



ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE

**PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN
AMBIENTAL EN BASE A LOS REQUISITOS DE LA NORMA ISO 14.001
PARA EL USO Y ALMACENAMIENTO DE INSUMOS PELIGROSOS EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Juan Pablo Silva Ayala

Director de Seminario de Título: Prof. Gustavo Salinas Hernandez

Noviembre 2018
Santiago – Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el **Sr. Juan Pablo Silva Ayala**

“PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL EN BASE A LOS REQUISITOS DE LA NORMA ISO 14.001 PARA EL USO Y ALMACENAMIENTO DE INSUMOS PELIGROSOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

Prof. Gustavo Salinas Hernandez

Director Seminario de Título

COMISIÓN REVISORA Y EVALUADORA

Mg. Cs. Ricardo Serrano

Presidente

Dr. Richard Toro

Evaluador

Santiago de Chile, Noviembre de 2018

RESEÑA

JUAN PABLO SILVA AYALA

Nació el 16 de Marzo de 1991 en el hospital San José, en Santiago de Chile. Hijo de Sergio Silva Fuentes y Carolina Ayala Poblete segundo de 3 hijos. De niño siempre encontró en su familia un entorno de amor, respeto y valores. De su padre aprendió la importancia de ser constante y trabajar para alcanzar sus metas, de su madre los valores de mantenerse íntegro y vivir empatizando con las personas y el ambiente que nos rodea.

Inició su educación en el colegio Santa Maria de Maipú, fue aquí donde descubrió su pasión por el basquetbol. En el año 2004 ganó junto a su equipo el primer lugar en el campeonato interescolar de la CODEDUC.

En 2005 entró al colegio La Virgen de Pompeya, en donde descubrió su pasión por la química gracias al constante apoyo de su profesora de química Patricia Contreras. Fue ella quien lo ayudo a descubrir y potenciar su pasión por la química, y en el año 2007 le brindó un apoyo incondicional en la participación de las olimpiadas de química realizadas por la Universidad de Santiago, competencia en la que clasificó hasta la fase nacional. Fue en esa instancia donde nació su determinación por seguir una carrera profesional ligada a la química, lo cual sumado a su amor por el medio ambiente lo llevó a decidirse por estudiar Química Ambiental. Si bien no es un camino fácil, sabe que es una puerta hacia una vida mejor tanto para él como para el medio ambiente y las personas que se vean afectadas por su labor.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, ustedes han sido un pilar fundamental a lo largo de toda mi vida, me inculcaron valores y me entregaron amor incondicionalmente, jamás podría haber llegado hasta acá sin ustedes.

A Damaris Basualdo, más que mi pareja eres mi compañera de vida, gracias por alentarme a seguir mis sueños y cumplir mis metas, tu apoyo ha sido fundamental en mi vida y siempre te lo agradeceré.

A mi director de seminario, Gustavo Salinas, agradezco su comprensión y apoyo a lo largo de este proceso, su guía ha sido esencial para la realización de este seminario.

A mi jefa de carrera, Cecilia Labbé, gracias por sus palabras y su honesta preocupación por cada alumno que necesita de su ayuda y guía.

A Guillermo Adrianzen, en ti he encontrado una hermandad y apoyo incondicional, espero algún día poder retribuir todo lo que has hecho por mí.

A Felipe Ulloa, gracias por enseñarme el valor de la perseverancia y demostrarme que las personas si son capaces de cambiar. Muchas gracias por darme tu amistad mi buen amigo.

A Marisol Aravena, gracias por tu ayuda y paciencia cada vez que necesité de tus consejos. Tus valores, dedicación y compromiso con tu trabajo son excepcionales y dignos de respeto.

INDICE DE CONTENIDOS

Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes Generales.....	1
1.1.1 Efectos Ambientales de la descarga de aguas servidas.....	1
1.1.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en Chile	2
1.1.3 Procesos involucrados en el tratamiento de las aguas servidas.....	3
1.1.3.1 Pretratamiento	4
1.1.3.2 Tratamiento Primario	5
1.1.3.3 Tratamiento Secundario.....	6
1.1.3.3.1 Lagunas.....	6
1.1.3.3.2 Sistema de Medio Fijo.....	8
1.1.3.3.3 Lombrifiltro.....	12
1.1.3.3.4 Lodos Activados.....	13
1.1.3.4 Tratamiento Terciario.....	15
1.1.3.4.1 Humedales Artificiales.....	15
1.1.3.4.2 Remocion de nutrientes.....	15
1.1.3.4.3 Desinfección.....	16
1.2 Antecedentes Especificos.....	18
1.2.1 Manejo de Sustancias Químicas peligrosas.....	18
1.2.2 Identificación de los Aspectos Ambientales Significativos.....	20
1.2.2.1 Criterios.....	21
1.2.3 Sistema de Gestión Ambiental.....	23
1.2.3.1 Norma ISO 14.001/04.....	24
1.2.3.2 Normativa Ambiental Aplicable a la PTAS.....	26
1.2.3.3 Planteamiento de los Objetivos y Metas del Sistema de Gestión Ambiental.....	28
1.2.3.4 Programa de Gestión Ambiental.....	28
1.2.4 Alcance del Seminario de Título.....	29
1.3. Objetivos.....	31
1.3.1 Objetivos Generales.....	31
1.3.2 Objetivos Específicos.....	31
II METODOLOGÍA.....	32

2.1 Identificación de Insumos Peligrosos en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.....	32
2.2 Identificación de los Aspectos Ambientales Significativos.....	33
2.3 Matriz de Significancia.....	34
2.4 Matriz de Requisitos Legales.....	35
2.5 Objetivos Ambientales.....	36
2.6 Programa de Gestión Ambiental	36
III. RESULTADOS.....	37
3.1 Identificación de insumos peligrosos.....	37
3.2 Aspectos Ambientales Significativos.....	41
3.3 Matriz de Requisitos Legales.....	48
3.4 Objetivos y Metas del SGA.....	50
3.4.1 Objetivos Ambientales (OA).....	50
3.4.2 Metas Ambientales (MA).....	50
3.5 Programa de Gestión Ambiental.....	51
V. DISCUSION.....	54
VI CONCLUSIONES.....	58
VII. BIBLIOGRAFIA.....	60
VIII. ANEXOS.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Normativa Ambiental Aplicable a la PTAS.....	26
Tabla 2.	Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en el proceso de tratamiento de las aguas en una PTAS, características y clasificación NFPA.....	37
Tabla 3.	Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en los análisis de laboratorio en una PTAS, características y clasificación NFPA.....	38
Tabla 4.	Matriz de Aspectos Ambientales Significativos.....	43
Tabla 5.	Matriz de Requisitos Legales.....	48
Tabla 6.	Programa de Gestión Ambiental 1.....	51
Tabla 7.	Programa de Gestión Ambiental 2.....	52
Tabla 8.	Programa de Gestión Ambiental 3.....	53
Tabla 9.	Escala valórica de inflamabilidad en la norma NFPA 704.....	74
Tabla 10.	Escala valórica de estabilidad en la norma NFPA 704.....	74
Tabla 11.	Escala valórica de riesgos para la salud en la norma NFPA 704.....	75
Tabla 12.	Abreviaciones de peligros específicos en la norma NFPA 704.....	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de funcionamiento de una laguna aireada.....	10
Figura 2.	Esquema de funcionamiento del sistema de Biodiscos.....	11
Figura 3.	Esquema de Funcionamiento de un sistema de Biofiltro.....	12
Figura 4.	Esquema de funcionamiento del sistema de lodos activados convencionales.....	14
Figura 5.	Procesos y principales riesgos en una PTAS.....	18
Figura 6.	Diamante de Materiales Peligrosos.....	73

RESUMEN

Este seminario consiste en la propuesta de un Programa de Gestión Ambiental (PGA) basado en los requisitos de la norma ISO 14.001/04 para el manejo y almacenamiento de insumos peligrosos utilizados en el proceso de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) “modelo”, la cual es capaz de tratar las aguas servidas de una población aproximada de 2 millones de habitantes con un caudal aproximado de 6,8 m³/s. Este modelo de PTAS cuenta con cuatro sistemas: pretratamiento; tratamiento primario; tratamiento secundario para digestión por lodos activados; y por último la desinfección como tratamiento terciario.

Esto con el objetivo de plantear una propuesta de elaboración de un Programa de Gestión Ambiental, el cual permita abordar en forma adecuada el uso y almacenamiento de los insumos peligrosos utilizados en las plantas de tratamiento de aguas servidas. Para ello se identificaron y clasificaron los insumos peligrosos utilizados en las plantas de tratamiento y se elaboró una Matriz de Aspectos Ambientales Significativos con la cual se identificaron aquellos aspectos con mayor riesgo ambiental.

En la Matriz de Aspectos Ambientales se analizaron 52 Aspectos Ambientales de los cuales 10 resultaron ser Medianamente Significativos, y 7 fueron Aspectos Altamente Significativos. Entre estos destaca el derrame de Clorito de Sodio debido al mal manejo por parte del personal y el derrame de Petróleo Diésel ya sea por mal manejo del personal ó por una falla en el contenedor.

En base a esto, los objetivos del PGA son el cumplimiento de la legislación ambiental aplicable a la PTAS, disminuir el número de incidentes provocados por falta de mantenimiento de la maquinaria utilizada (contenedores, válvulas, digestores, etc.) y disminuir el número de incidentes debido a un mal manejo de materiales peligrosos por parte del personal mediante programas de capacitación para este.

ABSTRACT

This seminar consist in the proposal of an environmental management program (EMP) based on the requirements of ISO 14.001/04 norm for the management and storage of hazardous inputs for a Wastewater Treatment Plant (WWTP) model, which is capable of treating wastewater from an approximate population of 2 million habitants with an approximate flow of 6,8 m³/s. This model of WWTP has four types of sewage treatment. These are pre-treatment; primary treatment, the secondary treatment used is digestion by the activated sludge and lastly the disinfection as a tertiary treatment.

This is done with the objective of making a proposal of an Environmental Management Program, which allows to adequately address the use and storage of hazardous inputs used in sewage treatment plants. To do this, the hazardous inputs used in the treatment plants will be identified and classified, and a matrix of significant environmental aspects will be generated to identify those with the highest environmental risk.

In the Matrix of Environmental Aspects we analyzed 52 Environmental Aspects of which 10 turned out to be Medium Significant, and 7 were Highly Significant Aspects. Among these highlights is the Sodium Chlorite spill due to mismanagement by personnel and the Diesel Oil spill both for the mismanagement of the personnel and by a failure in the container.

Based on this, the objectives of the EMP are to comply the applicable environmental legislation, reduce the number of incidents due to lack of maintenance of the machinery (containes, valves, digesters, etc.) used, and reduce the number of incidents due to mismanagement of hazardous materials by the personnel, through the implementation of training programs.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes Generales

1.1.1. Efectos ambientales de la descarga de aguas servidas.

Debido a la explosión demográfica de los últimos 50 años, la cantidad de ciudades y densidad demográfica, ha aumentado considerablemente. Esto sumado al creciente desarrollo tecnológico en pos del mejoramiento de la calidad de vida de la población, ha resultado en que la gran mayoría de las grandes urbes alrededor del mundo tengan cobertura completa de alcantarillado.

El uso de un sistema de alcantarillado facilita el acceso de la población al recurso hídrico, lo cual a su vez produce un incremento significativo en la generación de aguas residuales de origen doméstico.

En la década de 1980 los ingenieros y urbanistas enfocaban las planificaciones de las redes de alcantarillado en el control de inundaciones y el traslado del efluente hacia áreas rurales. Esto provocaba severos efectos negativos en el medioambiente tales como la erosión de los lechos de los ríos receptores, la muerte del ecosistema de los ríos, eutrofización acelerada de lagos y una disminución considerable en la calidad del agua de los cuerpos receptores (Taebi & Droste, 2004).

Por otro lado el hecho de que las aguas servidas fueran descargadas, a cuerpos de agua natural o artificial, sin un tratamiento previo, se generaban problemas sanitarios significativos en los sectores aledaños a los cauces contaminados. Estos problemas sanitarios latentes llevaron a que hace más de cien años atrás, a raíz del brote de

enfermedades provenientes del agua, como el cólera y la fiebre tifoidea, se construyera la primera planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) (Prasse y col., 2015).

1.1.2. Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en Chile

Las descargas de aguas servidas municipales e industriales han sido identificadas como una de las mayores fuentes de contaminación de los recursos hídricos en los países industrializados (Reemtsma y col., 2006). Esto, sumado al hecho que según la tasa de crecimiento de la población global predicha, y el constante aumento en el número de personas que tienen acceso a un sistema de alcantarillado (Prasse y col., 2015), implican una creciente producción de aguas servidas, las cuales en caso de no ser manejadas apropiadamente pueden llegar a causar problemas sanitarios y ambientales como los ya mencionados en los párrafos anteriores.

En Chile, al año 2017 existen 278 PTAS autorizadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, de las cuales el 11% aproximadamente se encuentra en la Región Metropolitana. De las 278 PTAS autorizadas un 59,4% utilizan un sistema de tratamiento principal basado en los lodos activados, a estas le siguen las plantas basadas en lagunas con un 23,4%, y los emisarios submarinos con un 11,5%. (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2017)

La cobertura de tratamiento de aguas servidas en Chile pasó de ser prácticamente cero en el año 1994, a un 66% a principios del año 2004 (Baraño y Tapia. 2004). El caudal de aguas servidas tratado en ese entonces era de aproximadamente 3,4 m³/s (Aguas Andinas S.A., 1998), Este avance en el saneamiento de aguas continúa aumentando día a día con proyectos como “100% de Saneamiento de la Cuenca de Santiago” el cual tiene como objetivo brindarle cobertura a la totalidad de las aguas

servidas domiciliarias producidas en la cuenca de Santiago, el cual fue completado con la inauguración de la PTAS “Mapocho” (más conocida como “Mapocho-El Trebal”) en el año 2012. (Aguas Andinas S.A., 2007)

Otro proyecto importante es “Mapocho urbano Limpio” el cual es parte del plan “100% de Saneamiento de la Cuenca de Santiago”, el cual consta de la desviación de 21 torrentes de aguas servidas, que eran descargados en el cauce del río Mapocho, hacia las PTAS “La Farfana” y “Mapocho-El Trebal”. (Aguas Andinas S.A., 2007)

1.1.3. Procesos involucrados en el tratamiento de las aguas servidas

Los diferentes tipos de tratamientos de aguas servidas requieren que el afluente posea ciertas condiciones fisicoquímicas, por otro lado la normativa ambiental exige ciertos niveles de estos parámetros en el efluente, que en Chile se encuentran establecidos en la NCh 1.333/87 referida a los requisitos de calidad de agua para diferentes usos, y la “Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales” del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (DS. 90/2000 MINSEGPRES).

Las condiciones fisicoquímicas referidas en estas normas son pH, Electroconductividad (EC), Ácidos volátiles, niveles de coliformes fecales, sólidos totales en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), cloro residual y metales pesados como el cobre, cadmio, arsénico, plomo, entre otros. Los contaminantes que contiene el afluente también influyen en estas características fisicoquímicas, por lo cual en algunos casos es necesario un monitoreo constante de estos parámetros. Es por esto que una PTAS puede contar con un laboratorio capaz de realizar los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las muestras tomadas tanto del afluente, el efluente o los reactores de digestión de lodos.

Sin perjuicio de lo anterior y debido a la complejidad y variedad en la composición de las aguas servidas de tipo domésticas, existen diferentes tipos de tecnologías por medio de las cuales las PTAS se encargan del tratamiento de estas aguas servidas, las cuales se determinan en base a la población que se pretende atender y el tipo de contaminantes que contiene el afluente.

