiciliario) Retiro por empresa recicladora / Cooperativas.
	Residuos de obra (alambres, varillas, soportes, cadenas, restos metálicos, restos de plástico etc.).	Se deben colocar en contenedores dispuestos para tal fin, clasificando los elementos de acuerdo a sus características de manera tal de facilitar su reutilización posterior o disposición final una vez concluida la obra.
	Residuos sólidos de pretratamiento.	Almacenamiento y transferencia posterior a sitio de uso. Posible uso en vivero municipal para uso de plantas ornamentales (residuos de desarenador). Esta práctica es utilizada actualmente para disposición de residuos del desarenador. Residuos de rejás, disposición en relleno municipal.
	Residuos oleosos (aceites productos de locales gastronómicos).	Realizar la separación in situ para evitar que dichos aceites lleguen a la planta de tratamiento incrementando los requerimientos de depuración (esto ya está implementado con el denominado Plan biodiesel, ver anexo 8.8).
B - Residuos sólidos reutilizables, posible biosólido Clase A/B.	Biosólido Clase A.	Deberá ser evaluada la factibilidad de venta ya sea a granel o en bolsones.
	Biosólido Clase B.	Deberá ser evaluada la factibilidad de venta ya sea a granel o en bolsones.
C – Residuo no peligroso, no aprovechable.	Restos de alimentos y otros residuos de tipo domiciliario.	Acopiar adecuadamente los residuos y trasladarlos al punto más próximo de retiro de residuos domiciliarios su disposición junto al resto de los residuos urbanos. Disposición final
D – Peligroso aprovechable.	Aerosoles/latas con pintura, latas con lubricantes.	Transferencia a una/la empresa recicladora
E– Peligroso no aprovechable	Residuos de obra con hidrocarburos (Aceites, grasas, trapos y estopas con restos de hidrocarburos)	Todos los residuos de estas características que pudieran generarse durante la construcción o en la operación y mantenimiento de equipos deberán ser acopiados debidamente para evitar toda contaminación eventual de suelos y agua. Se dispondrá en obra de tambores plásticos debidamente rotulados para almacenar trapos contaminados con hidrocarburos en un sector destinado especialmente para esto. Transferencia a gestor autorizado
	Lámparas fluorescentes	Transferencia a gestor autorizado

5.2.4.2.1. Acciones para reducir/ evitar la generación de residuos

- Evitar el uso de materiales descartables por ejemplo en el consumo de comidas y bebidas.
- Adquirir productos en envases retornables o en su defecto que no sean de un solo uso.
- Adquirir productos en envases reciclables.
- Reutilizar bidones, u otros contenedores como contenedores de residuos. Se podrá hacer uso de contenedores de diferentes materiales, que no sean peligrosos y que se encuentren en desuso para recolectar residuos.
- Separar los residuos. Para evitar la contaminación de los residuos reutilizables se debe evitar colocar estos junto a residuos que los contamine. Una mayor clasificación contribuirá a una mayor eficiencia para su reutilización.
- No adquirir insumos de más. Se debe evitar pedir material de más que posteriormente no será utilizado y fácilmente puede constituirse en un residuo.
- Comprar material a granel o en grandes contenedores. De esta manera se reducen los residuos que quedan en los envases y el volumen de estos últimos.
- Imprimir en las dos caras del papel. Esta acción puede reducir el consumo de papel en un gran porcentaje.
- Evitar impresiones innecesarias. En lo posible se debe manejar los documentos en formato digital y únicamente imprimirlos cuando sea imprescindible; si es posible implementar la firma digital, esta acción reduciría ampliamente el consumo de papel.
- Adecuar el formato de documentos a imprimirse para optimizar el uso de papel.
- Evitar el uso de lámparas fluorescentes. Las lámparas fluorescentes contienen mercurio, un elemento tóxico para el hombre, por lo tanto una vez que cumplen su vida útil son consideradas residuos peligrosos deben ser sometidas a un manejo diferenciado.

5.2.4.2.2. Separación y clasificación de los residuos



Figura 29: Separación y clasificación de residuos. Fuente: UNAM, (extraído de <http://www.morelos.unam.mx/noticias-inicio/campus-morelos-recicla-ocho-toneladas-de-residuos-urbanos-mirsu-basura-cero-crim/>,recuperado30/10/20).

La figura 29 muestra diferentes colores para diferentes residuos que puede ser aplicado en la planta de San Clemente del Tuyú. En esta clasificación se podría agregar otro contenedor de color rojo, que corresponda a los residuos especiales como por ejemplo los trapos contaminados con hidrocarburos.

5.2.4.3. Programa de contingencias y capacitación

El programa de contingencias persigue el fin de dar una respuesta planificada y ordenada ante la aparición de una emergencia o accidente evitando un accionar precipitado que lleve al agravamiento de la situación.

El programa de capacitación persigue el fin de asegurar que el personal que llevará a cabo las funciones que puedan causar impactos en el ambiente adquiera los conocimientos y habilidades para realizar las tareas de manera tal de mejorar el desempeño ambiental.

Ambos programas son particulares para cada empresa u organismo por lo que en este trabajo no se presentará ninguna propuesta. Lo que se presenta es la tabla 19 donde se hace hincapié en puntos generales que se debe tener en cuenta al momento de organizar

un programa de contingencia y de capacitación. Se incluye como sugerencia incluir también la capacitación sobre ensayos ecotoxicológicos debido a la facilidad de implementación de los mismos y al aporte ecológico que se puede obtener de ellos.

Tabla 19: Contenido mínimo para el programa de contingencias y capacitación.

Programa de contingencias	Programa de capacitación
Deberán evaluarse las posibles contingencias. Ejemplo: derrames accidentales (combustibles, lubricantes etc), protestas, rotura de equipamiento, incendio.	La capacitación debe realizarse a todo el personal de la empresa para la toma de conciencia de los posibles impactos ambientales de las actividades de la organización.
Deberá establecerse cuál es el canal de comunicación con el que cuenta la organización para el conocimiento del problema según su origen.	Las funciones de conservación y protección del ambiente son responsabilidad de todos, debe cumplirse la Política Ambiental
Deberán establecerse las acciones a desarrollar ante la emergencia considerada.	Las consecuencias potenciales si hay desvíos de los procedimientos de operación especificados.
	Ante cambios o adecuaciones tecnológicas organizacionales, deberán realizarse nuevas capacitaciones.
	La frecuencia deberá establecerse por la organización.
	Incluir la capacitación del personal en ensayos ecotoxicológicos.

5.2.4.4. Programa de manejo de quejas y reclamos

Es importante contar con un programa de manejo de quejas y reclamos para mantener el apoyo de la comunidad local cumpliendo con sus expectativas frente al servicio que brinda la Cooperativa COS. Para un manejo de quejas y reclamos se recomienda:

- Otorgar información oportuna al vecindario para reducir al mínimo las posibilidades de quejas y reclamos.
- Atender con amabilidad las quejas y reclamos.
- Definir el sitio donde puedan ser recibidas las quejas y/o reclamos (un libro de quejas y reclamos, una oficina).

- El libro de quejas y reclamos debe ser abierto para su verificación ágil y oportuna por las autoridades y de los beneficiarios que así lo requieran.
- Deberán registrarse nombre y apellidos, número de documento de identidad, número de teléfono y dirección o referencia del domicilio de quien realiza el reclamo a efectos de notificar la resolución.
- Registrar las respuestas y realizar seguimiento para obtener conformidad del interesado.

5.2.4.5. Programa de monitoreo y seguimiento

Se propone un programa de monitoreo y seguimiento preliminar. El monitoreo y la medición permite controlar, evaluar y supervisar la efectividad de las medidas adoptadas y los objetivos planteados. Permite analizar la causa de los problemas, asegurar que se cumplan los requerimientos legales, revisar las áreas o puntos que requieren de alguna acción correctiva y mejorar el desempeño (CONAGUA, s. f., p. 23).

El monitoreo consiste en mediciones cualitativas y/o cuantitativas basadas en normas y metodologías técnicas y su evaluación en comparación con límites permisibles establecidos de calidad ambiental.

5.2.4.5.1. Indicadores

Los factores/parámetros, indicadores a monitorear serán los que se identifiquen en la etapa de evaluación de impacto ambiental y las características claves de operación y actividades que puedan tener consecuencias ambientales por su incumplimiento. En este documento se hizo una evaluación ambiental general donde se abarca algunos impactos identificados.

Los aspectos sobre los cuales se debe realizar el seguimiento para verificar la eficiencia de las medidas de prevención y mitigación propuestas son: calidad del aire (ruido ambiental y ocupacional, material particulado, olor), suelo, agua (monitoreo de la

calidad de agua de vertido, monitoreo de la calidad del agua de ingreso, monitoreo de la calidad de la salida de la laguna de aireación y monitoreo de la napa freática), sociales (quejas y reclamos) y capacitación. La tabla 20 presenta un resumen de los parámetros e indicadores para poder realizar el monitoreo ambiental.

Tabla 20: Parámetros de indicadores para el monitoreo ambiental.

Factores	Parámetro	Indicador	
		Construcción	Operación
Calidad del aire	Ruido ambiental/ ocupacional.	Medición de ruido en obra y puntos aledaños a definir.	Medición de decibeles en la sala de sopladores.
	Partículas.	Visual. Se puede medir según normativa vigente.	Visual. Se puede medir según normativa vigente.
	Olores.	Sensorial. Ver normativa vigente.	Quejas y reclamos. Monitoreo por puntos posibles de generación.
Energía	Consumo energético.	Medición mensual de consumo energético.	Medición mensual de consumo energético
Suelo	Disposición de residuos comunes, sólidos, escombros y otros (gestión de residuos).	Clasificación y cuantificación.	Clasificación y cuantificación.
	Derrame de combustibles aceites y grasas	Visual.	Visual.
	Erosión/ compactación.	Visual.	Visual.
Calidad del agua de napa	Físico-químicos-biológicos.	Análisis de agua de freáticos disponibles	Análisis de agua de freáticos disponibles.
Calidad del agua de vertido	Normativa aplicable.	-	Análisis de efluente vertido.
Sociales	Quejas y reclamos.	Cuantificación y registro.	Cuantificación y registro.
	Capacitación.	Registro.	Registro.

5.2.4.5.2. Monitoreo ambiental en el aire

El monitoreo en el aire del ruido ambiental/ocupacional es el generado principalmente por la maquinaria utilizada. En la etapa de construcción estará asociado a excavadoras, movimiento vehicular y otros. En la etapa de operación a los equipos electromecánicos instalados y movimiento vehicular de la operación normal. Se debe

cumplir con la normativa vigente. Deberá evaluarse la necesidad de realizar un monitoreo de ruido ambiental. Podrá realizarse una medición en los momentos más críticos de la obra y una medición en la Sala de Sopladores para evaluar la necesidad de armar un programa de seguimiento considerando este indicador.

Las partículas en el aire estarán más asociadas a la etapa de movimiento de suelos. La evaluación es visual. También se puede tomar medición de material particulado y evaluar cumplimiento según la normativa vigente presentada. Las medidas de mitigación fueron discutidas en el punto 5.2.4.1.1. En la etapa de operación también se podrá presentar este impacto debido a que las vías de acceso a la planta son de tierra y es una zona ventosa.

Los olores están asociados a la operación de la planta. Algunos puntos de generación de olores son evitables con una correcta operación, pero otros están asociados al mismo proceso en sí como por ejemplo el punto de descarga de camiones atmosféricos. Los indicadores para un correcto seguimiento serán posibles quejas y reclamos y la recorrida para un monitoreo sensorial y medición para cumplir con la normativa vigente.

5.2.4.5.3. Energía

Deberá mantenerse un registro del consumo energético y de combustible (de ser aplicable) mensual.

5.2.4.5.4. Monitoreo ambiental en el suelo

Se deberá mantener un registro de los residuos generados (cantidad y tipo). Esto permitirá tomar medidas de corrección para un correcto seguimiento del programa de gestión de residuos.

Los vuelcos de hidrocarburos, lubricantes, etc., de producirse, serán accidentales con lo cual se deberá aplicar el plan de contingencias desarrollado para tal fin.

5.2.4.5.5. Monitoreo ambiental en el agua

Monitoreo Acuífero freático

Se deberá monitorear bacteriológicamente (coliformes totales) y presencia de nitratos en el agua de consumo para poder realizar una evaluación de posible contaminación. La Cooperativa COS también maneja la distribución de agua potable para lo que tendrá posibilidad de hacer un monitoreo global de sus recursos.

Monitoreo del efluente - tren de tratamiento.

Para el monitoreo de la operación de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú se debe definir primero los puntos desde donde se van a tomar las muestras. Los puntos recomendados son:

- la corriente de llegada o afluente,
- la corriente de salida del desarenador y entrada a la laguna de aireación,
- muestras aleatorias en la cámara de aireación,
- a la salida de la laguna de aireación.
- salida de laguna de sedimentación / corriente de descarga.

Paralelamente la muestra debe ser representativa. Se puede tomar muestras puntuales (una muestra en el punto seleccionado) en aquellos casos donde no se espera gran variación en la carga de contaminantes o una muestra compuesta (se toman varias muestras en el día de igual volumen para tener una muestra más representativa).

El objetivo del monitoreo es caracterizar la planta para verificar la operación de la misma, tomar decisiones operativas y verificar el cumplimiento con la normativa vigente. Se deben definir los puntos de muestreo y la conservación de las muestras para poder realizar el análisis posterior.

La tabla 21 indica el tipo de recipiente que se recomienda utilizar dependiendo de qué parámetro se vaya a medir, la preservación, el tiempo máximo para análisis, y el tipo de muestra.

La tabla 22 muestra los parámetros que deben ser monitoreados y para los cuales se recomienda el análisis correspondiente. Se muestra con una “x” la recomendación de medir la variable indicada en ese punto en particular.

Tabla 21: Características en la preservación y toma de muestras. Fuente: Olivares Padilla (2014). Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento, ANEAS.

Parámetro	Recipiente	Enjuague antes de tomar la muestra	Vol. Mín. requerido	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo máximo para análisis
Coliformes fecales	Bolsas o frascos esterilizados de vidrio	No	150 ml	Simple	Previamente con EDTA- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 4°C	24 horas
Huevos de helminto	Plástico	No	5 L	Simple o compuesta	Formol a 1 10% y/o 4°C	6 meses
Grasas y aceites	Vidrio (boca ancha, tapón)	No	1 L	Simple	HCl o H_2SO_4 , pH<2, 4°C	28 días
DBO	Plástico	2 a 3 veces	1 L	Compuesta	4°C	48 horas
Materia flotante	Plástico (boca ancha)	2 a 3 veces	3 L	Simple		inmediata
Sólidos sedimentables	Plástico (boca ancha)	2 a 3 veces	1 L	Compuesta	4°C	24 horas
Sólidos suspendidos totales	Plástico	2 a 3 veces	1 L	Compuesta	4°C	7 días
Fósforo total	Plástico	2 a 3 veces	1 L	Compuesta	4°C	28 días
Nitrógeno total	Plástico	2 a 3 veces	1 L	Compuesta	H_2SO_4 , pH<2 y 4°C	28 días
Metales	Plástico	2 a 3 veces	1 L	Compuesta	HNO_3 , pH>2 4°C	6 meses
Cianuros	Plástico	2 a 3 veces	1 L	Compuesta	NaOH, pH>12 4°C	24 horas

Tabla 22: Análisis para el monitoreo de operación de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Análisis	Unidad	Afluente	Salida del desarenador/ entrada a la laguna aireación	En cámara de aireación (varios puntos de muestreo)	Salida de la laguna de aireación /entrada a la laguna sed.	Salida de la laguna de sedimentación/ efluente luego de desinfección
Caudal	m ³ /h	x				
DBO ₅	mg/l	x	x		x	x
DQO	mg/l	x	x		x	x
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	x	x	x	x	x
Sólidos suspendidos fijos a 550°C	mg/l	x	x	x	x	x
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	mg/l	x	x	x	x	x
Sólidos sedimentables 10 min	ml/l	x	x	x	x	x
Sólidos sedimentables en 2 hs	ml/l	x	x	x	x	x
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg/l	x			x	x
Nitrógeno amoniacal	mgN-NH ₄ /l	x			x	x
Fósforo total	mg/l	x			x	x
SSEE (sustancias solubles en éter etílico)	mg/l	x				x
Detergentes SAAM		x				x
pH	-	x				x
Temperatura	°C	x				x
Oxígeno disuelto	mg/l	-	-	x	-	x
Coliformes fecales	mg/l	x				x
Cloro residual	mg/l					x
Ecotoxicidad						en efluente líquido y en lodos

Con el reacondicionamiento de la planta se espera contar con la posibilidad de medición de caudal en la entrada a la planta mediante un aforador Parshall. Será el único punto de medición de caudal proyectado. Sin embargo una medición en la salida de la

planta también sería importante para conocer el caudal de vuelco y estimar las infiltraciones que pueda haber en la planta.

La DBO da indicación de la materia orgánica biodegradable. Tomando las mediciones de DBO en los puntos indicados se podrán estimar las eficiencias del tratamiento de la laguna de aireación y global del proceso y verificar el cumplimiento del vertido según normativa vigente. La DQO podrá utilizarse con el mismo fin. También se puede realizar para un año una curva de relación DBO / DQO para ver si se obtiene alguna correlación entre ambas variables y si la hubiera, contar con esta información para no tener que medir las dos. En general para aguas domésticas la relación DBO_5/DQO es 0,6 (Olivares Padilla, 2014).

Los sólidos decantables y en suspensión representan la contaminación del agua que no está disuelta. Los sólidos sedimentables pueden alterar el fondo de los cuerpos de donde se vierten y los sólidos en suspensión aumentan la turbiedad del agua perturbando en algunos casos la entrada de luz.

El oxígeno disuelto en el tanque de aireación debe estar alrededor de 2 mg O_2/l .

El nitrógeno y fósforo son nutrientes, es importante la medición en el afluente y efluente. Se recomienda tomar también medición en la salida del tanque de aireación para conocer la remoción en cada unidad.

Las sustancias solubles en éter etílico corresponden a grasas y aceites que además de ser un gran contribuyente de DBO, podría perjudicar el tratamiento biológico inhibiendo a los microorganismos.

Los detergentes pueden provocar espumas en el tratamiento aeróbico. En los cuerpos receptores, puede ser más perjudicial según la biodegradabilidad de los componentes utilizados.

La medición de coliformes fecales es para cuantificar patógenos en el efluente. Antes de ser vertido el efluente puede ser tratado por desinfección (en este caso previsto con hipoclorito) para reducir la carga de patógenos.

Otra medición que se recomienda para parásitos son los huevos de helmintos.

Se incluye como sugerencia incorporar ensayos de ecotoxicidad ya que son fáciles de implementar y aportan una dimensión más integrada y dinámica de lo que pasa en el ambiente. La determinación de los parámetros físico químicos o bacteriológicos son análisis puntuales y reflejan un estado puntal estático. El ensayo de ecotoxicidad aporta la dimensión de esta respuesta de los organismos frente a la exposición al ambiente que puede ser muy vasto. Esta valoración a nivel ecosistémico es sumamente importante para entender la influencia del efluente que vertemos en el ambiente.

5.2.4.5.6. Monitoreo social

Los indicadores para el monitoreo social considerados será la cantidad de quejas y reclamos que se presenten. A su vez, se deberá llevar un registro de las capacitaciones realizadas al personal, indicando fecha, tema, nombre y apellido de los asistentes y persona a cargo de la capacitación con la firma correspondiente de cada participante.

5.2.5. Registro de gestión medioambiental- Seguimiento

Se deberá llevar un registro de todos los puntos que serán monitoreados. Para plasmar la información, podrán prepararse planillas de seguimiento ambiental considerando y volcando en ellas las variables ambientales consideradas; subproductos de proceso de obra (en la etapa de construcción como por ejemplo diferentes tipos de elementos reciclados o reutilizados), residuos (diferentes tipos y cantidades), reclamos, energía (consumo eléctrico y de combustible) y capacitación ambiental y en la etapa de operación el registro de los parámetros de vuelco y lodos generados.

5.2.6. Auditorías del sistema ambiental- Evaluación y Mejora

Se recomienda auditorías mensuales a la planta por un responsable ambiental. Se deberá emitir un informe ambiental mensual. En el informe se indicarán las acciones pertinentes para efectuar los ajustes necesarios. El informe podrá ser realizado en un libro de actas.

Las auditorías permiten realizar una evaluación continua de los puntos a ser monitoreados y plantear cambios o mejoras según lo necesario.

6. Conclusiones

6.1. Evaluación ambiental y Plan de Gestión Ambiental

Se ha realizado la evaluación ambiental de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú donde se consideró la planta actual y la planta reacondicionada. Muchos de los impactos que se detectaron con la planta en operación en las condiciones actuales serán mitigados una vez sea reacondicionada. Tal es el caso del efluente vertido del tratamiento que se encontrará dentro de especificación.

A su vez, se presentó un posible Plan Ambiental que podrá ser la base para realizar el plan final cuando se encuentre definido el alcance del proyecto y deba ser realizado. Tanto la caracterización como el Plan Ambiental descriptos en este trabajo, podrán ser utilizados para la presentación del EIA ante las autoridades de aplicación para la obtención de la declaración de impacto ambiental.

6.2. Recomendaciones de operación y diseño

Según el estudio realizado por Prates y Cía (2018), los parámetros de vuelco en verano podrán verse afectados si no se cuenta con el segundo módulo. No obstante, se vio en los resultados que dado que las lagunas de aireación se diseñan con coeficientes de remoción de sustrato basados en la experiencia, en esta planta y dado que el proyecto de reacondicionamiento no contempla la construcción del segundo módulo en lo inmediato (previsto para 2030), se podrá aprovechar la existencia de la misma para realizar una caracterización y determinar de manera experimental el/los valores de los coeficientes a utilizar. La caracterización de la planta para este fin deberá abarcar un año calendario para poder contar con valores representativos de todas las estaciones del año. La importancia de esto radica en que se podrá concluir con datos experimentales la necesidad fehaciente de construcción de una segunda laguna de aireación. Si no se construyera la segunda

laguna de aireación no solo se ahorrará en los gastos de la obra (y posiblemente otra vez la necesidad de conseguir otro financiamiento) sino que además se ahorrará en los costos operativos principalmente energía y emisiones de gases de efecto invernadero como visto en el punto 5.1.1. Si se construyera la segunda laguna, se deberá prestar especial atención al sistema de aireación que se fuera a instalar donde se deberá buscar priorizar la eficiencia global. Otra evaluación posible puede ser estudiar la operación de la laguna como facultativa durante el invierno para reducir las necesidades de aireación.

La construcción de una segunda laguna de sedimentación es necesaria. No obstante, nuevamente se podrá utilizar la caracterización de la planta en un año calendario para determinar los caudales procesados, tiempos de permanencia hidráulicos y la cantidad de lodos acumulados y hacer un proyecto más ajustado. De todas formas, disponer de dos lagunas de sedimentación es importante para poder operarlas de una manera más adecuada. Mientras se utiliza una laguna, de la otra se extraen los lodos. Incluso se podrá dejar habilitada las dos lagunas en verano para que se alcance un tiempo de permanencia de un día y el lodo pueda decantar sin ser arrastrado hacia la salida y en invierno usar una sola para que en esta condición se reduzca el tiempo de permanencia y no haya riesgo de generación de olores. Se recomienda realizar la extracción de lodo en invierno sobre la laguna que no queda operativa. Otra posibilidad es evaluar la contratación de una empresa que realiza la extracción de lodos por dragado. La misma empresa realiza la extracción y deshidratación de los mismos. La ventaja de esto es que no hace necesaria la playa de secado.

La construcción de la canaleta Parshall, donde su construcción ya está prevista en el estudio de reacondicionamiento, es importante para poder realizar una medición del caudal de tratamiento. Al día de hoy, la caracterización de los caudales de vertido de la planta sirve únicamente para ver su cumplimiento con las normativas de descarga pero se

desconocen las posibilidades de mejora operativa ya que no se conoce el caudal de tratamiento ni se puede estimar eficiencias de operación. Por otro lado, en un sistema de lagunas se requieren dos tipos de medidores de caudal, el primero puede ser la canaleta tipo Parshall como está previsto en este proyecto, localizada a la entrada de la instalación y el segundo un vertedero de tipo rectangular a la salida de la laguna de sedimentación para poder contar con una segunda medición de caudal y comprobar la tasa de infiltración por diferencia de las mediciones tomadas y conocer el caudal de vuelco real. Se recomienda verificar en el proyecto de reacondicionamiento la posibilidad de incorporar esta medición realizando la construcción de vertederos rectangulares en la salida de la laguna de sedimentación o incorporar una cámara toma muestra con vertedero (puede ser triangular) en la salida de la planta.

Con el reacondicionamiento de la Planta se obtendrá una mejora operativa del sistema existente y se logrará cumplir con los parámetros de vuelco establecidos en la normativa vigente. También se separarán los lodos del efluente que hoy están siendo vertidos en la Ría con la posibilidad, incluso, de su uso en agricultura, tanto del efluente líquido como del sólido siguiendo el programa de gestión de residuos presentado en el Plan Ambiental. Por lo tanto, la obtención de la financiación es el primer paso para materializar el reacondicionamiento de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú y lograr una operación sustentable de la misma. Se deberá colocar este proyecto en prioridad para la distribución de fondos necesarios por parte de quien corresponda. Es posible que sea por parte de ENHOSA. (O. Perelli, comunicación personal agosto 2019, ver entrevista anexo 8.13).

Los ensayos de ecotoxicidad deberán ser incorporados como ensayos de rutina en el análisis de efluentes vertidos ya que ofrece una dimensión integrada y dinámica de los efectos de éste en el ambiente receptor. Además de que busca soluciones a efluentes

contaminantes para proteger el ambiente y ecosistemas, y de esta manera llevar adelante esta agenda que permitirá dar cumplimiento a una de las metas del objetivo 6 de desarrollo sostenible que busca proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

6.3.Líneas de investigación futura

Finalmente se quiere destacar que todas las posibilidades mencionadas conducen a una mayor sustentabilidad. Cuanto más se pueda reutilizar los residuos generados en la planta mayor será el beneficio del ecosistema ya que los residuos dejarían de ser tales para ser insumos de otros procesos que contribuirán a una economía circular.

Del presente trabajo se desprenden las siguientes líneas de investigación con el fin de continuar aportando material para lograr una mayor sustentabilidad en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú e incluso proyectar hacia otras plantas de tratamiento de efluentes en el Partido de la Costa.

1. La posibilidad de reúso del efluente líquido en riego y sus posibles usuarios.
2. La caracterización de la planta para conocer su eficiencia y evaluar la necesidad de la incorporación o no de una segunda laguna de aireación y mejoramiento del sistema de sedimentación.
3. Los posibles usuarios finales para el aprovechamiento de biosólidos en agricultura. Sería conveniente contar primero con el lodo de la planta y luego ver sus posibilidades de uso según lo planteado en el programa de gestión de residuos.
4. Realizar un estudio de eficiencia energética, donde se evalúe la posibilidad de la autogeneración, y se considere un precio final de cada MWh consumido en aproximadamente un 40% más bajo que el costo energético de la red nacional. Evaluar además la reducción en gases de efecto invernadero.

5. Evaluar un posible proyecto de integración entre todas las plantas de tratamiento de las localidades del partido de la costa como parte de un programa de gestión integral municipal.

7. Referencias

- Carretero, S. (2011). *Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la Provincia de Buenos Aires*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/4918>
- Carretero, S., & Kruse, E. (2018). *Vulnerabilidad ante la contaminación del acuífero costero en San Clemente del Tuyú* [informe técnico no publicado]. Cooperativa C.O.S.
- Comisión Nacional del Agua. (s.f.). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Vol. 32. *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Tratamiento y disposición de lodos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro32.pdf>
- Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento (1993). *Normas de Estudio. Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales para Localidades de hasta 30.000 Habitantes* (Vol. 2). CoFAPyS
- Flores, M. M. (2010). La regulación del recurso agua en la Provincia de Buenos Aires. En Herrera, A. (coord.). *Ambiente sustentable: Vol 2. Obra colectiva del Bicentenario* (pp. 445-459). Organización Gráfica
- González-Pérez, Y., Marcos-Albear, E., Pérez-Garrido, N., Marin-Sánchez, D., & Argota-Pérez, G. (2012). Aplicación de un bioensayo ecotoxicológico en la evaluación de una mezcla compleja ambiental. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 12 (1): 839-845. https://saludpublica.ugr.es/sites/departamentos_files/departamentos_saludpublica/public/inline-files/bc51542cb0968d0_Hig.Sanid_.Ambient.12.%281%29.839-845.%282012%29.pdf
- I C Consultants Ltd. (2001). *Pollutants in urban wastewater and sewage sludge. Final report*. European Communities. https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge_pollutants.pdf
- Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. (2000). *Plan de gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. ITeC. https://itec.es/servicios/librospdf/pdfs/Proyecto%20Life.%20Manual%20de%20minimizaci%C3%B3n%20y%20gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20en%20las%20obras%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20demolici%C3%B3n_ITeC_2000.pdf
- Ivas, H. (2018). *Planta de Tratamiento de Aguas Cloacales de San Clemente del Tuyú: Medidas de gestión ambiental preventivas de impactos ambientales* [informe técnico no publicado]. Dirección Provincial de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático.
- Jordão, E. P., & Pessôa, C. A. (2011). *Tratamento de esgotos domésticos* (6a ed.). ABES.
- Klaassen, C. D., & Watkins, J. B., III. (1999). *Manual de toxicología* (4a. ed.). McGraw-Hill
- Mendonça, S. R. (1999). *Lagunas aireadas mecánicamente*. Organización Panamericana de la Salud.

- Magalhães, D. de P., & Ferrão-Filho, A. da S. (2008). *A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos*. *Oecologia Australis*, 12(03), 355-381. <https://doi.org/10.4257/oeco.2008.1203.02>
- Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3a ed., Vol. 2). Mc Graw-Hill.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). Mc-Graw Hill Education.
- National Research Council. (1993). *Managing wastewater in coastal urban areas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2049>
- Navarro, A. R., Arrueta, R. G., & Maldonado, M. C. (2006). Determinación del efecto de diferentes compuestos a través de ensayos de fitotoxicidad usando semillas de lechuga, escarola y achicoria. *Revista de Toxicología*, 23(2-3), 125-129. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91923306>
- Nonna, S., Dentone, J. M., Waitzman, N. (Autores), & Ripani, E. F. (Colaborador). (2011). *Ambiente y residuos peligrosos*. Estudio. <http://www.derecho.uba.ar/academica/derecho-abierto/archivos/Evolucion-del-Derecho-Ambiental-Titulo-I-capitulo-I.pdf>
- Noyola, A., Morgan-Sagatume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. Instituto de Ingeniería.
- Naciones Unidas (s.f.). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado 9 de diciembre 2020, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.
- Olivares Padilla, M. (2014). *Calidad de las aguas residuales* [PowerPoint slides]. ANEAS. https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/ANEA_S_PRESENTACIONES2014/Presentaciones_C_y_T/8_Calidad_del_Agua/Calidad_de_las_aguas_residuales_ANEAS_XXVIII_Convencion_MXOP.pdf
- Prates y Cía. (2018). *ETP -Reacondicionamiento de la Planta Depuradora Cloacal - San Clemente de Tuyú*. Ministerio de Infraestructura [informe técnico no publicado]. Dirección Provincial de Servicios Públicos de Agua y Cloacas. Provincia de Buenos Aires.
- Poder Ejecutivo Nacional. Resolución 410. (2018). *Norma técnica para el manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales - industriales*. Boletín Oficial de la República Argentina. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/188053/20180716>
- RAMSAR. (s.f.). Sin título. Recuperado 16 de octubre 2020, de <https://rsis.ramsar.org/ris/885>
- Secretaría de Gobierno de Energía (2018). *Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica* [Dataset]. <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>

- Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*), pp. 71-79. En G. Castillo Morales (Ed.), *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
<https://www.idrc.ca/en/book/ensayos-toxicologicos-y-metodos-de-evaluacion-de-calidad-de-aguas-estandarizacion>
- Tichit, A. (1972). *Theorie et pratique du lagunage* [informe técnico no publicado].
- United States Environmental Protection Agency. (1991). *Technical support document for waterquality-based toxics control* (US EPA/505/2-90-001).
<https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0264.pdf>
- United States Environmental Protection Agency. (2000). *Guide to field storage of biosolids and other organic by-products used in agriculture and for soil resource management* (US EPA/832-B-00-007).
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000415S.PDF?Dockey=2000415S.PDF>
- United States Environmental Protection Agency. (2003). *Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. (Including domestic septage). Under 40 CFR Part 503* (US EPA/625/R-92/013).
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/40001LJV.PDF?Dockey=40001LJV.PDF>
- United States Environmental Protection Agency. (2004). *Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems* (US EPA 832-R-04-001).
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20017KBE.PDF?Dockey=20017KBE.PDF>
- Volpato, G. G. (2017). *Estudio de caso: La valoración del humedal de la Bahía de Samborombón. Un enfoque desde el desarrollo local*. [Tesis de maestría. Universidad Nacional de San Martín, Universidad Autónoma de Madrid].
<http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2974>
- Woodard, F. (2001). *Industrial Wastewater Treatment Handbook*. United States of America. Butterworth- Heinemann. ISBN 9780080495392.

8. ANEXOS

8.1. Área de estudio

[La localidad de San Clemente del Tuyú, se encuentra en] el Partido de la Costa, Provincia de Buenos Aires, ($36^{\circ} 22'$ Lat S, $56^{\circ} 44'$ Long O) localizada en la punta norte del Cabo de San Antonio (figura 29). Esta región está constituida por dunas o médanos que conforman un cordón paralelo a la costa donde se acumulan lentes de agua dulce limitados hacia el oeste por el agua salobre de la llanura continental y hacia el este por el agua de mar (Carretero, 2011, p. 10). Ver figura 30.

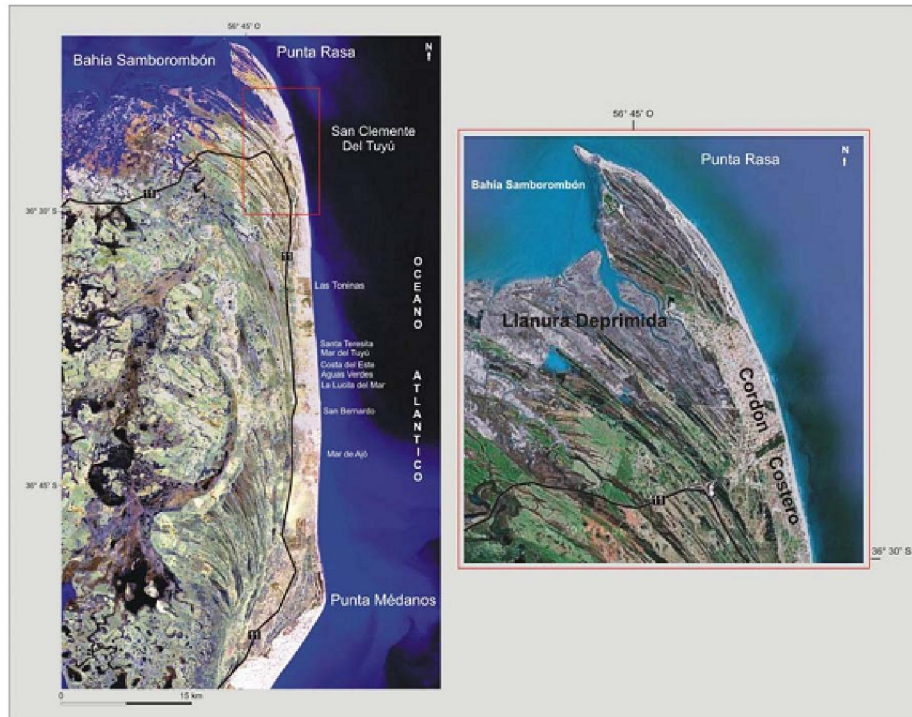


Figura 30: Mapa de ubicación. Fuente: “Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la Pcia de Bs As. (Carretero, 2011, p. 12)

La población permanente es del orden de 15.000 habitantes. La región presenta un importante desarrollo turístico, con una alta actividad en la época estival que puede

multiplicar por 5 dicha cantidad. La aparición de nuevas ofertas de turismo en la zona, produce un aporte constante en el resto del año pero por cortos periodos de estadía (Carretero, 2011, p. 10).

La región se caracteriza por su crecimiento poblacional en general y por un significativo aumento turístico que da lugar a modificaciones en el ciclo hidrológico, particularmente en el comportamiento de las aguas subterráneas. Entre los efectos de las actividades antrópicas se destacan la sobreexplotación de los acuíferos y el peligro de contaminación que significan riesgos generalizados en toda el área con un serio compromiso del recurso agua (Carretero, 2011, p. 10).

Además debe tenerse en cuenta que la vulnerabilidad de las lentes de agua dulce a la contaminación es muy alta, y las reservas aprovechables para el abastecimiento a la población pueden verse disminuidas debido al riesgo de contaminación especialmente relacionado con los aportes de nitratos en los sitios urbanizados (Carretero, 2011, p. 11).

El aumento de la población estable, más la producida en época estival demandan un mayor abastecimiento de agua potable y “la única fuente disponible en el área es un acuífero freático de escaso espesor” (Carretero, 2011, p. 11).

8.2.Vulnerabilidad del acuífero

A raíz del informe realizado por Silvina Carretero y Eduardo Kruse (2018) “Vulnerabilidad ante la Contaminación del Acuífero Costero en San Clemente del Tuyú” (2018), se indican a continuación las definiciones utilizadas por otros autores:

Vrba y Zaporozec (1994) definen la vulnerabilidad como ‘una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales’. Foster e Hirata (1991) declaran que la ‘vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser

adversamente afectado por una carga contaminante impuesta'. A nivel mundial existen casos de acuíferos afectados por diversos contaminantes. Estos dependen de las actividades económicas de cada región y la afectación dependerá de la vulnerabilidad de cada acuífero (Vrba & Zaporozec, 1994; Fuster & Hirata 1991, citado en Carretero & Kruse, 2018, secc. Introducción).

8.2.1. Índices de vulnerabilidad.

En el informe de Silvina Carretero y Eduardo Kruse (2018) se puede encontrar a su vez el índice de vulnerabilidad que fue calculado por los autores utilizando el método de GOD tal como se transcribe a continuación:

En el caso del acuífero en la zona de San Clemente el tipo de acuífero es freático o libre (unconfined), el tipo litológico corresponde a arenas (sands), sedimentos no consolidados (unconsolidated sediments) y la profundidad del agua es menor a 5 m. Con lo cual siguiendo el diagrama de la Figura 1 se computa un índice según la ecuación:

$$GOD = 1 * 0.7 * 0.9 = 0.63 = \text{HIGHT} = \text{ALTO}$$

Según el método GOD, se califica como un acuífero con un ALTO índice de vulnerabilidad a la contaminación” (Carretero & Kruse, 2018, secc. Índices de vulnerabilidad).

La metodología GOD fue desarrollada por Foster (1987) y es un método sencillo y sistemático. Se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 de tres variables, que son las que dan el nombre al acrónimo:

G: (groundwater occurrence) Tipo de acuífero o modo de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea.

O: (overall aquifer class) Litología de la zona no saturada. Se evalúa teniendo en cuenta el grado de consolidación y las características litológicas y como

consecuencia, de forma indirecta y relativa, la porosidad, permeabilidad y contenido o retención específica de humedad de la zona no saturada.

D: (depth to Groundwater) Profundidad del agua subterránea o del acuífero.

Estos tres parámetros se multiplican para obtener una valoración de la vulnerabilidad de 0 (despreciable) a 1 (extrema) (Foster, 1987, citado en Carretero & Kruse, 2018, secc. Índices de vulnerabilidad). Ver figura 31.

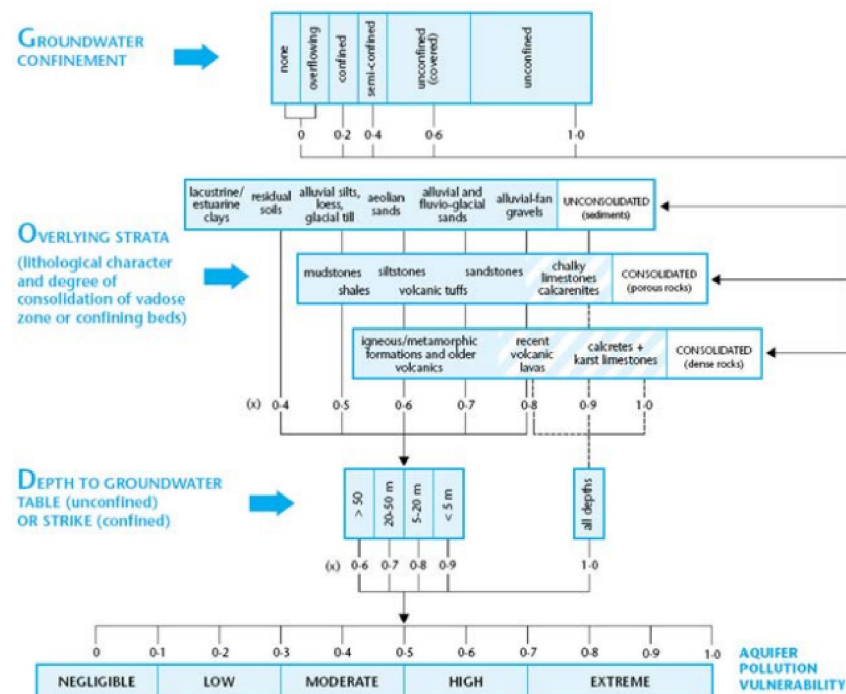


Figura 1. Diagrama para el método GOD. Tomado de Vrba J. y Zaporozec A. (1994)

Figura 31: Diagrama para el método GOD. Fuente: “Vulnerabilidad del acuífero costero (Carretero & Kruse, 2018, secc. Índices de vulnerabilidad)

El informe (Silvina Carretero & Eduardo Kruse) menciona otro método para para estimar la vulnerabilidad del acuífero donde se obtiene como resultado una vulnerabilidad MUY ALTA.

8.2.2. Contaminantes en el agua del acuífero.

Se citan las posibles fuentes de contaminación en la localidad de San Clemente del Tuyú. Las mismas son extraídas del informe mencionado de Carretero y Kruse (2018):

Nitratos y bacterias: cuyo origen son los desechos cloacales o pozos negros.

El sector servido por la COS se encontraría fuera de este riesgo no así las áreas donde todavía no se han conectado a la red. Por otra parte, existe un riesgo potencial por rotura de cañerías.

Aceites minerales: producto del recambio en automotores. Si bien quedan pocos generadores del mismo, en la actualidad existe una empresa recolectora de este residuo.

Estaciones de servicio: son fuentes que poseen un altísimo impacto al acuífero en caso de derrame de combustibles. En la localidad se registran cuatro establecimientos:

1- Shell: cerrada en la zona de la Plaza de las Banderas. A pesar de no estar en funcionamiento significa un pasivo ambiental.

2- ACA: se ha registrado un derrame de combustible hacia la red cloacal lo cual comprometió la colonia bacteriana de la planta depuradora y su posterior efluente a la Bahía de Samborombón. Fue saneado.

3- Estación Los Monitos, sobre calle Talas del Tuyú: Se registró una pinchadura de tanque que fue posteriormente saneada. A pesar de ello, las manzanas circundantes fueron conectadas a la red de agua potable de la COS.

4- Estación cercana a la antigua Terminal de Ómnibus: No se tiene registro, posiblemente los tanques sigan en la ubicación resultando en un pasivo ambiental.

Aceite vegetal usado (AVU): más de 100 comercios son los generadores de esta potencial fuente de contaminación al acuífero. Es de destacar que en la zona costera el riesgo de contaminación por desecho del aceite a la red cloacal o

directamente en el suelo, desde donde pasa al acuífero, se incrementa notablemente en la temporada de diciembre a marzo. Las actividades comerciales, sobre todo el sector gastronómico, que es el principal generador del residuo, se concentran en los meses de vacaciones. Esto a su vez constituye un riesgo mayor ya que el uso del aceite es más elevado que durante el resto del año. Actualmente la COS está recolectando el residuo del aceite usado. Todavía no existe una reglamentación que obligue a los comercios a adherirse al sistema de recolección ni la penalización por descartar los desechos por otros medios. También sería un gran aporte que la comunidad tomara conciencia uniéndose a la red de recolección y almacenando los aceites usados en botellas plásticas para ser entregadas para su posterior reciclaje. Si bien los volúmenes no serían de la magnitud de los comercios, se trata de una cantidad constante a lo largo del año producida por los habitantes estables de la localidad. Cuando se hace referencia al poder contaminante del aceite usado, se cita que un litro contamina mil litros de agua, pero en la publicación realizada por González Canal y González Ubierna (2015) para el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia de España, demuestra que la proporción es mucho mayor. Según estos autores como fuente de contaminación, un litro de aceite usado contiene aproximadamente 5.000 veces más carga contaminante que el agua residual que circula por las redes de saneamiento y puede llegar a contaminar 40.000 litros de agua. El vertido inadecuado de aceites de cocina usado ocasiona problemas en las redes de saneamiento. Los aceites usados, al unirse con restos de los detergentes y jabones de uso doméstico, llegan a provocar las denominadas ‘bolas de grasa’ capaces de generar situaciones de atascos en colectores. Por último, cuando los aceites usados llegan a las plantas de tratamiento, debido al alto contenido de materia orgánica, incrementan los costes de la depuración. Estos bioresiduos son caldo de cultivo para la multiplicación de gérmenes que inciden negativamente en la salud de la población. Estas sustancias, una vez entran en el medio acuático, se difunden por la superficie reduciendo la oxigenación a través de la interface aire -

agua y la actividad fotosintética, ya que absorbe la radiación solar, disminuyendo así, además, la producción interna de oxígeno disuelto (González Canal y González Ubierna, 2015, citado en Carretero & Kruse, 2018, secc. Contaminantes).

8.3. Valoración del Humedal Samborombón

Se utilizó el trabajo de Guillermo Volpato (2017) para realizar la descripción del Humedal de la Bahía de Samborombón. El Humedal de la Bahía de Samborombón, es el humedal marino costero más extenso de la República Argentina. Se trata de una zona intermareal extensa perteneciente al estuario del Río de la Plata. Se caracteriza por bañados, pantanos salobres y cangrejales. La vegetación con predominio del estrato herbáceo, es uno de los últimos reductos de los pastizales pampeanos, conforma un mosaico de comunidades vegetales atravesado por riachos. Funciona como un filtro para los nutrientes, sedimentos y contaminantes que traen los ríos y canales. Entre las razones más importantes para la inclusión de la Bahía de Samborombón en la Lista de Humedales de Importancias Internacional, figura su valor como hábitat de aves migratorias. Estas reservas son asiento de concentraciones de aves acuáticas y migratorias, como patos, chorlos, playeros y gaviotas. Más de 100.000 ejemplares recalán anualmente en la bahía para alimentarse (debido a la abundancia de moluscos, crustáceos y peces) y descansar de sus extensos viajes. El 70% de las aves migratorias, que permanece en el verano austral en la Argentina, se encuentran en esta área. La Bahía de Samborombón es uno de los últimos lugares en donde habita el venado de las Pampas que es una de las especies en peligro de extinción más amenazada de Argentina y una de las especies endémicas de mayor importancia en la zona. El 70% de los venados de la población que habita la Bahía Samborombón, se encuentran en la Reserva de Vida Silvestre Campos del Tuyú ubicada en el humedal. El venado de las pampas fue declarado Monumento Natural en la Provincia de Buenos Aires. La producción ganadera al interior del humedal, la pesca comercial, el

turismo y la recreación en localidades cercanas, son las actividades económicas más importantes. En los municipios cercanos las actividades industriales relevantes son la alimenticia y la textil. La actividad urbana industrial y turística creció en los últimos años sin control, por la ausencia de un sistema de monitoreo, provocando impactos en los ecosistemas (Volpato, 2017, pp. 6-7).

8.3.1. Problemática ambiental en Bahía de Samborombón

Volpato (2017) indentifica en su trabajo de tesis de “La valoración del Humedal de la Bahía de Samborombón” lo siguiente:

En el humedal de Bahía de Samborombón y en sus inmediaciones se registran actividades que generan problemas que afectarían la integridad de sus ecosistemas peligrando su estado actual y futuro. Existe un plan de manejo sostenible pero la falta de implementación en su totalidad no asegura su mantenimiento y conservación en el mediano y largo plazo. A continuación se enumeran los principales problemas ocasionados y no resueltos (Volpato, 2017, p. 7).

La producción ganadera y las inadecuadas prácticas agrícolas alteran los pastizales naturales lo que impacta en varias especies típicas de la zona como por ejemplo el venado de las pampas, que se encuentra en un estado de conservación crítico por el avance de la frontera agrícola y por la amenaza de los cazadores furtivos. En los alrededores del humedal hay cultivos de soja, trigo, avena, maíz, sorgo y girasol. Los trabajos agrícolas utilizan fertilizantes y sustancias químicas para incrementar la productividad. Estos deterioran el suelo y contaminan las aguas que desembocan en la Bahía de Samborombón (Volpato, 2017, p. 7).

La pesca es la actividad más importante que se desarrolla en la Bahía. Los impactos derivados de esta actividad son la captura incidental, el uso de artes de

pesca no permitidas, los campamentos temporarios en la zona costera y la generación y volcado de residuos (Volpato, 2017, p. 7).

El turismo y la recreación están concentrados en el extremo sur del humedal, en Punta Rasa y San Clemente del Tuyu. Los impactos generados por esta actividad se deben al tránsito vehicular en la ruta 11 que provoca ruido y molestias a las aves migratorias y altera el hábitat de otras especies de la zona. **Otro problema es la contaminación de las aguas por efluentes cloacales y basura, principalmente en temporada estival** [*resaltado añadido*] (Volpato, 2017, p. 7) .

8.3.2. Beneficios del Humedal de la Bahía de Samborombón.

Los humedales son generalmente ecosistemas altamente productivos, que proporcionan importantes beneficios a la sociedad de usos de productos y servicios directos e indirectos, su deterioro y pérdida pueden impedir el flujo de esos beneficios. Un aspecto preocupante a destacar es que, la degradación y desaparición de humedales en el mundo es más rápida que la experimentada por otros ecosistemas, debido a las crecientes demandas de la cada vez mayor población humana, la sobreexplotación de los existentes que amenaza la capacidad para proporcionar servicios esenciales (Volpato, 2017, p. 22).

A continuación en la tabla 23 se resume los productos, funciones y atributos del Humedal de la Bahía de Samborombón adaptado de Guillermo Volpato (2017).

Tabla 23: Productos, funciones y atributos del Humedal Bahía Samborombón.
Elaboración propia tomado de Volpato (2017, pp. 39-45)

Beneficios	Valoración P=Presente I=Importante	Tipo	Descripción
Productos	P	Flora y fauna silvestre	En el sitio: se incluye una amplia variedad de productos animales, vegetales y minerales que pueden ser obtenidos directamente del humedal. (El ganado vacuno, una gran variedad de peces y conchillas (extracción minera). Fuera del sitio: esta categoría incluye productos que son producidos por el humedal y que luego migran o son transportados por procesos naturales hacia otros sitios. (Existe además de ganadería, cultivos de soja, trigo, avena, maíz, sorgo y girasol, en función de las mejores condiciones de suelo). El agua superficial que llega a la Bahía por medio de los ríos y canales es en general salobre, con gran cantidad de sedimento y materia orgánica, por lo que no es utilizada para consumo humano o animal.
	I	Pesca	
	I	Pastos y recursos forrajeros	
	P	Abastecimiento de agua	
Funciones	P	Recarga y descarga de acuíferos	La existencia del humedal evita la introducción tierra adentro de agua del estuario, durante las tormentas y la intrusión del agua salada, producto de las mareas, lo que implicaría la pérdida de lentes o capas de agua dulce subterránea que se encuentran bajo los cordones de conchillas.
	P	Estabilización de la línea costera y control de la erosión	El aumento del mar es el mayor condicionante de cambios en el sistema del Río de la Plata. Las cuencas de erosión, sujetas al continuo vaivén de la marea actuarían alternativamente como receptoras temporarias de sedimentos y como fuentes de aporte por remoción del sustrato.
	P	Protección contra tormentas	Las sudestadas son un fenómeno climático de vital importancia para un área con muy poca pendiente como Bahía Samborombón, que se inunda en casi un 75% de su superficie.
	P	Estabilización de las condiciones climáticas locales	Los microambientes más típicos de la Bahía son los talaras, los pastizales, los pajonales, los cañadones naturales, los canales de marea, los cangrejales y las zonas de médanos. El humedal presenta gradientes de ambientes producen un mosaico de microambientes.
	P	Transporte por agua	La actividad portuaria y la navegación utilizan la costa del humedal y la zona marítima asociada para su desarrollo, por lo cual se las considera un uso directo. Estas actividades producen contaminación. La Bahía Samborombón ha sido declarada como Zona de Protección Especial por la Prefectura Naval Argentina.
	P	Actividades recreativas y turismo	El turismo y la recreación en las áreas protegidas de la Bahía son limitados debido a la dificultad de acceso a las mismas, pero están concentradas en el extremo sur de la Bahía, más precisamente en Punta Rasa y San Clemente del Tuyú.
	I	Control de inundaciones, regulación de crecidas	Las mareas aportan aguas salobres provenientes del océano Atlántico y los ríos, canales y arroyos aportan agua dulce. Este complejo ecosistema sustenta humedales de gran importancia para la biodiversidad y para la regulación de las inundaciones.