1.1.3.1. Pretratamiento

Las aguas servidas que llegan a la planta suelen provenir de grandes cauces, o directamente del alcantarillado de la comunidad. Debido a esto es normal que el flujo de agua contenga arena, aceites, grasas, roedores y desechos sólidos de gran tamaño como maderas, fierros, colchones, entre otros.

Algunas plantas optan por introducir un tratamiento al afluente, previo a su ingreso a la PTAS, en el cual se retiran estos desechos sólidos de mayor tamaño y cualquier otro residuo u organismo que pueda significar un peligro para la integridad del sistema de tratamiento de aguas. La razón es que los plásticos, ramas y otros pueden tapan las tuberías o en el caso de las arenas, provocar la abrasión de estas y depositarse en los estanques sedimentadores.

El objetivo de un pretratamiento es acondicionar las aguas residuales para aumentar así la eficacia de los procesos posteriores, y a su vez evitar la erosión y taponamientos en la instalación. Para esto se utilizan rejas con tamices de uno o diferentes tamaños, desarenadores y/o desgrasadores.

1.1.3.2. Tratamiento Primario

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de la materia orgánica y sólidos suspendidos en el afluente a través de las tecnologías de flotación y sedimentación.

- **Flotación** es un proceso en el cual se introducen micro burbujas de aire en un estanque con agua residual o lodo. Al ascender las microburbujas, las partículas presentes en el líquido se adhieren a éstas, separándose y formando una capa flotante de material concentrado.
- **Sedimentación** consiste en transportar el afluente a estanques sedimentadores, en los cuales los sólidos suspendidos, se depositan en el fondo de estos. Este proceso se ve ampliamente favorecido si se realiza en conjunto los procesos de coagulación y floculación.
- **Coagulación y floculación de sólidos suspendidos** en el agua son procesos fisicoquímicos, que consisten en la adición de compuestos químicos que desestabilizan las partículas en suspensión presentes en las aguas servidas, formando coágulos o flóculos. Los coagulantes funcionan desestabilizando partículas con cargas similares para de esta manera formar coágulos y precipitar.

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en floculas de tamaño creciente hasta precipitar completamente, este proceso es complementario con la coagulación ya que aprovecha las partículas desestabilizadas por el coagulante que neutraliza las cargas electroestáticas, facilitando así la aglomeración con el floculante, que generalmente es un compuesto orgánico con la capacidad de aglutinar sólidos en suspensión,

siendo el Polímero de Acrilamida el más utilizado para el proceso de floculación (Sasia, 2010).

Este proceso es muy importante en el tratamiento de aguas servidas debido a que es aquí donde se reduce la cantidad de sólidos en suspensión de manera considerable, lo cual aumenta la eficiencia de procesos tales como sedimentación y digestión aeróbica de la materia orgánica presente en las aguas servidas.

1.1.3.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario es donde se procede a remover la **materia orgánica disuelta en el agua**. Es aquí donde se reduce significativamente el contenido biológico de las aguas residuales como lo son los coliformes fecales, residuos de alimentos, detergentes, entre otros. Debido a esto, el tratamiento secundario es visto muchas veces como el proceso principal de una PTAS.

El contenido biológico de las aguas es reducido utilizando organismos, los cuales son aplicados en reactores biológicos en condiciones determinadas por el tipo de tratamiento secundario que se aplique, así como también del tipo de organismo que se utilice.

En Chile las tecnologías usadas mayoritariamente son las lagunas, sistema de medio fijo, lombrifiltros y lodos activados (Baraño & Tapia, 2004)

1.1.3.3.1. Lagunas

Entre los sistemas de tratamiento secundario basados en lagunas se pueden identificar tres tipos, de estabilización, aeróbicas y aireadas.

- **Lagunas de estabilización** son sistemas de tratamiento biológico de líquidos residuales sencillos de operar y mantener. Consisten en estanques, generalmente excavados parcialmente en el terreno, con un área superficial y volumen suficientes para proveer los extensos tiempos de tratamiento (desde 1 hasta 6 meses) que requieren para degradar la materia orgánica mediante procesos de “autodepuración”.

En una laguna de estabilización la disponibilidad de oxígeno estará determinada por la acción fotosintética de las algas y la demanda de oxígeno del agua residual, esto hace posible distinguir tres capas en la laguna, dependiendo de la profundidad:

- Fase Aerobia (menor a 1,5 m de profundidad)
 - Fase Facultativa (1,5 m a 2,5 m de profundidad)
 - Fase Anaerobia (mayor a 2,5 m de profundidad)
- **Lagunas aeróbicas** suelen tener entre 30 y 60 cm de profundidad y se basan en la producción de oxígeno proveniente de las algas y la aireación natural de la superficie de la laguna. El diseño intencional de muy poca profundidad, tiene como objetivo que se produzca actividad fotosintética y biológica en toda la columna de agua. Una de las ventajas más importantes de este tipo de lagunas es su corto tiempo de retención que va desde los 5 días hasta 1 semana. Sin embargo, el problema de las lagunas aeróbicas es la generación de algas las cuales deben ser retiradas del efluente mediante filtración.
 - **Lagunas aireadas** operan con sistemas de aireación mecánica para lograr la oxigenación del agua, lo cual permite que la laguna pueda trabajar con una profundidad mayor que los otros dos sistemas de lagunas, pudiendo variar

entre 3 y 7 m de profundidad. En la Figura 1 se muestra un esquema del funcionamiento de una laguna de aireación. El efluente generalmente se somete a clarificación en lagunas de sedimentación antes de ser descargadas al cuerpo receptor (CONAMA, 2009). El tiempo de retención del afluente suele variar entre 1 a 3 semanas, tiempo significativamente mayor al de una laguna aeróbica

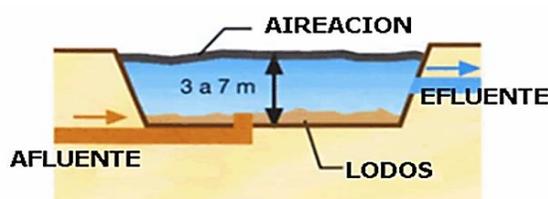


Figura 1. Esquema de funcionamiento de una Laguna Aireada (Perez & Camacho, 2011)

1.1.3.3.2. Sistemas de Medio Fijo

El sistema de medio fijo consiste en un soporte sólido sobre el cual se desarrolla una población microbiológica que se encargará de consumir la materia orgánica presente en el agua, para esto se realiza la aspersion del agua procurando maximizar el contacto de esta con la superficie del soporte de la forma más uniforme posible. Los sistemas de medio fijo más comunes son los Biofiltros y los Biodiscos (Baraño & Tapia, 2004).

- **Sistema de Biodiscos** consiste en una serie de discos unidos a un torno giratorio, los cuales deben estar medianamente sumergidos. Estos discos contienen una capa de microorganismos en su superficie, de manera que en la medida que el torno gire, las bacterias adheridas a la superficie del disco se vean expuestas tanto a las aguas contaminadas como al aire, permitiendo una continua oxigenación del medio microbiano. La velocidad de giro de los discos

varía entre 1 y 7 rpm, y el tanque contenedor debe tener un ajuste estrecho entre ellos, de manera que sumado al giro de los discos se produzca un alto grado de contacto hidráulico, aumentando así la eficiencia del sistema.

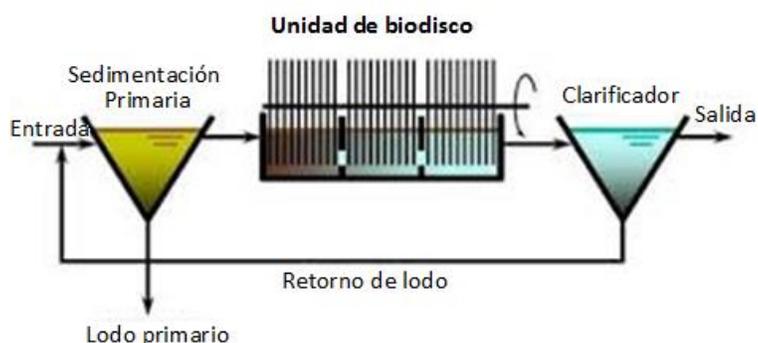


Figura 2. Esquema de funcionamiento del sistema de Biodiscos (Von Sperling, 1995)

- **Sistema de Biofiltros** consiste en un soporte sólido inmóvil, el cual en su superficie contiene una capa microbiana, por la cual fluye el agua contaminada. Estos soportes son construidos de algún material inerte como concreto o plástico, dependiendo del volumen del contenedor y la carga física que deban resistir.

Las placas de soporte se distribuyen en el contenedor de manera similar a los Biodiscos, solo que con mayor distancia entre ellos, de esta forma se favorece la oxigenación del medio. Una parte esencial de este sistema es la distribución del agua residual, la cual debe realizarse continua y uniformemente, de lo contrario el sistema comenzará a presentar fallas en las secciones con deficiencia de nutrientes. Para esto existen aspersores fijos y rotatorios, los cuales se sitúan en la parte superior del contenedor

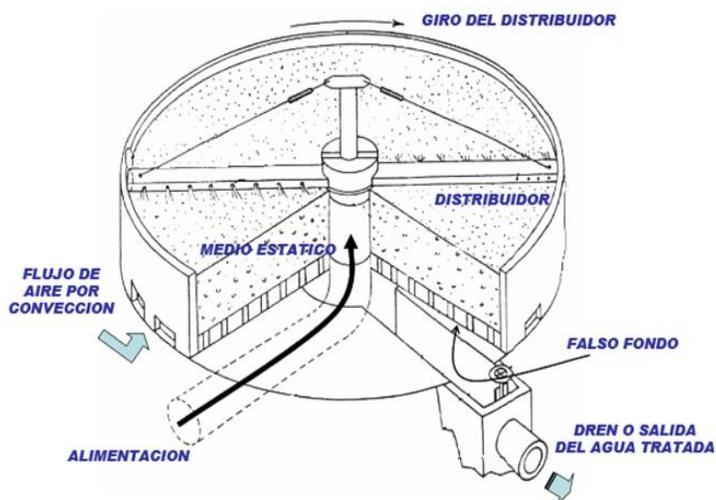


Figura 3. Esquema de funcionamiento de un sistema de Biofiltro (Ramalho 2006).

1.1.3.3.3. Lombrifiltro

El sistema de Lombrifiltro consiste en un arreglo de tamices el cual tiene como función retener el material grueso, una trituradora para este material y un sistema de aspersores de aguas servidas sobre el lecho del contenedor.

El lecho es la parte principal de este sistema y está formado por 3 capas. La primera capa es de grava, la cual cumple la función de soporte del lecho, la segunda capa está compuesta de viruta, la cual funciona como sustrato del lecho y por último la capa superior de tierra la cual contiene las lombrices.

Las lombrices *Eisenia foetida* (comúnmente conocida como Roja Californiana), han demostrado dar buenos resultados debido a varios factores, entre los cuales se encuentran su alta resistencia a cambios de temperatura y pH (rango funcionamiento 5-8), alta tolerancia a aceptar aglomeración, y alta capacidad reproductiva. (Albornoz, 2011)

Luego de ser distribuida, el agua se filtra a través de los estratos del lecho, proceso en el cual la materia orgánica del agua queda retenida en los estratos superiores donde finalmente es degradada por las lombrices del sistema. El tiempo de retención aproximado para un lecho de 1m de profundidad es de 40 minutos (Miranda, 2005). Luego de esto el efluente debe ser sometido a un proceso de desinfección.

Los Lombrifiltros pueden ser considerados como el único sistema de tratamiento de riles y aguas servidas que proporciona un ingreso, esto se debe a la generación de lombrices, humus y agua, los cuales tienen un valor en el mercado. (CONAMA, 2011)

1.1.3.3.4. Lodos Activados

La tecnología de lodos activados es una de las más difundidas y estudiadas a nivel mundial, en Chile aproximadamente el 60% de las PTAS autorizadas por la SISS utiliza este tipo de tecnología para el tratamiento de sus aguas servidas (SISS, 2015).

El sistema de lodos activados consiste en la mezcla de las aguas servidas con lodo biológico el cual contiene microorganismos en un reactor, a esta mezcla se le aplica aireación natural o mecánica dependiendo del tipo de tecnología que se disponga.

Un **sistema convencional** de lodos activados comúnmente incluye un tanque de aireación y un clarificador secundario. El lodo obtenido en el clarificador secundario es constantemente recirculado al tanque de aireación.

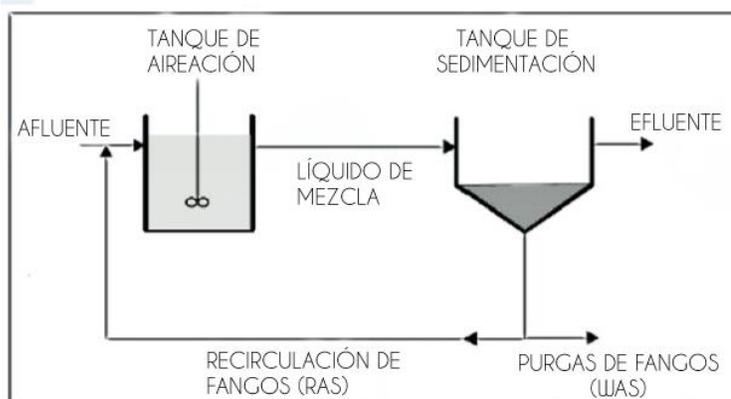


Figura 4. Esquema de funcionamiento del sistema de lodos activados convencionales (Ingeniería y Servicios Ambientales, 2016)

El **sistema de Reactores Biológicos Secuenciales** (SBR por sus siglas en inglés) es una variación optimizada de la tecnología de lodos activados convencionales. Esto se debe a que el principio de acción es el mismo, sin embargo el sistema SBR combina en un mismo tanque la reacción, aireación y clarificación de las aguas servidas (CONAMA, 2011). Esta tecnología es capaz de tolerar variaciones de carga y caudal, lo cual genera como producto lodos estabilizados.

Otra aplicación del sistema de lodos activados es el de **zanjas de oxidación**, que a diferencia de los lodos activados convencionales no contempla un sedimentador primario, en cambio el agua servida entra directamente a las zanjas de oxidación pasando primero por tamices que retiran los residuos sólidos de mayor tamaño. (Rojas, 2012)

En este caso el contenedor es ovalado y forma un circuito cerrado donde el agua es mezclada con el lodo a través del sistema mecánico de aireación, el cual a la vez

cumple la función de mantener en movimiento la mezcla a una velocidad constante para evitar la sedimentación de los lodos.

1.1.3.4. Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario es la etapa final en el tratamiento de aguas servidas. Su objetivo es mejorar la calidad del agua generalmente enfocada a la remoción de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) y desinfección de las aguas servidas, los cuales en muchos casos se aplican únicamente para dar cumplimiento a las normas de descargas de efluentes. Dentro de los sistemas de tratamiento terciario destacan los humedales artificiales, remoción de nutrientes y la desinfección.

1.1.3.4.1. Humedales Artificiales

Los humedales son sistemas complejos que son formados por vegetación sumergida, flotante y emergente, también zonas con nivel freático cercano a la superficie donde el suelo se mantiene saturado por agua durante periodos de tiempo considerables. (Cano, 2003)

El ecosistema que conforma los humedales tiene un gran potencial depurador, siendo este potencial el reproducido en la construcción de humedales artificiales, los cuales se llevan a cabo mediante una excavación en el terreno, una impermeabilización, un relleno (grava) y alguna especie de planta acuática. (Sanz y col., 2009)

1.1.3.4.2. Remoción de Nutrientes

La remoción de nutrientes se enfoca básicamente en la reducción, o en lo posible, la eliminación, de los niveles de Nitrógeno y Fósforo en las aguas residuales. En Chile

este tratamiento se lleva a cabo mayoritariamente a través de la remoción biológica. (Barañaño & Tapia, 2004)

La **remoción biológica del Nitrógeno** es realizada por bacterias que oxidan el amoníaco en nitratos, para luego ser reducido en nitrógeno gaseoso en el proceso de desnitrificación, el cual es liberado a la atmósfera.