Continúa

Tabla 23: continuación.

Beneficios	Valoración P=Presente I=Importante	Tipo	Descripción
Funciones	I	Retención de sedimentos y contaminantes	El humedal funciona como un filtro para los nutrientes, sedimentos y contaminantes que traen los ríos y canales. De esta manera los nitratos son retenidos y no llegan directamente al mar, lo que podría provocar floraciones algales tóxicas, comúnmente llamadas marea roja o marea verde.
	I	Retención de nutrientes	
	I	Exportación de biomasa, mantener la cadena trófica	Constituye un área de interacción entre los ecosistemas acuático y terrestre, y de mezcla entre las aguas del Río de La Plata y el Océano Atlántico, lo que crea condiciones ecológicas particulares que le permiten ser el sustento de una gran biodiversidad.
	I	Hábitat. Refugio de especies y aves	La zona costera de la Bahía ofrece a las aves refugio y alimento debido a la abundancia de invertebrados (moluscos y crustáceos), y a diferentes especies de peces. Esta particularidad fundamentó la inclusión de Bahía Samborombón en la Lista de Humedales de Importancia Internacional. La Bahía de Samborombón es uno de los últimos lugares en donde habita el venado de las Pampas que es una de las especies en peligro de extinción más amenazada de Argentina y una de las especies endémicas de mayor importancia en la zona.
Atributos	I	Diversidad biológica	La Bahía Samborombón presenta una variada fauna que incluye tanto invertebrados como vertebrados, algunos de ellos de importancia comercial o bien de alto valor para la conservación. En particular, los ambientes acuáticos y terrestres, las áreas de transición ecotonal y los gradientes de vegetación presentan una alta productividad primaria y secundaria y diversas características de hábitat a micro-escala, que son aprovechadas por organismos que habitan estos ecosistemas, como así también por otros que los utilizan temporalmente como zona de reproducción, cría y/o alimentación.
	P	Características culturales y patrimoniales únicas	Las investigaciones arqueológicas realizadas desde hace más de una década en la región comprendida entre el río Salado y la laguna de Mar Chiquita, pusieron en evidencia la existencia de lugares de asentamiento que permiten establecer una ocupación aborigen en la zona de Castelli.

Los humedales son los ecosistemas más productivos, que proporcionan importantes beneficios a la sociedad por los usos de productos y servicios directos e indirectos. Al mismo tiempo son los ecosistemas que experimentan el mayor deterioro y desaparición en el mundo, por las crecientes demandas de la población y por la sobreexplotación realizada por las actividades productivas (Volpato, 2017, p. 74).

Entre las actividades que se vinculan con la degradación y la capacidad del sistema natural para absorber los desperdicios, se destacan: el manejo inadecuado de la red hídrica por canalizaciones no planificadas, introducción de especies exóticas (cancho cimarrón) siembra de pasturas exóticas, contaminación por: agricultura (biocidas y fertilizantes), efluentes urbanos e industriales, dragado y derrame de sustancias nocivas (Volpato, 2017, p. 74).

8.4. Importancia del tratamiento de efluentes- Descripción de los contaminantes y las distintas tecnologías para su tratamiento

“El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará” (Noyola et al., 2013, p. 19)

8.4.1. Principales contaminantes en aguas negras

Los efluentes sin tratar pueden contener los siguientes contaminantes:

Sustancias de alta demanda de oxígeno: el oxígeno disuelto en los cursos de agua es clave para soportar la vida acuática. Muchos contaminantes presentes en el agua reaccionan con oxígeno reduciendo su disponibilidad para soportar la vida acuática. A esta demanda se la denomina DBO (demanda bioquímica de oxígeno). La materia orgánica y el amoníaco son sustancias demandantes de oxígeno y el efluente domiciliario es un gran aportante de ambos compuestos. Tanto la DBO de un efluente a tratar como la DBO del efluente tratado es medida y nos da indicio de la eficiencia de una planta de tratamiento (EPA, 2004, p. 8).

Patógenos: microorganismos patógenos también se encuentran presentes en el efluente domiciliario y los cursos de agua pueden transportarlos generando posible

contacto nuevamente con humanos. De aquí radica la importancia de la desinfección (EPA, 2004, p. 8).

Nutrientes: el carbono, nitrógeno y fósforo son esenciales para los organismos vivos. Un exceso de nutrientes descargado en distintos cuerpos de agua puede producir sobre-crecimiento de determinadas especies afectando el equilibrio del ecosistema (problemas de eutrofización). El tratamiento secundario en plantas de efluentes puede estar diseñado para reducir la cantidad de los mismos (EPA, 2004, p. 8).

Materia inorgánica y productos químicos sintéticos: esta categoría incluye una amplia cantidad de sustancias químicas; por ejemplo, metales pesados, detergentes y otros productos de limpieza. Muchas de estas sustancias químicas son tóxicas para peces y otros organismos acuáticos afectando al ecosistema e inclusive a humanos (EPA, 2004, p. 8).

Las características del efluente domiciliario varían según la cantidad de habitantes, nivel social, aspectos culturales, condiciones meteorológicas y otras. En el siglo pasado las perturbaciones ambientales eran mitigadas de manera natural ya que el volumen de generación de residuos se encontraba en un equilibrio con la capacidad de degradación de los microorganismos existentes. Hoy es indispensable contar con sistemas de recolección de efluentes y plantas de tratamiento para asegurar las condiciones de vertido similares al cuerpo receptor para poder garantizar el equilibrio del ecosistema.

Las estrategias de gestión de aguas residuales y pluviales se centran en controlar la liberación de componentes potencialmente dañinos al medio ambiente. Al igual que con cualquier actividad que afecte el medio ambiente, el potencial de daño depende de la magnitud del elemento, dónde ocurre y las características del estrés. En general, un componente de aguas residuales puede considerarse de gran preocupación si presenta un riesgo significativo para la salud humana o los ecosistemas mucho más allá de los puntos de descarga y no está bajo control demostrable. Un componente de aguas residuales

generalmente puede considerarse de menor preocupación si solo causa un impacto local o está bajo control demostrable (NRC, 1993, p. 4).

Según los autores de *Managing Wastewater in Coastal Urban Areas* (1993) se puede anticipar diferentes niveles de prioridad para los constituyentes de las aguas negras en áreas costeras urbanas: prioridad alta, intermedia y baja.

Contaminantes con “prioridad alta”.

Nutrientes. Muchos estuarios de las costas del Atlántico y del Golfo actualmente experimentan una eutrofización generalizada por el exceso de aportes de nutrientes, generalmente nitrógeno, y muchos más son vulnerables al enriquecimiento excesivo de nutrientes. El tratamiento secundario no elimina cantidades significativas de nitrógeno de las aguas residuales. Los nutrientes provienen de una variedad de fuentes puntuales y difusas. Para abordar adecuadamente sus efectos en los cuerpos de agua costeros, todas las fuentes relevantes deben ser identificadas y comparadas, y los insumos más importantes reducidos o desviados.

Patógenos. Se han identificado más de 100 virus y bacterias patógenas en la escorrentía y las aguas residuales. Numerosas playas de baño se vuelven a cerrar debido a niveles inaceptables de bacterias coliformes cada año. Sin embargo, ni el verdadero alcance de la contaminación por patógenos humanos reales ni las fuentes dominantes de contaminación se conocen adecuadamente en la mayoría de las regiones (NRC, 1993, pp. 4-5).

Productos químicos orgánicos tóxicos. Las fuentes puntuales industriales y de aguas residuales crónicas de productos químicos tóxicos como las dioxinas cloradas, los hidrocarburos aromáticos polinucleares y los solventes han sido identificados y controlados o están fácilmente sujetos a control con la tecnología existente. En peces y mariscos, los niveles de algunos compuestos orgánicos tóxicos (incluidos los productos

químicos PCB y DDT que en algunos países no se producen como por ejemplo en los Estados Unidos) disminuyen, mientras que otros, como los hidrocarburos de petróleo, aparentemente no están disminuyendo. La escorrentía urbana, los desbordamientos combinados de alcantarillas y los sedimentos contaminados debido a descargas incontroladas en el pasado son las principales fuentes continuas de productos químicos orgánicos tóxicos en muchas áreas urbanas costeras. Aunque la fuente original de contaminación puede haber sido controlada, los sedimentos contaminados pueden continuar siendo fuentes secundarias de contaminación para peces, mariscos y aves marinas durante muchos años o décadas (NRC, 1993, p. 5).

Contaminantes con “prioridad intermedia”

Metales. Las concentraciones elevadas de metales potencialmente tóxicos como el mercurio, el cadmio y el estaño todavía se encuentran en los mariscos en áreas urbanas localizadas, pero estos problemas no son preocupaciones a gran escala o en toda la región. Los metales disueltos pueden afectar la distribución de especies en los ecosistemas costeros. La mayoría de los metales no se biomagnifican a través de las redes alimentarias marinas. El control de la fuente ha sido efectivo en varias áreas para reducir las concentraciones. Se puede esperar problemas futuros con el plomo y casos localizados de contaminación por organometales. Al igual que con los químicos orgánicos tóxicos, los metales de descargas no controladas del pasado aún contaminan los sedimentos, especialmente cerca de los puertos, y pueden ser una fuente importante de contaminación para las aguas suprayacentes y la vida acuática local.

Aceite y otros materiales peligrosos. La probabilidad de grandes derrames de petróleo es baja, pero sus impactos inmediatos en los ecosistemas costeros y las industrias locales (por ejemplo, pesca, turismo) pueden ser devastadores. Sin embargo, son de mayor consecuencia los miles de pequeños derrames y fugas no publicados (por ejemplo,

la eliminación ilegal de aceite usado de cárter en los desagües pluviales) que ocurren diariamente en áreas urbanas costeras y pueden sumar grandes aportes crónicos de hidrocarburos de petróleo.

Los productos químicos tóxicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, compuestos de cloro) y entornos industriales y comerciales (por ejemplo, solventes, arsenicales) se transportan a través de las zonas costeras urbanas y están sujetos a su liberación accidental. Aunque no es una parte central del problema de gestión de aguas residuales, los derrames deben tenerse en cuenta al abordar los problemas de calidad costera.

Flotantes y Plásticos. Las playas continúan siendo contaminadas por la basura de fuentes terrestres, especialmente después de condiciones climáticas episódicas como tormentas y cambios inusuales en las corrientes costeras. Los desechos marinos representan un peligro para la vida silvestre, así como para las personas, y son estéticamente desagradables. Existe una oportunidad considerable para el uso de modelos de simulación predictiva, como los modelos de trayectoria de derrames de petróleo, para identificar fuentes de desechos marinos y desarrollar estrategias de control” (NRC, 1993, pp. 5-6).

Contaminantes con “baja prioridad”

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En aguas costeras abiertas y estuarios no estancos, el agotamiento de oxígeno debido a la DBO de las aguas residuales descargadas a través de un desagüe bien diseñado generalmente no es una preocupación ecológica. En estas situaciones, el material orgánico de las aguas residuales es una causa menor y localizada de agotamiento de oxígeno, especialmente en relación con eso debido a los nutrientes. En la mayoría de las zonas urbanas costeras en las que la DBO de las aguas residuales es motivo de gran preocupación, se controla bajo los requisitos existentes.

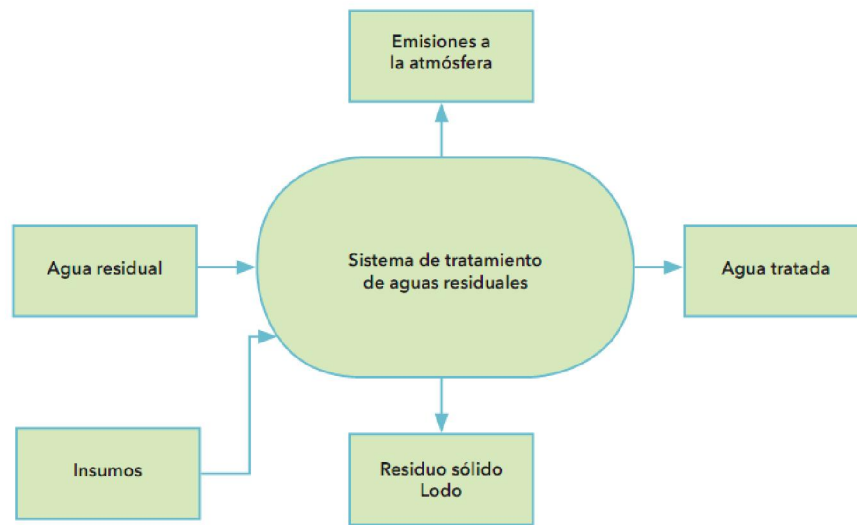
Sólidos. Los sólidos sedimentables y suspendidos de grandes desagües de aguas residuales fueron alguna vez la causa principal de las acumulaciones localizadas de sedimentos anaerobios y ecosistemas dañados del fondo marino.

Hoy, el grado de eliminación de sólidos requerido es impulsado por la necesidad de proteger los sedimentos de las acumulaciones de contaminantes asociados con partículas. La escorrentía urbana intensa, incluidos los desbordamientos combinados de alcantarillado (CSOs) en algunas áreas aún puede ser una fuente de acumulación localizada de sólidos y control de garantías (NRC, 1993, pp. 6–7).

8.4.2. Principios de tratamiento de efluentes domiciliarios

El objetivo de depurar un agua residual se logra mediante la integración de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos) unitarios, que serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Dependiendo del proceso realizado, es posible generar emisiones gaseosas a la atmósfera y la producción de material de desecho que puede ser un residuo sólido, como la materia retenida en las rejillas o tamices, o semisólido en forma de lodos (Noyola et al., 2013, p. 7).

La figura 32 presenta un esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.



*Figura 32: Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.
Fuente: Noyola (2013, p. 8).*

Asimismo, la operación de cualquier proceso requiere de insumos como energía eléctrica y/o reactivos químicos, que se darán en función de las tecnologías seleccionadas para integrar el sistema de tratamiento, con lo que el costo de operación dependerá también de ello. Los sistemas de tratamiento de agua residual generan lodos que hay que tratar para poder disponer de ellos adecuadamente (Noyola et al., 2013, p. 8). En la Planta Depuradora de San Clemente los insumos previstos son el hipoclorito de sodio para una desinfección a la salida de la planta.

La figura 33 esquematiza las posibles tecnologías que pueden integrar un tren de tratamiento de aguas residuales. Por un lado, están los tratamientos fisicoquímicos y, por otro, los biológicos. Los primeros hacen uso de procesos físicos (uso de la gravedad, filtración por retención física, atracción electrostática, etc.) y de procesos químicos (coagulación, absorción, oxidación, precipitación, etc.). El segundo tipo involucra la degradación o transformación del material orgánico por medio de microorganismos.

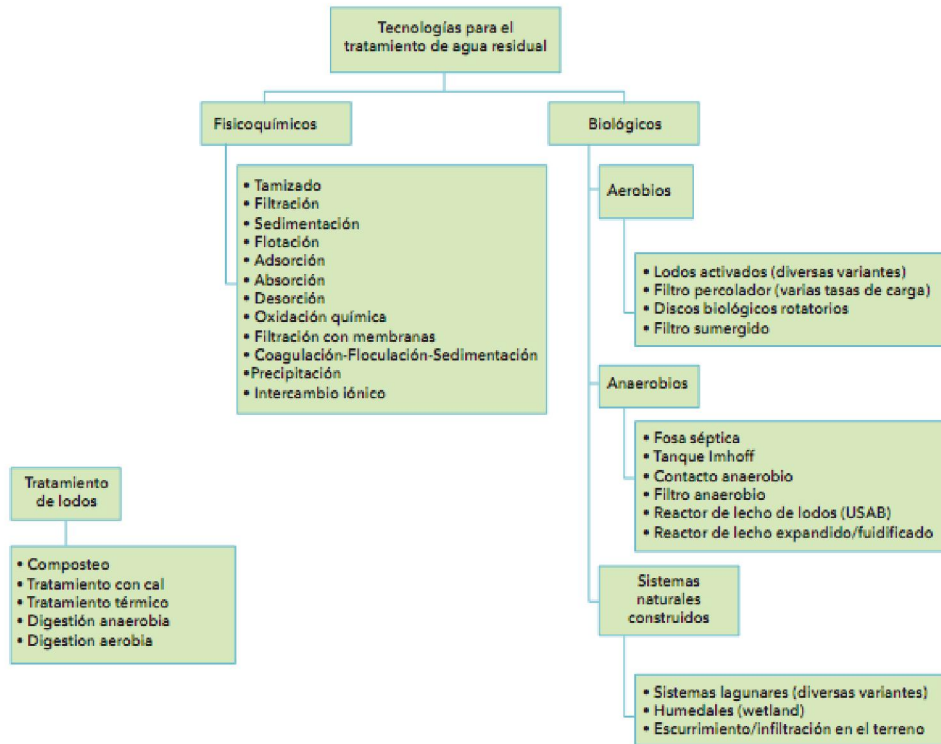


Figura 33: Tecnologías posibles para integrar un tren de tratamiento de aguas residuales. Fuente: Noyola (2013, p. 9).

Dentro de los sistemas biológicos existen los sistemas aerobios (requieren oxígeno molecular disuelto) y los anaerobios (funcionan sin oxígeno). También están los sistemas naturales artificiales, que aprovechan las transformaciones que se llevan a cabo en el medio natural aunque en estas unidades se busca incrementar su capacidad de tratamiento en unidades de proceso controladas. Tal es el caso de los humedales artificiales o el tratamiento mediante descargas directas a suelo (Noyola et al., 2013, p. 8).

La planta de San Clemente dispone de un sistema biológico, aeróbico, de lodos activados.

El objetivo principal del tratamiento del agua residual doméstica es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Metcalf & Eddy, 2014, p. 555)

La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica se consiguen biológicamente gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y tejido celular. Dado que el tejido celular tiene un peso específico ligeramente superior al del agua, se puede eliminar por decantación. Es importante señalar que salvo que se separe de la solución el tejido celular que se produce a partir de la materia orgánica, no se alcanzará un tratamiento completo ya que el mismo es de naturaleza orgánica con lo cual aparecerá en la medida de la DBO del efluente (Metcalf & Eddy, 1995, p. 410)

Por esta razón es que es importante el sedimentador en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

Los principales tipos de tratamiento biológico que existen pueden dividirse en dos categorías: cultivo en suspensión y cultivo fijo. El crecimiento en medio fijo se basa en la utilización de piedras, filtros percoladores, torres u otros elementos de soporte donde ocurre el crecimiento de microorganismos gracias al suministro de oxígeno y la material orgánica a tratar como alimento para su desarrollo. Los microorganismos son los responsables de realizar la degradación de la materia orgánica. Este sistema es eficiente para la degradación de materia biodegradable presente en el efluente. El crecimiento en medio suspendido tiene el mismo principio de crecimiento de microorganismos pero en un licor donde se encuentra mezclado con el efluente de manera homogénea. La mezcla puede ser realizada por la propia aireación o por algún otro elemento mecánico. Este sistema se utiliza para degradar materia biodegradable y, en algunos casos, también para eliminar nitrógeno y fósforo. Las unidades de tratamiento por crecimiento suspendido incluyen variaciones de barro activado como la laguna de aireación, cámaras de oxidación

y reactores batch secuenciados (EPA, 2004, p. 12). En el caso de aguas domésticas, es muy común el uso de cultivo en suspensión y entre los principales procesos se encuentran las lagunas aireadas como es el caso de la planta estudiada.

8.5. Descripción del tratamiento de lagunas

Las lagunas de estabilización son grandes tanques excavados en la tierra de profundidad reducida, -generalmente menores a los 5 metros- diseñados para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de microorganismos, la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales (factores físicos, químicos y meteorológicos). La finalidad de este proceso es producir un efluente que cumpla con las exigencias ambientales en cuanto a su contenido de DBO, DQO, OD, SS (demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto y sólidos en suspensión), algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc.

Existen diversas formas de clasificar lagunas; de acuerdo con su contenido de oxígeno pueden ser: anaeróbicas (ausencia de oxígeno), aeróbicas (con oxígeno) y facultativas (aeróbico en superficie, anaeróbico en el fondo). En el caso que el oxígeno se suministre en forma mecánica o aire comprimido se denominan aireadas.

8.5.1. Lagunas aireadas aerobias

La figura 34 presenta un esquema de tratamiento típico para una laguna aireada idéntico al diseñado para la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú.

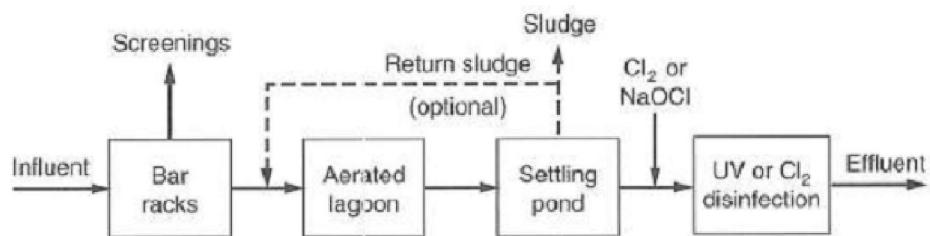


Figura 34: Esquema de tratamiento por laguna aireada (Metcalf & Eddy, 2014, fig. 7.1).

Tomando la figura 34 como base se observa las siguientes etapas en este tratamiento.

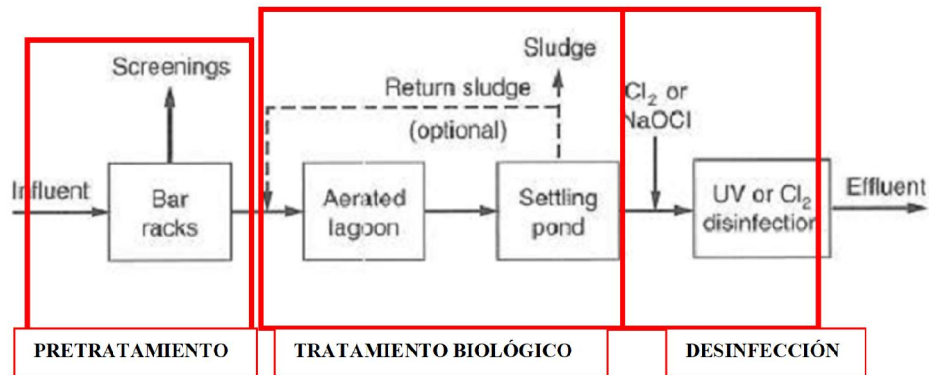


Figura 35: Etapas principales en el tratamiento de efluentes domiciliario.

Se toma como referencia la figura 35 para describir las diferentes etapas de la siguiente manera:

Pretratamiento: es la fase inicial de una planta donde se remueven los sólidos mayores de la corriente de efluente. Los equipos utilizados en general pueden incluir desde rejillas de diversos espesores de apertura, desarenadores, tamices etc. El objetivo principal es evitar que grandes sólidos, arenas y otros elementos pasen a los tratamientos subsiguientes generando problemas operacionales como por ejemplo abrasión en equipos de bombeo (arenas), taponamiento de líneas (arenas, sólidos), taponamiento de equipos de aireación (arenas) (EPA, 2004, p. 9).

Tratamiento Biológico: es la etapa del proceso donde se elimina la materia orgánica mediante la tecnología seleccionada. En este caso se trata de un proceso biológico: laguna aireada mecánicamente. Una laguna aireada es un depósito en el que el agua residual se trata en la modalidad de flujo continuo sin o con recirculación de sólidos. La principal función de este proceso es la conversión de la materia orgánica. Normalmente se suele

aportar oxígeno con aireadores superficiales o con sistemas de difusión de aire. La turbulencia creada por los sistemas de aireación se utiliza para mantener en suspensión el contenido del depósito. Dependiendo del tiempo de retención, el efluente de una laguna aireada puede contener entre un tercio y la mitad de la DBO del afluente, en forma de tejido celular. La mayor parte de estos sólidos se debe eliminarse por decantación antes de la descarga del efluente. Si se realiza la recirculación de sólidos a la laguna, el proceso no presenta diferencia alguna con un proceso de barros activados modificado (Metcalf & Eddy, 1995, p. 687).

Tratamiento de desinfección: el efluente líquido es enviado hacia el cuerpo receptor. El mismo puede tener un tratamiento de desinfección antes de su vertido o no. En San Clemente está prevista esta desinfección mediante el uso de hipoclorito de sodio.

8.5.2. Diseño de lagunas aireadas mecánicamente y de sedimentación.

8.5.2.1. Laguna de aireación con mezcla completa

Las lagunas aireadas mecánicamente son dotadas de equipos de aireación cuya principal finalidad es introducir oxígeno a la masa líquida. Su profundidad varía de 3 a 5 m. (Mendonça, 1999, p. 1). Existe una gran variedad de sistemas de aireación para las mismas y los costos de operación entre un sistema y otro pueden variar tanto como hasta un 150% (Woodard, 2001, p. 283). La planta depuradora de San Clemente dispone de un sistema de aireación mediante equipos sopladores que impulsan aire hacia la laguna de aireación mediante un sistema de distribución de burbujas por difusores. La laguna tiene una profundidad de 3,2 m.

Las lagunas aerobias con mezcla completa todos los sólidos sedimentables se mantienen en suspensión. Esto provee una relación potencia/volumen alta. La edad del lodo (concepto asociado al tiempo en el que los lodos se encuentran en la laguna) es igual al tiempo de retención hidráulico. La remoción de DBO varía entre 50 – 60% con la gran

desventaja de transportar muchos sólidos en el efluente. Funcionan básicamente como un sistema de lodos activados sin recirculación (Mendonça, 1999, p. 1).

Dado que la salida de las lagunas aireadas transporta muchos sólidos, es recomendable que las lagunas aireadas sean seguidas por una laguna de sedimentación. Las lagunas de sedimentación pueden remover de 85-90% de sólidos en suspensión por sedimentación (Jordão & Pessôa, 2011, p. 797).