En el caso de la **remoción del Fósforo**, esta puede realizarse de forma biológica o química. La remoción biológica se lleva a cabo por bacterias acumuladoras de polifosfatos, las cuales asimilan grandes cantidades de Fósforo en su biomasa, alcanzando propiedades fertilizantes importantes. Por otro lado la remoción química se realiza precipitando el Fósforo con sales de Hierro o Aluminio, como el Cloruro Férrico o el Cloruro de Aluminio.

1.1.3.4.3. Desinfección

El proceso de desinfección es esencial en la gran mayoría de las PTAS, debido a que luego del tratamiento secundario el nivel de microorganismos presentes en el agua es considerable.

En la NCh3218/09 se definen tres métodos de eliminación de microorganismos en el agua, la Radiación UV, la Ozonización y la Cloración.

- **Radiación UV** consiste en exponer el agua residual a la dosis de radiación necesaria para obtener los niveles esperados, esta puede variar dependiendo de las características de las aguas servidas tratadas y la normativa de descarga de efluentes aplicable. Este proceso se realiza con lámparas UV en reactores especialmente acondicionados para este proceso.

- **Ozonización** se lleva a cabo generando el ozono *in situ* debido a su alta reactividad, toxicidad y potencial corrosivo. El ozono es mezclado con el efluente en un contactor. Luego de realizada la mezcla, esta debe entrar a un reactor para finalizar las reacciones de desinfección, sin embargo este reactor puede estar integrado al contactor para aumentar la eficiencia de este proceso. Finalmente, el ozono residual debe ser eliminado en su totalidad debido al riesgo que supone tener altas concentraciones de ozono en un efluente.
- **Cloración** es el sistema de desinfección más comúnmente usado en las PTAS. Puede ser realizado con diferentes tipos de compuestos clorados, entre los cuales los más utilizados son el Hipoclorito de Sodio, el Cloro gaseoso y el Dióxido de Cloro (NCh 3218/09, 2009).

La cloración con Hipoclorito de Sodio se realiza dosificando el Hipoclorito en bombas de desplazamiento positivo, y se debe mantener almacenado a temperaturas relativamente bajas para minimizar la pérdida de potencial desinfectante por almacenamiento.

El Cloro gaseoso es un gas altamente tóxico y volátil, se debe mantener almacenado en contenedores presurizados. Este se mezcla con parte del afluente mediante sistemas de inyección de presión negativa, la cual luego es devuelta al flujo principal de agua. El potencial desinfectante del Cloro gaseoso es muy alto por lo cual se deben monitorear constantemente los niveles de cloro residual en el agua.

Por último el Dióxido de Cloro es un potente desinfectante, sin embargo al ser un gas explosivo y altamente tóxico se debe generar *in situ* a partir de una solución de Clorito Sódico. Al contrario del Cloro gaseoso, el Dióxido de Cloro no reacciona con el

amoníaco para formar Cloraminas. El sistema de dosificación es muy similar al del Cloro gaseoso, sin embargo la mezcla debe ser más rápida.

El esquema de la Figura 5 muestra un diagrama resumido de los procesos de una PTAS y sus principales riesgos, en Anexo I adjunto a este seminario se entrega información más detallada acerca de estos procesos.

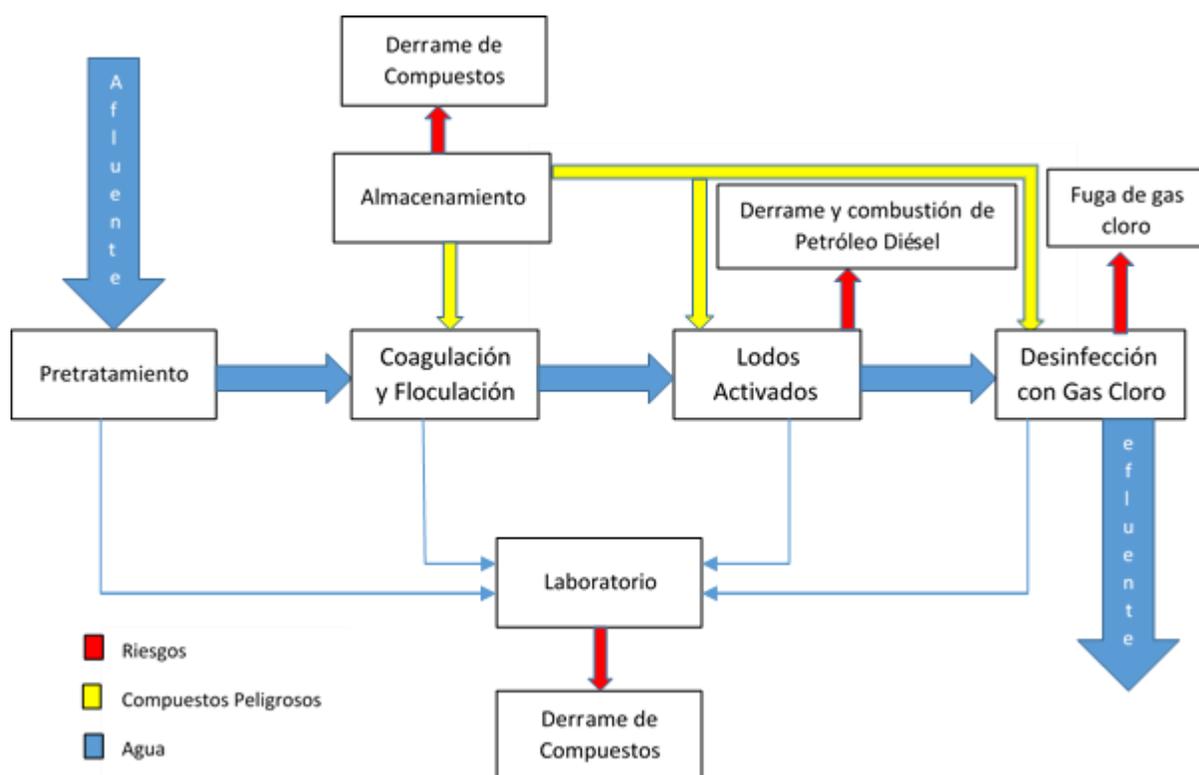


Figura 5. Procesos y principales riesgos en una PTAS. Fuente: Elaboración propia.

1.2. Antecedentes Específicos

1.2.1. Manejo de sustancias químicas peligrosas

En base a los antecedentes anteriores, una PTAS puede llegar a manejar una cantidad considerable de compuestos químicos de alta peligrosidad, tanto para la salud

de las personas como los recursos naturales. Por ejemplo según los datos entregados por Aguas Andinas S.A., una PTAS que utilice el método de desinfección por cloro gaseoso y se encargue de tratar las aguas servidas de una población de 2 millones de habitantes, necesita aproximadamente 10Ton de gas cloro por día, lo cual se traduce en un total de 70Ton de gas cloro por semana. (Aguas Andinas S.A., 1998)

En Chile, la clasificación de los materiales según su peligrosidad está establecida en la NCh382/04 "Sustancias Peligrosas - Clasificación General". El organismo encargado del estudio y preparación de las normas técnicas en Chile es el Instituto Nacional de Normalización (INN), el cual representa a Chile ante la Organización Internacional de Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) y la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT).

La NCh382/04 establece nueve clases de sustancias peligrosas de acuerdo al riesgo inherente o más significativo que representen.

- Explosivos
- Gases
- Líquidos Inflamables
- Sólidos Inflamables
- Sustancias Comburentes y Peróxidos Orgánicos
- Sustancias Tóxicas y Sustancias Infecciosas
- Sustancias Radiactivas
- Sustancias Corrosivas
- Sustancias y Objetos Peligrosos Varios

Internacionalmente existe una gran cantidad de normas de clasificación y etiquetado de sustancias peligrosas, siendo una de las más utilizadas la norma propuesta por la Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego (NFPA, por sus siglas en inglés), la NFPA 704, más conocida como el “Diamante de Materiales Peligrosos”. (Ver Anexo II de este seminario)

El manejo de estas sustancias peligrosas conlleva un riesgo latente de generar impactos negativos tanto al medioambiente como a comunidades cercanas, pudiendo incluso causar daños irreparables. Es por esto que una política interna enfocada en la prevención de incidentes, como la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), es una forma eficaz de manejar este tipo de riesgos.

1.2.2. Identificación de los Aspectos Ambientales Significativos

Toda actividad de origen antropogénico tiene inevitablemente una interacción con el medioambiente la cual genera como consecuencia una repercusión sobre este. Esta repercusión genera efectos conocidos como Impacto Ambiental, el cual puede ser tanto positivo como negativo. Si el impacto generado es significativo, el elemento perteneciente a la actividad que lo genera se denomina Aspecto Ambiental Significativo. (Subsecretaría de políticas y planes ambientales, 2013)

En base a esto, los aspectos ambientales se evalúan tomando en cuenta la importancia del impacto ambiental que provocan, a través del análisis cuantitativo usando criterios en una escala numérica. Estos criterios pueden evaluar la naturaleza del impacto, si es un impacto negativo o positivo, como también la duración, área de influencia, magnitud del impacto, etc. (Conesa Fernández-Vítora, 1993)

1.2.2.1. Criterios

Probabilidad

Este criterio evalúa la probabilidad de ocurrencia del impacto ambiental, basado en el tipo de proceso, condiciones de funcionamiento e intervención humana. (Subsecretaria de políticas y planes ambientales, 2013)

- **Bajo (1):** Condiciones de funcionamiento normalmente seguras, solo una acción inusual o condiciones anormales pueden provocar un impacto ambiental.
- **Medio (5):** Cuando la probabilidad de ocurrencia aumenta debido a la deficiencia en la capacitación del personal, ausencia de monitoreo de los procesos y alarma temprana o se tiene registro de la ocurrencia del impacto con anterioridad.
- **Alto (10):** esta condición se aplica cuando el impacto se produce en condiciones normales de funcionamiento, y solo es interrumpido por anomalías en la realización de la actividad o proceso.

Magnitud

Este criterio se refiere a la dimensión o intensidad del cambio ambiental producido por la actividad o proceso evaluado. (Empresa de Energía de Bogotá S.A., 2013)

- **Bajo (1):** Alteración mínima del componente ambiental. No existe ningún potencial de riesgo sobre el medio ambiente.
- **Medio (5):** Alteración moderada del componente ambiental. Tiene un potencial de riesgo medio e impactos limitados sobre el medio ambiente.

- **Alto (10):** Alteración grave o destrucción del componente ambiental. Tiene efectos importantes sobre el medioambiente, y las partes interesadas manifiestan objeciones y exigencias.

Duración

Este criterio evalúa el periodo de tiempo en que el impacto ambiental y sus consecuencias permanecen activos. (Espinoza, 2002)

- **Bajo (1):** La alteración tiene un periodo de permanencia menor a 1 día, es más bien fugaz y no representa un potencial de riesgo sobre el medioambiente.
- **Medio (5):** La alteración perdura entre 1 y 7 días en el medioambiente, pero no permanece. Representa un factor de riesgo moderado.
- **Alto (10):** La alteración permanece un periodo mayor a 7 días, en cuyo caso se considera una alteración duradera y provoca impactos importantes en el medioambiente.

Área de Influencia

Este criterio alude al área del entorno que resulta afectada por la manifestación del impacto ambiental. (Subsecretaría de políticas y planes ambientales, 2013)

- **Bajo (1):** El impacto queda confinado en el espacio en que se genera. Impacto puntual.
- **Medio (5):** El impacto trasciende los límites del área en la cual se genera pero acotado a los límites de PTAS. Impacto local.
- **Alto (10):** El impacto trasciende los límites de las instalaciones de la PTAS.

1.2.3. Sistema de Gestión Ambiental

Un SGA es un proceso permanente y continuo creado con el objetivo de planear, implementar, revisar y mejorar la aplicación de políticas destinadas a la protección del medioambiente.

La finalidad principal de un SGA es determinar qué elementos deben considerar las empresas en materia de protección ambiental, para asegurar que en el desarrollo de sus actividades se tiene en cuenta la prevención y la minimización de los efectos sobre el entorno.

Existen normas voluntarias que dictan requisitos mínimos en la implementación de un SGA, las cuales sirven para acreditar el compromiso de la organización con el cuidado del medioambiente y la mejora continua a través de auditorías a las actividades realizadas. Estas normas son la ISO 14.001 elaborada por la Organización Internacional de Estandarización, el Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría (EMAS por sus siglas en inglés) (Commission's DG Environment, 2018) de la Unión Europea y RESPONSIBLE CARE (Chemistry Industry Association of Canada, 2018) administrada por el Consejo Internacional de Asociaciones Químicas.

Un factor determinante en la implementación de un SGA es el grado de compromiso de las personas involucradas en el sistema. Esto quiere decir que es necesaria la participación activa tanto de la gerencia, como de los jefes de área y personal de planta, ya que son estos los encargados de velar por el cumplimiento de las metas estipuladas en el SGA.

Un SGA que no cuente con el compromiso de la gerencia, debido a la escasa flexibilidad de la empresa, ante el cambio o la renuencia a disponer de los medios

financieros necesarios para la implementación del sistema, es muy probable que fracase o que al menos no se logre aplicar en su totalidad debido a obstáculos administrativos. (Asociación de Constructores y Promotores de Bizkaia, 2008)

Por otro lado el compromiso de las distintas áreas involucradas es esencial en todo el proceso ya que son los jefes de área y el personal de planta los encargados de poner en práctica los planes elaborados en el Programa de Gestión Ambiental. De esta forma un plan que sea puesto en marcha por personal que no esté interesado en el éxito de la implementación del SGA, no será cumplido en su totalidad, lo cual puede incluso causar que las metas propuestas no puedan ser cumplidas dentro del plazo estipulado.

1.2.3.1. Norma ISO 14.001/04

La norma ISO 14.001/04 es un estándar internacional desarrollado por la Organización Internacional de Estandarización, con el objetivo de entregar a las organizaciones los recursos necesarios para desarrollar e implementar una política y objetivos que tengan en cuenta los requisitos legales, y la información sobre los aspectos ambientales significativos generados por la actividad realizada (ISO 14.001/04, 2004).

En la actualidad toda empresa que busque competitividad en el ámbito internacional debería tomar en cuenta esta norma, pues provee de estándares internacionales de responsabilidad con el medioambiente y asegura una preocupación, por la calidad de sus procesos productivos. Es por esto que la norma ISO 14.001/04 se aplica a la empresa y no directamente al producto que produce.

La implementación de una norma ISO 14.001/04 demuestra el compromiso de una empresa con el medioambiente y el desarrollo sustentable, y a su vez esta certificación proporciona otros beneficios a la empresa tales como:

- Mejora la imagen corporativa de la empresa y la de sus clientes al proyectar una preocupación por la calidad de sus procesos de producción.
- Manejo más eficiente de los recursos tales como la energía y el agua. También incluye el manejo de los residuos generados. Esto produce un ahorro en los costos de operación y mejora la competitividad de la empresa en el mercado.
- Asegura el respeto de los requisitos legales, lo cual reduce el riesgo de infracciones y posibles demandas a la empresa.

La norma ISO 14.001/04 incluye los **requisitos legales** con el objetivo que cada organización identifique, incorpore e implemente, en caso de ser pertinente, las obligaciones legales relacionadas a la normativa ambiental vigente aplicable a sus actividades y/o aspectos ambientales, entre otros. (Ministerio de Fomento, España, 2005).

Los requisitos legales indican las condiciones necesarias específicas que debe reunir una actividad determinada para cumplir con los postulados concretos que se estipulan en la legislación ambiental aplicable al caso. (Instituto Tecnológico Superior de Guasave, 2012).

A fines del año 2015 la ISO presentó una nueva versión de la norma ISO 14.001, la cual contiene numerosos cambios con respecto a la versión del 2004 que es la versión que se utilizó para estructurar este seminario.

Sin embargo, partes importantes de la versión anterior de la norma (ISO14.001/04) utilizados como base fundamental de este seminario, como los Aspectos Ambientales, Requisitos Legales, Objetivos, Metas y Programa de Gestión Ambiental, no presentan cambios sustanciales que pudieran modificar o invalidar lo aquí

presentado. Por otra parte el SGA al ser implementado en una PTAS teórica (Ver punto II de este seminario) no posee un contexto interno o externo que pudiese afectar en la aplicación de este, por lo cual no se consideró necesario el cambio a la nueva normativa

1.2.3.2. Normativa Ambiental Aplicable a la PTAS

La puesta en marcha de una PTAS, con las características estudiadas en este seminario (ver sección II de este seminario), puede implicar impactos significativos tanto para el medioambiente como para las comunidades cercanas. Es por esto que existe una amplia gama de normativas aplicables a éstas, de las cuales no todas se relacionan directamente con el objetivo de este seminario, sin embargo cabe mencionarlas debido a su importancia en el ámbito de la Legislación Ambiental. Estas se encuentran incluidas en la Tabla 1 que contiene la Normativa Ambiental Aplicable a la PTAS modelo, esta tabla se elaboró mediante la recopilación de información de la legislación ambiental aplicable declarada en Estudios y Declaraciones de Impacto ambiental, disponibles en el portal de e-SEIA de proyectos con características similares al de la PTAS estudiada en este seminario.

Tabla 1: Normativa Ambiental Aplicable a la PTAS.

Normativa	Organismo	Relación
Constitución Política de la República de Chile (Aguas Andinas S.A., 2007)	Ministerio Secretaría General De La Presidencia	La constitución asegura a todas las personas en el artículo 19, N°8 "El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación (...)". Derecho el cual puede ser vulnerado por el funcionamiento de la PTAS.
DS N°46 de 2003 Establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas	Ministerio Secretaría General De La Presidencia	El efluente descargado desde la PTAS puede afectar a cuerpos de agua subterráneos, dependiendo del lugar y la infraestructura de la PTAS en cuestión.

Tabla 1: Normativa Ambiental Aplicable a la PTAS. (Continuación)

Normativa	Organismo	Relación
DS N°78 de 2009 Aprueba reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas.	Ministerio de Salud; Subsecretaría de Salud Pública	El modelo de PTAS estudiado cuenta con laboratorio interno, el cual cuenta con una amplia gama de compuestos peligrosos. Los cuales al igual que el cloro gaseoso y el petróleo diésel son almacenados dentro de las instalaciones de la PTAS.
DS N°90 de 2001 Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.	Ministerio Secretaría General De La Presidencia	El efluente descargado desde la PTAS puede afectar a cuerpos de agua marinos o continentales superficiales, dependiendo del lugar y la infraestructura de la PTAS en cuestión.
DS N°148 Aprueba reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.	Ministerio de Salud	El laboratorio ubicado dentro de las instalaciones de la PTAS es una fuente importante de residuos peligrosos
DS N°160 de 2008 Aprueba reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos.	Ministerio de Economía, Fomento y Turismo	La PTAS almacenará una cantidad considerable de petróleo diésel para las calderas del sistema calefactor de la fase de digestión anaeróbica.
Ley N°20.417 de 2010 que modifica la Ley N°19.300 de 1994 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente.	Ministerio Secretaría General De La Presidencia	Las PTAS se encuentran señaladas por el artículo 10, letra "o", de la Ley 19.300, como una actividad susceptible a causar impacto ambiental.
Ley N°20.308 de 2008 que modifica la Ley N° 3.557 de 1980, sobre protección Agrícola (Ilustre Municipalidad de San Vicente de Tagua Tagua, 2011).	Ministerio de Agricultura	Dado la PTAS manejará máquinas y otros materiales que provendrán en embalajes u otros medios, todos estos y otros medios que eventualmente pudiesen afectar la actividad agrícola deben ser objeto de medidas de control.

Tabla 1: Normativa Ambiental Aplicable a la PTAS. (Continuación)

Normativa	Organismo	Relación
DS N°601 de 2004 que modifica al DS N°609 de 1998 que Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado. (EMOS S.A., 2000)	Ministerio de Obras Públicas	El afluente de la planta de tratamiento está constituido por aguas servidas que pueden contener residuos industriales líquidos que si no son controlados a través de esta norma, pueden dañar el sistema de tratamiento de la planta. Además, algunos de los efluentes del laboratorio de la planta pueden tener características similares a los residuos industriales líquidos.

1.2.3.3. Planteamiento de los Objetivos y Metas del Sistema de Gestión Ambiental

Los objetivos y metas de un SGA son los fines generales que busca alcanzar la organización a través de la implementación de este sistema, los cuales buscan mejorar las condiciones medioambientales de la actividad realizada. (Mateus & Vivian, 2011)

Los objetivos deben estar claramente definidos y es necesario contar con los recursos, humanos y financieros, necesarios y adecuados para el cumplimiento de estos objetivos.

Por su parte las metas se establecen con el fin de alcanzar los objetivos ambientales planteados. Estas deben ser cuantificables y determinar un plazo en el cual deben ser implementadas.

1.2.3.4. Programa de Gestión Ambiental

El programa de gestión ambiental es el documento que compila las actividades, medidas, responsabilidades y plazos para cumplir las metas ambientales propuestas para el SGA (Universidad de las Fuerzas Armadas, 2007). Cabe destacar que con el

cumplimiento de las metas se está alcanzando los Objetivos Ambientales definidos en el capítulo 4.3.1. de este seminario.

La puesta en marcha de un Programa de Gestión Ambiental requiere del compromiso y participación de todo el personal involucrado en el proceso o actividad sobre el cual está desarrollado el programa, especialmente del personal administrativo (Rueda de la Puerta, 2015). Sin embargo las nuevas responsabilidades provenientes de la implementación del SGA no implican una dedicación exclusiva a estas, por lo cual no siempre es necesario un aumento de personal para llevar a cabo el Programa de Gestión Ambiental. (García B., 2012)

El programa debe definir para cada objetivo y meta (Rueda de la Puerta, 2015):

- Los responsables.
- Los plazos de ejecución.
- Las áreas afectadas.

1.2.4. Alcance del Seminario de Título

En base a los antecedentes presentados, este Seminario de Título propone la elaboración de un sistema de gestión ambiental basado en la norma internacional ISO 14.001, con el fin de generar el Programa de Gestión Ambiental (a partir de los aspectos-impactos ambientales significativos) que permita abordar en forma adecuada el uso y almacenamiento de los insumos peligrosos utilizados en las plantas de tratamiento de aguas servidas. Para ello se identificará y clasificará los insumos peligrosos utilizados en una planta de tratamiento “modelo”, y se generará una matriz de aspectos ambientales significativos para identificar aquellos con mayor riesgo ambiental.

Sobre estas bases, se definirá los objetivos y metas a cumplir mediante protocolos de trabajo, control operacional, y otros elementos de un Sistema de Gestión Ambiental. Esto permitirá generar un programa de manejo, uso y almacenamiento de los insumos peligrosos al interior de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- ❖ Proponer un programa de gestión ambiental basado en la norma ISO 14.001/04 para el manejo y almacenamiento de insumos peligrosos para plantas de tratamiento de aguas servidas

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar y clasificar de acuerdo a la normativa la peligrosidad de los insumos utilizados y almacenados en una PTAS.
- Identificar los Aspectos-Impactos Ambientales Significativos generados en el manejo y almacenamiento de insumos peligrosos asociados a una PTAS según la norma ISO 14.001/04.
- Establecer la Matriz de Requisitos Legales en base a los requisitos de la norma ISO 14.001/04 utilizando la normativa ambiental aplicable a identificada
- Proponer- los objetivos y metas del Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14.001/04.
- Proponer un Programa de Gestión Ambiental de acuerdo a los requisitos de la norma ISO 14.001/04.

II. METODOLOGÍA

El modelo de PTAS que será utilizado, para efectos de este Seminario, es una planta capaz de tratar las aguas servidas de una población aproximada de 2 millones de habitantes con un caudal aproximado de 6,8 m³/s (Aguas Andinas S.A., 1998), ya que para una población menor se puede optar por métodos menos riesgosos, como sistemas de medio fijo o lagunas, por otro lado una planta de menor envergadura no justifica la implementación de un laboratorio propio ya que elevaría los costos operacionales.

El modelo de PTAS propuesto cuenta con cuatro tipos de tratamientos. Un pretratamiento, tratamiento primario, secundario, y terciario. El pretratamiento se detalla en la sección 1.1.3.1. El tratamiento primario utiliza métodos de coagulación y floculación (ver detalle en la sección 1.1.3.2), el tratamiento secundario se realiza mediante digestión por lodos activados (ver detalle en la sección 1.1.3.3) y por último el tratamiento terciario consiste en la desinfección con cloro gaseoso (ver detalle en la sección 1.1.3.4).

Adicionalmente, la “PTAS tipo” cuenta con un laboratorio interno en el cual se analizan muestras de agua periódicamente, con el objetivo de controlar los parámetros regulados por la legislación aplicable en Chile. En este laboratorio se realizan los test de recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA por sus siglas en inglés) mencionados en la sección I.2 del Anexo I, adjunto a este Seminario.

2.1 Identificación de Insumos Peligrosos en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

En base a los procesos, tipos de tratamientos y análisis de laboratorio que se aplican a las aguas servidas, mencionados en la sección de antecedentes de este

seminario (sección 1.1.3), los reactivos involucrados se clasificaron de acuerdo a sus características físicas, toxicológicas y peligrosidad de acuerdo a la clasificación NFPA.

Los análisis recomendados por la US EPA son el de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto, Cloro Residual, Ácidos Volátiles, Fósforo Total y Nitrógeno Total. (US EPA, 1978) El procedimiento de los análisis anteriormente nombrados se encuentra explicado de forma ilustrativa en el Anexo 1, adjunto a este Seminario.

En la identificación de insumos peligrosos se realizó una clasificación de la peligrosidad de estos en base a la norma internacional NFPA 704. Esta califica la peligrosidad en 5 niveles en una escala numérica que va desde el cero al cuatro. Con el objetivo de acotar el análisis de los aspectos ambientales significativos asociados a estos compuestos, para efectos de este Seminario solo se tomarán en cuenta aquellos compuestos que hayan sido calificados con un valor de peligrosidad igual o mayor a 2 en al menos una de las categorías, descontando los peligros especiales, los cuales no se rigen por esta escala numérica. De esta forma en la matriz se analizarán aquellos que se definen como un Aspecto Ambiental Significativo.

La metodología utilizada para la evaluación de los Aspecto Ambiental Significativo se encuentra detallada en el Anexo III, adjunto a este seminario.

2.2. Identificación de los Aspectos Ambientales Significativos

La evaluación de los criterios seleccionados se realizó en base a una búsqueda bibliográfica de eventos ocurridos con anterioridad en otras PTAS u otras industrias que cuenten con condiciones similares a las presentes en una PTAS con laboratorio interno. En caso de no encontrar referencias provenientes de fuentes confiables de información

se procederá a analizar los posibles impactos, en base a la naturaleza de los compuestos involucrados y su peligrosidad de acuerdo a la norma NFPA 704.

Los criterios utilizados para evaluar la significancia de los aspectos ambientales identificados son la probabilidad de ocurrencia, la magnitud, duración y área de influencia del impacto. Estos criterios serán clasificados en 3 categorías: bajo, medio y alto, los cuales tendrán 1, 5 y 10 puntos respectivamente.

Luego de definir y cuantificar cada uno de los criterios, se sumarán los puntajes obtenidos por cada aspecto evaluado. Si esta suma se encuentra entre 4 (puntuación mínima) y 14 puntos, este aspecto se considerará no significativo, si el valor se encuentra entre 15 y 25 este se considerará un aspecto ambiental medianamente significativo, y en el caso que el valor se encuentre entre 26 y 40 (puntuación máxima) el aspecto evaluado se considerará altamente significativo. (Universidad Industrial de Santander, 2011).

Para este análisis no se utilizará el criterio de “Naturaleza del Impacto Ambiental”, ya que todos los Aspectos Ambientales que serán analizados se relacionan con compuestos peligrosos. Debido a esto la naturaleza de los posibles impactos es en todos los casos negativa, y el uso de dicho criterio irrelevante.

2.3. Matriz de Significancia

En esta Matriz de Aspectos Ambientales Significativos se analizan los aspectos ambientales generados en la “PTAS tipo” estudiada en base a los compuestos peligrosos previamente identificados. De esta forma en las primeras dos columnas se muestra el proceso involucrado y la actividad que genera dicho aspecto ambiental, ya sea proveniente del tratamiento de aguas servidas o de los análisis de laboratorio.

En la tercera columna se muestra el aspecto ambiental y en la cuarta columna el contexto en el cual este se puede producir. Por ejemplo, el aspecto ambiental “derrame de Aluminato Sódico” puede ocurrir debido a un “mal manejo por parte del personal” o por “fallas en el contenedor”.

Por otro lado, en base a las propiedades fisicoquímicas de los compuestos, y dependiendo del proceso en el cual se utilice dicho compuesto, se determinó posibles impactos ambientales negativos que estos pueden causar y el recurso natural que sería afectado en caso de producirse este impacto ambiental.

Por último en la matriz se evalúan los cuatro criterios anteriormente mencionados, probabilidad, magnitud, duración y área de influencia, a estos se les asigna un valor numérico individual para cada aspecto en la matriz. Estos valores son sumados en la siguiente columna, seguidos por la calificación del grado de significancia de cada aspecto. Este grado de significancia puede ser “No Significativo” (verde), “Medianamente Significativo” (amarillo) o “Altamente Significativo” (rojo).

2.4. Matriz de Requisitos Legales

Este procedimiento es para identificar los requisitos legales y otros requisitos en materia ambiental, aplicables a los Aspectos Ambientales identificados en la sección anterior.

De esta forma se confeccionó una matriz de requisitos legales donde se relacionaron los aspectos ambientales significativos con las exigencias legales estipuladas en la legislación aplicable a estos.

2.5. Objetivos Ambientales (OA)

Los Objetivos Ambientales se establecieron a partir de la problemática identificada en la matriz de significancia y en la matriz de requisitos legales. De los cuales se tomaron las principales causas de estos aspectos y se determinó una forma eficaz de evitar o disminuir el riesgo de ocurrencia de estos.

Por su parte las metas se establecen con el fin de alcanzar estos objetivos ambientales planteados. Estas deben ser cuantificables y determinar un plazo en el cual deben ser implementadas. Los plazos se establecieron de manera que no interfieran con los plazos de renovación de las certificaciones.

Los objetivos y metas se establecieron de forma clara, específica y realista, debido a que estos no pueden tener margen de interpretación a la hora de planificar las metas o confeccionar el Programa de Gestión Ambiental.

2.6. Programa de Gestión Ambiental

El Programa de Gestión Ambiental se elaboró estableciendo un plan de acción enfocado en el cumplimiento de cada Objetivo y Meta Ambiental propuesta. Para esto es necesario estipular los plazos de realización, responsables de implementar el plan de acción y las áreas involucradas en el proceso. Se elaboró un PGA para cada Objetivo Ambiental del SGA.

III RESULTADOS

3.1. Identificación de Insumos Peligrosos

La identificación de los insumos peligrosos utilizados en una PTAS se llevó a cabo separando los compuestos dependiendo del proceso en el cual están involucrados.