Las lagunas aireadas han sido empleadas desde hace mucho tiempo, en el tratamiento de aguas residuales domésticas en general en ciudades pequeñas y medianas. Su eficiencia es elevada y su costo de construcción un poco mayor al de las lagunas de estabilización. El costo de operación y mantenimiento es elevado debido al consumo energético demandante por la aireación (Mendonça, 1999 p. 2).

Para el presente trabajo se utilizó el modelo matemático desarrollado por Eckenfelder Jr y O'Connor citados en el trabajo de Mendonça (1999). Las fórmulas que se presentan en su trabajo se resumen en la tabla 24.

Las mismas tienen en cuenta las siguientes condiciones:

- La degradación de la materia orgánica se hace en condiciones aeróbicas, y la remoción del sustrato, incluso el soluble, sigue una cinética de primer orden.
- El sistema de aireación establece un proceso de mezcla completa.
- La caracterización del efluente considera solamente la DBO (o DQO) soluble, y la parte de DBO (o DQO) debida a los sólidos en suspensión volátiles es evaluada separadamente.
- El sistema se encuentra en equilibrio continuo.
- El balance de masa admite que la contribución de precipitaciones es prácticamente equivalente a las pérdidas por infiltración / evaporación (Jordão & Pessôa, 2011, p. 806).

Tabla 24: Fórmulas para cálculo laguna de aireación por mezcla completa.
Fuente: Mendonça (1999, adaptado pp. 14-20)

Parámetro	Descripción de variables y constantes	Valores frecuentes	Fórmulas
Tiempo de permanencia mínimo.	- $t_{\min}$: tiempo de retención mínimo - t : tiempo de retención de laguna aireada con mezcla completa, días.	$t_{\min}$: 0,5 d (para desechos domésticos)	1- $t_{\min} = \frac{1}{0,33 Y k S_0}$
Tiempo de permanencia.	- Y : coeficiente de producción de lodos, kg SSVTA/kgDBO ₅ . - k : tasa constante de primer orden de remoción de sustrato, l/mg.d - k_d : tasa constante relativa a respiración endógena, d ⁻¹ .	-“ Y : 0,5 Rich (1980)” -“ k : 0,01-0,03 Arceivala (1981)”.	2- $t = \frac{1}{Y k S_e - k_d}$
Concentración de sólidos suspendidos volátiles en la masa líquida de la laguna.	- K : tasa global de remoción de sustrato, d ⁻¹ ($=k \cdot X_{v,a}$) - S_0 : concentración de materia biodegradable en afluente, mg/l. - S_e : concentración de materia biodegradable en efluente, mg/l. - $X_{v,a}$: concentración de sólidos suspendidos volátiles totales en la laguna y efluente, mg/l	-“ k_d : 0,05-0,22 Mendonça (1981)” -“(para domésticos 0,2 Rich (1980))”	3- $S_e = \frac{S_0}{K t + 1}$ $X_{v,a} = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + k_d t}$
Corrección por temperatura.	- T : temperatura, °C. Se corrige tanto el coeficiente de remoción de sustrato k como el coeficiente de respiración endógena k_d .		4- $k_T = k_{20^\circ C} \theta^{T-20^\circ C}$
Concentración materia biodegradable real.	-La materia biodegradable real corresponde a la soluble más la que se encuentra en suspensión.		5- $S'_e = S_e + 0$ <i>Continúa</i>
Eficiencia de remoción real.	Es la eficiencia global del sistema de laguna de aireación.		6- $E = \frac{S_0 - S'_e}{S_0} 100$
Oxígeno requerido.	- O_2 : oxígeno necesario, g/d - a : fracción de sustrato removido utilizado para la producción de energía, kg O ₂ energía/kgDBO - b : oxígeno necesario para la respiración endógena, kgO ₂ /kgSSVTA. - V : volumen de la laguna aireación, m ³ .	- a : 0,3 - 0,63 - b : 0,05 - 0,28	7- $O_2 = a(S_0 - S_e)Q_{med} + bX_{v,a(t)}V$

Continúa

Tabla 24: continuación

Parámetro	Descripción de variables y constantes	Valores frecuentes	Fórmulas
Tasa de transferencia de oxígeno (N).	N= tasa de transferencia de oxígeno en campo, kgO₂/kWh -N₀= tasa de transferencia de oxígeno mediante prueba en condiciones estándar (20° y Oxígeno disuelto=0 kgO₂/kWh. α: relación entre tasa de transferencia de oxígeno en aguas residuales con pura. β: relación de saturación de oxígeno entre agua residual y agua pura. -C_{sw}: saturación del oxígeno en agua pura a una dada temp. (mg/l) este valor debe ajustar según la presión barométrica que se encuentre. -C_{st}: saturación de oxígeno en agua pura en condiciones estándar (20°C, nivel del mar), mg/l. -C_L: concentración de oxígeno en lagunas, mg/l. -T: temperatura media anual °C.	-N₀: 1,5-2 α: 0,7 β: 0,9 -C_{sw}: tablas -C_{st}: 9,17 mg/l -C_L: 0,5-2	8- $N = N_0 \left[\alpha \left(\frac{\beta C_{sw} - C_L}{C_{st}} \right) \right] 1,024^{(T-20)}$
Potencia para oxigenación	-P_t: potencia total necesaria, kW -N: tasa de transferencia de oxígeno.		9- $P_t = \frac{O_2}{24N} 10^{-3}$

En este caso por tratarse de una planta existente se verifican las condiciones donde se consideran uno y dos módulos.

- Se calcula el tiempo de residencia hidráulico dividiendo el caudal medio de diseño por el volumen de la laguna (es equivalente al tiempo de residencia por tratarse de una aireación sin recirculación de lodos).
- Se corrigen coeficientes cinéticos en función de la temperatura con las ecuaciones del punto 4 de la tabla 24.
- Se calcula la concentración esperada de salida con la ecuación 2 de la tabla 24.
- Se calcula la concentración de sólidos en suspensión volátiles en la laguna con la ecuación 3 de la tabla 24.

- Se calcula la DBO de salida real (soluble más los sólidos que se encuentran en suspensión) con la ecuación 5.
- Se obtiene la eficiencia de remoción global de la laguna de aireación con la ecuación 6.
- Los requerimientos de oxígeno y potencia de aireación requerida se verifican con las ecuaciones 7, 8 y 9 de la tabla 24.
- Los resultados de estos cálculos se muestran en la tabla 8 del punto 4.2.3-Cálculos de energía y generación de lodos.

La concentración de sólidos de la masa líquida de la laguna de aireación depende de la concentración de sólidos en el afluente y los generados por el proceso biológico. Se puede considerar que en el interior de una laguna, la concentración total de sólidos pueda variar entre 100mg/- 300 mg/l que a su vez es dependiente del nivel de agitación que se tenga, y de estos entre el 70-80% es frecuente que sean volátiles (Jordão & Pessôa, 2011, p. 812). La DBO soluble que se presenta en la laguna de aireación puede ser calculada con las fórmulas del punto 3.

Es importante tener en cuenta que los valores de los coeficientes Y , kd , K , k , han sido determinados de manera experimental y varían según autor. En la tabla 25 se presentan los coeficientes de producción celular Y , los de respiración endógena kd y las constantes de remoción de sustrato en lagunas k y K . Es importante saber si los coeficientes de remoción de sustrato k y K son referidos a DBO soluble o a la DBO global. En general los coeficientes K y k son referidos a DBO soluble. Se puede observar que hay gran variación de este coeficiente. El valor de K es mayor a medida que la concentración de sólidos en suspensión sea mayor en la laguna de aireación, y dicho de otra forma, a medida que la potencia de mezcla sea mayor. El coeficiente K puede ser

determinado experimentalmente en laboratorio o en planta piloto (Jordão & Pessôa, 2011, p. 809).

Tabla 25: Coeficientes de producción celular (Y) respiración endógena (kd), constante de remoción de sustrato en lagunas, (k y K). Los valores de k y K son referidos a DBO soluble (Jordão & Pessôa, 2011, adaptado de tablas 22.3 y 22.4, pp.809-810)

Fuente	Y	kd (d ⁻¹)	k ₂₀ (l/mg/d)	K ₂₀ (d ⁻¹)
Metcalf & Eddy	0,4 – 0,8	0,025 – 0,04	-	0,5 -1,5 (referido a DBO global)
Yanez	0,35 – 0,65	0,08 – 0,14	-	-
Balasha	0,6	0,06	0,031	6,7
Ekenfelder	0,5	0,05 – 0,06		
Tchobanoglous	-	-	-	2,5

Para mantener los sólidos en suspensión se requiere un consumo de energía adicional que varía mucho según el autor. Las potencias unitarias específicas pueden variar desde 2,3-3,9 w/m³ hasta 15-20 w/m³ (Mendonça, 1999, p. 21) tal como se muestra en la tabla 26. Una potencia unitaria del orden de 4 kW/m³ es más acertado que del orden de 15-20 kW/m³ basándose en que según el equipo que se seleccione tomando como ejemplo aquellos que Serviur comercializa, la potencia específica va de 3,75 a 5 kW/m³ (estos valores corresponden a sistemas Biomizer y Convencional con potencias necesarias de 109 kW y 146 kW respectivamente. Ver 8.6-Sistema de aireación – Serviur). En los cálculos de potencia necesaria para la mezcla presentados en la tabla 8 se tomó el valor de 4 kW/m³.

Tabla 26: Variación del consumo de energía en lagunas aireadas aerobias con mezcla completa. Fuente: Mendonça (1999, p.21, tabla 8.4)

Potencia unitaria (w/m ³)	Referencia
≥ 6	Rich (1980)
5	Mara (1976)
2,3 a 3,9	Eckenfelder, Jr (1980)
2,6 a 3,9	Arceivala (1973)
≥ 2,75	Arceivala (1981)
15 a 20	Metcalf & Eddy (1979)

8.5.2.2.Lagunas de sedimentación

Las lagunas de sedimentación son frecuentemente el método más económico para almacenar y estabilizar el lodo remanente de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Es muy común el uso de lagunas de sedimentación después del efluente de una laguna aireada con mezcla completa.

La tabla 27 indica las fórmulas utilizadas para el dimensionamiento de las lagunas de sedimentación. Para el mismo, se debe considerar un volumen para la sedimentación y otro para el lodo tal como indica la fórmula 1 de la mencionada tabla. El volumen para sedimentación es el tiempo de residencia hidráulico que se necesita para que el lodo pueda decantar, si es significativamente menor a 1 día, se corre el riesgo de arrastre de sólidos junto con el efluente, y por el contrario si supera 2 días puede producir olor.

Tabla 27: Fórmulas para dimensionamiento laguna de sedimentación. Fuente: Mendonça (1999, adaptado pp. 23-26).

Parámetro	Descripción de variables y constantes	Valores frecuentes	Fórmulas
Volumen total de la laguna	V_{TOTAL} : volumen total de la laguna. V_{SED} : volumen para sedimentación V_{LODO} : volumen para almacenamiento de lodo.		1- $V_{TOTAL} = V_{SED} + V_{LODO}$
Volumen para sedimentación	Q_{med} : caudal promedio de aguas residuales, m ³ /día t : período de retención, días	t : 1 día (máximo 2d)	2- $V_{SED} = Q_{med} \cdot t$
Sólidos suspendidos retenidos en laguna por año	- ΔX_{ret} : cantidad total de sólidos suspendidos retenidos por año, kg/año. - Q_{med} : caudal promedio de aguas residuales, m ³ /día - X : cantidad total de sólidos suspendidos, kg/m ³ - X_{ef} : cantidad total de sólidos suspendidos que sale en el efluente, kg/m ³	X_{ef} : 0,03-0,04 kg/m ³	3- $\Delta X_{ret} = 365 \cdot Q_{med} \cdot (X - X_{efl})$
Cantidad de sólidos suspendidos volátiles	- $\Delta X_{v,aret}$: sólidos suspendidos volátiles retenidos.		4- $\Delta X_{v,aret} = 0,75 \cdot \Delta X_{ret}$
Cantidad de sólidos suspendidos no volátiles	- $\Delta X_{nv,aret}$: sólidos suspendidos no volátiles retenidos.		5- $\Delta X_{nv,aret} = \Delta X_{ret} - \Delta X_{v,aret}$
Cantidad de lodos digerido por año.	Se supone que el 50% del lodo volátil es destruido cada año. - ΔX_{dig} : cantidad de lodos digerido por año, kg/año Después de un año Después de dos años.		6- $\Delta X_{dig} = \Delta X_{nv,aret} + 0,5 \Delta X_{v,aret}$ $\Delta X_{dig} = 2 \Delta X_{nv,aret} + 0,75 \Delta X_{v,aret}$

Continúa

Tabla 27: continuación

Parámetro	Descripción de variables y constantes	Valores frecuentes	Fórmulas
Volumen ocupado por el lodo	- ΔX_{dig} : cantidad de lodo digerido por año, kg/año -V: volumen ocupado por el lodo, m ³ - S_{LODO} : concentración del lodo en el fondo de la laguna, kg/m ³ .	S_{LODO} : 80-90 kg/m ³ .	7- $V_{LODO} = \frac{\Delta X_{dig}}{S_{LODO}}$
Cantidad máxima diaria de sólidos que pueden remover de la laguna.	Se considera limpieza cada dos años. - Q_{solmax} : cantidad máxima diaria de sólidos que pueden remover de la laguna.	Nº de días: 240	8- $Q_{solmax} = \frac{\Delta X_{dig}}{2 \times N^\circ \text{ días para rem lodo/año}}$
Caudal para remoción de lodos	- $Q_{remLODO}$: caudal para remoción de lodos, m ³ /día. S_{LODO} : concentración del lodo en la bomba de extracción, kg/m ³	S_{LODO} : 25 kg/m ³	9- $Q_{remLODO} = \frac{Q_{solmax}}{S_{LODO}}$

Con las fórmulas presentadas en la tabla 27 extraídas del trabajo de Mendonça (1999) se calcularon los valores presentados en la tabla 9 del punto 4.2.3-Cálculos de energía y generación de lodos.

8.6.Sistema de aireación – Serviur

El objetivo de este anexo es presentar información de un sistema de aireación comercializado por la empresa Serviur S.A ajustado a la laguna de aireación existente. Ellos disponen de sistemas de aireación por flotantes denominados EDI. El sistema de aireación consiste en la distribución de aire a través de tubos flotantes en la superficie del tanque los cuales conducen el aire hasta difusores de membrana que son fácilmente accesibles para realizar tareas de mantenimiento sin tener que parar ni vaciar la unidad.

Serviur comercializa los EDI convencionales o Biomizer. La diferencia entre los Biomizer y los convencionales es que los Biomizer tienen válvulas automáticas en cada

cadena flotante de manera que se cierran durante un tiempo t_1 y se abren durante un tiempo t_2 . Esto permite que se pueda independizar la necesidad de mezcla de los requerimientos de oxigenación logrando de esta manera reducir la eficiencia energética en hasta 70%. En la figura 36 se presenta un folleto de EDI convencional y en la figura 37 del Biomizer.

the #1 floating aeration system

EDI Floating Lateral Aeration Systems offer unique solutions ideally suited for applications where the basin cannot be taken off-line. The air distribution piping (laterals) float on the water surface with individual diffuser assemblies that are fully accessible, allowing maintenance without interrupting the processes or draining the basin.

cold weather operation

full-depth mixing

energy efficient

Benefits & Capabilities

- Applications** — New or existing lagoons and aeration basins for increased efficiency and increased capacity.
- Energy Savings** — Can deliver over 6–7 lbs of oxygen per hp-hr (3.6–4.3 kg/kWh) SOTR.
- Wet Installation** — Install without de-watering existing basins and without taking the system out of service.
- Design Flexibility** — Compatible with earthen, lined, or concrete basins of any size or shape (PM, CM or AS).
- Process Reliability** — Delivers long-term efficiency and operational performance.
- Process Efficiency** — Controlled distribution of oxygen and mixing, through full-depth and walk-to-wall distributions.
- Economical** — High degree of factory assembly for rapid field installation.
- Mechanical Reliability** — Robust construction for the toughest industrial or municipal application with no moving parts.
- Diffuser Options** — Use EDI high-efficiency Flexair™ Panel or Tube diffusers.
- Retrievable** — All systems are fully retrievable without process interruption or draining the basin.

Engineered components deliver unmatched system reliability and operating performance

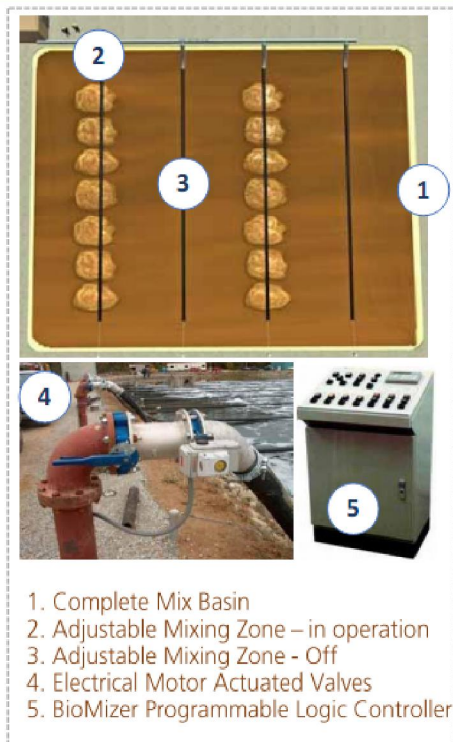
- Fully retrievable units
- High structural integrity
- Superior efficiency
- Economical installation cost
- Hundreds of installations

Tube Diffuser Assembly with concrete ballast

Panel Diffuser Assembly with encapsulated ballast

Figura 36: Folleto sistema EDI convencional. (Cortesía Serviur S.A.)

EDI BioMizer™ System | Sequencing Mixing Solutions



Environmental Dynamics Inc. offers the patented BioMizer™ sequencing aeration system for optimum biological treatment system performance. Ideal applications for the BioMizer technology include the following applications:

- Extended aeration or other low f/m activated sludge systems
- Nitrification systems
- Denitrification systems
- Aerobic digesters
- Equalization basins
- Complete mix aerated lagoons

The BioMizer™ technology is an innovative concept emphasizing the use of high efficiency diffuser systems in a broad range of applications including mixing limited applications and nutrient reduction systems. Total system process control is achieved using a programmable BioMizer™ sequencing controller and multiple aeration zones within the system. Unlike conventional aeration systems that continuously aerate the entire reactor volume, the BioMizer system sequentially operates defined zones within the system. This allows the aeration and mixing intensity in the active zone to be adjusted to satisfy the specific requirements of process independent of the total air flow to the system for oxygenation.

By decoupling aeration and mixing, the system air requirement may now be based on oxygenation requirements only. For mixing limited applications including complete mix aerated lagoons and extended aeration activated sludge plants, the BioMizer system has the potential to reduce the overall operating energy requirement for the system by as much as 70%.

Figura 37: Folleto sistema de aireación Biomizer. (Cortesía Serviur S.A).

Para la situación de San Clemente, se le ha suministrado al proveedor el plano del tanque de aireación y el requerimiento de oxígeno para las condiciones de verano proyectadas al año 2040 redondeando a un valor de 100 kg/día .

Con estos datos se obtuvieron los siguientes resultados que permiten comparar un sistema con el otro:

- Potencia de mezcla sistema convencional: 146 kW
- Potencia de mezcla sistema biomizer: 109 kW

Como es de esperar, los sistemas Biomizer, son más caros ya que se le adicionan 12 válvulas actuadas que en el caso del sistema Convencional son manuales.

Cabe destacar que dentro de las posibilidades de suministro de Serviur, se puede lograr una reducción en aproximadamente 25% de consumo energético. Cuando se proyecte la construcción del segundo módulo se podría tener en consideración estos sistemas ya que el ahorro en la energía eléctrica representaría una reducción del costo operacional y ambiental (por reducción de gases GEI) asociado al menor consumo energético.

8.7.Tratamiento y disposición de lodos

8.7.1. Tratamiento de lodos y generación

La generación de lodo en cualquier tipo de tratamiento es inevitable. Los procesos de tratamiento de aguas residuales en general producen lodos como consecuencia de la separación del sólido del líquido y del tratamiento biológico. Estos lodos deben ser sometidos a un tratamiento antes de ser dispuestos pues constituyen un concentrado de la materia orgánica removida. El tren de tratamiento sigue en general un proceso de estabilización o degradación seguidas de una deshidratación para luego ser transportados hacia su disposición final. El proceso de estabilización de lodo busca reducir los organismos patógenos, eliminar malos olores e inhibir, reducir o eliminar el potencial de putrefacción del lodo. Puede darse por vía química (estabilización con cal) o biológica (digestión anaerobia o aerobia y composteo) (Noyola et al., 2013, p. 14). En la figura 38 se muestran los diferentes tratamientos de lodos que se utilizan en el mundo y las posibilidades de uso final. Las diferentes tecnologías dependen de los recursos financieros, de la capacidad de la planta y de las posibilidades que se tenga para su reúso.

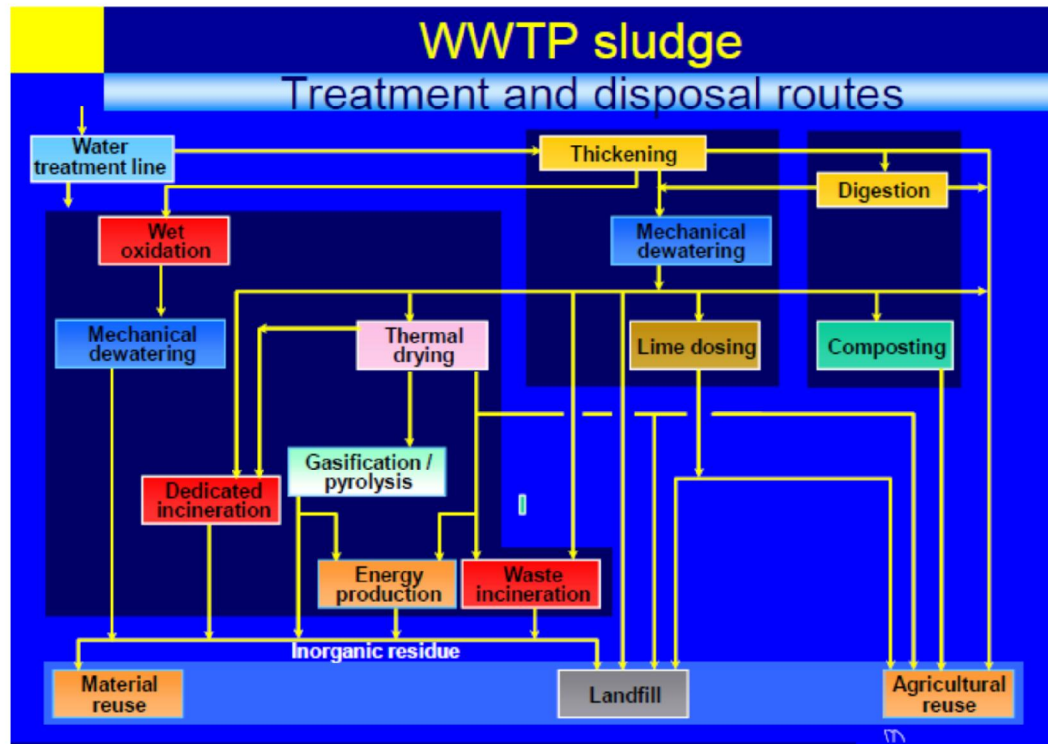


Figura 38: Esquemas de tratamiento de lodos existentes. (Cortesía Degremont)

Algunos procesos para el tratamiento del lodo son la digestión anaerobia, la digestión aerobia, el composteo, la estabilización con cal, la incineración y la pasteurización. Como destino final podrán ser desechados en lugares especialmente acondicionados para ello o rellenos sanitarios municipales conforme a la legislación vigente. Una opción atractiva para la disposición final es aprovecharlos como mejoradores de suelos o fertilizantes agrícolas, siempre y cuando cumplan con la normatividad asociada a la producción de biosólidos (Noyola et al., 2013, p. 14).

Una tecnología tenderá a ser sustentable cuando en su concepción y características considere el menor uso de insumos y energía posible, se adapte adecuadamente a las condiciones del medio social y económico que le rodea y que presente el menor impacto al medio ambiente a través del control de sus residuos y emisiones, preferentemente transformándolos en subproductos susceptibles de aprovechamiento. En un sentido más

amplio, y en el marco de un desarrollo sustentable, hay que visualizar el agua residual y el lodo resultante como recursos y no como desechos (Noyola et al., 2013, p. 38).

Según CONAGUA (s. f.) se tiene que:

Se prefiere la deshidratación mecánica a los lechos de secado. El secado térmico y la incineración se aplican frecuentemente en países como Estados Unidos, Alemania, Francia, Japón y Gran Bretaña. (Greater Moncton Sewarage Commission & UN-HABITAT, 2008) [...]. En los países desarrollados el 54 por ciento del lodo producido se reusa para aplicación al suelo o para la producción de composta, el 21 por ciento se incinera, 15 por ciento se deposita en relleno sanitarios y un 10 por ciento utiliza otros métodos de disposición (Milieu Ltd., WRc et al., 2010) (Greater Moncton Sewarage Commission & UN-HABITAT, 2008; Milieu Ltd., WRc et al., 2010, citado en CONAGUA, s. f., pp. 1-2).

La Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú tiene un proceso en el cual el lodo obtenido extraído de las lagunas de sedimentación ya se encuentra estabilizado. El mismo luego se deshidrata en playas de secado.

8.7.2. Disposición de lodos en el mundo

La producción específica de lodos es significativamente diferente entre los países. Los países desarrollados tienen mayor producción de lodo ya que sus sistemas de tratamiento consideran la remoción de nutrientes por métodos biológicos o químicos y el tratamiento terciario del agua. “La producción promedio de lodo para estos países es de 21.9 kg por población equivalente y por año (21.9 kg per cápita/año); en contraste con los países menos desarrollados que tienen una producción promedio 11.5 kg por población equivalente y por año (11.5 kg per cápita/año)” (CONAGUA, s. f., p. 1). La producción de lodos per cápita, se relaciona también con el número de habitantes que están conectados a un sistema de tratamiento de aguas residuales, la tecnología utilizada y el aporte de descargas industriales.

“La legislación de lodos para disposición al suelo se ha hecho más estricta, principalmente en países europeos donde se han reducido los límites máximos permisibles para metales pesados, microorganismos patógenos y micro-contaminantes orgánicos (EL & IEEP, 2009)” (EL & IEEP, 2009, citado en CONAGUA, s. f., p. 1).

El reúso del lodo en la agricultura o su aplicación al suelo solo podrá realizarse, si se alcanzan altos niveles de remoción de patógenos, la remoción de compuestos orgánicos tóxicos y emergentes y la reducción de olor, con estricto control con objeto de proteger la salud humana. Considerando la cantidad y tipo de agua residual tratada, el agua residual municipal es la principal generadora de lodo.

Las plantas pequeñas $\leq 50 \text{ L s}^{-1}$ por lo general cuentan con lechos de secado [tal como tiene la Planta Depuradora Cloacal San Clemente del Tuyú]. Las plantas medianas $\geq 50 \text{ L s}^{-1}$ en su gran mayoría cuentan con estabilización aerobia y lechos de secado. Algunas plantas con un caudal mayor de 100 L s^{-1} utilizan equipo mecánico para deshidratar el lodo y en general son los filtros bandas.

Plantas con caudales mayores a 250 L s^{-1} tienen un tren de lodos que consiste en: espesamiento por gravedad, estabilización aerobia y deshidratación en filtros de banda. Algunas plantas de este tamaño han implementado la estabilización anaerobia como proceso de estabilización de lodos. Algunas de ellas tienen instalaciones para captar el biogás y después llevarlo a quemadores (CONAGUA, s. f., p. 3).

8.7.3. Sitios de generación de lodos

Los sitios de generación de lodos residuales para una planta de tratamiento de lodos activados se muestran en la figura 38.

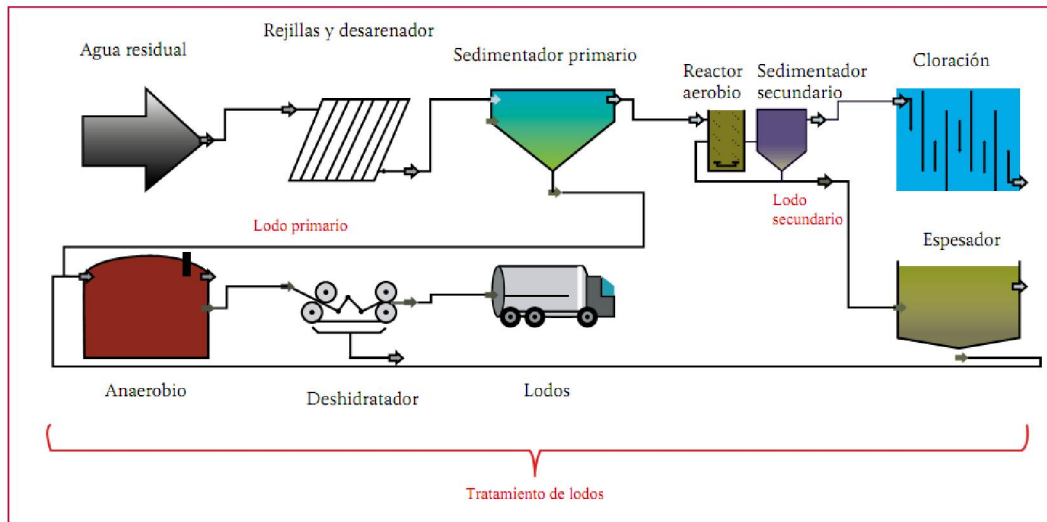


Figura 39: Sitios de generación de lodos residuales dentro del tren de tratamiento de agua residual. Fuente: CONAGUA (s.f.).

Se puede observar de la figura 39 que hay generación de lodo primario (lodo que no ha tenido un proceso biológico de degradación, lodo generado por separación), y generación de lodo secundario (lodo generado por actividad biológica y separación). La figura muestra que, dependiendo del tipo de lodos, el tratamiento a aplicar al mismo es diferente.

El esquema representado en la figura 38 es genérico. La Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú dispone de rejillas y desarenador, con un tratamiento secundario seguido de una desinfección por cloración. Las principales fuentes de generación de lodos para el caso de la planta en cuestión son el lodo primario (producto de la separación de las rejillas y desarenador) y el lodo secundario (producto de la actividad biológica de la laguna de aireación). El material desbastado en las rejillas puede contener patógenos, es una materia con mal olor y puede atraer vectores como roedores e insectos. Se puede manejar con otros lodos o se puede llevar a un relleno sanitario o incinerarse. Sin embargo, el material de desbaste de las rejillas se maneja de forma separada de otros lodos,

especialmente si se hace un uso benéfico de los lodos. En muchas plantas de tratamiento nuevas, las cribadoras (tamices, rejas) cuentan con un sistema de lavado y compactación, se usan para remover materiales orgánicos y, por lo tanto, reducen el mal olor del cribado y los costos de disposición. El lavado de las cribadoras retorna una gran cantidad de sólidos orgánicos a la corriente del agua. (CONAGUA, s. f., p. 32). En la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú este residuo es enviado al relleno municipal y, de llevarse a cabo el proyecto de reacondicionamiento, podrían contar con un lavador de arenas que permitirá reducir el mal olor.

Las gravas y arenas de consistencia densa, sólidos gruesos que están presentes en el agua residual cruda se remueven antes de la sedimentación primaria o de otros procesos. Las arenas pueden removerse del lodo primario después de la separación del agua residual. Las arenas incluyen el material abrasivo de alta densidad pero también incluyen cenizas, granos, granos de café, semillas, y otros materiales. La remoción de arenas se acompaña de materiales orgánicos, grasas antes de continuar con el tratamiento. El uso de lavadores reduce el contenido de materia orgánica y también el contenido de las arenas finas que se encuentran presentes. Una vez separadas del agua residual, se disponen en un relleno sanitario. La calidad de las arenas y gravas se puede controlar implementando un lavado para remover el material putrescible; sin embargo, un excesivo lavado removerá las arenas finas. Las gravas y arenas contienen patógenos (CONAGUA, s. f., p. 51).

8.7.4. Sitios de generación de olores

El impacto de los malos olores provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales siempre ha sido muy característico. Es por ello que los malos olores son la principal preocupación de la población cuando se habla de la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales cercano a sus domicilios. En los últimos años, la

preocupación por los derechos de la población a un ambiente saludable, asociada a la implementación de mejoras en la legislación ambiental se ha incrementado, lo que ha conducido hacia la importancia de minimizar las emisiones de olores en el tratamiento de aguas residuales, especialmente las domésticas o municipales (Noyola et al., 2013, p. 14).

Los odorantes asociados a los biosólidos y otros materiales orgánicos corresponden a emisiones orgánicas generadas por la descomposición química y microbiana de nutrientes orgánicos. Cuando estos son inhalados interactúan con el sistema olfatorio y la persona percibe el olor (EPA, 2000, p. 9)

El concepto de ‘olor’ se asocia a la respuesta sensorial y física experimentado por las personas cuando inhalan la misma cantidad y tipo de compuestos. Esta distinción entre olor y odorante es importante para cualquiera que esté involucrado con trabajos de reconocimiento de olor. En el caso de biosólidos, son tres las condiciones necesarias para crear condiciones malolientes (EPA, 2000, pp. 9-10).

- Emisión: presencia del compuesto químico volátil (odorante)
- Transporte: Condiciones topográficas y atmosféricas para transportar la emisión del odorante con mínima dilución.
- Percepción: que haya presencia humana y que perciban el olor.

Cuando la gente alcanza a percibir cantidades inaceptables de olor, las emisiones de odorantes pueden convertirse en un ‘problema de olor’ (EPA, 2000, pp. 9-10).

En general, las unidades que mayormente se identifican como fuentes potenciales de malos olores son el tratamiento preliminar y el tratamiento de lodos. En varias ocasiones, el problema de olores se da desde la red de drenaje, causando impactos en alcantarillas y pozos de bombeo.

La figura 39 presenta las diversas fuentes de olores en un tren de tratamiento de aguas residuales convencional con su porcentaje de ocurrencia esperado (Noyola et al., 2013, p. 15).

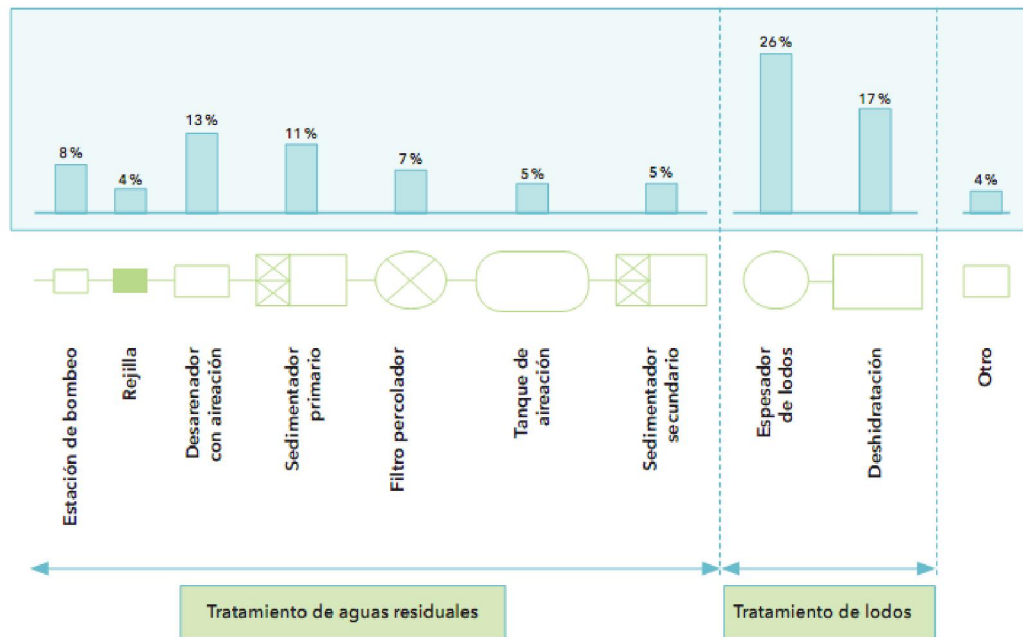


Figura 40: Principales puntos de generación de olores. Fuente: Noyola (2013, p. 15)

De la figura 40 se puede notar que el pozo de bombeo, las rejillas, desarenador, laguna de aireación, laguna de sedimentación y playas de secado serán posibles fuentes de generación de olores.

8.7.5. Procesos que reducen significativamente patógenos (PRSP) y reducción de atracción de vectores

Un patógeno es un organismo capaz de causar una enfermedad. En la normativa de la EPA – CFR Part 503 o en la Resolución 410/2018 cuando se hace referencia a un patógeno se lo considera como organismo vivo. Los patógenos pueden infectar a los humanos por diferentes vías desde la ingesta a la inhalación o contacto dérmico. La dosis con la que un patógeno podrá causar daño en un ser humano dependerá del número de

patógenos con la que tuvo contacto y del estado de salud general de la persona. Los cuatro tipos de organismos patógenos que podrían causar enfermedades en humanos (bacterias, virus, protozoarios y helmintos) pueden estar presente en el efluente domiciliario. Los patógenos en el efluente domiciliario están principalmente asociados con sólidos no solubles. El tratamiento primario de las plantas de tratamiento de efluentes, concentran estos sólidos en lodos cloacales y consecuentemente, cualquier lodo cloacal primario sin tratamiento tiene mayor cantidad de patógenos que el efluente a ser tratado. El tratamiento secundario mediante procesos biológicos, como es el caso de la laguna de aireación en San Clemente, pueden reducir sustancialmente el número de patógenos en el agua a tratar. Estos procesos pueden reducir el número de patógenos en el lodo creando condiciones adversas para la supervivencia de los mismos. Si un lodo no ha sido tratado adecuadamente y se aplicara en tierra o dispusiera en un sitio, los animales y humanos podrían entrar en contacto con los patógenos por exposición directa mediante el contacto con el lodo, o de manera indirecta a través del consumo de agua o alimento contaminado. Los insectos, pájaros, roedores o incluso trabajadores rurales podrían contribuir a estas rutas de exposición transportando lodo cloacal y sus patógenos fuera del sitio dispuesto (EPA, 2003, p. 8).

Las vías de contaminación con patógenos pueden ser por contacto directo (manipuleo del lodo cloacal, caminar por un área o manipular la tierra donde el lodo cloacal ha sido aplicado, inhalación de microbios que pudieron haber sido dispersos en el aire por viento u otros) o por contacto indirecto (consumo de alimentos cultivados en tierras donde el suelo ha sido contaminado por estos lodos, consumo de leche u otros productos derivados de animales contaminados por pasturas en contacto con lodo cloacal, ingesta de agua contaminada o contacto con roedores, insectos o mascotas que han estado en contacto con este tipo de lodos) (EPA, 2003, p. 8).

8.7.5.1.Reducción de patógenos

La reducción de patógenos puede ser conseguida antes de su disposición final mediante algún tratamiento para que el crecimiento microbiano sea menos efectivo. Hay varios tipos de tratamiento, algunos más eficientes y costosos que otros como por ejemplo la aplicación de altas temperaturas, composteo y digestión anaeróbica / aeróbica así como la reducción de humedad del lodo. La deshidratación reduce virus y bacterias. Reduce por otro lado atracción de vectores siempre y cuando el lodo se conserve seco. No es muy efectivo con la destrucción de huevos de helmintos a menos que sea combinado con otros procesos como altas temperaturas (EPA, 2003, pp. 14).

Tanto en EPA-CFR Part503 como en la resolución 410/2018 se presenta una serie de tecnologías donde se obtiene biosólidos con una reducción de patógenos tal que no afecte la salud pública y el ambiente. Ambas regulaciones caracterizan y definen los biosólidos como clase A o B según determinados parámetros que tienen que ver con los tratamientos que ha tenido el lodo cloacal y su contenido de patógenos y volátiles. “La clasificación de clase A se diferencia de la clase B en que en los primeros no tiene nivel de patógenos detectable y en los segundos la combinación de tratamientos aplicado al lodo y las restricciones en su uso, están diseñadas con el fin de proteger la salud pública y el ambiente” (EPA, 2003, p. 14)

8.7.5.2.Reducción en atracción de vectores

Los insectos, pájaros, roedores y animales domésticos pueden transportar patógenos desde el lodo cloacal a humanos. Los vectores son atraídos al lodo cloacal como fuente de alimento por lo tanto la reducción de la atracción de vectores hacia el lodo es un punto importante para prevenir la dispersión de patógenos mediante el bloqueo de las vías de contacto entre estos y los humanos (EPA, 2003, p. 16) .

Son considerados vectores a cualquier organismo vivo capaz de transmitir un patógeno de un organismo a otro ya sea de manera mecánica (transporte) o biológica (EPA, 2003, p. 58)

No existen métodos apropiados para medir la atracción de vectores de manera directa. En general se cumple en los siguientes casos:

- Procesos biológicos donde degradan sólidos volátiles reduciendo el alimento disponible para la actividad microbiana y potencial generación de olor.
- Procesos físicos o químicos que detienen la actividad microbiana.
- Barreras físicas entre vectores y sólidos volátiles en el lodo cloacal (EPA, 2003, p. 58).

La reducción de patógenos debe ser demostrada de manera independiente de la reducción de atracción de vectores. La reducción de atracción de vectores (mediante la reducción de sólidos volátiles en 38%) no garantiza el cumplimiento de la reducción en patógenos (EPA, 2003, p. 58).

La resolución 410/2018 describe que la reducción de atracción de vectores se cumple si la masa de sólidos volátiles en el lodo cloacal es reducida en un 38%. No obstante, la misma resolución menciona que por otros indicadores de reducción de volátiles se deben referir al capítulo 8 de EPA 503 CFR. Esto es debido a que la medición para sólidos volátiles en el lodo cloacal se hace en el punto en que entra al tratamiento de lodo. Esto puede ser un problema en aquellas facilidades donde el efluente ha sido tratado por procesos donde ya hubo una reducción de sólidos volátiles por las mismas características del proceso. Esto ocurre en la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú, ya que en la misma laguna de sedimentación el lodo sigue sufriendo degradación (lo mismo ocurre en estanques de oxidación o procesos convencionales de aireación extendida). En estos casos los sólidos volátiles ya están considerablemente

reducidos por los procesos de oxidación a los que ya han estado sometidos por lo que un proceso adicional de digestión anaeróbica o aeróbica, tal como se menciona en la opción 1 de la EPA 503 CFR para lograr demostrar 38% de reducción de sólidos volátiles, es poco probable que pueda cumplirse. Para estos casos la EPA 503 CFR recomienda la opción 2 (EPA, 2003, p. 60).

La opción 2 mencionada en el capítulo 8 considera que “un lodo digerido anaeróticamente, cumple satisfactoriamente con el requerimiento de reducción de vectores si pierde un 17% adicional de sólidos volátiles cuando este lodo cloacal es tratado en un digestor anaeróbico a escala laboratorio entre 30-37°C por un tiempo adicional de 40 días” (EPA, 2003, pp. 60).

Esta opción es la apropiada para aplicar en la planta de San Clemente ya que la misma descripción de la opción 2 indica que puede ser utilizado para lodos digeridos previamente de manera anaeróbica como en el caso de lagunas. En este caso, el lodo pudo haber sido almacenado por muchos años, tiempo en el cual ha atravesado digestión anaeróbica y perdido muchos sólidos volátiles. Las autoridades solo la reconocen como lodo cloacal una vez removido de la laguna con lo cual, si hubiera que procesarlo luego con digestión anaeróbica, la probabilidad de conseguir una reducción de sólidos volátiles en 38% sería muy baja. Por esta razón, la demostración en una reducción del 17% en las condiciones ya descritas parece el método más adecuado para determinar si el lodo tiene potencial para atraer vectores o no (EPA, 2003, p. 60).

8.7.6. Deshidratación de lodo por playa de secado.

La deshidratación es la eliminación del agua de los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La deshidratación reduce los costos de inversión y de operación que implica el manejo del lodo después de la estabilización ya que reduce el volumen de lodos que deberá manipularse logrando incrementar hasta 20 % la

concentración de sólidos en el lodo. Para realizar la deshidratación del lodo residual espesado se puede utilizar métodos artificiales o métodos naturales. Los métodos artificiales se emplean para acelerar el proceso de deshidratación y reducir el área necesaria para su realización con la desventaja de un gasto energético. La selección de los equipos de deshidratación está determinada por los tipos de lodos, las características del lodo producido después del secado y del espacio disponible. Dentro de los métodos naturales están los lechos de secado y secado en lagunas. Los lechos de secado y/o lagunas se usan en plantas pequeñas donde la disponibilidad de terreno no es un problema. Para las instalaciones que no dispongan de terreno, es recomendable utilizar medios mecánicos para la deshidratación. El control de olores es una consideración importante para el diseño, ya que el nivel de olores generados varía dependiendo del tipo de lodos y del equipo mecánico seleccionado (CONAGUA, s. f., p. 328).

Los lechos de secado de arena son los métodos más tradicionales y comunes de deshidratación tal como el que dispone la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú. Se describirá brevemente sus características principales y en la figura 41 se puede ver un esquema de sus componentes. Los lechos de secado son utilizados para la deshidratación de los lodos combinando dos procesos físicos, evaporación y drenaje de agua a través del medio filtrante. Normalmente el líquido drenado es bombeado hasta la cabeza de la planta.

Son generalmente rectangulares para permitir el retiro o recogida del lodo con un cargador frontal. Las dimensiones pueden ser de 4.5 a 18 m de ancho y de 15 a 45 m de largo, con paredes laterales y verticales que son típicamente de concreto (WEF, et al., 2012). Por lo general, se colocan de 10 a 23 cm de arena más 20-46 cm de grava graduada o piedra. La arena es generalmente de 0.3 a 1.2 mm de diámetro y tiene un coeficiente de uniformidad menor de 5.0. La grava normalmente se clasifica de 0.3 a 2.5 cm de diámetro efectivo. Anteriormente la

tubería de desagüe inferior o drenaje era normalmente de arcilla vitrificada, pero actualmente se utiliza más tubería de plástico. Las tuberías deben ser mayores de 10 cm de diámetro, deben tener una separación de 2.4 a 6 m de distancia, y una pendiente mínima de 1% (WEF, et al., 2012, citado en CONAGUA, s. f., p. 334).

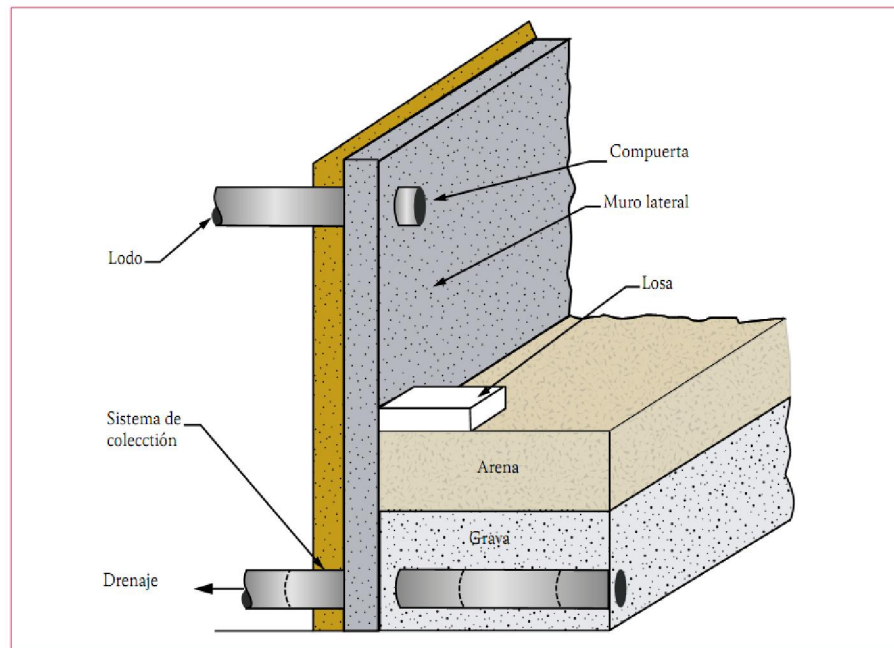


Figura 41: Lechos de secado de arena típico. Fuente: CONAGUA (s. f., p. 333).

8.7.6.1. Playa de secado- Proceso de reducción significativa de patógenos (PRSP)

Dentro de los procesos de reducción significativa de patógenos definidos en la resolución 410, para clasificar a un biosólido como clase B está el proceso de playas de secado.



Figura 42: Playa de secado en operación. Fuente: EPA (2003, p. 46)

La figura 42 muestra una foto de una playa de secado en operación.

El proceso de secado de lodos es fuertemente dependiente del clima local y tiene mejores resultados en climas cálidos y secos. Durante el período de secado sobre el lecho, el lodo atraviesa cambios físicos, químicos y biológicos. Estos incluyen la descomposición biológica de la materia orgánica, producción de amoníaco y deshidratación (EPA, 2003, p. 47).

El PRSP descrito en la parte 503 para secado con aire es “el lodo cloacal es secado sobre lechos de arena o en cuencas pavimentadas o sin pavimentar. El lodo cloacal se seca por un mínimo de 3 meses. Durante 2 o 3 meses la temperatura diaria ambiente debe ser superior a 0°C (32°F)”(EPA, 2003, p. 47).

Aunque no sea requerido por la Parte 503, es aconsejable asegurar que los lechos de secado de lodos cloacales estén expuestos a la atmósfera, (que no esté cubierta por nieve) durante los dos meses y que la temperatura diaria sea superior a 0°C (32°F). También, el lodo cloacal debe estar parcialmente digerido antes del secado por aire (en la Planta San Clemente lo está). Bajo estas condiciones, el secado por aire reducirá la densidad de los virus patógenos por 1-log y bacterias por aproximadamente 2-log. Los

huevos de helmintos viables también son reducidos excepto para algunas especies más resistentes que permanecen sustancialmente inafectadas (EPA, 2003, p. 47).

8.8. Plan Bio: biodiesel a partir de aceite vegetal usado

Una de las problemáticas que se vio de la operación de la planta depuradora fue la alta carga orgánica que la misma recibía como consecuencia de la descarga de aceites usados de la industria gastronómica de la zona. Para evitar la sobrecarga de la planta se propuso realizar una separación in situ (en origen) de los aceites usados.

En el año 2018 han puesto en servicio un sistema de recolección de aceite vegetal, un proyecto en el cual se trabajó en conjunto con OPDS. El proyecto consistió en la separación de aceite vegetal proveniente de la industria gastronómica que es muy fuerte en la zona para ser utilizado como materia prima para producción de biodiesel. El plan se denomina “Plan Bio: Biodiesel a partir de aceite vegetal usado” (Ivas, 2018).

Esta corriente de aceites representa una reducción importante en la carga orgánica ya que, si no se separara en origen, iría a la red cloacal con la consecuencia de que debería ser procesada y tratada en la planta depuradora aumentando considerablemente la carga orgánica tomada como base de diseño. Con este proyecto se logró modificar un residuo que traería consecuencias en la operación de la depuradora a una materia prima para producción de un bien para generación de energía. En el predio de la planta se hace la recepción de los camiones que recolectan tambores de aceite usado de los distintos comercios gastronómicos y los llevan a la planta. Allí, se vuelcan en tolvas de decantación desde donde se obtiene el aceite libre de sedimentos. Los sedimentos se van acumulando en el fondo de la tolva desde donde se extrae periódicamente un lodo que aún no presenta destino. Se está estudiando enviarlo a landfarming con la proyección futura de realizar su propio landfarming. (Landfarming o cultivo en tierra es un proceso de tratamiento de residuos ex situ que se realiza en la zona superior del suelo o en células de biotratamiento.

Los suelos, sedimentos o lodos contaminados se transportan al sitio de cultivo, se incorporan a la superficie del suelo y se vuelcan periódicamente para airear la mezcla.

En la figura 43 se puede observar el galpón en el que se reciben los camiones con los tambores de aceite de comercios gastronómicos para ser volcados en tolvas de separación del lodo por decantación.



Figura 43: Planta de estación de acopio y transferencia de AVU (aceite vegetal usado) que funciona en la Planta Cloacal. Izquierda recepción camiones. Derecha procesamiento por decantación. Fuente: Ivas (2008).

8.9.Toxicidad

Parte del objeto de este estudio fue realizar una evaluación preliminar de ecotoxicidad del efluente para proyectar estos resultados al lodo cloacal que se espera obtener. Estos ensayos podrían ser un indicador para evaluar la aplicabilidad, tanto de la corriente tratada como la del lodo cloacal en otras áreas e inferir como podría afectarse el ecosistema donde es vertido. La toxicidad del efluente va a estar fuertemente vinculada con el origen de generación del efluente.

8.9.1. Áreas de estudio en toxicidad.

Principalmente existen cuatro áreas de estudio en Toxicología.