La Tabla 2 presenta los compuestos utilizados en el proceso de tratamiento de aguas servidas, para los cuales se especifica su fórmula química, estado de la materia en la que se encuentra, breve descripción de los riesgos que genera y su clasificación según la norma NFPA 704. De esta forma los compuestos fueron divididos entre aquellos utilizados en el proceso de tratamiento de aguas servidas en la Tabla 2 y aquellos utilizados en el laboratorio de la PTAS en la Tabla 3.

Tabla 2 Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en el proceso de tratamiento de las aguas en una PTAS, características y clasificación NFPA.

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Ácido Clorhídrico	HCl	Líquido	Corrosivo, provoca quemaduras en la piel.	
Aluminato Sódico	NaAlO ₃	Sólido	Corrosivo, tóxico por ingestión, irritante y puede provocar quemaduras	
Carbonato de Magnesio	MgCO ₃	Sólido	Irritante	
Clorito de Sodio	NaClO ₂	Líquido	Tóxico por inhalación, produce quemaduras, fuertemente oxidante, comburente agresivo.	
Cloro	Cl ₂	Gas	Produce quemaduras, extremadamente tóxico, corrosivo.	
Cloruro Férrico	FeCl ₃	Sólido	Corrosivo, puede provocar quemaduras.	
Hidróxido de Sodio	NaOH	Sólido	Corrosivo, provoca quemaduras e irrita las vías respiratorias.	
Hipoclorito de Sodio	HClO	Líquido	Provoca quemaduras, oxidante fuerte.	

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Petróleo Diésel	-	Líquido	Muy inflamable, Explosivo.	

Tabla 2 Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en el proceso de tratamiento de las aguas en una PTAS, características y clasificación NFPA. (Continuación)

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Polímero de Acrilamida	-	Sólido	Puede causar irritación mecánica.	
Sulfato de Aluminio (III)	$Al_2(SO_4)_3$	Sólido	Irritante, nocivo por ingestión.	
Sulfato Férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	Sólido	Provoca quemaduras. Corrosivo.	
Sulfato Ferroso	$FeSO_4$	Sólido	Irritante.	

En la Tabla 3 se presentan los compuestos utilizados en el laboratorio interno de la PTAS, para los cuales se especifica su fórmula química, estado de la materia en la que se encuentra, breve descripción de los riesgos que genera y su clasificación según la norma NFPA 704.

Tabla 3 Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en los análisis de laboratorio en una PTAS, características y clasificación NFPA.

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Acetato de Sodio	$NaC_2H_3O_2$	Sólido	irritante	
Ácido Acético	$C_2H_4O_2$	Sólido	Inflamable, corrosivo y provoca quemaduras graves en la piel	
Ácido Bórico	H_3BO_3	Sólido	Irritante	
Ácido Clorhídrico	HCl	Líquido	Corrosivo, provoca quemaduras en la piel.	

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Ácido Nítrico	HNO ₃	Líquido	Corrosivo, provoca quemaduras graves en la piel.	

Tabla 3 Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en los análisis de laboratorio en una PTAS, características y clasificación NFPA. (Continuación)

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Ácido Silícico	-	Sólido	Levemente inflamable	
Ácido Sulfúrico	H ₂ SO ₄	Líquido	Corrosivo, provoca quemaduras graves en la piel.	
Anaranjado de metilo	C ₁₄ H ₁₄ N ₃ NaO ₃ S	Sólido	Inflamable, puede formar vapores tóxicos de NO _x y SO _x	
Azida de Sodio	NaN ₃	Sólido	Puede ser mortal por ingestión o inhalación. Muy reactivo, explosivo.	
Azul de Metileno	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	Líquido	Irritante por ingestión. Levemente inflamable	
Azul de Timol	C ₂₇ H ₃₀ O ₅ S	Sólido	Levemente combustible	
Carbonato de Sodio	Na ₂ CO ₃	Sólido	Levemente toxico por ingestión en bajas cantidades, irritante	
Cloroformo	CCl ₄	Líquido	Irritante y tóxico por ingestión e inhalación.	
Cloruro de Amonio	NH ₄ Cl	Sólido	Irritante	
Dicromato de Potasio	K ₂ Cr ₂ O ₇	Sólido	Muy toxico por ingestión e inhalación, carcinógeno, provoca quemaduras.	
Etanol	C ₂ H ₆ O	Líquido	Inflamable.	

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Fenantrolina	$C_{12}H_8N_2$	Sólido	Tóxico por ingestión, irritante. Levemente inflamable.	
Fenolftaleína	$C_{20}H_{14}O_4$	Sólido	Tóxico por ingestión, provoca irritaciones leves al contacto con la piel.	
Hidróxido de Sodio	NaOH	Sólido	Corrosivo, provoca quemaduras e irrita las vías respiratorias.	

Tabla 3 Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en los análisis de laboratorio en una PTAS, características y clasificación NFPA. (Continuación)

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Metavanadato de Amonio	NH_4VO_3	Sólido	Tóxico por ingestión y nocivo por inhalación. irritante	
Molibdato de Amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	Sólido	Nocivo por ingestión.	
N-Butanol	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	Líquido	Nocivo por ingestión, irritante. inflamable	
Óxido de Fenilarsina	$\text{C}_6\text{H}_5\text{AsO}$	Sólido	Tóxico por ingestión e inhalación.	
Rojo de Metilo	$\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$	Líquido	Puede provocar irritación por contacto prolongado.	
Sulfato de Cobre	CuSO_4	Sólido	Irritante, nocivo por ingestión.	
Sulfato de Manganeso	MnSO_4	Sólido	Irritante.	
Sulfato de Mercurio	HgSO_4	Sólido	Muy tóxico, mortal por ingestión.	
Sulfato de Plata	Ag_2SO_4	Sólido	Tóxico por ingestión e inhalación. Corrosivo	
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	Sólido	Provoca quemaduras.	
Sulfato Férrico Amoniacal	$\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2$	Sólido	Irritante.	
Sulfato Ferroso	FeSO_4	Sólido	Irritante.	
Tetraborato de Sodio	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Sólido	Toxicidad leve por ingesta, irritante.	
Tiosulfato de Sodio	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Sólido	Nocivo por ingestión, inhalación y contacto con la piel y ojos.	
Tolueno	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	Líquido	Muy inflamable, puede ser mortal en caso de ingesta, irritante.	

Tabla 3 Sustancias peligrosas utilizadas como insumos en los análisis de laboratorio en una PTAS, características y clasificación NFPA. (Continuación)

Nombre del compuesto	Formula	Estado	Descripción	Peligrosidad (Norma NFPA)
Yodo	I ₂	Líquido	Nocivo en caso de inhalación y contacto con la piel.	
Yoduro de Potasio	KI	Sólido	Irritante.	

3.2 Aspectos Ambientales Significativos

La identificación de los aspectos ambientales significativos se realizó a través de la confección de una Matriz de Aspectos Ambientales, en donde se listan las posibles situaciones de riesgo que pueden llegar a ocasionar un impacto ambiental significativo. En la Tabla 4 se listan estos aspectos, detallando el proceso en el cual se generan, el compuesto químico involucrado y el posible impacto sobre el medio ambiente que este aspecto podría causar. Adicional a esto en la Tabla 4 también se presenta la evaluación de estos impactos a través de los criterios listados en la sección 1.2.2.1 de este seminario.

Se evaluaron 52 Aspectos Ambientales de los cuales 10 resultaron ser Medianamente Significativos, y 7 fueron Aspectos Altamente Significativos (Tabla 4).

Dentro de los Aspectos Ambientales evaluados el mayor puntaje obtenido fue de 31 puntos, el cual fue alcanzado por 3 Aspectos Ambientales:

- Derrame de Clorito de Sodio debido al mal manejo por parte del personal;
- Derrame de Petróleo Diésel por mal manejo del personal y;
- Derrame de Petróleo Diésel por fallas en el contenedor.

Todos relacionados a un daño severo al recurso acuático sobre el cual se descargarían estos compuestos.

Los demás Aspectos Altamente Significativos son la fuga de gas Cloro por falta de mantención de los equipos y el derrame a cuerpos de agua de Cloroformo, Dicromato de Potasio y Tolueno, por mal manejo del personal del laboratorio.

Los Aspectos Medianamente Significativos que destacan debido a que se encuentran muy cercanos al puntaje mínimo para ser considerados Altamente Significativos son, el derrame de Ácido Clorhídrico al suelo por fallas en el contenedor y mal manejo de parte del personal, derrame de Hipoclorito de Sodio a cuerpos de agua por fallas en el contenedor y mal manejo de parte del personal, combustión de Petróleo Diésel por contacto con fuentes de ignición y por último la fuga de gas Cloro debido al mal manejo de parte del personal.

Tabla 4. Matriz de Aspectos Ambientales Significativos

	Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental Asociado	Descripción del Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Recurso Afectado	Criterios				Total	Significancia
							Probabilidad	Magnitud	Duración	Área de Influencia		
1	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Acetato de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
2	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Ácido Acético	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
3	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Combustión de Ácido Acético	aumento extremo de temperatura o contacto con fuente de ignición	Emisión de gases tóxicos	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
4	Tratamiento de aguas servidas	Almacenamiento	Derrame de Ácido Clorhídrico	fallas en el contenedor	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
5	Tratamiento de aguas servidas	Almacenamiento	Derrame de Ácido Clorhídrico	fallas en el contenedor	Acidificación del suelo	Suelo	1	5	10	5	21	Medianamente Significativo
6	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con Dióxido de Cloro	Derrame de Ácido Clorhídrico	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
7	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con Dióxido de Cloro	Derrame de Ácido Clorhídrico	mal manejo por parte del personal	Acidificación del suelo	Suelo	1	5	10	5	21	Medianamente Significativo
8	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Ácido Clorhídrico	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
9	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Ácido Nítrico	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
10	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Ácido Sulfúrico	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
11	Tratamiento de Aguas Servidas	Coagulación y Floculación	Derrame de Aluminato Sódico	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo

Tabla 4. Matriz de Aspectos Ambientales Significativos (Continuación)

	Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental Asociado	Descripción del Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Recurso Afectado	Criterios				Total	Significancia
							Probabilidad	Magnitud	Duración	Área de Influencia		
12	Tratamiento de Aguas Servidas	Almacenamiento	Derrame de Aluminato Sódico	fallas en el contenedor	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
13	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Anaranjado de Metilo	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
14	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Azida de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	10	1	1	13	No Significativo
15	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Combustión de Azida de Sodio	contacto con fuentes de ignición	Emisión de gases tóxicos	Aire	1	10	1	5	17	Medianamente Significativo
16	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Explosión de Azida de Sodio	Explosión por contacto con ácidos y metales pesados	Emisión de gases tóxicos	Aire	1	10	1	5	17	Medianamente Significativo
17	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Carbonato de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
18	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con Dióxido de Cloro	Derrame de Clorito de sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	10	1	1	13	No Significativo
19	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con Dióxido de Cloro	Derrame de Clorito de sodio	mal manejo por parte del personal	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	10	10	10	31	Altamente Significativo
20	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con Dióxido de Cloro	Explosión de Clorito de sodio	contacto con combustibles	Emisión de gases tóxicos	Aire	1	10	1	5	17	Medianamente Significativo
21	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con cloro gaseoso	Fuga de gas cloro	Fuga desde los contenedores por falta de mantención de los equipos	Deterioro de la calidad del aire	Aire	5	10	1	10	26	Altamente Significativo

Tabla 4. Matriz de Aspectos Ambientales Significativos (Continuación)

	Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental Asociado	Descripción del Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Recurso Afectado	Criterios				Total	Significancia
							Probabilidad	Magnitud	Duración	Área de Influencia		
22	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con cloro gaseoso	Fuga de gas cloro	Fuga desde los contenedores por mal manejo de parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	10	1	10	22	Medianamente Significativo
23	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Cloroformo	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
24	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Cloroformo	mal manejo por parte del personal	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	5	10	10	26	Altamente Significativo
25	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Cloruro de Amonio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
26	Tratamiento de Aguas Servidas	Coagulación y Floculación	Derrame de Cloruro Férrico	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	1	8	No Significativo
27	Tratamiento de Aguas Servidas	Almacenamiento	Derrame de Cloruro Férrico	fallas en el contenedor	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	1	8	No Significativo
28	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Dicromato de Potasio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
29	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Dicromato de Potasio	mal manejo por parte del personal	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	5	10	10	26	Altamente Significativo
30	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Combustión de Etanol	contacto con fuentes de ignición	Emisión de gases tóxicos	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
31	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Fenantrolina	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
32	Tratamiento de Aguas Servidas	Control de Ácidos Volátiles en el Digestor Anaeróbico	Derrame de Hidróxido de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	10	1	1	13	No Significativo

Tabla 4. Matriz de Aspectos Ambientales Significativos (Continuación)

	Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental Asociado	Descripción del Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Recurso Afectado	Criterios				Total	Significancia
							Probabilidad	Magnitud	Duración	Área de Influencia		
33	Tratamiento de Aguas Servidas	Almacenamiento	Derrame de Hidróxido de Sodio	falla en el contenedor	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	10	1	1	13	No Significativo
34	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Hidróxido de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	1	8	No Significativo
35	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con Hipoclorito de Sodio	Derrame de Hipoclorito de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
36	Tratamiento de aguas servidas	Desinfección con Hipoclorito de Sodio	Derrame de Hipoclorito de Sodio	mal manejo por parte del personal	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	5	5	10	21	Medianamente Significativo
37	Tratamiento de aguas servidas	Almacenamiento	Derrame de Hipoclorito de Sodio	fallas en el contenedor	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
38	Tratamiento de aguas servidas	Almacenamiento	Derrame de Hipoclorito de Sodio	fallas en el contenedor	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	5	5	10	21	Medianamente Significativo
39	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Metavanadato de Amonio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	1	8	No Significativo
40	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Molibdato de Amonio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
41	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Combustión de n-Butanol	contacto con fuentes de ignición	Emisión de gases tóxicos	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
42	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Óxido de Fenilarsina	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
43	Tratamiento de aguas servidas	Calefacción previa a la digestión anaeróbica	Combustión de Petróleo Diésel	contacto con fuentes de ignición	Emisión de gases tóxicos	Aire	5	5	1	10	21	Medianamente Significativo

Tabla 4. Matriz de Aspectos Ambientales Significativos (Continuación)

	Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental Asociado	Descripción del Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Recurso Afectado	Criterios				Total	Significancia
							Probabilidad	Magnitud	Duración	Área de Influencia		
44	Tratamiento de aguas servidas	Calefacción previa a la digestión anaeróbica	Derrame de Petróleo Diésel	mal manejo por parte del personal	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	10	10	10	31	Altamente Significativo
45	Tratamiento de aguas servidas	Almacenamiento	Derrame de Petróleo Diésel	fallas en el contenedor	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	10	10	10	31	Altamente Significativo
46	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Sulfato de Cobre	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
47	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Sulfato de Mercurio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	1	8	No Significativo
48	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Tetraborato de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
49	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Tiosulfato de Sodio	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	1	1	1	4	No Significativo
50	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Tolueno	mal manejo por parte del personal	Deterioro de la calidad del aire	Aire	1	5	1	5	12	No Significativo
51	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Derrame de Tolueno	mal manejo por parte del personal	Impacto negativo a los cuerpos de agua receptores	Agua	1	5	10	10	26	Altamente Significativo
52	Análisis de Laboratorio	Análisis de muestras de agua	Combustión de Tolueno	contacto con fuentes de ignición	Emisión de gases tóxicos	Aire	1	10	1	5	17	Medianamente Significativo

3.3 Matriz de Requisitos Legales

La matriz de requisitos legales se presenta en la Tabla 5, está relaciona los artículos de la legislación ambiental aplicable mencionada en los Antecedentes de este seminario, con los aspectos ambientales significativos identificados y el recurso natural que corre el riesgo de recibir el impacto ambiental.