La toxicología forense: estudia principalmente los aspectos médico-legales de los efectos dañinos de sustancias químicas sobre seres humanos y animales, establece las

causas de muerte, y determina sus circunstancias en una investigación post mortem (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 13).

La toxicología clínica: estudia la enfermedad causada por sustancias tóxicas, o relacionada de manera singular con estas últimas. Los esfuerzos se dirigen a atender pacientes intoxicados con fármacos u otras sustancias químicas y a la creación de nuevas técnicas para tratar esas intoxicaciones (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 13).

La toxicología ambiental: se enfoca en el impacto de contaminantes químicos que se encuentran en el ambiente sobre organismos vivos biológicos, con mayor frecuencia en organismos no humanos, como peces, aves y animales terrestres (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 13).

La ecotoxicología: es un área especializada dentro de la toxicología ambiental que se enfoca de manera más específica en el impacto de las sustancias tóxicas sobre la dinámica de la población en un ecosistema (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 13).

8.9.2. Principios generales de la ecotoxicología.

La ecotoxicología es una disciplina de la ciencia ambiental en rápido desarrollo, mejor definida como el estudio del destino y de los efectos de las sustancias tóxicas sobre un ecosistema. La ciencia en sí requiere una comprensión de los principios ecológicos y de la teoría ecológica, así como del modo en que las sustancias químicas afectan en potencia a individuos, poblaciones, comunidades y ecosistemas. Las mediciones se logran con respuestas a tóxicos específicas para especies o impactos a niveles más altos de organización. La habilidad para medir el transporte del compuesto en sí, así como la exposición de organismos en pruebas ecotoxicológicas, es crítica para la creación final de una valoración del riesgo ecológico (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 837).

Las biovaloraciones de toxicidad de laboratorio definen el impacto de tóxicos sobre organismos individuales y sobre su bioquímica y fisiología. El conocimiento adquirido

en el laboratorio, integrado con lo que está ocurriendo en condiciones de campo, es trascendental para entender el complejo grupo de parámetros que un organismo tiene que afrontar para reproducirse o sobrevivir bajo exposiciones a tóxicos (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 837)

8.9.3. Valoración de la relación entre dosis y respuesta

Cualquiera que sea la respuesta que se seleccione para medición, el vínculo entre el grado de respuesta del sistema biológico y la cantidad de tóxico administrado se denomina relación entre dosis y respuesta. La determinación de la dosis letal media (LD50) regularmente es el primer experimento que se efectúa con una nueva sustancia química. La LD50 es la dosis única de una sustancia, que puede esperarse que produzca la muerte en 50% de los animales probados (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 21).

La dosis mínimamente eficaz de cualquier sustancia química que desencadena una respuesta de todo o nada señalada se denomina la dosis umbral aun cuando no puede determinarse con estudios experimentales. Cuando los animales quedan expuestos a sustancias químicas en el aire que respiran o el agua en la que viven peces, por lo general se desconoce la dosis que reciben. Para estas situaciones, regularmente se estima la concentración letal 50 (LC50): es decir, la concentración de sustancia química en el aire o el agua, que produce la muerte de 50% de los animales. Al informar una LC50, es indispensable indicar el tiempo de exposición (Klaassen & Watkins III, 1999, p. 21).

8.9.4. Legislación sobre residuos peligrosos

La ley de residuos peligrosos 24051 en el artículo 2, indica que se considera residuo peligroso a los residuos indicados en el Anexo I (corrientes de desecho de varias industrias posibles, corrientes con desechos con determinados contribuyentes) o que posean alguna de las características enumeradas en el Anexo II de la mencionada ley.

En el Anexo II, en el código H12, figura la palabra “ecotóxico” definido como “sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos” (Ley 25051, residuos peligrosos).

La legislación argentina define ecotoxicidad pero no fija parámetros de vuelco. En una primera instancia del presente trabajo, uno de los objetivos fue investigar sobre la posibilidad de incluir la ecotoxicidad en la legislación Argentina y establecer criterios y niveles para ser utilizados en los residuo de plantas de tratamiento de efluentes, principalmente en los lodos producidos, con el fin de facilitar su uso final en agricultura u otros usos en tierra. Pero dado que la planta no contaba con lodos para poder hacer una caracterización de los mismos el enfoque del proyecto fue distinto. De todas maneras, se utilizó el concepto de ecotoxicidad por ser una herramienta de mucha utilidad tal como se va a describir a continuación.

8.9.5. Legislación sobre efluentes en otros países

En Estados Unidos, la Agencia de Protección el Medioambiente (EPA) es el organismo que ha desarrollado infinidad de protocolos de ensayos y estudios ambientales con el fin de regular posteriormente los vuelcos hacia el medioambiente. Ellos consideran que es importante reconocer que la toxicidad causada por contaminantes en el efluente medido mediante ensayos de ecotoxicidad como un conjunto, es un parámetro más, dentro de los millones de influencias que pueden determinar la salud de una comunidad biológica. El impacto de los tóxicos sería considerado en los casos donde la concentración del tóxico luego de su dilución se encuentre por encima de la concentración de observación de efectos tóxicos. Una de las consideraciones principales de establecer los requerimientos del ensayo de toxicidad es el requerimiento de una especie adecuada para el mismo. Diferentes especies exhiben diferentes sensibilidades a distintos tóxicos. La

única manera para evaluar el rango de sensibilidad es ensayar en diferentes especies de distintos grupos taxonómicos, generalmente tres: pez, invertebrado, planta. La tarea no resulta sencilla ya que existen muchos tóxicos con distintas sensibilidades en distintos organismos. La *Daphnia magna* (o pulga de agua) es muy sensible al ser expuesta a muchos tóxicos pero relativamente insensible con plaguicidas. El pez sol es muy resistente a metales, particularmente a cobre, pero contrariamente es una muy buena especie de ensayo para pesticidas organofosforados (EPA, 1991, pp. 16-17).

Otro ejemplo, en Brasil, existen pocos requisitos en la legislación brasileña con respecto a la ecotoxicidad de vertimiento de fuentes contaminantes. Solo unos pocos estados brasileños, como Santa Catarina y Paraná, hay legislación específica que determina los factores de toxicidad permitidos para cada tipo de vertido (Magalhães & Ferrão-Filho, 2008, p .355).

8.10. Ensayos de ecotoxicidad

8.10.1. Introducción

La ecotoxicología acuática es una ciencia que surgió para apoyar el afrontamiento de problemas de contaminación de cuerpos de agua por compuestos tóxicos. Sus instrumentos de análisis son capaces de responder de manera predictiva a la toxicidad de los compuestos químicos, señalando los potenciales ecotoxicológicos y sus mecanismos de acción en los organismos vivos, a partir de la obtención de curvas de concentración-efecto y concentración-respuesta, así como en la detección de ecotoxicidad en ambientes impactados. La inserción de los ensayos ecotoxicológicos como herramienta de evaluación ambiental son de fundamental importancia, ya que algunos factores no son evaluados por variables abióticas, como la biodisponibilidad y la interacción entre los efectos de los contaminantes. Aunque la evaluación ecotoxicológica es una herramienta extremadamente importante para el análisis de la salud ambiental de ecosistemas

acuáticos. En resumen, la ecotoxicología dispone de herramientas muy eficientes que deben aplicarse según criterios específicos de calidad del agua y tipo de contaminación a evaluar (Magalhães & Ferrão-Filho, 2008, p .355).

8.10.2. Ensayo *Lactuca sativa*

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una planta vascular cuyas semillas son unas de las más frecuentemente usadas en ensayos ecotoxicológicos de germinación (González Pérez, 2012, secc. Introducción). Este ensayo, que consta de cultivar las semillas de *Lactuca sativa* en filtros humedecidos con una alícuota de la muestra, permite observar el efecto de la muestra en la germinación y desarrollo de las plántulas durante sus primeros días de crecimiento. Al analizar el desarrollo de la plántula se pueden observar efectos subletales, que no serían observados en un ensayo exclusivo de germinación. Estos efectos pueden evidenciar tóxicos presentes en concentraciones tan pequeñas que no afectan el proceso de germinación, pero si afectan la elongación del tallo o raíz de la plántula (Sobrero *et al*, 2004, secc. Principio de la prueba).

Es importante resaltar que, durante este período de germinación y primeros días de desarrollo, la plántula es muy sensible a los factores externos adversos, como sustancias tóxicas, dado que en ella están ocurriendo numerosos procesos fisiológicos de los cuales depende su supervivencia y desarrollo (Sobrero *et al*, 2004, secc. Principio de la prueba).



Figura 44: Crecimiento de *Lactuca sativa*. Foto izq.: Plántulas de *Lactuca sativa* luego de ser medidas, presentan un crecimiento normal. Foto der.: Organismos

expuestos a muestras ambientales con diferentes tipos de crecimiento anormal: falta de germinación, ausencia de radícula o inhibición de la elongación de la radícula. (Cortesía: Ariana Rossen, INA)

La figura 44 muestra el crecimiento de las semillas de *Lactuca sativa*.

“Si bien la *Lactuca sativa* no es una especie representativa de ecosistemas acuáticos, la información generada a partir de esta prueba de toxicidad proporciona datos acerca del posible efecto de los contaminantes en las comunidades vegetales cercanas a las márgenes de cuerpos de agua contaminados. [...] Por otra parte, es de fácil y rápida germinación por lo que es posible desarrollar la prueba en pocos días”. El uso de *Lactuca sativa* en ensayos de toxicidad ha sido avalado por diferentes organizaciones de protección ambiental (OECD, 1984; US EPA, 1989 citado en Sobrero *et al*, 2004, secc. Principio de la prueba).

Las razones por las cuales ha sido sugerida para ensayos de toxicidad son que: las semillas de *Lactuca sativa* son fáciles de conseguir, su análisis ecotoxicológico es simple y económico de realizar, no requiere de equipamiento sofisticado ni personal especializado, y utiliza pequeños volúmenes de muestra en comparación con otros ensayos. Además, no es necesario hacer un pre tratamiento de los compuestos o muestras a analizar, lo que permite mantener la integridad de las muestras. Un pretratamiento común en ensayos de toxicidad consta del agregado de nutrientes específicos para evitar falsos resultados positivos por falta de nutrientes. Otros ensayos, como aquellos que utilizan peces, algas o daphnidos, no pueden realizarse con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, o muestras turbias o coloreadas, por lo que las muestras son aireadas o filtradas respectivamente alterando significativamente las características de las muestras a analizar.

El uso de *Lactuca sativa* también resulta ventajoso frente al uso de otras plantas ya que su fisiología sencilla evidencia rápidamente las alteraciones en el desarrollo. En los

primeros días de crecimiento, la plántula posee una radícula no ramificada que se alargará hasta formar una raíz. La radícula posee diferentes zonas: en el extremo se encuentra la cofia o piloriza con un color más oscuro que el resto y está cubierta por una cutina respondiendo a su función de abrirse paso a través del suelo; luego sigue una zona corta llamada zona de crecimiento que se caracteriza por ser lisa y de color claro; seguido muy cercana al ápice radical, la zona de los pelos absorbentes, éstos son evaginaciones tubulosas de las células de membrana muy tenues que aumentan considerablemente la superficie de la raíz, facilitan la absorción del agua y sales minerales del suelo. La radícula luego se une al hipocotilo por medio de una sección llamada callo. Durante su desarrollo, el hipocotilo se alarga elevando las hojas embrionarias o cotiledones (González Pérez, 2012, secc. Discusión).

Se consideraron anormales las siguientes características en dichos órganos:

- Radícula e hipocotilo: manchas marrones, rojas o blancas indicadoras de necrosis, radículas retorcidas o escuálidas, escaso o nulo desarrollo de pelos absorbentes, engrosamiento de un sector de la radícula.
- Callos: grueso, con protuberancias, fino o de difícil visualización.
- Cotiledones: faltos de color o con gran parte de su superficie con manchas marrones.

8.10.2.1. Resumen de la descripción del ensayo

Para el ensayo con *Lactuca sativa* se colocaron papeles de filtro en cajas de Petri y se humedecieron con 4 ml de muestra contenidos en cajas de Petri. Luego se sembraron sobre cada filtro 20 semillas de manera aleatoria. Las placas sembradas fueron incubadas a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ durante 6 días, con un pulso de luz constante durante las primeras 24 hs y luego en oscuridad. Al finalizar el ensayo se registró el porcentaje de germinación, la elongación

de la radícula y el tallo, y alteraciones en el crecimiento de las plántulas. Este ensayo se realizó siguiendo la técnica propuesta por Sobrero y Ronco (2004).

Como punto final del ensayo se midió el largo de la raíz, el largo del tallo y la cantidad de semillas germinadas. Como criterio de germinación se definió la aparición visual de la radícula. Entre las germinadas se diferenció entre aquellas crecidas y no crecidas, siendo estas últimas aquellas donde el largo de su radícula o hipocotilo sea menor a 0,5 cm.

8.10.2.1.1. Ensayo

INSTRUMENTAL

Estufa de laboratorio, cámara de flujo laminar.

MATERIALES

- Cajas de Petri de vidrio.
- Colador de tela.
- Pinza.
- Papel de filtro de banda negra nº3.
- Regla.
- Papel film.
- Micropipeta de 1- 10 ml.

REACTIVOS Y MATERIAL BIOLÓGICO

- Semillas de *Lactuca sativa* variedad Gallega.
- Agua dura reconstituida (American Public Health Association [APHA], 1992 citado en Sobrero *et al*, 2004).
- Solución de NaCl 22%.

PROCEDIMIENTO

Sembrado e incubación

Para el ensayo con *Lactuca sativa* se procedió a lavar las semillas con una solución de cloruro de sodio al 22% para retirar hongos que pudieran estar presentes y alteren la germinación de las semillas. Luego se enjuagaron las semillas 2 veces con agua destilada para retirar los excedentes de sal, se colaron y finalmente secaron. La figura 45 muestra las semillas lavadas antes de ser utilizadas. Las fotos fueron tomadas por la autora en marzo 2019.



Figura 45: Preparación de las semillas de Lactuca sativa.

Posteriormente se colocó un papel de filtro en cada placa de Petri y se humedeció con 2 ml de muestra cuidando de que no queden burbujas (figura 46).

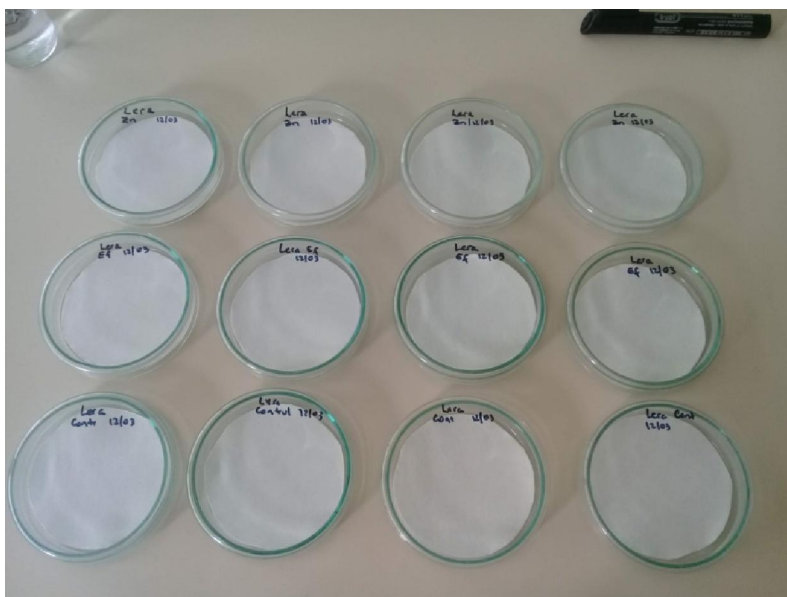


Figura 46: Cajas petri con 2ml de muestra sulfato de zinc; 2 ml efluente tomado; 2 ml control respectivamente.

En los ensayos las muestras fueron analizadas por cuadruplicado y el control se realizó con Agua Dura Reconstituida. En cada placa se colocaron 20 semillas de manera aleatoria y con la mayor distancia posible para el mejor crecimiento de las plántulas. El sembrado se realizó bajo campana de flujo laminar y con placa estériles para prevenir la formación de hongos (figura 47).

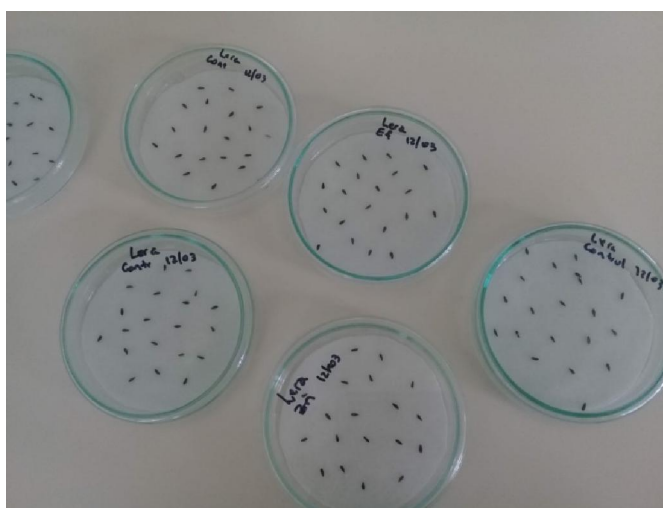


Figura 47: Semillas dispuestas en placas para germinación separadas adecuadamente.

Una vez sembradas las placas se envolvieron en papel film para evitar la evaporación de la muestra y se expusieron a luz continua durante 24 horas a una temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para favorecer el crecimiento de las plantas. Luego se incubaron 160 horas a $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ con oscuridad (figura 48).



Figura 48: Placas con semillas envueltas en papel film y colocadas en ambiente con temperatura y humedad controlada.

Medición del punto final.

Una vez finalizado el período de incubación se procedió a observar el estado general de las plantas y se registró las anomalías anteriormente descritas.

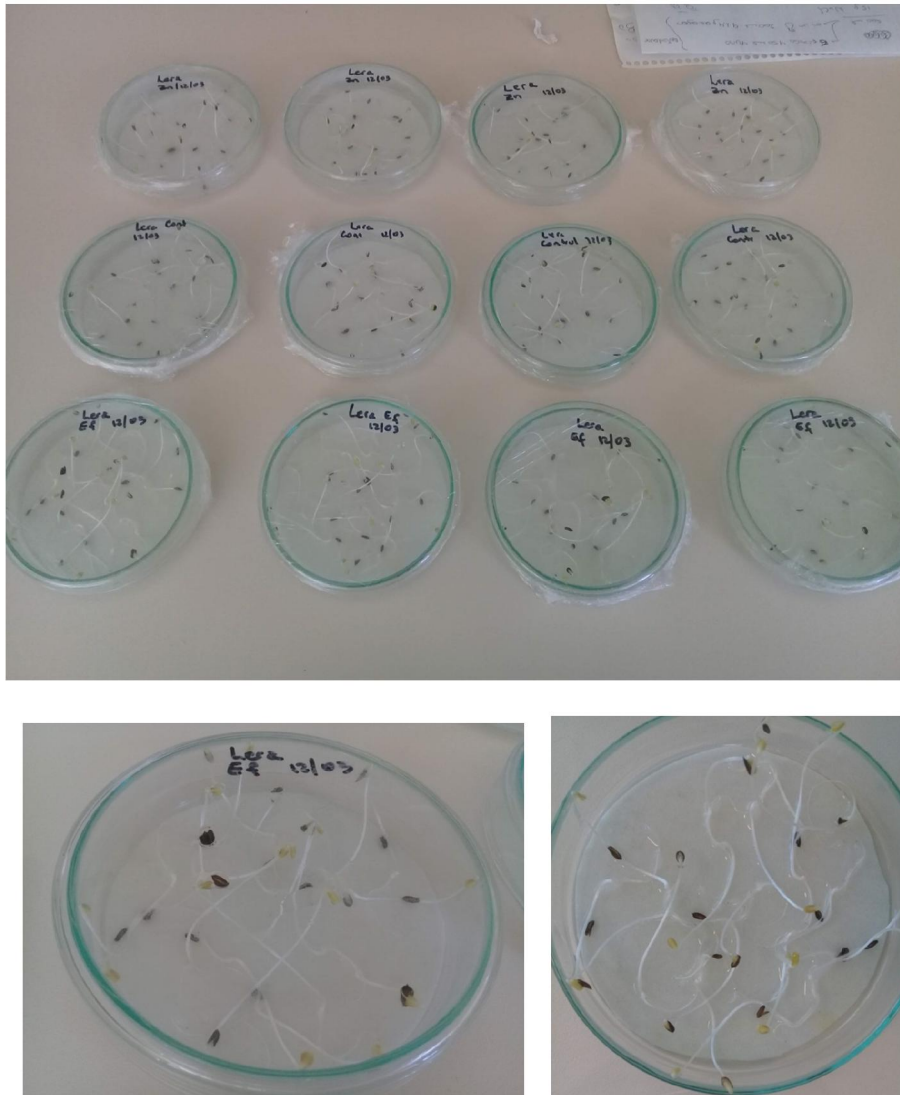


Figura 49: Resultado de la germinación de semillas *Lactuca sativa*.

Luego se las clasificaron en: no germinadas, germinadas no crecidas y crecidas según el criterio antes mencionado. Además de estas anotaciones se midió el largo de la raíz y del tallo. (Ver figura 49 de placas con las semillas germinadas).

Para determinar diferencias significativas entre de los valores medios de las muestras y el control se realizó un análisis de ANOVA de la varianza con un nivel de significancia de 0,05 y un análisis *a posteriori* de comparaciones múltiples de Dunnett's.

Resultados

Los resultados obtenidos se reflejan desde las tablas 28 a la 39.

Para ello se toma en cuenta lo siguiente:

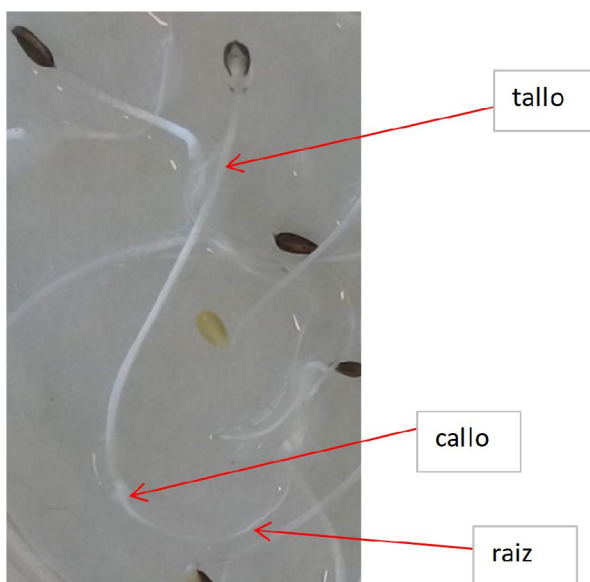


Figura 50: Semilla germinada. Se muestra tallo callo y raíz.

La medición de la longitud del tallo y de la raíz es tomada desde el callo como se ve en la figura 50. Los resultados fueron volcados en las tablas que se muestran a continuación. Como referencia se utiliza:

- NG: No Germinó
- G/NC: Germinó sin crecimiento
- Si mide más de 0,5 cm se anota la medición.

Asimismo, se tomó nota de raíces engrosadas, raíces con formación de tricomas (vello), formación de más de una raíz y raíces con pigmentación.

Tabla 28: Resultados semillas de placa muestra control N°1.

N°Placa: 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	3,3	3,2	4,8	2,8	4,1	4,1	4	3,5	4,9	3,2	3	3,8	3,5	3,7	2,9	2,5	3	3,2	2,2	3
Largo Tallo	3,8	2,4	3,8	3,5	2,3	2,7	3,8	2,5	3,2	2	2,8	2	3	2,8	3,1	3,2	3,6	2,8	3,5	2,5
Germinación																				

Tabla 29: Resultados semillas de placa muestra control N°2.

N°Placa: 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	4,8	2,8	3	4	2,1	2,6	4,2	2,6	3,7	4,1	3,2	3,9	3,6	2,9	3,1	0,3	3,8			1
Largo Tallo	3,8	3,5	2,3	3,6	2,3	3,7	4,1	1,8	2,8	4	1,8	2,5	3,6	1,2	3,2	1,5	3			0,4
Germinación		callo engros.					callo engros.				callo engros.					callo engros.		G/NC	G/NC	

Tabla 30: Resultados semillas de placa muestra control N°3. Se observa crecimiento de hongos en la placa.

N°Placa: 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	3,4	3,3	2,1	2,3	3,5	3	4,3	2,7	3,2	2,1	4,7	3,4	3,2	2,7	3	2,6	2,7	2		
Largo Tallo	3,5	2,9	3,6	2,6	3,5	3,7	2,7	2	2,8	3,5	3,3	2,8	3,4	2,4	3,6	2,1	2,7	1,2		
Germinación	callo engros.	callo engros.	callo engros.					callo engros.	callo engros. c/trico			callo engros.				callo engros.			NG	NG

Tabla 31: Resultados semillas de placa muestra control N°4.

N°Placa: 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	4,9	2,7	3,3	4,3	2,5	2,2	4,1	1,6	0,7	3,1	2,4	2,7	2,7	3,9	4,1	1,9	3	2,5	2,8	2,7
Largo Tallo	3,2	2,1	2,8	3,7	3,7	2,3	3,6	3,2	2,8	1,6	2,3	3	3,5	3,1	2,9	2,2	2,8	3,2	3,2	1,2
Germinación	3 raíces c/trico		callo engros.	2 raíces engro c/trico					doble raíz			engros c/trico	engros c/trico					engros c/trico		callo engros

Tabla 32: Resultados semillas de placa muestra efluente N° 1. Tallos engrosados.

N°Placa: 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	2,6	4,3	3	3,9	3,2	2,7	4,7	3,6	3,1	3	4,8	3,3	2,6	3,8	2,6	3,7	3,7	4,1	1	
Largo Tallo	3,8	4,8	3,2	3,9	3,1	4	3,1	3,6	4,2	3,9	5,1	4,6	4,6	4,2	3,8	4,2	4,5	3,6	0,3	
Germinación	todos engrosados							doble raíz						c/trico	c/trico			engros c/trico	engros	NG

Tabla 33: Resultados semillas de placa muestra efluente N° 2. Raíces largas y finas.

N°Placa: 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	3	1,9	2,4	4,5	2,5	4	3,5	3,3	3,2	3,7	3,8	2,5	2,8	2,4	2,5	4,1	3,2	3,7	3,7	
Largo Tallo	4,4	2,9	3,3	4,2	3,7	4,5	2,8	4,8	2,4	3,6	4,3	3,8	3,8	4,2	3,3	4,3	4,1	4,9	3,6	
Germinación			engros c/trico	2 raíces engro c/trico	engros	2 raíces engro c/trico	engros c/trico						engros.			engros		engros c/trico		NG

Tabla 34 Resultados semillas de placa muestra efluente N° 3.