Tabla 5. Matriz de Requisitos Legales

Ley o Norma Aplicable	Organismo	Requisito Legal Aplicable	Aspecto Ambiental	Recurso Afectado
DS N°78	Ministerio de Salud	Art.8 Las sustancias peligrosas solamente podrán almacenarse en los lugares especiales señalados en la norma	Derrame de Clorito de sodio	Agua
			Derrame de Cloroformo	
			Derrame de Dicromato de Potasio	
			Derrame de Tolueno	
			Derrame de Hipoclorito de Sodio	
			Derrame de Petróleo Diésel	
		Art. 9 Las sustancias peligrosas deberán estar contenidas en envases, debidamente etiquetadas.	Fuga de gas cloro	Aire
			Combustión de Azida de Sodio	
			Explosión de Azida de Sodio	
			Explosión de Clorito de sodio	
			Combustión de Petróleo Diésel	
			Combustión de Tolueno	
Art.12 El lugar donde estén almacenadas las sustancias peligrosas deberá contar con un sistema de control de derrames.	Derrame de Ácido Clorhídrico	Suelo		
	Art.1 Establece las condiciones sanitarias y de seguridad deberá someterse la generación, almacenamiento, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos.	Derrame de Cloroformo	Agua	
		Derrame de Dicromato de Potasio		
Derrame de Tolueno				
Combustión de Azida de Sodio		Aire		
			Explosión de Azida de Sodio	
			Combustión de Tolueno	

Tabla 5. Matriz de Requisitos Legales (Continuación)

Ley o Norma Aplicable	Organismo	Requisito Legal Aplicable	Aspecto Ambiental	Recurso Afectado
DS N°90	Ministerio Secretaría General De La Presidencia	Art 4 Establece los límites máximos permitidos para descargas de Residuos líquidos a aguas continentales superficiales y Marinas.	Derrame de Clorito de sodio	Agua
			Derrame de Cloroformo	
			Derrame de Dicromato de Potasio	
			Derrame de Tolueno	
			Derrame de Hipoclorito de Sodio	
			Derrame de Petróleo Diésel	
DS N°160	Ministerio de Economía, Fomento y Turismo	Art.1 Establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones de combustibles líquidos derivados del petróleo y las operaciones asociadas al almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos que se realicen en tales instalaciones.	Derrame de Petróleo Diésel	Agua
			Combustión de Petróleo Diésel	
DS N°609	Ministerio de Obras Públicas	Art.1 La presente norma de emisión establece la cantidad máxima de contaminante permitida para los residuos industriales líquidos, descargados por los establecimientos industriales en los servicios públicos de recolección de aguas servida.	Derrame de Cloroformo	Aire
			Derrame de Dicromato de Potasio	
			Derrame de Tolueno	
			Combustión de Azida de Sodio	
			Explosión de Azida de Sodio	
			Combustión de Tolueno	

3.4 Objetivos y Metas del SGA

3.4.1 Objetivos Ambientales (OA)

- **OA01:** Cumplir con la legislación ambiental aplicable
- **OA02:** Disminuir el número de incidentes por falta de mantención de la maquinaria utilizada
- **OA03:** Disminuir el número de incidentes debido a un mal manejo de materiales peligrosos por parte del personal mediante programas de capacitación para este.(Castaño & Cárdenas, 2016)

3.4.2 Metas Ambientales (MA)

- **OA01MA01:** Cumplir con el 100% de la legislación ambiental aplicable en un plazo de 7 meses
- **OA02MA01:** Elaborar un plan de mantenimiento preventivo en un plazo de dos meses, que permita disminuir el número de incidentes por falta de mantención. (Muñoz, 2008)
- **OA02MA02:** Aplicar el plan de mantenimiento preventivo en un plazo de siete meses. (Muñoz, 2008)
- **OA03MA01:** Capacitar al 100% del personal de planta en sus respectivas áreas de interés en un plazo de un año. (Rodríguez, 2011)

3.5. Programa de Gestión Ambiental

En las Tablas 6, 7 y 8 se presentan los Programas de Gestión Ambiental propuestos para cada objetivo ambiental

Tabla 6. Programa de Gestión Ambiental 1

PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL 1					
CÓDIGO:	3. FECHA:	TECNOLOGIA	BUENAS PRÁCTICAS	GESTIÓN	X
ÁREAS INVOLUCRADAS:					
Gerencia General, Depto. de Medioambiente, Área de Tratamiento de Aguas, Laboratorio y Área de almacenamiento					
OBJETIVO AMBIENTAL:			RESPONSABLES:		
Cumplir con el 100% de la legislación ambiental aplicable			Gestor ambiental y Gerencia General		
Plan de Acción			Plazo	Responsable	
OA01MA01	Identificar normas, leyes y permisos ambientales sectoriales aplicables.		15 Días	Gestor Ambiental	
	Realizar una evaluación del cumplimiento de la legislación ambiental aplicable		15 Días	Gestor Ambiental	
	Elaborar un proyecto con el fin de cumplir con la legislación ambiental aplicable		2 Meses	Gestor Ambiental	
	Implementar el proyecto de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable		3 Meses	Gerencia General	
	Evaluar cumplimiento de la legislación ambiental aplicable y proponer mejoras al plan.		1 Mes	Gestor Ambiental	

Tabla 7. Programa de Gestión Ambiental 2

PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL 2						
CÓDIGO:	3. FECHA:	TECNOLOGIA	X	BUENAS PRÁCTICAS	GESTIÓN	
ÁREAS INVOLUCRADAS:						
Gerencia General, Depto. de Medioambiente, Área de Tratamiento de Aguas, Laboratorio y Área de almacenamiento						
OBJETIVO AMBIENTAL:				RESPONSABLES:		
Disminuír el número de incidentes por falta de mantención de la maquinaria utilizada				Gestor ambiental, Gerencia General y Jefes de Área		
Plan de Acción			Plazo	Responsable		
OA02MA01	Identificar instrumentos, piezas y maquinaria que requieran mantención en algún momento de su vida útil.		1 Mes	Jefes de área		
	Elaborar un plan de mantenimiento periódico para los instrumentos, piezas y maquinaria identificados		1 Mes	Gestor Ambiental		
OA02MA02	Implementar el plan de mantención periódica		6 Meses	Gerencia General		
	Evaluar efectividad del plan luego de 6 meses de implementado y proponer mejoras para este		1 Mes	Gestor Ambiental		

Tabla 8. Programa de Gestión Ambiental 3

PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL 3					
CÓDIGO:	3. FECHA:	TECNOLOGIA	BUENAS PRÁCTICAS	GESTIÓN	X
ÁREAS INVOLUCRADAS:					
Gerencia General, Depto. de Medioambiente, Depto. De Recursos Humanos, Área de Tratamiento de Aguas, Laboratorio y Área de almacenamiento					
OBJETIVO AMBIENTAL:			RESPONSABLES:		
Disminuir el número de incidentes debido a un mal manejo de materiales peligrosos por parte del personal mediante programas de capacitación para este			Gestor ambiental, Gerencia General, Jefes de Área y Depto. de Recursos Humanos		
Plan de Acción				Plazo	Responsable
OA03MA01	Identificar a todo el personal en puestos críticos respecto al manejo de compuestos peligrosos			1 mes	Gestor Ambiental y Depto. De Recursos Humanos
	Formar grupos de personal de cada área y realizar jornadas, o de ser necesario cursos de capacitación, para cada grupo con el fin de no interrumpir el normal funcionamiento de la planta			10 Meses	Gerencia General y Jefes de Área
	Evaluar el porcentaje de asistencia a capacitación del personal y los índices de accidentabilidad de la planta, y proponer mejoras al sistema.			1 mes	Gestor Ambiental

IV DISCUSION

El tamaño de una PTAS está determinado por el caudal que pretenda ser tratado, de esta forma una PTAS que atienda una localidad como Curacaví, que al año 2013 poseía una población aproximada de 31.000 habitantes (Ilustre municipalidad de Curacaví, 2013), podrá ser mucho más pequeña y simple que una planta como La Farfana la cual se construyó inicialmente para tratar el caudal producido por 2,4 millones de Habitantes. (EMOS S.A., 2000). Prueba de esto es que según la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) de la PTAS de Curacaví (Aguas Andinas S.A., 2003) la superficie necesaria para realizar el proyecto es 1,6 ha, en cambio la PTAS La Farfana declaró en su Estudio de Impacto Ambiental una superficie total del proyecto de 130Ha, de las cuales 60 corresponden a la planta propiamente tal, el laboratorio y la infraestructura necesaria para su funcionamiento. (EMOS S.A., 2000)

Es por lo anterior que se optó por estudiar una planta modelo para una población aproximada de 2 millones, ya que por el volumen ($6,8\text{m}^3/\text{s}$) y características del caudal, los métodos de tratamientos de estas aguas servidas implican el manejo de sustancias peligrosas en escala industrial, como es el caso del cloro gaseoso o el petróleo diésel.

Esto se muestra en la Matriz de Aspectos Ambientales significativos (Tabla 4) en donde se identificaron 7 aspectos altamente significativos de los cuales 3 están relacionados con la línea de tratamiento de aguas, lo cual indica que los volúmenes que se manejan de cada compuesto son de escala industrial (más de 70Ton en el caso del gas cloro). Esto conlleva un riesgo mayor en caso de cualquier emergencia relacionada a estos. Prueba de esto es que en el año 2011 en la localidad de Chongqing, China, se registró una fuga de gas cloro proveniente de la planta de tratamiento de aguas servidas de la zona dejando 5 víctimas fatales y obligó a la evacuación de más de 4.000 personas.

Los Aspectos Ambientales Significativos relacionados con compuestos peligrosos utilizados para las pruebas de laboratorio como el derrame de cloroformo o tolueno tienen un menor alcance en comparación a la fuga de gas cloro o derrames de petróleo diésel, sin embargo el efecto puede llegar a ser más agudo dependiendo de las condiciones en las que ocurra. Por ejemplo, un derrame de cloroformo en un espacio cerrado puede llegar a tener resultados letales para el personal presente, o en caso de llegar a cuerpos de agua, éste es tóxico tanto para animales terrestres y acuáticos, con una permanencia de entre 1 y 10 días (Pontificia Universidad Javeriana, 2010)

Así, el objetivo en la implementación de un SGA (en el marco de una ISO 14.001) es la prevención o mitigación de los impactos ambientales negativos (Pahl-Wostl, 2005). Es por esto que dos de los Objetivos Ambientales son la disminución del número de incidentes producidos por la falta de mantenimiento de la maquinaria utilizada y por errores humanos de parte del personal involucrado, los cuales son las causas básicas por las cuales ocurren estos incidentes. (Cortés, 2007)

El mantenimiento preventivo de la maquinaria permite que estas funcionen en condiciones operativas eficaces y seguras (Gómez de León, 2008), reduciendo así las posibilidades de una falla que pueda producir la paralización de la planta o incluso un desastre ambiental como es el caso de las fugas y derrames debido a las malas condiciones de válvulas y sellos de los contenedores de compuestos peligrosos.

Un plan de mantenimiento preventivo correctamente implementado es un método efectivo para reducir los riesgos que se generan en la operación de una PTAS como la estudiada en este seminario. Dentro de los aspectos ambientales identificados como altamente significativos, el derrame de petróleo diésel y la fuga de gas cloro son los únicos relacionados a la falla de maquinaria o infraestructura. Es por esto que un

especial énfasis en el plan de mantenimiento a toda la maquinaria e infraestructura relacionada con estos compuestos ayudaría a disminuir considerablemente el riesgo de producir incidente que puede generar un impacto ambiental negativo debido a fallas por mantención, como un derrame o fuga de compuestos peligrosos.

Por otro lado el resto de los Aspectos Ambientales Significativos identificados se refieren a incidentes provocados por mal manejo, de parte del personal, tanto en el proceso de tratamiento de aguas servidas como derrames en el laboratorio interno de la PTAS. Esto quiere decir que una parte importante de los riesgos ambientales recae en la capacidad del personal de planta contratado. De esta manera el PGA 3 tiene como objetivo capacitar al 100% de los trabajadores en el área en la que se desempeñan, un personal especializado será menos propenso a provocar accidentes por mal manejo de equipo o sustancias. La capacitación del personal permite reducir los accidentes laborales controlando los factores humanos causales de estos y asegurando la óptima productividad del trabajo (Hernández, 2003). Esto debido a que frente a una falla técnica siempre estará involucrado, en mayor o menor grado, el factor humano. (Cortés, 2007)

La legislación Chilena aplicable a una PTAS abarca desde la contaminación acústica producida por el funcionamiento de la planta (DS n°38/14 del Ministerio de Medioambiente) hasta los materiales peligrosos que se manejan dentro de esta (DS n°148/04 del Ministerio de Salud). Por lo cual se optó por considerar, para efectos de este seminario, las normativas que tuvieran directa relación con los procesos de tratamientos de aguas servidas y las pruebas de laboratorio necesarias para monitorear las condiciones del afluente.

Es por lo anterior que el primer Objetivo Ambiental propuesto para el SGA es determinar el grado de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable, ya que esto

permitirá realizar un diagnóstico de la situación en la que se encuentra la PTAS y a partir de eso poder generar un plan que permita el cumplimiento de esta legislación en su totalidad.

La legislación ambiental aplicable, así como también las normas y protocolos se encuentran en constante actualización. Los organismos encargados de crear estas leyes o normas, también deben mantenerlas vigentes, por lo cual cada cierto tiempo se publican versiones nuevas o modificaciones de las mismas leyes o normas, como es el caso de la ley 20.417 que modifica la ley de bases generales del medioambiente (ley 19.300/94), y a su vez “crea el ministerio, el servicio de evaluación ambiental y la superintendencia del medio ambiente”

A fines del año 2015 la ISO presentó una nueva versión de la norma ISO 14.001, la cual contiene numerosos cambios con respecto a la versión del 2004 que es la versión que se utilizó para estructurar este seminario. Un cambio importante de esta norma es la incorporación de un contexto interno y externo de la organización, esto significa que se deben identificar y entender los asuntos externos a la actividad realizada. Esto con el objetivo de que el responsable del SGA sea capaz de gestionar todas las posibles influencias sobre este. (Nuevas Normas ISO, 2015)

Sin embargo, las partes fundamentales de la versión anterior de la norma utilizados como base fundamental de este seminario, como los Aspectos Ambientales, Requisitos Legales, Objetivos, Metas y Programa de Gestión Ambiental, no presentan cambios sustanciales que pudieran modificar o invalidar lo aquí presentado. Por otra parte el SGA al ser implementado en una PTAS teórica (Capítulo II de este seminario) no posee un contexto interno o externo que pudiese afectar en la aplicación de este, por lo cual no se consideró necesario el cambio a la nueva normativa.

V CONCLUSIONES

- La implementación de un SGA permite reducir el riesgo de producir impactos negativos al medioambiente a través de un PGA que se encargue de los Aspectos Ambientales Significativos.
- Los PGA propuestos enfrentan a los Objetivos Ambientales de forma sistemática, de esta manera facilitan su implementación, evaluación y mejora continua.
- Los PGA propuestos se enfocan en el cumplimiento de la legislación ambiental aplicable, la mantención de la maquinaria utilizada y la capacitación del personal de planta, para reducir el riesgo de ocurrencia asociado a los Aspectos Ambientales Significativos.
- Los Aspectos Ambientales Significativos de mayor riesgo en una PTAS con las características estudiadas son el derrame de Clorito de Sodio y Petróleo Diésel debido a su magnitud, duración y extensión del área de influencia en cuerpos de agua receptores.
- Una medida alternativa para manejar el riesgo producido por el proceso de Cloración, debido a que dos de los aspectos altamente significativos están relacionados con el Cloro Gaseoso y el Hipoclorito de Sodio, es cambiar el método de desinfección utilizado por uno menos riesgoso como la desinfección por radiación UV.
- Las mantenciones periódicas de la maquinaria utilizada permite disminuir el número de incidentes relacionados con el malfuncionamiento de esta, como es el caso de fuga de Gas Cloro y los derrames producidos por fallas en los

contenedores de compuestos peligrosos como el Hipoclorito de Sodio o el Petróleo Diésel.

- La capacitación del personal de planta permite reducir el riesgo de incidentes relacionados con errores humanos como los derrames producidos durante los análisis de laboratorio o el de Clorito de Sodio en la desinfección del efluente.
- Para la correcta implementación de un SGA se necesita del compromiso tanto de parte de la alta gerencia como de los departamentos y obreros involucrados.

• VI BIBLIOGRAFIA

- Aguas Andinas S.A. (1998) “Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Santiago Sur”. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Chile. (Disponible en http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=111. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Aguas Andinas S.A. (2003) “Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Curacaví”. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Chile. (Disponible en http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=82935. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Aguas Andinas S.A. (2007). “100% de Saneamiento de la Cuenca de Santiago”. Pag. 387. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Chile. (Disponible en http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2577800. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- ALBORNOZ, P. M. R. (2011). “Análisis de la situación de las aguas servidas en zonas rurales de la IV, VI y RM de Chile y proposición de un sistema sustentable para su tratamiento”. Universidad de Chile. Pag. 26
- Asociación de Constructores y Promotores de Bizkaia (2008) “¿Qué es “International Organization for Standardization” (ISO)?” (Disponible en http://www.ascobi.com/ca_ficha.asp?ficha=1109. Consultado: 10 de mayo de 2017)
- Barañao, P., & Tapia, L. (2004). “Tratamiento de las aguas servidas: Situación en Chile”. Revista Ciencia & Trabajo, (13), 111-117. Pag. 1, 6, 7, 14
- C. Pahl-Wostl (2005). “The implications of complexity for integrated resources management”. Environmental Modelling and Software 22, 561–569.
- Commission’s DG Environment (2018). “The EU Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)”. (Disponible en http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm. Consultado el 8 de febrero de 2018)
- Cano, A. L. (2003). “Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almería)”. Ecología, manejo y conservación de los humedales (pp. 99-112). Instituto de Estudios Almerienses.

- Castaño Ayala, M. A., & Román Cárdenas, L. A. (2016). "Diseño del sistema de gestión ambiental con base en la Norma ISO 14001 para la organización privada: Seguridad Sara Ltda, ubicada en la ciudad de Bogotá-Cundinamarca". Universidad de ciencias aplicadas y ambientales (UDCA), Colombia. Pag. 79
- Chemistry Industry Association of Canada (2018). "Responsible Care" (disponible en http://www.canadianchemistry.ca/responsible_care/index.php/en/index. Consultado el 8 de febrero de 2018)
- CONAMA (2009). "Tecnología de Lagunas Aireadas". Sistema Nacional de Información Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile (Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_29.pdf. Consultado el: 25 de octubre de 2015)
- CONAMA, (2011). "Tecnología SBR (Reactores Biológicos Secuenciales)". Sistema Nacional de Información Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. (Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_08.pdf. Consultado el: 23 de octubre de 2015)
- CONAMA, (2011). "Tecnología de lombrifiltros". Sistema Nacional de Información Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. (Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_09.pdf. Consultado: 2 de Septiembre de 2018).
- Conesa Fernández-Vítora, V. (1993). "Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental". Ed. Mundi-Prensa Libros, España. Pag. 50
- Cortés, José M (2007). "Técnicas de prevención de riesgos laborales: seguridad e higiene del trabajo". Editorial Tebar. Pag. 75
- Empresa de Energía de Bogotá S.A. (2013). "Identificación De Aspectos e Impactos Ambientales y Gestión De La Energía". Pag.5 (Disponible en: goo.gl/s22HEe. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias S.A. (2000). "Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana". (Disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=3382. Consultado: 2 de Septiembre de 2018) Pag. 381, 392, 928
- Environmental Protection Agency (EPA) (1975). "Wastewater Laboratory Procedures & Chemistry". (Disponible en

<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20008TRJ.txt>. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)

- Espinoza, G. A. (2002). “Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental”. Centro de estudios para el desarrollo, Banco Interamericano de Desarrollo. Pag. 131
- García Blanco, J. A. (2012). “Implantación de un sistema de gestión medioambiental ISO14001: 2004 al campus UPC de Vilanova i la Geltrú. Análisis y aplicación práctica al laboratorio de Mecánica de fluidos y motores térmicos del Campus de Vilanova”. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Ramalho, R (2006). “Filtros Percoladores”. (Disponible en http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/FILTROS_PERCOLADORES.pdf. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Gómez de León, Félix C. (2008). “Tecnología del mantenimiento industrial”. Universidad de Murcia, España. Pag.24
- Hernández Z., Alfonso (2003). “Seguridad e Higiene Industrial”. Ed. LIMUSA. Pag 47.
- Ilustre municipalidad de Curacaví (2013) “Reporte Comunal: Curacaví, Región Metropolitana” (Disponible en http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/indicadores/pdf/comunal_general/metropolitana/Curacavi_2013.pdf. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Ilustre Municipalidad de San Vicente de Tagua Tagua (2011). “Declaración de Impacto Ambiental ‘Planta Tratamiento Aguas Servidas Zuñiga’”. Cap. “Normativa de Carácter Ambiental Aplicable al Proyecto”. (Disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=4859738. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Ingeniería y Servicios Ambientales (2016). “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para la Industria Hotelera” (Disponible en <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-para-la-industria-hotelera>. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- International Organization for Standardization. (2004) “ISO 14001:2004”.
- Instituto Tecnológico Superior de Guasave (2012). “Procedimiento para la identificación y evaluación del cumplimiento de los Requisitos Legales y otros requisitos”. (Disponible en

<http://www.cge.es/portalcge/novedades/2011/prlcge/2010%20a2/pdfs/cap5-3-2.pdf>. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)

- Mateus Peña, Vivian P., Colombia (2011). “Planificación del sistema de gestión ambiental en la sede de sevicol ubicada en la ciudad de Bogotá según los parámetros de la norma ISO 14001”. (Disponible en https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1636/digital_21090.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Ministerio de Fomento, España (2005). “Modelos para Implantar la Mejora Continua en la Gestión de Empresas de Transporte por Carretera”. Cap.2 Pag.6 (Disponible en https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/carlosamigologica.pdf. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Miranda, P. I. S. (2005). “Sistema Tohá; Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales”. Pag. 76 (Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Muñoz S, Edgar Daniel, Venezuela (2008). “Sistema de Gestión de mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Productos EFE S.A.”. (Disponible en <http://159.90.80.55/tesis/000140743.pdf>. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Norma Chilena N°3218 (2009). “Plantas de tratamiento de aguas servidas – Desinfección”. Pag. 12
- Nueva ISO 14001:2015 (2015). “Grandes diferencias entre ISO 14001:2004 e ISO 14001:2015” (disponible en <http://www.nueva-iso-14001.com/2015/03/grandes-diferencias-entre-iso-140012004-e-iso-140012015/>)
- Perez, F. & Camacho, K. (2011). “Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas”. Tesina de Ingeniería Ambiental. Universidad Veracruzana, México. Pag. 37
- Prasse, C., Stalter, D., Schulte-Oehlmann, U., Oehlmann, J. & Ternes T. (2015). “Spoilt for choice: A critical review on the chemical and biological assessment of current wastewater treatment technologies”. Water Research Volume 87, Pag. 237–270
- Reemtsma, T., Weiss, S., Mueller, J., Petrovic, M., González, S., Barcelo, D., & Knepper, T. P. (2006). “Polar pollutants entry into the water cycle by municipal wastewater: a European perspective”. Environmental science & technology, 40(17), 5451-5458.

- Rodríguez, A., (2011). "Definición de programas de gestión ambiental y controles operacionales, bajo el enfoque de ISO 14001". En: *Éxito empresarial CEGESTI*. 158, Pag. 1-4.
- Rojas, H. O. (2012). "El Sistema de Zanjas de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México". Universidad Nacional Autónoma de México. Pag. 41
- Rueda de la Puerta, P. (2015). "Procedimiento de gestión ambiental: Objetivos, Metas y Programa de Gestión Ambiental". (Disponible en goo.gl/XZTqAT. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Sanz, J. M., Martín, N., & Camacho, J. V. (2009). "Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos". Castilla, España: CONAMA. Pag. 4
- Sasia, P. (2010). "Polímeros de la Acrilamida y Copolímeros Derivados para el Tratamiento de Aguas". *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Pag. 2
- Subsecretaria de políticas y planes ambientales, Alcaldía Mayor de Bogotá (2013). "Diligenciamiento de la Matriz de Identificación de aspectos y valoración de impactos Ambientales". (Disponible en http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2426046/INSTRUCTIVO_MATRIZ_EIA.pdf. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (2017). "Plantas de TAS en operación". (Disponible en: <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-5059.html>. Consultado: 2 de Septiembre de 2018)
- Taebi, A., & Droste, R. L. (2004). "Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater". *Science of the total environment*, 327(1), 175-184
- Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. (2007). "Capítulo 6 OBJETIVOS, METAS Y PROGRAMAS AMBIENTALES". (Disponible en <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2262/6/T-ESPE-018594-6.pdf>. Consultado: 2 de Septiembre de 2018).
- Universidad Industrial de Santander (2011). "Procedimiento para identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales". (Disponible en https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/gestion_ambiental/procedimientos/PGA.01.pdf. Consultado: 2 de Septiembre de 2018).
- Von Sperling, M., & de Lemos Chernicharo, C. A. (2017). "Biological wastewater treatment in warm climate regions (p. 857)". IWA publishing.

VIII ANEXOS

ANEXO I

I.1 Tratamiento de Aguas Servidas

I.1.1 Coagulación y Floculación

El proceso de coagulación y floculación de sólidos suspendidos en el agua son procesos fisicoquímicos que consisten en la adición de compuestos químicos que desestabilizan las partículas en suspensión presentes en las aguas servidas formando coágulos o floculos. Los coagulantes funcionan desestabilizando partículas con cargas similares para de esta manera formar coágulos y precipitar.

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en floculos de tamaño creciente hasta precipitar completamente, este proceso es complementario con la coagulación ya que aprovecha las partículas desestabilizadas por el coagulante que neutraliza las cargas electroestáticas, facilitando así la aglomeración con el floculante que generalmente es un compuesto orgánico con la capacidad de aglutinar sólidos en suspensión, siendo el Polímero de Acrilamida el más utilizado para el proceso de floculación(1).

Ambos procesos son esenciales en el tratamiento de aguas servidas debido a que es aquí donde se reduce la cantidad de sólidos en suspensión de manera considerable, lo cual aumenta la eficiencia de los siguientes procesos como lo son la sedimentación y la digestión aeróbica de la materia orgánica presente en las aguas servidas.

I.1.1.1 Reactivos

- Sulfato de Aluminio (III) ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)
- Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)
- Cloruro Férrico (FeCl_3)
- Sulfato Ferroso (FeSO_4)
- Carbonato de Magnesio (MgCO_3)
- Aluminato Sódico (NaAlO_3)
- Polímero de Acrilamida

I.1.2 Desinfección

La desinfección es el proceso en el cual los microorganismos presentes en el agua pueden ser reducidos o eliminados dependiendo del método utilizado, en el caso de las PTAS generalmente se eliminan los microorganismos a través de la cloración de las aguas utilizando gas Cloro o Hipoclorito de Sodio. Si bien el Hipoclorito de Sodio es un compuesto menos peligroso que el gas Cloro, este último resulta tener mayor eficacia a la hora de desinfectar grandes volúmenes de agua y resulta más económico que la desinfección con Hipoclorito de Sodio.

Otro reactivo que se puede utilizar en la desinfección de aguas por cloración es el Dióxido de cloro, si bien el Dióxido de Cloro es un bactericida muy eficaz y no reacciona con el Amoníaco para formar Cloraminas como lo hace el Cloro gaseoso, este es un gas inestable que explota con facilidad y puede formar Cloratos y Bromatos. Es por esto que no se recomienda almacenarlo antes de su utilización, sino que es preferible generar Dióxido de Cloro in situ.

I.1.2.1 Reactivos

- Cloro gas (Cl_2)
- Hipoclorito de Sodio (NaClO)
- Clorito de Sodio (NaClO_2)
- Ácido Clorhídrico (HCl)

I.2 Test de Laboratorio

I.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El test de demanda química de oxígeno presenta 2 ventajas sustanciales frente al test de demanda biológica de oxígeno y es que el test de DQO tiene un tiempo

estimado de realización de 3 horas, en cambio el test de DBO demora alrededor de 5 días. Por otra parte algunos lodos contienen niveles de contaminación que se encuentran por sobre el máximo de toxicidad para el test de DBO₅.

Este análisis consiste en la condensación a reflujo de una solución que contiene 0,4g de Sulfato de Mercurio, 20mL de muestra, 2,0mL de Ácido Sulfúrico, 10mL de Dicromato de Potasio estandarizado y 30mL de reactivo de Sulfato de Plata-Ácido Sulfúrico. Este reactivo es preparado disolviendo cristales de Sulfato de Plata en Ácido Sulfúrico. Luego del reflujo la solución es titulada con Sulfato Férrico Amoniacal estandarizado, utilizando un indicador de Ferroina. El indicador de Ferroina se prepara disolviendo cristales de Fenantrolina con cristales de Sulfato Ferroso en agua destilada.

I.2.1.1. Reactivos

- Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- Sulfato de Plata (Ag_2SO_4)
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)
- Sulfato Férrico Amoniacal ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$)
- Fenantrolina ($C_{12}H_8N_2$)
- Sulfato Ferroso ($FeSO_4$)
- Sulfato de Mercurio ($HgSO_4$)

I.2.2 Cloro Residual

Se denomina cloro residual a la cantidad remanente de cloro en el agua luego de la eliminación de los agentes infecciosos en el proceso de desinfección. Este es un parámetro esencial en el tratamiento de aguas servidas ya que advierte si la cantidad de cloro utilizado en el proceso de desinfección es mayor o menor al requerido, cantidad que varía dependiendo de la composición de las aguas servidas.

El análisis yodométrico se realiza titulado una solución que contiene 5mL de óxido de Fenilarsina 0,00564N, 1g Yoduro de Potasio, 4mL de solución buffer de Acetato, con una solución titulante estándar de yodo, esta es una solución que se prepara a partir de 25g de cristales de yoduro de potasio y solución de yodo estandarizado hasta lograr una concentración de yodo de 0,0282N. El indicador de la titulación utilizado es un indicador de almidón preparado a partir de una pasta de almidón de papa, la cual se

calienta hasta ebullición, se deja en reposo una noche y se extrae el sobrenadante, se agregan 2 gotas de tolueno como preservante.

I.2.2.1 Reactivos

- Óxido de Fenilarsina (C_6H_5AsO)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Yoduro de Potasio (KI)
- Acetato de Sodio ($NaC_2H_3O_2$)
- Ácido Acético ($C_2H_4O_2$)
- Yodo (I)
- Tolueno ($C_6H_5CH_3$)

I.2.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Oxígeno Disuelto

El método recomendado por la EPA para la medición del oxígeno disuelto y la Demanda Biológica de oxígeno es el método de Winkler modificado con Azida de Sodio debido a que gracias a la Azida de Sodio los Nitritos no interfieren en el procedimiento, sin embargo este proceso es mayormente adecuado para aguas poco contaminadas.

El primer paso es recolectar 300mL de muestra en un envase plástico evitando en lo posible la aireación de la muestra, a esta se le agregan 2mL de Sulfato de Manganeso y 2 mL de disolución alcalina Yoduro-Azida de sodio luego se tapa el recipiente i se agita invirtiendo el recipiente. Esta disolución alcalina Yoduro-Azida de sodio se prepara a partir de una mezcla de Hidróxido de Sodio 25N y Yoduro de Potasio 4,5M cuidadosamente disueltos, luego esta solución es enfriada y se le agrega una solución de Azida de Sodio 3,8M.