N°Placa: 3	0,04	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	3,1	3,4	2	2	2,3	3,7	3,7	3,2	3,9	3,7	4,6	3,3	3,9	2,3	3,7	3,3	1,7	3,4	2,9	
Largo Tallo	4,5	4,4	3,5	4,7	4,1	4,8	3,1	3,2	5,1	4,2	5,1	3,8	3,6	3,3	4,3	4	1,7	4,9	3,8	
Germinación	engros.	raíces engros c/trico	raíces engros c/trico		engros									engros				muy finita		G/NC

Tabla 35: Resultados semillas de placa muestra efluente N°4. Raíces finas.

N°Placa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	4,3	2,7	4	3,2	3,3	4,4	4,3	3	4,5	4,6	2,6	4,2	3,5	3	3,5	3,3	0,9			
Largo Tallo	4,6	4,7	3,8	3,7	4,4	4,5	3,1	3,4	4,6	4	3,5	4,6	4,3	4	3,5	1	1,2			
Germinación	2 raíces	engros			engros c/trico	engros c/trico	engros c/trico	2 raíces						2 raíces		2 raíces rojizo. Tallo engros		G/NC	NG	NG

Tabla 36: Resultados semillas de placa muestra Zn, N°1.

N°Placa: 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	2,8	2,3	3,6	3	--	3,3	2	2,8	3,3	4	2,9	3,8		3,5	4	3				
Largo Tallo	2,9	1,7	2,5	2,6	3,1	2,1	1,8	2,7	1,7	2,8	1,7	2,1	3,3	2	2,7	3,3				
Germinación							engros c/trico						pigm. c/marrón					NG	NG	NG

Tabla 37: Resultados semillas de placa muestra Zn, N°2.

N°Placa: 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	3,5	--	1,9	3,8	3	--	--	2,6	3,7	4,1	2,1	3,6	4	3	3,7	1,6	1,5			
Largo Tallo	2,7	2,1	1,8	2,6	2,8	2,7	2,6	1,7	2,8	2,5	1,1	1,8	2,1	2,4	2,3	1	1,6			
Germinación		3 raíces. Pigm.	rojizo leve	engros c/trico			2 raíces	no se distingue tallo fácil			pigm. rojo		2 raíces		pigm negro			NG	G/NC	G/NC

Tabla 38: Resultados semillas de placa muestra Zn, N°3.

N°Placa: 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	2,8	2	1	3,8	2,8	3,7	3,6	3,7	4	3,6	3,9	2,2	3	2,7	4	3,6	2	1,2		
Largo Tallo	2,5	1,8	no se puede medir	3	1,8	2,6	2,3	2,5	3	2,3	3,2	1,7	1,6	1,1	2,8	2,5	0,5	0,5		
Germinación		callo engros				callo engros					callo engros	callo engros	callo engros	callo engros		c/tric		pigm negro	NG	NG

Tabla 39: Resultados semillas de placa muestra Zn, N°4.

N°Placa: 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largo Raíz	1,1	2,7	2,8	2,5	3,4	3,3	2,6	1,7	4,2	1,5	2,6	2	2,8	3,8	1,8	--	3,4	2,5	4,2	
Largo Tallo	1,3	2,6	2,2	2,3	1,9	3,1	2,2	1,5	2,5	1,3	2,3	1,9	1,7	2,1	1,7	2,7	2,3	1,8	1,4	
Germinación							callo engros									callo engros		2 raíces		NG

Se realizó un análisis estadístico utilizando el método de ANOVA paramétrico asumiendo distribución normal. ANOVA de un factor compara las medias de la variable dependiente entre los grupos o categorías de la variable independiente. En este problema,

la variable dependiente es la longitud del tallo en el primer caso y la longitud de la raíz en el otro y se considera como grupo, al “efluente”, “control positivo” y “control negativo” siendo cada grupo las variables independientes.

Al aplicar ANOVA de un factor se calcula un estadístico o test denominado F y su significación. El estadístico F, se obtiene al estimar la variación de las medias entre los grupos de la variable independiente y dividirla por la estimación de la variación de las medias dentro de los grupos. Si las medias entre los grupos varían mucho y la media dentro de un grupo varía poco, es decir, los grupos son heterogéneos entre ellos y similares internamente, el valor de F será más alto, por tanto, las variables estarán relacionadas. En conclusión, cuanto más difieren las medias de la variable dependiente entre los grupos de la variable independiente, más alto será el valor de F. Un factor F más alto indicará que hay más diferencias y por tanto una relación más fuerte entre las variables.

La significación de F se interpretará como la probabilidad de que este valor de F se deba al azar. Siguiendo un nivel de confianza del 95%, cuando la significación de F sea menor de 0,05 dará cuenta de la interrelación entre las variables.

Los valores a analizar e interpretar al aplicar ANOVA de un factor son:

- Significación (p): si es menor de 0,05 significa que las dos variables están relacionadas y por tanto que hay diferencias significativas entre los grupos.
- Valor de F: cuanto más alto sea F, mayor será la incidencia de la variable independiente sobre la dependiente, lo que significa que las medias de la variable dependiente difieren o varían mucho entre los grupos de la variable independiente.

El objetivo de la aplicación del método ANOVA es saber si existe la diferencia entre los grupos “efluente”, “control positivo” o “control negativo”.

El análisis de ANOVA para el tallo indica que es muy significativo ($F=168$), mientras que en el caso de la raíz no dio significativo ($F<1$). Tanto el valor medio como la varianza se superponen entre sí, lo que indica; a) que las poblaciones son idénticas y b) que hay un cambio con relación al grupo de control. El análisis de ANOVA nos indica la existencia o no de medias diferentes pero no indica dónde están las diferencias. Para evaluar entre qué grupos se produce la diferencia, se realizó un ensayo de comparaciones múltiples de Dunnett, y se comparó los grupos con el control negativo. (La corrida del ANOVA ha sido cortesía Ariana Rossen –INA y suministrado a la autora).

Haciendo las comparaciones múltiples de Dunnett, se observa que, en el caso del tallo, en el grupo “efluente”, se encuentra que las respuestas de esas semillas dan valores significativamente superiores. Hay crecimiento del tallo. En el control positivo también hay disminución del crecimiento de manera significativa. Claramente, hay activación de crecimiento en el caso del efluente y una inhibición de crecimiento en el caso de control positivo (zinc). (La Corrida del análisis múltiple de Dunnett ha sido cortesía de Ariana Rossen -INA-, suministrado a la autora).

En el caso de la raíz, los valores están dentro del mismo rango. Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas, pero corresponde que hubiera dado valores más bajos. Una explicación para esto puede ser la variabilidad genética de las semillas. En líneas generales presentaron un crecimiento más bajo que el control, aunque debería haber dado mucho más bajo.

La tabla 40 muestra un resumen de los promedios de los largos de raíz y tallo, y los porcentajes que se observan de semillas no germinadas, raíces con formación de tricomas (con varias raíces pequeñas que parecen vellos), raíces engrosadas, raíces con alguna pigmentación y los casos en los que ha crecido más de una raíz.

Tabla 40: Resultados cualitativos del crecimiento de las semillas.

	Control	Efluente	Zinc
Promedio Raíz	3,11	3,34	2,70
Promedio Tallo	2,86	3,90	2,14
% No Germinadas	5	8,75	12,5
% Raíces con formación de tricomas	7,5	15	3,75
% Raíces Engrosadas	20	32,5	12,5
% Raíces Pigmentadas	0	1,25	7,5
Formación de raíces secundarias	3,75	7,5	5

CONCLUSIÓN

Se observa que hay diferencias estadísticas en el caso del tallo y no así en el caso de la raíz. El zinc está generando un daño en el crecimiento de la semilla que se refleja a través de la disminución significativa del crecimiento en el tallo y de los mayores porcentajes de pigmentación, que puede ser reflejo de un efecto tóxico. En el caso del efluente, no se observó diferencia significativa en el crecimiento de la raíz. pero sí una sobre-estimulación en el crecimiento del tallo, dado por el exceso de nutrientes. También se observa mayor porcentaje de raíces engrosadas con tricomas y formación de raíces secundarias que puede estar relacionado con la presencia de nutrientes que puede inducir a la misma a generar estas características. En general, como la raíz es más sensible a la toxicidad y no hubo significancia, se puede concluir que en el caso del efluente se esté produciendo un aumento de productividad por exceso de nutrientes y que no hay efecto de toxicidad.

8.11. Gestión integral zona costera.

“Entre los múltiples factores que afectan la calidad del ambiente costero, la gestión en el tratamiento de efluentes y las aguas lluvia son probablemente los dos de mayor

importancia. Sin medidas de control, estas actividades pueden causar problemas con impacto significativo en el ambiente costero” (NRC, 1993, p. 23)

Estos dos temas son parte de otras varias piezas que manejadas en conjunto podrían formar parte de un programa estratégico integral costero. Otros componentes que son menos visibles pero que contribuyen a una gestión estratégica incluye:

- Esfuerzos de control en las fuentes de generación para desalentar la producción de desechos no deseables y prevenir su introducción en las plantas de tratamiento o redes de drenajes pluviales.
- Educación de la población para inducir a un cambio de hábitos en sus conductas (como por ejemplo métodos para disponer el aceite luego del cambio del mismo en automóviles).
- Examinar y entender los posibles impactos ambientales para buscar oportunidades de mejoras.
- Programas para conservación de las fuentes de agua (NRC, 1993, p. 2).

8.11.1. Recomendaciones de manejo de aguas residuales y pluviales.

La gestión en áreas costeras hoy se realiza desde políticas y prácticas de la estructura existente como por ejemplo el establecimiento de límites de vuelco y la obligación de su cumplimiento. En su lugar, una gestión integral debería evaluar riesgos y hallar un balance apropiado entre la protección del ecosistema marino y el uso humano del mismo ambiente. La tabla 41 describe diferentes áreas donde existe la oportunidad de mejorar la gestión en áreas costeras. Hay puntos sobre los cuales la implementación o manejo es más fácil que otros (NRC, 1993, p. 172).

Tabla 41: Variables a tener en cuenta para un manejo costero integral (NRC, 1993, pp. 8–12)

Variable	Hallazgo	Recomendación	Discusión
Diferencias regionales	Por la alta variabilidad existente entre diferentes zonas costeras no hay una tecnología adecuada que pueda cumplir con la calidad de agua de manera genérica en todas las localidades costeras.	Las estrategias deben ajustarse a las características, valores y usos particulares del ambiente receptor teniendo en cuenta los objetivos de control establecidos en la calidad de agua y sedimentos.	Los efectos en el ambiente de las descargas de efluentes o aguas pluviales van a depender de las características químicas, biológicas y físicas y por la geografía del cuerpo de agua. Por ejemplo, los estuarios pueden retener mayor cantidad de sedimentos y contaminantes porque la floculación es mejorada cuando hay mezcla de agua fresca con salada. En costas abiertas, la sedimentación ocurrirá donde las corrientes son lentas.
Nutrientes en aguas costeras.	La contaminación por nutrientes principalmente nitrógeno es un problema serio en muchos estuarios y algunos sistemas marinos costeros.	Se debe prestar especial atención para evitar disponer de exceso de nitrógeno y otros nutrientes a niveles que puedan ser dañinos para el ecosistema.	El enriquecimiento con nutrientes puede provocar reducción de oxígeno, reducción de la población de peces y mariscos, sobrecrecimiento de algas, y muerte regresiva de pastos marinos y corales. El aporte de nutrientes puede provenir de plantas de tratamiento, escorrentías urbanas y rurales, deposición atmosférica y la liberación de nutrientes previamente acumulados en sedimentos de fondo.

Continúa

Tabla 41: continuación

Variable	Hallazgo	Recomendación	Discusión
Control de fuentes de generación y conservación de agua.	La reducción o eliminación en las fuentes de generación es efectivo (tanto de fuentes puntuales como difusas). Ahorro de agua. Reduce volúmenes de manejo para el tratamiento.	El control en los puntos de generación debe ser fuertemente alentado por incentivos y regulación del gobierno.	Muchas sustancias tóxicas son difíciles y / o costosas de eliminar de las aguas residuales. Se puede evitar que lleguen al tratamiento con programas de control en el sitio de generación. (Ejemplo, separación de aceites)
Niveles de tratamiento.	Muchos problemas de calidad de agua y sedimentos costeros están asociados a exceso de nutrientes, patógenos y sustancias tóxicas. Los contaminantes tóxicos muchas veces se encuentran asociados a las partículas en los efluentes, es por ello que la remoción de partículas es un paso muy importante para proteger los sedimentos de enriquecimiento de carbón y otros compuestos tóxicos. En muchos casos la reducción en oxígeno disuelto no es la mayor preocupación ambiental en aguas costeras. Donde sí lo es, (generalmente en algunos estuarios) es más probable que sea por eutroficación por exceso de nutrientes que por DBO.	Los requerimientos en el tratamiento de aguas residuales en municipios costeros deben encararse de una manera integrada con foco en la calidad ambiental (como por ejemplo criterios de calidad de agua y sedimentos) y no por tecnología.	Existen muchas tecnologías de tratamiento, sin embargo, sus costos aumentan conforme aumenta el volumen y la capacidad de remoción. En general es más fácil remover sólidos, o aceites que DBO y luego nutrientes. La disposición de lodos cloacales debe ser guiada y controlada por los requerimientos correspondientes de disposición ya que los mismos pueden estar contaminados de tóxicos (metales pesados), patógenos y otros compuestos orgánicos. La remoción de DBO es de interés en muchos estuarios, bahías y cuerpos de agua semi abiertos debido a los efectos sobre la vida acuática. Los mayores problemas de reducción de oxígeno disuelto en estuarios y bahías están asociado al exceso de nutrientes que por DBO. En general la DBO de descarga de efluentes no suele ser un problema si descarga en mar abierto.

Continúa

Tabla 41: continuación

	Hallazgo	Recomendación	Discusión
	Aunque la presencia de concentraciones de coliformes y bacterias superiores a los estándares convencionales indica un elevado riesgo de exposición humana a patógenos a través del contacto con el agua, práctica de deportes o consumo de mariscos, lo contrario, no es cierto. Concentraciones por debajo de los estándares no predicen de manera confiable que las aguas y los mariscos tengan niveles seguros de patógenos.	La agencia de protección del medioambiente (EPA) y las agencias de tratamiento de efluentes deberían promover el desarrollo e implementación de monitoreo rutinario de patógenos con técnicas adecuadas particularmente aguas de mar y estuarios.	Los patógenos humanos (enterovirus asociados a diarreas o diabetes) y meningitis y protozoos (como Giardia) pueden ser detectados por monitoreo rutinario en el agua sin tratar. Los niveles de estos patógenos presentes en las descargas de las plantas de tratamiento varían en función de los niveles de infección en la comunidad que genera las aguas residuales y el tipo de tratamiento. El indicador más utilizado es bacterias coliformes. Sin embargo, los coliformes no son representativos para la indicación de supervivencia de patógenos como virus y parásitos. (En USA hubo caso de contaminación de hepatitis A y se detectó que fue por el consumo de mariscos).
	La eficiencia de los sistemas de gestión únicamente pueden ser determinados y corregidos con un adecuado monitoreo, investigación y retroalimentación	Los sistemas de gestión deben ser flexibles para que puedan ser modificados de manera tal de poder responder ante una nueva información ambiental.	Las evaluaciones deben tener en cuenta la efectividad de componentes específico y el global del esfuerzo de la gestión integrada. Para mejorar las decisiones futuras y las medidas de control, las evaluaciones deben focalizarse en la el aprendizaje de la experiencia adquirida.

Uno de los puntos principales para el cuidado del ambiente y de una correcta gestión integrada es identificar los contaminantes que llegan a las plantas de tratamiento en general y focalizar las fuentes de generación, ya que al evitar su descarga puede contribuir a su reducción. Esto se logra mediante programas de concientización y educación en la sociedad.

El aporte de metales y contaminantes orgánicos en los sistemas de tratamiento de efluentes urbanos proviene de tres fuentes genéricas: doméstica, comercial y escorrentía. En general la escorrentía urbana no es uno de las principales fuentes de tóxicos. Se han identificado aportes desde rutas pavimentadas debido a la abrasión de ruedas y desgaste del revestimiento de frenos así como plomo de superficies pintadas y plomo y zinc de materiales de los techos, pero suelen ser fuentes puntuales (I C Consultants Ltd, 2001, p. 5).

Dentro de los contaminantes domésticos, se encuentra que las heces tienen un aporte de metales. “La materia fecal típicamente contiene $250 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, 70 mg Cu kg^{-1} , 5 mg Ni kg^{-1} , 2 mg Cd kg^{-1} y 10 mg Pb kg^{-1} (ds). Las otras principales fuentes de metales en aguas domésticas residuales son los productos de uso personal, farmacéuticos, productos de limpieza y residuos líquidos” (I C Consultants Ltd, 2001, p. 6).

Una manera de reducir el aporte de contaminantes originados en productos cosméticos o de limpieza es mediante la capacitación a la sociedad para que evite su consumo y la herramienta para realizarlo es utilizando el rotulado o etiquetado (I C Consultants Ltd, 2001, p. 6). La legislación argentina está menos avanzada que la europea en cuanto al eco-etiquetado de productos, con lo cual en esta materia aún hay trabajo por realizar. En Europa, la “imposibilidad de degradar residuos de detergentes de manera anaeróbica y las grandes concentraciones presentes en el lodo y aguas residuales urbanas han promovido iniciativas de eco-etiquetado en muchos países Europeos influenciando a consumidores a descartar detergentes que contengan estos surfactantes no biodegradables” (I C Consultants Ltd, 2001, p. 6).

En cuanto a la contaminación por productos farmacéuticos es importante buscar otra vía de descarte que no sea al efluente doméstico líquido (I C Consultants Ltd, 2001, p. 7).

Las estrategias y el control de contaminantes solo pueden focalizarse en las fuentes que son identificables y cuantificables.

8.12. Cómo mejorar la gestión de residuos.

Es necesario que todos los que participan en el proceso de construcción y demolición faciliten y fomenten la reducción, reutilización y valorización de los residuos originados mediante el reciclaje. Todos los que intervienen en la obra deben dirigir su trabajo hacia esos objetivos. Y hacerlo con una actitud que no debe ser solamente pasiva, limitándose a cumplir las normas y órdenes dictadas, sino que también han de tomar una disposición activa. El personal de la obra debe aprovechar su experiencia en la ejecución material de las órdenes para proponer aquellas acciones que crean que pueden mejorar la situación. Por otra parte, los encargados y directores de las obras deben prestar atención a esas propuestas para, desde una perspectiva más global de los problemas de la obra, conducirlas a buen fin. Se debería insistir además en la necesaria sensibilización y educación del personal de la obra respecto a los temas medioambientales (ITeC, 2000, secc. 3.1).

8.12.1. Plan de gestión de residuos en las obras de construcción y demolición

Se debe contar con un plan de gestión de residuos para poder programar las acciones y lograr un manejo eficiente. Para constructores y empresas de derribo, resulta necesario desarrollar un método con el que prever (durante la fase de planificación de la obra o de la demolición) las actividades y costos económicos, en cada etapa del proceso, que origina la gestión de los sobrantes de obra y de los residuos de demolición es decir, deberá conocerse la cantidad de residuos que se producirán, sus posibilidades de valorización y el modo de realizar una gestión eficiente, con el fin de planificar las obras de construcción y de demolición (ITeC, 2000, secc. 3.3).

En consecuencia, el plan de gestión de residuos debe estructurarse según las etapas y objetivos siguientes:

En primer lugar, deberá establecerse la cantidad y la naturaleza de los residuos que se van a originar en cada etapa de la obra y en el derribo. Este objetivo se puede cumplir tomando en consideración la experiencia del constructor o de la empresa de derribo, si ya ha aplicado alguna vez criterios de clasificación, lo cual no suele ser frecuente (ITeC, 2000, secc. 3.3).

A continuación, hay que informarse acerca de los gestores de residuos que se encuentran en el entorno próximo a la obra: es necesario conocer las características (condiciones de admisión, distancia y tasas) de los vertederos, de los recicladores, de los puntos verdes, de los centros de clasificación, etc. para poder definir un escenario externo de gestión (ITeC, 2000, secc. 3.3).

A partir del cruce de ambas fuentes de información (la cantidad y tipología de los residuos y el escenario formado por los gestores externos) se podrá determinar en cada momento de la obra o del derribo los elementos de gestión interna necesarios (cantidad y características de los contenedores, depósitos para fluidos contaminantes, etc.). Presumiblemente, estas acciones reducirán el coste de la gestión de los residuos (ITeC, 2000, secc. 3.3).

Una vez conocidos los costos de la manipulación de los residuos en obra, de los alquileres de contenedores, del transporte y de las tasas de depósito de los residuos para cada una de las etapas de la obra, se debe determinar (por etapas y en su conjunto) el coste final de la gestión de los residuos de una obra o un derribo determinados (ITeC, 2000, secc. 3.3).

Esta metodología deberá aplicarse en aquellas empresas que realicen derribos y obras de edificación, con independencia de su grado de complejidad (tamaño, ubicación,

uso, etc.), si bien las obras públicas quedan pendientes para futuros planes de gestión de residuos (ITeC, 2000, secc. 3.3).

8.12.2. Gestión a pie de obra

8.12.2.1. Planificando la obra

Se trata de estudiar, desde la fase inicial del proyecto, las oportunidades de reutilizar y reciclar los residuos, tanto dentro como fuera de la obra. Los trabajos de construcción de una obra dan lugar a una amplia variedad de residuos. Sus características y cantidad dependen de la fase de construcción y del tipo de trabajo ejecutado. Así, por ejemplo, al iniciarse una obra es habitual que haya que derribar una construcción existente y/o que deban efectuarse ciertos movimientos de tierras. Durante la realización de la obra también se origina una importante cantidad de residuos en forma de sobrantes y restos diversos de embalajes. Incluso en las obras de reforma, de reparación, de rehabilitación, etc., se generan residuos (ITeC, 2000, secc. 3.4.1).

En la demolición se originan grandes cantidades de residuos pétreos, mampostería, hormigón, obra de fábrica, etc., que se reducen durante el periodo de construcción, ya que corresponden a los sobrantes de la puesta en obra de los materiales y productos y a sus embalajes. Esto es, al inicio de la obra se producen los residuos sobrantes, y, a medida que ésta va avanzando y llegan los acabados e instalaciones, se originan los procedentes de los embalajes (ITeC, 2000, secc. 3.4.1).

Hay que prever el tipo y volumen de materiales residuales que se producirán en la obra y en el derribo para organizar adecuadamente los contenedores y adaptar esas decisiones al desarrollo general de la obra (ITeC, 2000, secc. 3.4.1).

Es necesario identificar los trabajos previstos en la obra y el derribo con el fin de contemplar el tipo y el volumen de residuos se producirán, organizar los contenedores e ir adaptando esas decisiones a medida que avanza la ejecución de los trabajos. En efecto,

en cada fase del proceso debe planificarse la manera adecuada de gestionar los residuos para que, antes de ser producidos, se decida si se pueden reducir, reutilizar y reciclar (ITeC, 2000, secc. 3.4.1).

La previsión incluso debe alcanzar a la gestión de los residuos del comedor del personal y de otras actividades, que si bien no son propiamente la ejecución material se originarán durante el transcurso de la obra: reciclar los residuos de papel de la oficina de la obra, los toners y tinta de las impresoras y fotocopiadoras, los residuos biológicos, etc. (ITeC, 2000, secc. 3.4.1).

8.12.3. Manipulación de los residuos en la obra

La primera decisión que debe ser adoptada es dónde almacenar los residuos y con qué medios. Aunque apenas haya lugar donde colocar los contenedores, debemos intentar encontrar en la obra un lugar apropiado en el que almacenar los residuos. Si se habilita un espacio amplio con un acceso fácil para máquinas y vehículos, la recogida será más sencilla. Si, por el contrario, no se acondiciona esa zona, habrá que mover los residuos de un lado a otro hasta depositarlos en el camión que los recoja (ITeC, 2000, secc. 3.4.2).

Además, es peligroso tener montones de residuos dispersos por toda la obra, porque fácilmente son causa de accidentes. Así pues, se debe asegurar un adecuado almacenaje y evitar movimientos innecesarios, que entorpezcan la marcha de la obra y no facilitan la gestión eficaz de los residuos. En definitiva, hay que poner todos los medios para almacenarlos correctamente, y, además, sacarlos de la obra tan rápidamente como sea posible, porque el almacenaje en un solar abarrotado constituye un grave problema (ITeC, 2000, secc. 3.4.2).

Es importante que los residuos sean almacenados justo después de que sean generados para que no se ensucien y se mezclen con otros sobrantes para facilitar su posterior reciclaje. Asimismo, hay que prever un número suficiente de contenedores (en

especial cuando la obra genera residuos constantemente) y anticiparse antes de que no haya ninguno donde depositarlos (ITeC, 2000, secc. 3.4.2).

8.12.3.1. Responsabilidades de cada uno de los agentes de la obra

Todos los que participan en la ejecución material de la obra tienen una responsabilidad real sobre los residuos: desde el peón al director. Además, todos aquellos que participan en el proyecto pueden hacer que su intervención sea beneficiosa para la minimización de los residuos (ITeC, 2000, secc. 3.4.3).

Decálogo del responsable de los residuos en la obra

La figura del responsable de los residuos en la obra es fundamental para gestionarlos eficazmente puesto que está a su alcance tomar las decisiones para la mejor gestión de los residuos y las medidas preventivas para minimizar y reducir los residuos que se originan. En síntesis, los principios que debe observar son los siguientes:

- En todo momento se cumplirán las normas y órdenes dictadas.
- Todo el personal de la obra conocerá sus responsabilidades acerca de la manipulación de los residuos de obra.
- Es necesario disponer de un directorio de compradores/vendedores potenciales de materiales usados o reciclados cercanos a la ubicación de la obra.
- Las iniciativas para reducir, reutilizar y reciclar los residuos en la obra han de ser coordinadas debidamente.
- Animar al personal de la obra a proponer ideas sobre cómo reducir, reutilizar y reciclar residuos.
- Facilitar la difusión, entre todo el personal de la obra, de las iniciativas e ideas que surgen en la propia obra para la mejor gestión de los residuos.
- Informar a los técnicos redactores del proyecto acerca de las posibilidades de aplicación de los residuos en la propia obra o en otra.