Luego de agitada la muestra se acidifica agregando 2mL de Ácido Sulfúrico, volver a cerrar y agitar la solución hasta que precipite, luego de esto si la solución tiene color café, titular con Tiosulfato de Sodio hasta lograr una coloración amarilla, luego agregar el indicador de almidón. Si no hay color café solo se agrega el y la solución se debe tornar azul, de lo contrario significa que no hay oxígeno disuelto, esta debe titularse con Tiosulfato de Sodio hasta la desaparición del color azul.

Para la medición de la Demanda Biológica de Oxígeno se realiza una medición comparativa entre el oxígeno disuelto de una muestra medido al momento de tomada la muestra y se vuelve a medir 5 días después de la primera medición. La incubación se realiza por un periodo de 5 días a 20°C

I.2.3.1 Reactivos

- Sulfato de Manganeso (MnSO_4)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Yoduro de Potasio (KI)
- Azida de Sodio (NaN_3)
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)
- Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
- Tolueno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)

I.2.4 Ácidos volátiles

En un digestor en buen estado la acción biológica se encuentra en equilibrio, cuando se le introduce lodos no estabilizados los organismos del digestor convierten este material en Ácidos Orgánicos Volátiles. Otros organismos presentes en el digestor se alimentan de estos Ácidos Orgánicos Volátiles y los convierten en Metano y Dióxido de Carbono.

Sin embargo en la medida en que se bombee más cantidad de lodo del recomendado o el digestor no se encuentra en buenas condiciones, los Ácidos Orgánicos Volátiles comienzan a acumularse en el digestor aumentando el valor de la relación Ácidos Volátiles/Alcalinidad, un valor normal para esta relación es de 0,1. Cuando este valor supera los 0,5 los cambios en la composición del digestor y su funcionamiento cambiará rápidamente resultando en un aumento del pH. Es por esto que la medición de los Ácidos Volátiles y la Alcalinidad es importante para conocer el estado del digestor.

Para la medición de los Ácidos Orgánicos Volátiles la muestra de lodo tomada debe ser centrifugada hasta obtener entre 10 y 15mL, luego al sobrenadante se le agregan 2 gotas de Azul de Timol y Ácido Sulfúrico hasta lograr que la solución se torne roja. Se deben tomar 5mL de la solución acidificada y hacerla pasar por una columna de ácido silícico agregando 50mL de reactivo Cloroformo-Butanol, este se prepara mezclando 300mL de cloroformo, 100mL de n-Butanol y 80mL de Ácido Sulfúrico 0,5N,

se agita la mezcla y se deja en reposo hasta que se separen las fases para luego descartar la fase orgánica. Luego de pasar por la columna a la solución se le agregan 2 gotas de fenolftaleína como indicador y se titula con Hidróxido de Sodio.

La Alcalinidad Total se mide tomando 10mL de sobrenadante de la muestra centrifugada y aforarla a 200mL, luego de esto agregar 2 gotas de Anaranjado de Metilo y titular con Ácido Sulfúrico hasta alcanzar color rojo.

I.2.4.1 Reactivos

- Ácido Silícico
- Cloroformo (CCl_4)
- N-Butanol ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$)
- Azul de Timol ($\text{C}_{27}\text{H}_{30}\text{O}_5\text{S}$)
- Fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)
- Anaranjado de metilo ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$)

I.2.5 Fósforo Total

El Fósforo en el agua está presente en diferentes formas, es por esto que la determinación de Fósforo total se realiza convirtiendo todas las formas presentes en Ortofosfato, para luego detectar fotométricamente la presencia de Ortofosfato. La norma chilena NCh2313/15 propone tres formas para llevar a cabo la digestión de Fósforo, Digestión con Ácido Perclórico, Digestión con Ácido Sulfúrico-Ácido Nítrico y Digestión con Persulfato de Amonio o Potasio. De las tres digestiones anteriormente mencionadas la norma recomienda la Digestión con Ácido Sulfúrico-Ácido Nítrico para muestras de agua.

La Digestión con Ácido Sulfúrico-Ácido Nítrico se realiza mezclando la muestra con 1mL de Ácido Sulfúrico concentrado y 5mL de Ácido Nítrico concentrado, luego digerir la muestra en un rack digestor de Kjeldahl hasta tener 1mL. Dejar enfriar la solución y titular con Hidróxido de Sodio usando Fenolftaleína como indicador. Filtrar y aforar a 100mL, luego agregar 10mL de reactivo Vanadato-Molibdato, dejar reposar 10 minutos y medir absorbancia. El reactivo Vanadato-Molibdato se prepara disolviendo 25g de Molibdato de amonio en 300mL de agua y 1,25g de Metavanadato de Amonio en

300mL de agua a ebullición, luego de enfriar la solución de Metavanadato se mezclan las soluciones y se aforan a 1L.

I.2.5.1 Reactivos

- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)
- Ácido Nítrico (HNO_3)
- Hidróxido de Sodio ($NaOH$)
- Molibdato de Amonio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}$)
- Metavanadato de Amonio (NH_4VO_3)
- Fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$)

I.2.6 Nitrógeno Total

Al igual que el Fósforo, el Nitrógeno se encuentra disuelto en muchas formas en el agua por lo cual resulta conveniente convertir estas formas, en este caso, en Ión Amonio, para de esta forma pasar a Amoníaco utilizando el método de digestión de Kjeldahl con Ácido Sulfúrico concentrado.

El Nitrógeno Amoniacal se determina agregando 25mL de solución buffer de Boratos (88mL de Hidróxido de Sodio 0,10N en 500mL de Tetraborato de Sodio 0,025M aforado en 1L) a una alícuota de 50mL de la muestra aforada en 500mL, ajustar el pH de la solución a 9,5 utilizando Hidróxido de Sodio y destilar hasta obtener 300mL de destilado. Luego de esto agregar dos gotas de una solución indicadora (200mg de Rojo de Metilo y 100mg de Azul de Metileno en 150mL de Alcohol Etilico) y titular con Ácido Sulfúrico 0,02N.

Para la determinación del Nitrógeno Orgánico se enfría la solución restante en el destilador y se agregan 50mL de reactivo para la digestión (a 134g de Sulfato de Potasio y 7,3g de Sulfato Cúprico en 800mL de agua destilada, se le agrega 134mL de Ácido Sulfúrico concentrado, se deja enfriar y afora en 1L) y se homogeniza la mezcla. Calentar a ebullición hasta obtener entre 30 y 50mL y dejar reposar por 30 minutos, luego enfriar y aforar en 300mL. Luego de esto añadir 50mL de una solución de Hidróxido-Tiosulfato de Sodio (500g de Hidróxido de Sodio y 25g de Tiosulfato de Sodio en agua destilada, aforado a 1L). Sumergir la punta del destilador en una solución que contiene 30g de Ácido Bórico en 500mL de agua y 10mL de la solución indicadora anteriormente

mencionada, aforada a 1L. Recolectar 250mL de destilado y luego titular con Ácido Sulfúrico 0,02N.

I.2.6.1 Reactivos

- Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
- Carbonato de Sodio (NaCO_3)
- Cloruro de Amonio (NH_4Cl)
- Ácido Bórico (H_3BO_3)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)
- Tetraborato de Sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)
- Rojo de Metilo ($\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$)
- Azul de Metileno ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$)
- Etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)
- Sulfato de Cobre (CuSO_4)
- Sulfato de Potasio (K_2SO_4)

ANEXO II

II.1 Norma NFPA 704

La norma NFPA 704 se basa en un sencillo sistema de símbolos, el cual es ampliamente reconocido en el mundo y de fácil entendimiento. El llamado “Diamante de Materiales peligrosos” (Fig. 6) consta de un rombo con 4 secciones, cada una con un color que diferencia el tipo de peligro que determina cada sección.

Las secciones del rombo califican, la inflamabilidad (rojo), reactividad (amarillo), riesgos para la salud (azul) y riesgos específicos (blanco), con una escala numérica del cero al cuatro en escala ascendente como se muestra en la imagen (Fig. 6).



Fig. 6. Diamante de Materiales Peligrosos

II.1.1 Inflamabilidad

Este indicador se refiere a la susceptibilidad del material a inflamarse. Se toma en consideración la forma o condición del material y sus propiedades para asignar el valor de la escala basada en la temperatura en grados Celsius a la cual se inflama el material. En la Tabla 9 se listan los rangos de temperatura que abarca cada valor de la escala.

Tabla 9. Escala valórica de inflamabilidad en la norma NFPA 704

Valor	Criterio
0	No se inflama
1	Sobre de 93°C
2	Debajo de 93°C
3	Debajo de 37°C
4	Debajo de 25°C

II.1.2 Reactividad

El riesgo de reactividad se refiere a la susceptibilidad de los materiales a liberar energía (inestabilidad del compuesto), y por ende provocar reacciones violentas en presencia de ciertos elementos o condiciones ambientales. Aplica a todos aquellos materiales capaces de liberar energía rápidamente por ellos mismos a través de una auto-reacción o polimerización. Los criterios de estabilidad de la escala se encuentran en la Tabla 10.

Tabla 10. Escala valórica de estabilidad en la norma NFPA 704

Valor	Criterio
0	Estable
1	Inestable en caso de calentamiento
2	Inestable en caso de cambio químico violento
3	Puede explotar en caso de calentamiento
4	Puede explotar espontáneamente

II.1.3 Riesgos para la salud

Los riesgos para la salud son aquellos efectos negativos a la salud de la persona provocados por el contacto con el material ya sea por inhalación, ingestión y/o contacto dérmico. Este sistema no toma en cuenta los daños provocados por el calor del fuego o por la fuerza de la onda expansiva de una explosión. Esta escala de riesgo se encuentra listada en la Tabla 11.

Tabla 11. Escala valórica de riesgos para la salud en la norma NFPA 704

Valor	Criterio
0	Sin riesgo
1	Poco peligroso
2	Peligroso
3	Muy peligroso
4	Mortal

II.1.4 Riesgos Específicos

Los riesgos específicos se refieren a la reactividad con el agua, propiedades oxidantes de los materiales, sustancias alcalinas, radiactividad, entre otros, los cuales están listados en la Tabla 12.

Tabla 12. Abreviaciones de peligros específicos en la norma NFPA 704

Símbolo	Tipo de peligro
W	Reacciona violenta o explosivamente con el agua
OX	Oxidante
COR	Corrosivo
ALK	Alcalino
AC	Ácido
	Radiactivo
	Riesgo biológico
SA	Gas asfixiante
POI	Material venenoso
CRYO	Criogénico

ANEXO III

III.1 Metodología de Evaluación de Aspectos Ambientales

La evaluación de los Aspectos Ambientales en base a los criterios listados en la sección 3.2.1.1 se realizó a partir de las hojas de seguridad de los compuestos involucrados y una búsqueda bibliográfica acerca de incidentes registrados en otras PTAS u otras industrias que implementaran de forma similar dichos compuestos.

Con el objetivo de explicar la metodología de evaluación de los criterios, se seleccionaron 3 Aspectos Ambientales, uno de cada nivel de significancia.

III.1.1 Aspecto ambiental N°1

Aspecto Ambiental: Fuga de gas cloro

- **Proceso:** Tratamiento de aguas servidas
- **Actividad:** Desinfección con cloro gaseoso
- **Descripción del Aspecto Ambiental:** Fuga de gas cloro desde los contenedores por falta de mantención de los equipos
- **Recurso Afectado:** Aire
- **Impacto Ambiental:** Deterioro de la calidad del aire
- **Probabilidad:** Se hallaron al menos 2 casos de fuga de gas cloro en medios de comunicación, ambos por mantención deficiente de la maquinaria. Debido a esto la probabilidad de ocurrencia de este suceso es moderada y se evalúa con 5 puntos.
- **Magnitud:** En ambos casos, se registró una importante cantidad de heridos obligando la evacuación tanto del personal de las plantas como de localidades cercanas, eso sumado a que la norma NFPA 704 evalúa el riesgo a la salud humana con un 4 (puntaje máximo), implica que la magnitud del impacto ambiental sea alta y se evalúe con 10 puntos.
- **Duración:** Al ser un impacto que afecta al aire, la difusión del gas será de forma rápida y con un bajo periodo de permanencia en este, esto es coherente con el

hecho de que las evacuaciones realizadas en ambos casos fueron de entre 3 y 4 horas. Debido a esto la duración del impacto es baja y se evalúa con 1 punto.

- **Área de Influencia:** La pluma de dispersión del cloro gaseoso supera con creces los límites de las instalaciones de las PTAS consideradas en este seminario, por lo cual el área de influencia del impacto ambiental es alta y se evalúa con 10 puntos.

Puntaje Total: 26

Nivel de Significancia: Altamente Significativo

III.1.2 Aspecto ambiental N°2

Aspecto Ambiental: Combustión de Petróleo Diésel

- **Proceso:** Tratamiento de aguas servidas
- **Actividad:** Calefacción previa a la digestión anaeróbica
- **Descripción del Aspecto Ambiental:** Combustión de Petróleo Diésel por contacto con fuentes de ignición
- **Recurso Afectado:** Aire
- **Impacto Ambiental:** Emisión de gases tóxicos
- **Probabilidad:** Los casos de incendios donde el principal precursor es el Petróleo Diésel son incontables en todo el mundo desde la masificación de su uso como combustible, debido a esto la probabilidad de ocurrencia de un incidente de estas características es moderada y se evalúa con 5 puntos.
- **Magnitud:** Los gases de combustión emitidos son tóxicos y pueden provocar muerte por asfixia tanto a humanos como a animales, sin embargo estos gases al tener menos densidad que el aire tienden a ganar altura, acelerando su difusión. Es por esto que el impacto se considera de magnitud moderada y se evalúa con 5 puntos.
- **Duración:** Los efectos en el aire causados por los gases de combustión se disipan rápidamente luego de extinguir el fuego por lo cual la duración de este impacto es baja y se evalúa con 1 punto.
- **Área de Influencia:** Al igual que en el caso de la pluma de dispersión de Cloro, la pluma de dispersión de gases de combustión puede superar fácilmente los

límites de las instalaciones de la PTAS. Por lo cual el área de influencia del impacto ambiental es alta y se evalúa con 10 puntos.

Puntaje Total: 21

Nivel de Significancia: Medianamente Significativo

III.1.3 Aspecto ambiental N°3

- **Aspecto Ambiental:** Derrame de Cloruro de Amonio
- **Proceso:** Análisis de Laboratorio
- **Actividad:** Análisis de muestras de agua
- **Descripción del Aspecto Ambiental:** Derrame de Cloruro de Amonio por mal manejo por parte del personal
- **Recurso Afectado:** Aire
- **Probabilidad:** Debido a que no se encontró ningún registro confiable de incidentes importantes con Cloruro de Amonio en Laboratorio, se llegó a la conclusión que la frecuencia de este tipo de incidentes es mínima. La probabilidad de ocurrencia se considera baja y se evalúa con 1 punto.
- **Magnitud:** Debido a que el Cloruro de Amonio es un sólido de toxicidad baja, la magnitud del impacto se considera baja y se evalúa con 1 punto.
- **Duración:** Al ser un compuesto sólido, el tiempo de permanencia del Cloruro de Amonio en el aire es corto, por lo cual la duración del impacto se considera baja y se evalúa con 1 punto.
- **Área de Influencia:** Tomando en cuenta que el derrame ocurrirá en el laboratorio y el corto tiempo de permanencia del Cloruro de Amonio en el aire, es altamente probable que el polvo de Cloruro de Amonio no salga del laboratorio, por lo cual el Área de Influencia del Impacto se considera baja y se evalúa con 1 punto.

Puntaje Total: 4

Nivel de Significancia: No Significativo