- Debe seguirse un control administrativo de la información sobre el tratamiento de los residuos en la obra, y para ello se deben conservar los registros de los movimientos de los residuos dentro y fuera de ella.
- Los contenedores deben estar etiquetados correctamente, de forma que los trabajadores obra conozcan dónde deben depositar los residuos.
- Siempre que sea posible, intentar reutilizar y reciclar los residuos de la propia obra antes de optar por usar materiales procedentes de otros solares (ITeC, 2000, secc. 3.4.3).

Decálogo de los trabajadores a pie de obra

El personal de la obra es responsable de cumplir correctamente todas aquellas órdenes y normas que el responsable de la gestión de los residuos disponga. Pero, además, se puede servir de su experiencia práctica en la aplicación de esas prescripciones para mejorarlas o proponer otras nuevas.

- Etiquetar de forma conveniente cada uno de los contenedores que van a usarse en función de las características de los residuos que se depositarán.
- Las etiquetas deben informar sobre qué materiales pueden, o no, almacenarse en cada recipiente. La información debe ser clara y comprensible.
- Las etiquetas deben ser de gran suficientemente grandes y resistentes al agua.
- Utilizar siempre el contenedor apropiado para cada residuo. Las etiquetas se colocan para facilitar la correcta separación de los mismos.
- Separar los residuos a medida que son generados para que no se mezclen con otros y resulten contaminados.
- No colocar residuo apilado y mal protegido alrededor de la obra ya que, si se tropieza con ellos o quedan tendidos sin control, pueden ser causa de accidentes.

- Nunca sobrecargar los contenedores destinados al transporte: son más difíciles de maniobrar y transportar y dan lugar a que caigan residuos que no acostumbran a ser recogidos del suelo.
- Los contenedores deben salir de la obra perfectamente cubiertos. No se debe permitir que la abandonen sin estarlo porque pueden originar accidentes durante el transporte.
- Para una gestión más eficiente, se deben proponer ideas referidas a cómo reducir, reutilizar o reciclar los residuos producidos en la obra.
- Las buenas ideas deben comunicarse a los gestores de los residuos de la obra para que las apliquen y las compartan con el resto del personal (ITeC, 2000, secc. 3.4.3).

8.13. Entrevista con Oscar Perelli – Prosecretario Cooperativa COS (Cooperativa de Obras y Saneamiento San Clemente del Tuyú). Agosto 2019.

1. ¿Hace cuánto que trabaja en la COS? ¿Hace cuánto existe la planta depuradora?

Rta: La planta existe desde el año 1994 y yo estoy desde 12 años después (2006).

2. ¿Cuánto tiempo operó la planta con el sedimentador? ¿Recuerda qué se hacía con los lodos?

Rta: A los dos años de ponerse en marcha quedó el sedimentador fuera de servicio.

Falló el asentamiento del hormigón. Nunca se llegó a sacar lodos. Solo se tuvo que vaciar para poder reparar el sedimentador y en ese momento el lodo presente se usó para relleno en sus alrededores.

3. ¿Cuánta gente tiene conectada a la red cloacal? ¿Cuántos estima que no están conectados y tienen pozos ciegos? ¿A cuántos usuarios llega la red de agua potable?

Rta: A la red cloacal aproximadamente 14.500. Se estima cerca de 10.000 que no están conectados, pero también se encuentran en una zona con menor densidad de población. Se estima que faltarían otras 10.000 conexiones. La red de agua potable llega a 4000 viviendas aproximadamente.

4. ¿Hay recolección con camiones atmosféricos?

Rta: Sí, hay; pero no se reciben de todos porque la permeabilidad de la arena hace que no necesiten tanto. El uso en muchos lados el uso de los pozos ciegos es estacional y al otro año la materia ya se encuentra degradada.

5. ¿Cuántos balnearios costeros dentro del Partido de la Costa tienen tratamiento de aguas negras?

Rta: Santa Teresita, Las Toninas, Mar del Tuyú, San Bernardo, y Mar de Ajó. Hay varias que todavía no tienen servicio.

6. ¿Cómo son las otras plantas?

Rta: Las que están funcionando son similares a esta. Se hicieron todas en la misma época.

7. ¿Tiene identificado si los desagües cloacales son independientes de los desagües pluviales? ¿Qué pasa con período de altas lluvias? ¿Hay desborde de aguas negras?

Rta: No hay desborde de aguas negras. Solo hay donde hay pozos ciegos. Donde hay red cloacal, con la red pluvial sucede que en muchos lugares hay conexiones entre ambas redes y llega a la planta mucha agua de lluvia.

8. ¿De qué manera operan los sopladores?

Rta: Generalmente .se prenden los dos chicos en invierno y los dos grandes en verano.

9. Cuéntenos cómo fue que surgió el proyecto de remodelación. ¿Cómo piensan poder conseguir la financiación para poder realizarlo?

Rta: La remodelación surgió cuando salió de servicio el sedimentador y se intentó volver a poner en funcionamiento. La pileta principal se hizo con fondos propios de socios con algún subsidio municipal, y acompañamiento de SPAR (Organismo Provincial de Saneamiento Rural) y también Ambiente de Nación dentro del marco

del Freplata. (Convenio binacional del cuidado del Río de Plata). Se presta dinero para saneamiento de estuarios. Normalmente en el Río de la Plata se lo lleva la capital. En aquel momento se logró un préstamo tanto para Buenos Aires como para Montevideo. En Montevideo se llevaban mucho las curtiembres. Ahí se logró sumar dinero. Después de esto no se tuvo más dinero. Debe haber sido 2014

¿Cómo piensan conseguir financiamiento ahora?

Rta: Vía ENOHSA o DIPAC (antigua SPAR).

10. ¿Sabía que la Bahía de Samborombón es un humedal de importancia internacional?

Rta: Sí. Es uno de los 5 humedales a nivel del país. Fue declarado sitio Ramsar por las aves migratoria.

11. ¿Qué problemas ve usted de que la planta siga operando de la manera en la que lo hace hoy?

Rta: Acumula sedimentos porque hace de sedimentador.

12. ¿Sabe si hay industrias que descarguen efluentes problemáticos?

Rta: No. Solo aceites de restaurant que ya se separan. Y cambios de aceite de autos.

Los dos tienen sistema de recolección.

13. ¿Qué hacen con los residuos sólidos de rejas?

Rta: Este se manda a relleno sanitario en la zona de Mar de Ajó. (Pavón)

14. ¿Si la planta produjera un lodo que pudiera ser utilizado en parquización, jardinería cree que podría ser ubicado en el mercado?

Rta: Podría ser. Sería lo ideal del proceso.

15. ¿Quién hizo el pliego?

Rta: Lo hizo una consultora a pedido de DIPAC, no tiene valoración económica. La tendrá cuando salga a licitación.

8.14. Permiso para el uso del estudio del proyecto de reacondicionamiento.



60 Años

Cooperativa de Provisión de Obras y Servicios Públicos
de San Clemente del Tuyú Ltda.
Av. III N°: 2323
Tel. 02252-521139/522601
San Clemente del Tuyú (7105)
www.cos.org.ar

MATR. I.N.A.E.S. N° 4504 ID. N° 1-6150
MATR. I.P.A.C. N° 259

San Clemente del Tuyú, 30 de Octubre de 2020

PERMISO DE USO DE ESTUDIO PROYECTO DE REACONDICIONAMIENTO

PLANTA DEPURADORA SAN CLEMENTE DEL TUYÚ

Con la presente nota, dejamos constancia que hemos facilitado las bases del estudio técnico del proyecto de reacondicionamiento de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú realizado para la Cooperativa y la DIPAC por la consultora Prates y Cia. a la alumna de la maestría de Gestión Ambiental en el ITBA Arlette Lera Nahabetyan con fines de uso académico.

Atentamente


Jorge Ortiz
Presidente
COOP. DE PROV. DE OBR. Y SERVIC. PÚB.
SAN CLEMENTE DEL TUYÚ

8.1. Presentación en PDF para la defensa

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES



EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA PLANTA DEPURADORA CLOACAL DE LA CIUDAD DE SAN CLEMENTE DEL TUYÚ (BUENOS AIRES - ARGENTINA) CON MIRAS A SU REACONDICIONAMIENTO

Propuesta de Plan de Gestión Ambiental, incluye programa de gestión de lodos, monitoreo, control y evaluación preliminar ecotoxicológica del efluente vertido.

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DICIEMBRE 2020

ALUMNO: LERA NAHABETIAN

TUTOR: ALFREDO ROSSO

PROVINCIA DE BUENOS AIRES - ARGENTINA

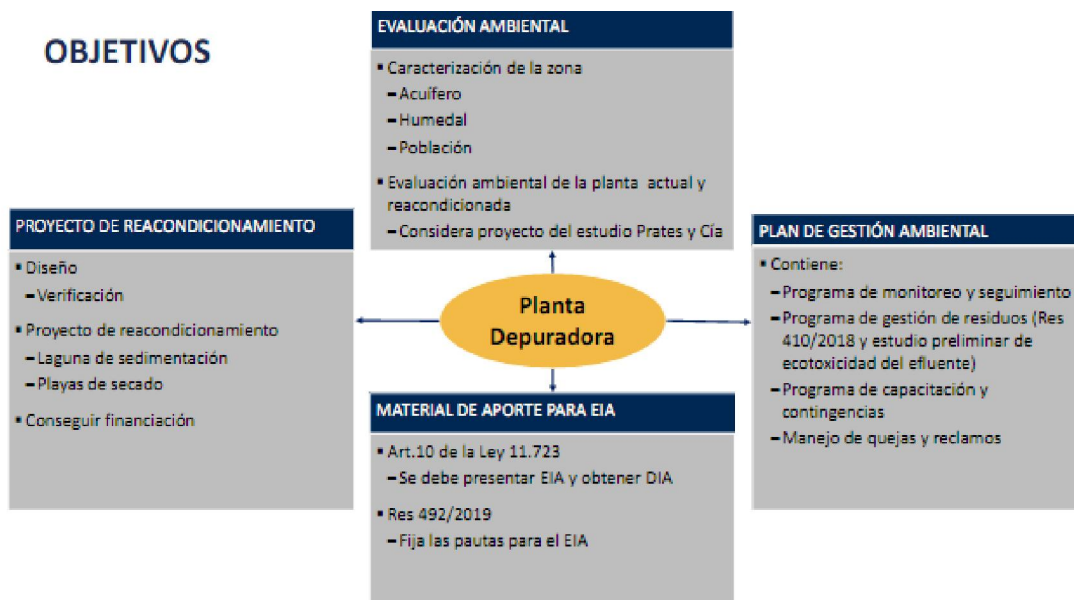
Contenido

1. **Objetivos**
2. **Caracterización ambiental de la Planta Depuradora Cloacal de San Clemente del Tuyú**
 - Ubicación y descripción de la planta
 - Acuífero
 - Humedal
3. **Marco regulatorio**
 - Normativa de aplicación – Matriz legal
 - Resolución 410/2018
4. **Desarrollo del trabajo**
 - Descripción de proyecto de reacondicionamiento
 - Caracterización
 - Memoria de cálculo – requerimiento energético – generación de lodos
 - Disposición final de lodos - posibilidades – estudio de ecotoxicidad
5. **Plan de Gestión Ambiental**
 - Análisis ambiental - Evaluación ambiental- Estado actual – Planta reacondicionada
 - Programas del Plan Ambiental
6. **Conclusiones**

1. OBJETIVOS

PLANTA DEPURADORA CLOACAL DE SAN CLEMENTE DEL TUYÚ - PROVINCIA BS.AS.

OBJETIVOS



2. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

PLANTA DEPURADORA CLOACAL DE SAN CLEMENTE DEL TUYÚ - PROVINCIA BS.AS.

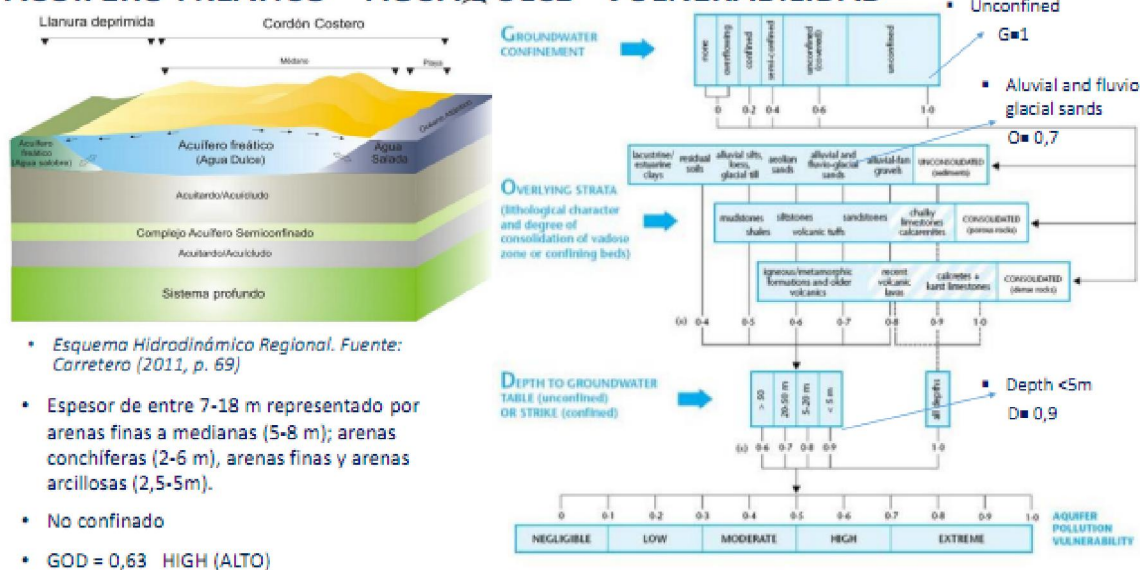
UBICACIÓN



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL HUMEDAL



ACUÍFERO FREÁTICO – AGUA DULCE - VULNERABILIDAD





DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DEPURADORA CLOACAL DE SAN CLEMENTE DEL TUYÚ



3. MARCO REGULATORIO

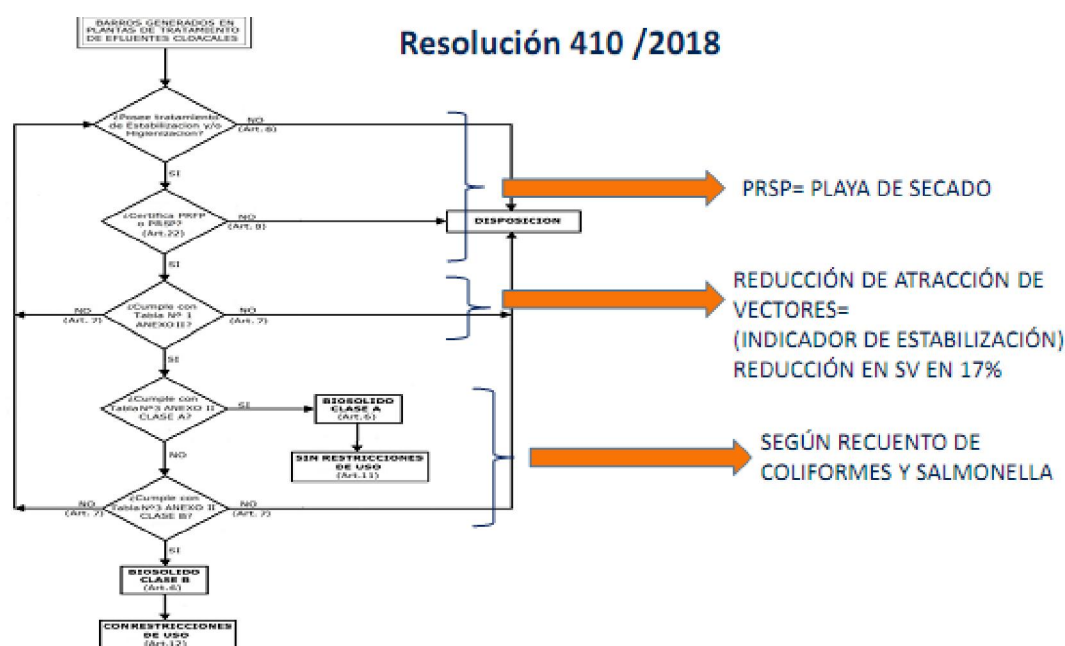
MATRIZ LEGAL

MATRIZ LEGAL

Aspecto	Característica	Organismo	Norma	Requisitos	Observación
Aire	Efluentes gaseosos	OPDS	Ley 5.965 Dec 1.074/18	Permiso de vuelco.	Material particulado - Olor
Suelo	Residuos sólidos	OPDS	Res. 322/1998	Presentación de plan de control de monitoreo y medidas de seguridad	Unidad de disposición final
		ADA	Ley 11.820 Dec 878/03	-	No permite descarga de barro en la red colectora
		OPDS	Ley 11.720 Residuos Especiales	-	Por mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o hidrocarburos y agua
Agua	Vuelco	ADA	2.222/19	Permiso de obra, planos. Permisos de vuelco	Procesos de aptitud de obra y permisos
		ADA	Ley 11.820 Dec. 878/03	Permiso de vuelco	No permite vuelcos en colectores cloacales
EIA			Ley 11.723	EIA	
		OPDS	Res. 492/2019		Fija pautas para el EIA que deberá ser presentado para el proyecto de remodelación

Res 410 /2018 (norma técnica para uso de barros de plantas cloacales)

Indicador	Biosólido Clase A	Biosólido Clase B
PRSP (proceso de reducción significativa de patógenos) y capacidad de atracción de vectores	- Compostaje - Digestión anaeróbica termofílica. - Digestión aeróbica termofílica. - Secado por Calor. - Tratamiento térmico. - Pasteurización. - Irradiación con Rayos Beta. - Irradiación con Rayos Gama.	- Compostaje. - Digestión anaeróbica mesofílica. - Digestión aeróbica . - Playa de Secado. - Encalado. - Atenuación natural.
Nivel de patógenos	- Coliformes fecales < 1.000 NMP/g MS. - Salmonella < 3 NMP/4g MS.	- Coliformes fecales < 2.000.000 NMP/g MS - Salmonella no aplica.
Disposición y uso final	- Forestación y floricultura. - Recuperación de sitios degradados. - Restauración del paisaje. - Elaboración de abonos y enmiendas. - Cierre de rellenos sanitarios. - Paisajismo.	- Forestación y floricultura, restringirse para luego de un año de su aplicación. - No para paisajismo. - No en sitios con alta exposición. - No en sitios ubicados a menos de 100 metros de distancia de viviendas.



4. DESARROLLO DEL TRABAJO

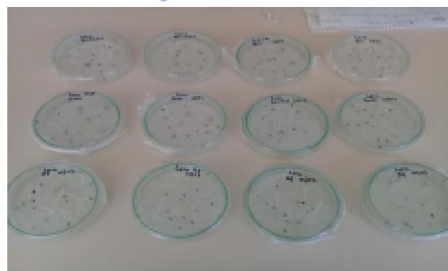
FOCOS DE ESTUDIO EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO



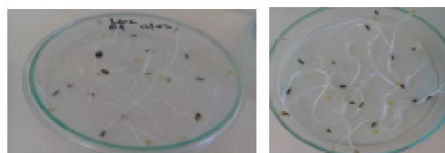
DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS

ENSAYO DE ECOTOXICIDAD

- Los contaminantes en aguas y lodos se encuentran formando mezclas que pueden presentar efectos adversos sobre los organismos y el ecosistema circundante. Estos efectos pueden ser antagónicos, neutros, aditivos o sinérgicos. En este ultimo caso, reviste particular atención ya que se amplifica el daño e impacto



No se observó diferencia significativa en el crecimiento de la raíz pero sí una sobre-estimulación en el crecimiento del tallo dado por el exceso de nutrientes.



EVALUACIÓN AMBIENTAL- PLANTA ACTUAL Y PLANTA REACONDICIONADA

COMPARATIVA DE LOS PUNTOS MÁS RELEVANTES

PLANTA ACTUAL

- Aumento del turismo
 - Descargas potenciales fuera de especificación de la planta de efluentes.
 - Mayor caudal de tratamiento de efluentes.
- Capacidad de depuración / falta de laguna de sedimentación
 - Descargas fuera de especificación con alta carga, alto sedimentos
 - Aumento de procesos de anaerobiosis.
 - Afectación del humedal.
 - Potencial contaminación en peces y mariscos por descargas con patógenos u otros posibles contaminantes.

PLANTA REACONDICIONADA

- Aumento de turismo
 - Se podrá evaluar la capacidad de depuración para la población de verano realizando una correcta caracterización.
- Efluente vertido dentro de especificación
 - Separación de sólidos. Posible reutilización.

5. PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

PLANTA DEPURADORA CLOACAL DE SAN CLEMENTE DEL TUYÚ- PROVINCIA BS.AS.

GESTIÓN AMBIENTAL

Mejora continua

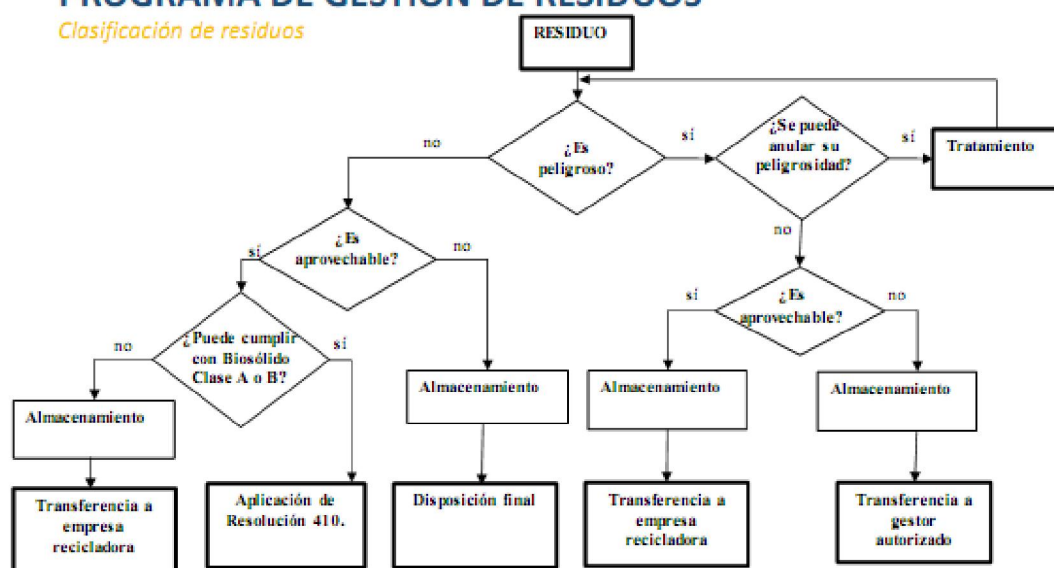


PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

POLÍTICA Y NORMATIVA	ANÁLISIS AMBIENTAL	MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL	MONITOREO Y SEGUIMIENTO	EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO
- Redactada por la cooperativa. - Cumplimiento con la normativa. - Cuidado del Ambiente. - Compromiso de todos.	- Etapas de construcción y operación. - Material particulado, ruido. - Vuelco accidental de combustible, movimiento vehicular. - Generación de residuos. - Efluentes líquidos. - Estacionalidad. - Población residente.	- Medidas de prevención y control en agua, aire, suelo, sociales. - Programa de gestión de residuos. - Programa de contingencias y capacitación. - Manejo de quejas y reclamos.	- Programa de Monitoreo. - Planillas de seguimiento ambiental (residuos, reclamos, consumo energético y de combustible, registro de capacitaciones brindadas, parámetros de vuelco, generación de lodos cloacales).	- Auditorías ambientales. - Evaluación de resultados. - Modificación o cambios para mejorar aspectos considerados.

PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Clasificación de residuos



Clasificación de residuos

A-Residuo no peligroso Reutilizable- No biosólido	B-Residuo no peligroso Reutilizable- Sí biosólido	C-Residuo no peligroso No reutilizable	D- Residuo peligroso Aprovechable	E-Residuo peligroso No aprovechable
▪ Tipo Domiciliarios / residuo de obra – Acciones para reducir su generación – Clasificación y separación – Cooperativas recicladoras ▪ Residuos sólidos de pretratamiento – Uso en vivero municipal ▪ Residuos oleosos – Separación in situ para reutilización en biodiesel	▪ Posible biosólido clase A o B según norma 410/2018. – Clase A: Uso en agricultura. – Clase B: Parquización, relleno de suelos.	▪ Restos de alimentos, envases contaminados con alimentos. – Residuo tipo sólido urbano. Disposición final en relleno sanitario.	▪ Latas con pintura, aerosoles – Transferencia a empresa recicladora.	▪ Restos de trapos con hidrocarburo producto de mantenimiento. – Almacenar en sector especial para esto. Registrar como generador de residuos especiales o transferencia a gestor autorizado.

OTROS PROGRAMAS

Contingencias – Capacitación – Quejas y Reclamos - Monitoreo



6. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó la evaluación ambiental.
- Se realizó el plan ambiental teniendo en cuenta el proyecto de remodelación y sus principales impactos ambientales.
- El requerimiento de un módulo de tratamiento adicional debe ser verificado.
 - Un modulo adicional implica duplicar el consumo energético a lo largo de todo el año.
 - Con la planta reacondicionada, se puede realizar una caracterización de modo tal que permita obtener los coeficientes de remoción de manera experimental.
 - Es necesaria la medición de caudal que hoy no disponen para evaluar la eficiencia de depuración de la planta. Se recomienda adicionar otro medidor a la salida de la planta.
 - Se puede estudiar la posibilidad de operar la laguna como facultativa para poder reducir el consumo energético en invierno.
- La segunda laguna de sedimentación es necesaria.
- Se podrán utilizar los lodos cloacales en otros usos siguiendo el programa de gestión de residuos presentado en el Plan Ambiental.

Importante!

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA

1. La posibilidad de reúso del efluente líquido en riego y sus posibles usuarios.
2. La caracterización de la planta para conocer su eficiencia y evaluar la necesidad de la incorporación o no de una segunda laguna de aireación y mejoramiento del sistema de sedimentación.
3. Los posibles usuarios finales para el aprovechamiento de biosólidos en agricultura. Sería conveniente contar primero con el lodo de la planta y luego ver sus posibilidades de uso según lo planteado en el programa de gestión de residuos.
4. Realizar un estudio de eficiencia energética, donde se evalúe la posibilidad de la autogeneración. Evaluar además la reducción en gases de efecto invernadero.
5. Evaluar un posible proyecto de integración entre todas las plantas de tratamiento de las localidades del partido de la costa como parte de un programa de gestión integral municipal.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN