



FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLÓGICA Y CIENCIAS AMBIENTALES  
INGENIERIA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA PILOTO DE  
TRATAMIENTO SECUNDARIO DE RILES DE LA EMPRESA PAPELES  
CORDILLERA S.A.; UBICADA EN LA COMUNA DE PUENTE ALTO ”**

TRABAJO DE TITULACION PARA OPTAR AL TITULO DE  
**INGENIERO AMBIENTAL**

KARLA ANDREA CANEO GÓMEZ  
PROFESOR GUÍA: HERNÁN GAETE OLIVARES.

VALPARAISO, CHILE  
2006

## **Agradecimientos**

..." Al equipo del departamento de Energía y Medioambiente de la empresa Papeles Cordillera S.A. de CMPC., especialmente a Julio De la Fuente, por su total apoyo en el tiempo que trabajamos juntos. Al personal del Laboratorio Químico y el equipo de la Planta de Efluente, por su constante colaboración y respaldo".

..." Al profesor Dr. Hernán Gaete, por guiar mi trabajo de título. Su experiencia y ayuda permitieron la realización de esta tesis."

..."A mi familia, por su incondicional entrega, apoyo y amor. Gracias a ustedes he logrado salir adelante en mi formación académica y personal."

..." A mis compañeros y amigos, especialmente a Paola, por acompañarme durante todos estos años y particularmente en la edición de este trabajo."

## Abstract

The functionality of an aerobic treatment plant for liquid industrial residues (LIR), on a pilot scale, was evaluated. The aerobic treatment plant consists in a BAS System (biorreactors followed by mud activated), implemented in Papers and Cardboard area of CMPC, and located in the common of Puente Alto, Metropolitan Region.

The productive processes of Papeles Cordillera S.A., Tissue S.A. y CHIMOLSA were analyzed; subsequently the LIR was characterized formed by the union of the LIR they generated in each business. Once identifying the chemical physical parameters established by the D.S 90/00 MSGP, norm that governs the discharges of liquid residues to bodies of superficial water, proceeded to compare the values of entrance with those of exit of the pilot plant of secondary processing; in the same way, the results obtained in each phase component of the system were compared. Finally, through interviews to informing qualified, the factors of the productive process were identified that can turn out to be damaging for the normal operation of the pilot plant.

The LIR presented an abundant average flow of 35.376 m<sup>3</sup>/d and the control physical-chemists parameters were identified, obtaining values of BOD<sub>5</sub> of 1.294 mg/L. On the way out of the secondary processing, the LIR presented a high content of dissolved organic loads and a degradability average of 0,66. The BOD<sub>5</sub> presented an average of 99 mg/L, exceeding the limits established by the regulation in force, a 75% of removal of organic loads was obtained and the total suspended solids concentration was of 1.270 mg/L in the Activated Sludge Treatment (AST).

The existence of three factors of potential risk for the system of biological processing was determined: Commodities, Additives and washes. The first factors, determined by the quality of the commodities utilized in each production, representing a greater or smaller contribute of concentration of organic matter to the out flow. The second, has relation with the great quantity of chemicals utilized in the productive processes, approximately 19.935 t/year, the ones that to be poured in some operating maneuver badly carried out to the out flow can cause serious damages in the biosystem, fundamentally the agents of retention and coagulant. Finally, every time that aggressive product are utilized, can affect the normal operation of the biological processing, so the circuit washes procedures are considered of high risk.

## Resumen

Se evaluó el funcionamiento de la planta aerobia a escala piloto de tratamiento secundario, correspondiente a un Sistema BAS (biorreactores seguido de lodo activado), implementado en el área de Papeles y Cartones de Empresas CMPC, ubicada en la comuna de Puente Alto, Región Metropolitana.

Se analizaron los procesos productivos de las empresas Papeles Cordillera S.A., Tissue S.A. y CHIMOLSA, posteriormente se caracterizó el RIL formado por la unión de los RILes generados en cada empresa. Una vez identificados los parámetros físico químicos establecidos por el D.S 90/00 MSGP, norma que rige las descargas de residuos líquidos a cuerpos de agua superficial, se procedió a comparar los valores de entrada con los de salida de la planta piloto de tratamiento secundario; del mismo modo, se compararon los resultados obtenidos en cada fase componente del sistema BAS. Finalmente, por medio de entrevistas a informantes calificados, se identificaron los factores del proceso productivo que pueden resultar perjudiciales para la operación normal de la planta piloto.

El RIL, presentó un caudal promedio de 35.376 m<sup>3</sup>/d y se identificaron los parámetros físico-químicos de control, obteniendo valores de DBO<sub>5</sub> de 1.294 mg/L. A la salida del tratamiento secundario, el RIL presentó un alto contenido de materia orgánica disuelta y una degradabilidad promedio de 0,66. La DBO<sub>5</sub> presentó un promedio de 99 mg/L, excediendo los límites establecidos por la normativa vigente, se obtuvo un 75% de remoción de materia orgánica y la concentración de sólidos suspendidos totales fue de 1.270 mg/L en el Tratamiento de Lodos Activados (AST).

Se determinó la existencia de tres factores de riesgo potencial para el sistema de tratamiento biológico: Materias primas, Aditivos y lavados. El primer factor, determinado por la calidad de las materias primas utilizadas en cada fabricación, representando un mayor o menor aporte de concentración de materia orgánica al efluente. El segundo, dice relación con la gran cantidad de químicos utilizados en los procesos productivos, aproximadamente 19.935 t/año, los que al ser vertidos en alguna maniobra operativa mal realizada al efluente pueden causar graves daños en el biosistema, fundamentalmente los agentes de retención y coagulantes. Por último, los procedimientos de lavados de circuito son considerados de alto riesgo, toda vez que se utilicen productos agresivos que pueden afectar el normal funcionamiento del tratamiento biológico.

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Objetivo General .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Antecedentes .....</b>	<b>5</b>
<b>4.1 Industrias papeleras a partir de papel recuperado .....</b>	<b>5</b>
<b>4.2 Problemática ambiental en la fabricación de pasta y papel .....</b>	<b>6</b>
<b>4.3 Sistema de tratamiento biológico del RIL .....</b>	<b>9</b>
<b>4.4 Sistema BAS (Biofilm Activated Sludge: Lodo Activado Biopelícula) .....</b>	<b>10</b>
<b>4.5. Proceso de Lodos Activados .....</b>	<b>12</b>
<i>4.5.1 Requerimientos básicos para el funcionamiento del sistema biológico.....</i>	<i>13</i>
<i>4.5.2 Parámetros de Control del Sistema.....</i>	<i>14</i>
<b>4.6 Problemas operacionales habituales en sistemas de Lodos activados .....</b>	<b>15</b>
<i>4.6.1 Problemas Operacionales en el AST.....</i>	<i>16</i>
<i>4.6.2 Problemas operacionales en Clarificador secundario.....</i>	<i>21</i>
<b>4.7 Marco regulatorio .....</b>	<b>30</b>
<b>5. Materiales y Métodos .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Caracterizar e identificar los parámetros físico químicos del RIL generado a partir de los procesos productivos.....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 Comparar las características del RIL de salida de la planta de Tratamiento de Efluentes con el de entrada.....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Análisis del proceso productivo y determinación de factores que afecten el ril.....</b>	<b>39</b>
<i>5.3.1 Definición del Área de trabajo.....</i>	<i>39</i>
<i>5.3.2 Identificación de fuentes generadoras de RILes.....</i>	<i>40</i>

5.3.3 Caracterización y evaluación de efectos de residuos e insumos .....	41
<b>6. Resultados y discusiones. ....</b>	<b>43</b>
<b>6.1 Proceso productivo del área de papeles y cartones Puente Alto de empresas CMPC .....</b>	<b>43</b>
6.1.1 Área de producción de Papeles Cordillera S.A.....	45
6.1.2 Área de producción Tissue .....	51
6.1.3 Área de producción de CHIMOLSA .....	54
<b>6.2 Caracterización del RIL resultante de la unión de RILes del área de Papeles y Cartones Puente Alto de empresas CMPC.....</b>	<b>56</b>
<b>6.3 Comparación del RIL afluyente al sistema de tratamiento biológico con el efluente. ....</b>	<b>60</b>
<b>6.4 Determinar factores que potencialmente pueden afectar el funcionamiento de la planta piloto de Tratamiento Secundario. ....</b>	<b>78</b>
6.4.1 Materias Primas .....	78
6.4.2 Aditivos: .....	81
6.4.3 Lavado de máquina .....	89
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>96</b>
<b>8. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>98</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>101</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Consumos de agua para la producción de pasta mecánica.....	6
Tabla 2. Rango de valores de DQO y DBO <sub>5</sub> de los vertidos líquidos en una fabrica de pasta mecánica.....	6
Tabla 3. Medidas de los parámetros de tratamiento primario en vertidos tipo de una fábrica de pasta. ....	7
Tabla 4. Medidas de vertido después de un tratamiento biológico.....	8
Tabla 5. Consumos específicos de agua de diferentes procesos en la fabricación de pasta y papel a partir de papel recuperado. ....	8
Tabla 6. Puntos y técnicas de muestreo. ....	36
Tabla 7. Programa de muestreo. ....	37
Tabla 8. Grupo de discusión y entrevistas en la empresa.....	41
Tabla 9. Tipos de papeles producidos por los tributarios al afluente.....	44
Tabla 10. Caracterización de RIL a tratar.....	60
Tabla 11. Comparación de parámetros físico químicos entre valores de entrada al sistema de tratamiento y salida del clarificador secundario.....	64
Tabla 12. Materias primas utilizadas en las empresas CMPC Papeles Puente Alto.....	78
Tabla 13. Criterios de evaluación para materia prima. ....	80
Tabla 14. Aditivos utilizados y potenciales efectos en el efluente. ....	81
Tabla 15. Aditivos utilizados en Papeles Cordillera S.A. ....	86
Tabla 16. Aditivos utilizados en Tissue S.A. ....	87
Tabla 17. Aditivos utilizados en CHIMOLSA ....	89

## Índice de figuras

Figura 1. Interior de un reactor MBBR.....	10
Figura 2. Planta piloto sistema tratamiento secundario utilizada en el proyecto.....	35
Figura 3. Planta con puntos de muestreo.....	36
Figura 4. Agrupación de áreas de trabajo.....	39
Figura 5. Estructura de un diagrama de flujos de procesos.....	40
Figura 6. Diagrama de Flujo del RIL.....	43
Figura 7. Proceso de tratamiento de papeles reciclados, Papeles Cordillera.....	46
Figura 8. Proceso de producción de papel, Máquina 20 Papeles Cordillera S.A.....	49
Figura 9. Proceso producción Máquinas Clásicas Papeles Cordillera S.A.....	50
Figura 10. Proceso de recuperación de papel Tissue S.A.....	52
Figura 11. Proceso de producción de papel Máquinas papeleras 1 y 2 de Tissue S.A.....	53
Figura 12. Proceso de producción bandejas moldeadas CHIMOLSA.....	55
Figura 13. Valores promedios semanales de pH en el RIL.....	56
Figura 14. Valores promedios semanales de turbidez en el RIL.....	57
Figura 15. Valores promedios semanales de color en el RIL.....	57
Figura 16. Valores promedios semanales de consistencia en el RIL.....	58
Figura 17. Valores de conductividad eléctrica del RIL.....	59
Figura 18. Valores promedios semanales de demanda iónica en el RIL.....	59
Figura 19. Valores de DQO en la entrada y la salida del tratamiento biológico.....	65
Figura 20. Valores promedios semanales de remoción de DQO en las distintas etapas de tratamiento del RIL.....	66
Figura 21. Valores promedios semanales de remoción de DQO en el AST y la salida del tratamiento secundario.....	66
Figura 22. Valores promedios semanales de remoción de DBO <sub>5</sub> en la entrada y la salida del tratamiento biológico.....	67
Figura 23. Valores promedios semanales de remoción de DQO en las distintas etapas de tratamiento del RIL.....	68
Figura 24. Valores promedios semanales de remoción de DQO en el AST y la salida del tratamiento secundario.....	68
Figura 25. Valores promedios semanales de sólidos suspendidos totales en el licor de mezcla del AST y la recirculación.....	69
Figura 26. Valores promedios semanales de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla del AST y la recirculación.....	70

Figura 27. Correlación lineal de SSV y SST en la entrada y salida del tratamiento biológico.....	71
Figura 28. Valores de índice volumétrico de lodos en el AST y recirculación del clarificador secundario. ....	72
Figura 29. Parámetros de control de la planta piloto de tratamiento biológico. ....	73

## 1. Introducción

En Chile existen once plantas industriales que fabrican papeles de diversas características, de acuerdo a la demanda de los mercados nacional e internacional. La mayor parte de estas fábricas se encuentran entre la región Metropolitana y la X región. Empresas CMPC produce alrededor del 70% de la producción total de papel nacional (Coleman, 1998).

En la formación de pasta y papel el agua es un elemento necesario e insustituible, su manipulación ha ocasionado la necesidad de desarrollar alternativas de tratamiento que mitiguen su impacto contaminante (Bravo *et al.*, 2003). Los desechos orgánicos en el agua se degradan por medio de actividad biológica natural. Cuando esto ocurre en la naturaleza, como en un río, arroyo o lago, el oxígeno del agua es consumido. Si la cantidad de material orgánico disponible como sustrato es muy alta, se puede retirar tanto oxígeno del agua que los peces y otros organismos acuáticos no pueden sobrevivir (Atlas & Bartha, 2002).

El área de papeles y cartones de CMPC, utiliza aguas del río Maipo para realizar sus actividades productivas, al finalizar los procesos las aguas salen de la fábrica y deben ser devueltas al cuerpo de agua receptor. Antes de ser vertidos, la empresa debe tratar sus Residuos Industriales Líquidos (RIL) en la planta de tratamiento de efluentes de Papeles Cordillera.

La primera etapa del tratamiento consta de un clarificador primario, la cual busca retirar del efluente la mayor parte de los sólidos suspendidos. Sin embargo, este procedimiento no resulta suficiente para cumplir con la normativa vigente. Por lo cual, deben incorporarse sistemas de tratamiento adicionales conocidos como secundarios o biológicos.

Existen diversas alternativas de tratamiento secundario en uso para efluentes de fábricas de papel. Los sistemas más comunes son los Tratamiento de Lodos Activados (AST). Una variación al proceso de lodos activados es el sistema BAS, (Biofilm Activated Sludge) que consta de un proceso de biofilm seguido por uno de lodo activado tradicional. La etapa de biofilm también se llama etapa MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor: Reactor Biofilm por

Cama Móvil)<sup>1</sup>. Este sistema, auxiliar al tradicional de lodos activados, ayuda a estabilizar el sistema en el momento de enfrentarse a fluctuaciones bruscas en el RIL, ya sea fisicoquímica, de volumen o sobrecarga.

En este marco, el área de papeles y cartones de CMPC Puente Alto, compuesta por Papeles Cordillera S.A., Tissue S.A. y Chilena de Moldeados S.A., ha instalado en su planta de tratamiento de efluentes, una planta piloto de sistema BAS. El laboratorio químico de la empresa Papeles Cordillera trabaja en el estudio de este nuevo proceso y el control de los parámetros que inciden en su operación adecuada.

El presente trabajo de titulación, tiene como finalidad evaluar el funcionamiento de la planta piloto de tratamiento secundario de riles de la empresa Papeles Cordillera S.A.

---

<sup>1</sup> Información disponible en [www.anoxkaldnes.com](http://www.anoxkaldnes.com)

## **2. Planteamiento del problema**

Anualmente se generan en Chile miles de toneladas de residuos industriales, de los cuales un porcentaje considerable corresponde a residuos industriales líquidos. Existe por lo tanto la necesidad de implementar mejoras en los sistemas de tratamiento de aguas (CONAMA, 2004). Actualmente la mayoría de las operaciones y procesos unitarios empleados en la industria para el tratamiento de aguas residuales están siendo sometidos a exhaustivas investigaciones, desde el punto de vista de la ejecución y la aplicación (López, 1981). El objetivo de este cambio es conseguir adaptarse a los crecientes y rigurosos requerimientos establecidos por la actual legislación ambiental para cursos de agua.

En Chile la normativa sobre regulación en el vertido de riles queda finalmente establecida mediante la publicación en el Diario Oficial el 7 de Marzo de 2001, de la “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”, D.S 90/00 MSGP.

La norma tiene como objetivo de protección ambiental prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales de la República, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. (D.S 90/00 MSGP)

En consecuencia, la empresa Papeles Cordillera S.A. requiere de la implementación de un sistema de tratamiento secundario, con el fin de disminuir la carga orgánica de sus riles, para lo cual recurre a la acción degradadora de microorganismos.

La organización empresarial carece de información relativa a la eficiencia de la planta de tratamiento secundario respecto de la remoción de carga contaminante y los factores de riesgo asociados a su funcionamiento

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

- Evaluar el funcionamiento de la planta piloto de tratamiento secundario de RILes de la Empresa Papeles Cordillera S.A.; ubicada en la comuna de Puente Alto.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar y describir las etapas del proceso productivo de la empresa Papeles Cordillera S.A., Tissue S.A. y Chilena de Moldeados S.A.
- Caracterizar los parámetros físico químicos del RIL generado en el área de Papeles y cartones CMPC Puente Alto, en las distintas etapas de los procesos productivos.
- Comparar las características del RIL de salida de la planta de Tratamiento de Efluentes con el de entrada. Del mismo modo, interpretar el funcionamiento de cada una de las etapas intermedias que componen el sistema de tratamiento secundario.
- Determinar factores que potencialmente pueden afectar el funcionamiento de la planta piloto de tratamiento secundario.

## **4. Antecedentes**

### **4.1 Industrias papeleras a partir de papel recuperado**

El aumento en la recuperación y utilización del Papel viejo ha sido, para la industria papeleras, uno de los hechos más destacados de los últimos 15 años. La relación de la utilización de papel recuperado sobre la producción total de papel ha pasado a nivel mundial de 51% en 1985 a 44% en 1997. La relación varía considerablemente en países como Taiwán que se acerca al 100%. Sólo 4 países superan el 60% (Reino Unido, España, Holanda y Corea). (IHOBE, 2001)

Los procesos de reciclado de papel usado se pueden clasificar en:

- Pulpeado, (destintación para formar una suspensión fibrosa) limpieza y descontaminación; para las pastas destinadas a la fabricación de papeles y cartones de embalaje.
- Pulpeado, limpieza, descontaminación: para las pastas destinadas a papeles prensa, revistas, Tissue, u otros de impresión y escritura. También existen plantas destinadas a la producción de pastas para el mercado. (IHOBE, 2001)

La depuración de la pasta procedente del papel o cartón recuperado (limpieza y descontaminación) está basado fundamentalmente en la diferencia de características físicas (tamaño y peso específico) entre las fibras celulósicas y las impurezas o contaminantes que las acompañan. Para realizar esta depuración se utilizan depuradores de agujero o ranura (screens) o de tipo ciclónico, siendo a veces necesario en función de la aplicación el uso de equipos de dispersión (reducción del tamaño de partícula del contaminante).

El destintado del papel recuperado exige además el tratamiento con aditivos para favorecer el desprendimiento y la posterior flotación de tintas. Este es el procedimiento comúnmente utilizados para la eliminación de la tinta que requiere el uso de células en fases sucesivas en las que por inyección de aire se provoca la flotación de las tintas de impresión que han sido incorporados al papel.

Es habitual que una o varias fases de blanqueo completen el proceso de producción de este tipo de pasta. De los productos químicos empleados, el más común es el peróxido de hidrógeno que se complementa con el hidróxido de sodio y algunos agentes quelantes. La blancura finalmente obtenida depende tanto de la original de los papeles soportes empleados, como del proceso y de las fases de blanqueo, llegando a blancuras de hasta 84° ISO. También puede utilizarse oxígeno y ozono.

#### 4.2 Problemática ambiental en la fabricación de pasta y papel

##### a) Pastas mecánicas:

En lo que dice relación a los vertidos líquidos en los procesos de fabricación de pasta mecánica y termomecánica, es sabido que el agua interviene en circuito casi cerrado para mantener la temperatura. En la tabla 1 se entregan datos correspondientes a los consumos típicos de agua en la fabricación de pastas mecánicas:

**Tabla 1.** Consumos de agua para la producción de pasta mecánica.

Tipo de pasta	Consumo de agua (m <sup>3</sup> /t)
Pasta mecánica Tradicional (SGW)	10-15
Pasta termomecánica (TMP)	4-10

Fuente: IHOBE, 2001.

Por otra parte, en la Tabla 2, se presentan valores típicos de DQO y DBO<sub>5</sub> de la descarga de vertidos líquidos procedentes de la fabricación de pastas mecánicas:

**Tabla 2.** Rango de valores de DQO y DBO<sub>5</sub> de los vertidos líquidos en una fabrica de pasta mecánica.

Tipo de pasta	DQO (Kg/t)	DBO <sub>5</sub> (Kg/t)
pasta mecánica tradicional (SGW)	20-30	8-10
pasta mecánica refinos (RMP)	40-60	10-15
pasta termomecánica (TMP)	50-80	13-22

Fuente: IHOBE, 2001.

## b) Pasta a partir de papel recuperado

Los vertidos líquidos en cuanto a su volumen, están fuertemente ligados al tipo de papel o cartón recuperado, los requerimientos del producto final, (clase y calidad del papel) la tecnología utilizada y las indicaciones de la instalación. Los aditivos utilizados y el control del proceso tienen también influencia.

La contaminación del agua se produce en las operaciones de depuración, destintado, flotación (en su caso) y recuperación de las fibras. Las aguas del vertido procederán por tanto de:

- Los rechazos de las depuraciones
- Los filtrados de lavado y espesado
- Sobrantes de aguas blancas.

Estas aguas contaminadas serán vertidas al cauce del río después de un tratamiento previo (primario y biológico) o a través de una planta pública, luego de una sedimentación-Clarificación en la propia fábrica.

En la Tabla 3 y Tabla 4 se observan los parámetros típicos medidos a la salida de una planta de tratamiento de RILes y los contenidos máximos y mínimos que se presentan generalmente en fábricas de pasta, resulta fundamental que estos valores se encuentren en el rango de diseño de cada planta y bajo los límites establecidos por la norma de emisión vigente en el lugar de descarga.

**Tabla 3.** Medidas de los parámetros de tratamiento primario en vertidos tipo de una fábrica de pasta.

Parámetro control	de	Pasta recup. sin destintado		Pasta recup. con destintado	
		mg/L	mín/máx	mg/L	mín/máx.
DBO <sub>5</sub>		1.900		550	
DQO		3.800	(570/9.000)	1.100	(440-1.900)
Kj- N		16	(10/40)	20	(13-25)
Caudal		3,6 m <sup>3</sup> /t	(0,4/6,6)m <sup>3</sup> /t	15 m <sup>3</sup> /t	(9 -18)m <sup>3</sup> /t

Fuente: IHOBE, 2001

**Tabla 4.** Medidas de vertido después de un tratamiento biológico.

Parámetro control	de	Pasta recup. sin destintado		Pasta recup. con destintado	
		mg/L	mín/máx	mg/L	Mín/máx.
DBO <sub>5</sub> (antes del Trat.biolog.)		1800		770	
DBO <sub>5</sub> (despues del Trat.biolog.)		10	(3/28)	9	
DQO (antes del Trat.biolog.)		3200		1900	
DQO (despues del Trat.biolog.)		150	(60/270)	290	
Kj- N		5,6	(3/13)	7,8	
SST		25	(17/40)		
Caudal		5,7 m <sup>3</sup> /t	(3,1/11)m <sup>3</sup> /t		

Fuente: IHOBE, 2001

DQO → Su emisión está originada por materias primas y aditivos. El destintado y el blanqueo aportan una parte sustancial del DQO.

DBO<sub>5</sub> → Su origen es el mismo que en la demanda química. La Tabla 4 indica valores medidos después del tratamiento biológico. Una planta con dicho tratamiento y trabajo correcto, debería tener una concentración de DBO<sub>5</sub> inferior a 20 mg/L independiente de la entrada.

Nutrientes → para una efectiva operatividad del tratamiento biológico se necesita una adición de nutrientes en forma de Nitrógeno y fosfato. Residuos de éstos estarán en las aguas vertidas.

En la formación de pasta y papel, el agua es un elemento fundamental e irremplazable, los consumos de agua en la industria que utilizan papel recuperado y pasta recuperada son distintos, del mismo modo se observan variación dependiendo del grado de destintado que presente la materia prima (Tabla 5).

**Tabla 5.** Consumos específicos de agua de diferentes procesos en la fabricación de pasta y papel a partir de papel recuperado.

Proceso		Consumo m <sup>3</sup> /t
Fabricación tratamiento de pastas recuperadas	Sin destintar	1,5- 10
	Con destintar	5-20
Fabricación de papel con pasta recuperada	Embalaje	1,5-10
	Prensa	10-20
	Tissue	5-30
	Impresión y escritura	7-20

Fuente: IHOBE, 2001

c) Fabricación de papel

Como se menciona anteriormente, el agua es fundamental en el proceso. Existen diferentes orígenes de agua sobrante en las fábricas de papel.

- Depuración de la pasta:

Antes de que la pasta llegue a la caja de entrada de la máquina de papeles depurada; los rechazos suelen retener arena, cargas minerales, crudos e incluso fibra y suelen ser llevados al tratamiento de efluentes o descargas directamente con los lodos sin deshidratar.

- El exceso de agua blanca

La suspensión fibrosa que llega a la máquina de papel es fundamentalmente demanda en la mesa y también en la sección prensas. A toda esta agua blanca se añade también el agua (fresca o recirculada) de las regaderas de tela y fieltros. Esta aportación produce un sobrante de agua blanca que es descargada al efluente a través de un recuperador de fibra previo.

La cantidad excedente depende del grado de cierre del circuito y contiene materia coloidal disuelta. Esta materia está formada fundamentalmente por:

- Sólidos en suspensión (materias primas)
- Materia orgánica disuelta
- Sales de calcio y otras sales.

### **4.3 Sistema de tratamiento biológico del RIL**

La implementación de tratamiento secundario dentro de la industria, tiene como meta permitir que el agua residual estabilice su contenido de materia orgánica. Para llevar a cabo este proceso, es fundamental la función que cumplen los microorganismos dentro del sistema. (Atlas & Bartha, 2002).

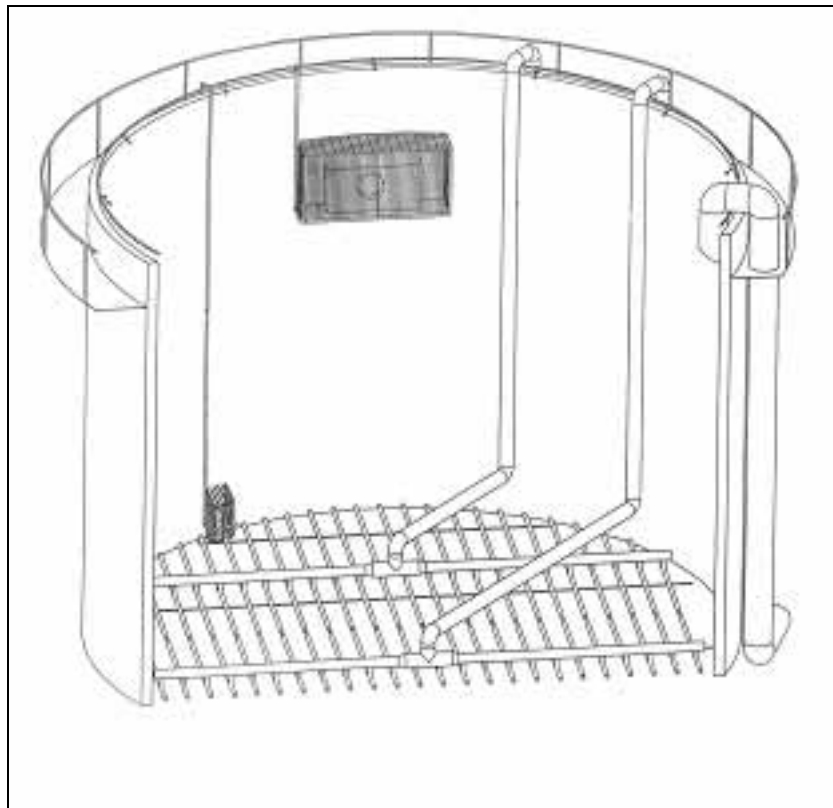
La eliminación de la DBO<sub>5</sub>, la coagulación de sólidos no sedimentables y la estabilización del contenido orgánico se realizan por acción de los microorganismos, generalmente por bacterias. Estos microorganismos convierten la materia orgánica coloidal en gases y tejido

celular, al separarse los componentes el tejido celular sedimenta por acción gravitacional y puede ser eliminado. (Metcalf & Eddy, 1995)

El sistema que se implementará en la Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE), consiste en adicionar al sistema actual de tratamiento de Residuos Industriales Líquidos, un tratamiento secundario o biológico con cultivo en suspensión en base a lodos activados.

#### **4.4 Sistema BAS (Biofilm Activated Sludge: Lodo Activado Biopelícula)**

En el sistema de tratamiento BAS, la etapa de biofilm también se llama etapa MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor: Reactor Biofilm por Cama Móvil). La novedad en el proceso MBBR es que los medios transportadores o carriers además de servir de sustrato para el crecimiento microbiano, se pueden mover libremente alrededor del reactor, como cuerpos individuales suspendidos (Fig. 1).



**Figura 1.** Interior de un reactor MBBR

Los carriers, son cuerpos sólidos usados con el propósito de hacer crecer biofilm en su superficie están diseñados con una gran área superficial protegida, de manera que el área activa es maximizada mientras que el volumen vacío es grande de tal forma que el desplazamiento del volumen líquido en el reactor es minimizado.

Los carriers son mantenidos en el estanque por sistema de flautas. A medida que el biofilm aumenta en espesor, el exceso de película se desprenderá y fluirá con el efluente del reactor hacia el estanque de lodos activados junto con cualquier sólido que entre y pase a través de los reactores. Dado que los microorganismos activos están unidos a los carriers, no hay necesidad de capturar y devolver el lodo al biorreactor como en el caso de los sistemas por lodos activados.

El tiempo de retención hidráulica requerido es mucho menor en un MBBR que en un proceso de lodos activados, en consecuencia la carga permitida es mucho mayor. En el caso de la planta Puente Alto, el tiempo de retención hidráulica es del orden de 0,5 d.

Los reactores MBBR pueden ser operados en serie o en paralelo. La operación en serie es la configuración estándar. Cualquiera de los estanques puede ser dejado fuera de línea para permitir el mantenimiento de un reactor mientras el otro permanece en operación.

El proceso BAS es robusto y tolera variaciones y perturbaciones mejor que la mayoría de los procesos de tratamiento biológicos. Los reactores MBBR no son muy sensibles a grandes cantidades de fibra ocasionales (las fibras tienden solo a fluir a través de los reactores), aunque estas pueden tapar las torres de enfriamiento y otros equipos. El proceso de lodos activados, sin embargo, es sensible a los derrames de sólidos, porque estos ponen una carga adicional en los clarificadores secundarios y solo pueden ser eliminados lentamente del sistema a través del desecho de lodo. Esta característica fue determinante a la hora de elegir el sistema de tratamiento, debido a que el exceso de fibra en el efluente constituye uno de los problemas más frecuentes en la planta<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Información disponible en [www.anoxkaldnes.com](http://www.anoxkaldnes.com)

#### 4.5. Proceso de Lodos Activados

Entre los procesos secundarios o biológicos de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, el proceso de lodos activados ha sido utilizado a partir de 1913, desarrollándose a partir de lagunas aireadas de estabilización (Wiesmann, s/a).

El proceso de lodos activados es el más empleado para el tratamiento de residuos líquidos que presentan contaminación orgánica (Wagner, 1982).

El proceso de lodos activados consiste en una población microbiana densa mezclada en suspensión con el agua residual bajo condiciones aerobias, donde tasas extremadamente altas de crecimiento y respiración microbiana se llevan a cabo purificando el agua a través de la metabolización de la materia orgánica presente a productos finales inorgánicos oxidados como  $\text{CO}_2$  o  $\text{NO}_3^-$  y la biosíntesis de nuevos microorganismos. A diferencia de los antiguos procesos extensivos, se le llama intensivo por su característica de alcanzar elevadas concentraciones de lodos biológicos dentro de un tanque aireado, a través del empleo de una decantación secundaria junto al retorno de los lodos separados al tanque aireado. (Gray, 1990).

El proceso de lodos activados consiste en dos fases: la aireación y la decantación secundaria de los lodos. En la primera fase, el agua residual es introducida al tanque de aireación, el cual contiene la población microbiana; el aire es suministrado a través de aireadores que cumplen la doble función de mantener un nivel mínimo de oxígeno para la respiración microbiana en el medio y de mantener los flóculos microbianos en un estado continuo de suspensión agitada, asegurando de esa manera el contacto máximo entre la superficie de los flóculos y el agua residual. La mezcla continua no solo es importante para asegurar una adecuada alimentación, sino también para mejorar la transferencia de masa a través de un alto gradiente de concentración de oxígeno y para apoyar la difusión de productos metabólicos desde el centro de los flóculos. Cuando el agua residual entra al tanque de aireación, desplaza el licor mezclado hacia el clarificador. En esta segunda fase, la biomasa floculenta decanta rápidamente de la suspensión, formando lodos espesados y dejando el efluente completamente libre de sólidos, el cual es descargado subsecuentemente como efluente final. La mayor parte de los lodos espesados es retornada al tanque de aireación, donde actúa como inóculo de microorganismos, asegurando una concentración suficiente y adecuada para la oxidación del agua residual durante su retención dentro del tanque de aireación. Los lodos en exceso son purgados del clarificador y enviados a su posterior tratamiento. (Gray, 1990)

En el caso del proceso de lodos que operara en Papeles Cordillera el sistema realizará una incorporación de oxígeno en forma controlada, el objetivo de esta etapa es la reducción de la  $DBO_5$  desde 300 mg/L hasta 35 mg/L, valor exigido por la normativa y definido como meta del proceso.

Para contar con suficientes microorganismos activos, el sistema utiliza una vía de recirculación, la que va desde el decantador al AST, manteniendo una población adecuada. El aire para el AST será proporcionado por sopladores centrífugos multietapas.

#### 4.5.1 Requerimientos básicos para el funcionamiento del sistema biológico.

El proceso de lodos activados debe cumplir con ciertas condiciones básicas para producir un efluente de calidad aceptable. Los requerimientos mínimos son los siguientes:

- La cantidad y desarrollo de un número determinado de microorganismos en el sistema resulta fundamental. Los microorganismos son los encargados de asimilar la materia orgánica que se encuentra como coloide y disuelta, para convertirla finalmente en  $CO_2$ , agua y materia inerte. La concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla (SST) es una manera preliminar de evaluar la biomasa activa en el tanque de aireación. Parte de los SST son inorgánicos, por lo que la fracción orgánica se expresa en función a los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) del licor de mezcla. Concentraciones normales de sólidos suspendidos volátiles varían entre 1.500 a 3.500 mg/L para unidades convencionales. (Gray, 1990)
- El medio en el que se desarrollen los microorganismos debe ser el adecuado para una buena actividad metabólica. Debe contar con una apropiada:
  - *Concentración de oxígeno disuelto ( $O_2$ )*, la que se ve afectada por cambios en la temperatura del afluente. Al variar la Temperatura la transferencia de éste y otros gases importantes en la respiración y metabolismo celular se ve disminuida. Generalmente se intenta garantizar una concentración límite de oxígeno de 2 mg/L, la cual puede ser mayor, dependiendo de la carga másica aplicada (Ronzano *et al.*, 1995). En el caso de esta planta se estima que la concentración no puede estar por debajo de 2 mg/L en el AST y en los MBBR.

- *pH óptimo*, para un adecuado funcionamiento del sistema debe encontrarse entre 6.8 – 7.2.
- *Sustrato suficiente para la nutrición*, adición de nutrientes (Fosfato y N) de ser necesario para el crecimiento celular, etc. Normalmente un sistema típico de lodos activados requiere de una tasa de  $DBO_5:N:P$  de 100:5:1 para mantener un balance de nutrientes óptimo para la actividad heterotrófica de los microorganismos (Gray, 1990)
- El sistema debe contar con un lodo que se separe fácilmente del líquido tratado en el clarificador secundario.

El sistema de tratamiento biológico está en gran medida determinado por un manejo eficiente de los Parámetros de Control del Sistema.

#### 4.5.2 Parámetros de Control del Sistema

Los parámetros de control son: Edad del lodo y Factores de carga, este control se logra regulando adecuadamente el caudal de recirculación y el despiche o purga de lodos. (Metcalf & Eddy, 1998)

- *Edad del lodo: Es equivalente al tiempo de residencia celular (TRC), afecta las condiciones de la formación de flóculos en el clarificador. Es además un factor de control en los lodos, porque resulta ser inversamente proporcional al crecimiento celular en el tanque.*
- *Factores de carga (CV): las cargas generalmente se expresan en función de la  $DBO_5$  o DQO por unidad de volumen del tanque. Generalmente se debe trabajar con cargas de  $0.025 \text{ Kg}DBO_5/m^3$*
- *Relación F/M: El factor de carga, (F/M) de los lodos es muy útil para el control del proceso de lodos activados y es un parámetro manipulable. Hace referencia a la relación entre la materia orgánica del afluente (Food: Sustrato) y la cantidad de microorganismos en el reactor para degradar este sustrato (Microorganisms: Microorganismos) (Ramalho, 1995). Para la mayoría de las aguas residuales el valor*

*óptimo de la relación F/M se encuentra dentro de los límites de 0,3 a 0,6 Kg DBO<sub>5</sub>/KgSST\*d (Ramalho, 1995). Según la experiencia del personal de planta con la PTS piloto el rango óptimo esta entre 0.2 y 0.4 KgDBO<sub>5</sub>/KgSST\*d*

#### **4.6 Problemas operacionales habituales en sistemas de Lodos activados**

A continuación se detallan los inconvenientes más comunes sufridos por plantas de tratamientos de lodos activados.

Generalmente los problemas operacionales pueden ser clasificados por las condiciones que pueda observar el operador en el tanque de aireación o en el sedimentador secundario.

Al momento de manejar problemas operacionales en una planta se debe recordar que el reactor biológico y el sedimentador están ligados.

Los problemas habituales en Sistema de Tratamiento Biológicos, están separados por sección afectada:

- AST, en el tanque de aireación se pueden identificar los siguientes inconvenientes: Mezcla poco uniforme, y problemas en los difusores de aire.
- Clarificador, en el sistema de decante los problemas más frecuentes dicen relación con: Sobrecarga de sólidos, Bulking, Lodo ascendente, Pinpoint, Floc retardado, Efluente turbio.

#### 4.6.1 Problemas Operacionales en el AST

##### **i. Problemas en el sistema de aireación**

El efluente debe airearse de tal manera de que los microorganismos aeróbicos cuenten con el oxígeno suficiente para permanecer activos y saludables. Además el contenido del tanque de aireación debe mezclarse para permitir el continuo contacto con toda la materia orgánica presente en el líquido a tratar.

Generalmente la mezcla del tanque de aireación se puede controlar por medio de la observación de la turbulencia en la superficie del tanque. La turbulencia superficial debe ser razonablemente uniforme en todo el tanque.

##### **ii. Problemas en el difusor de aire**

Generalmente se trata de difusores atascados o la necesidad de ajustes en el balance de la distribución del aire. Para tanques de aireación con difusores de aire se debe realizar un perfil de oxígeno cada seis meses o cada vez que el patrón de flujo cambie.

La distribución de aire debe ajustarse adecuadamente para cada reactor del sistema biológico. En el AST debe mantenerse en un rango de 1 – 2 mg/L (idealmente  $\geq 2$ ). En los reactores MBBR la concentración de oxígeno aconsejada debe estar entre 2 – 4 mg/L (idealmente 4 mg/L).

#### Posibles Causas

Dentro de las posibles causas de aireación poco uniforme se encuentran:

- Tasas de aireación muy altas o muy bajas para el funcionamiento adecuado del difusor.
- Necesidad de ajustes en válvulas para balancear la distribución de aire.
- Necesidad de limpieza y/o reparación de difusores.
- Limitaciones mecánicas de los equipos.
- Distinta elevación de los difusores.
- Impulsor cubierto con algún objeto

#### Posibles Efectos

Cuando el sistema presenta problemas de aireación las consecuencias pueden ser las siguientes:

- Reactor con puntos muertos

- Aparición de olores molestos, generación de H<sub>2</sub>S.
- Reactor con alta turbulencia, pudiendo llevar a derrames espontáneos de lodo. Provocando una disminución en la cantidad de SST.

#### Corrección:

Para corregir los problemas mencionados, se aconseja tomar las siguientes medidas:

- Ajustar el flujo de aire para mantener una tasa apropiada de flujo de aire (1,5 a 4 mg/L).
- Ajustar las válvulas de los cabezales del difusor para el mejor balance en la distribución y evitar los puntos muertos.
- Manejar los requisitos de mantenimiento preventivo del soplante, registros de servicio, capacidad de diseño y rendimiento actual. Por si el soplante requiere de reparación.
- Controlar y limpiar regularmente los difusores.
- Reorganizar la disposición y el número de difusores de ser necesario, para conseguir una mezcla apropiada.
- Remoción de objetos que obstaculicen la operación adecuada.

### **iii. Problemas de Espumas**

Normalmente en el sistema de lodos se observa la presencia de espumas en el tanque de aireación, lo que se considera normal dentro de la operación. En una planta en funcionamiento normal entre un 10 a un 25% de la superficie se encuentra cubierta por espuma liviana, con un espesor de 5 a 8 cm.

A partir de condiciones específicas la espuma se puede ver acrecentada provocando complicaciones en la operación.

Las espumas más frecuentes, pueden clasificarse en:

1. Espumas blancas y consistentes.
2. Espumas marrones u oscuras

#### Espumas blancas:

En el caso de presentarse este tipo de espumas, su aparición indica la presencia de un lodo joven, que se puede encontrar normalmente en plantas nuevas como en sobrecargadas. La espuma puede consistir en detergentes o proteínas que no se convierten en alimento para los microorganismos degradadores.

#### Posibles Causas:

Dentro de las posibles causas de la generación se encuentran:

- Insuficiente SST resultante de la puesta en marcha.
- Alta relación F/M. La alta relación F/M puede ser causada por:
  - Los lodos activados no retornan al tanque de aireación, provocando una insuficiente recirculación de RAS (lodo activado recirculado).
  - Derivada del proceso de de puesta en marcha.
  - Destrucción de materia viva a causa del ingreso de algún lodo toxico en el afluente.
  - Déficit de nutrientes en el RIL afluente.
  - Bajas temperaturas.
  - Baja presión Atmosférica.
- Variaciones inadecuadas en los parámetros de pH, OD insuficiente.
- Escape de biomasa en clarificador secundarios. Que puede tener su origen en:
  - Exceso de carga hidráulica.
  - Perturbaciones en las condiciones biológicas.
  - Problemas en la mecánicas del clarificador secundario
  - Inapropiada distribución del líquido residual o del flujo proveniente de otro clarificador.
  - Exceso de despiches

Posible Efectos:

- Si tiene una consistencia dura puede crecer excesivamente, ser trasportada por corrientes de aire o viento y generar situaciones de riesgo en otros sectores dentro de la unidad operativa.
- Presenta una apariencia y olor desagradable, incluso pudiendo constituir una vía de transporte de microorganismos patógenos.
- Si la espuma generada es grasosa o espesa puede ser arrastrada por el flujo hasta el clarificador y acumularse en el lugar de los deflectores del efluente, resultando inadecuado para la limpieza.
- Puede estancar el separador de espumas.

Corrección:

Para solucionar los problemas anteriormente señalados se proponen las siguientes medidas de mejoramiento:

- Chequear el nivel del manto de lodos del clarificador. Verificar que las tasas de retorno mantengan un manto de lodo en la parte inferior del clarificador de aproximadamente 30 a 90 cm. Del fondo.
- Aumentar la concentración de SST y TRC, esto se puede lograr frenando el desecho de lodo por unos días.
- Controlar las válvulas de desagüe y mantenerlas cerradas.
- Verificar que el medidor de flujo de RAS en los reactores este funcionando y Comprobar que el lodo de retorno llega en buenas condiciones al tanque de aireación.
- Verificar si las bombas de RAS están funcionando.
- Mantener una distribución apta de caudales a los tanques de aireación y sedimentadores cambiando cañerías o estructuras si fuese necesario.
- Si fuese necesario sembrar lodos activados de otras plantas que funcionen correctamente.
- Para reestablecer los niveles de pH que provocan generación de espuma blanca se debe. Adicionar químicos para corregir con HCl o NaOH al corto plazo y posteriormente determinar la causa de la variación de pH y corregirla

### Espumas marrones u oscuras:

Este problema se presenta generalmente en plantas que están operando en baja carga. La presencia de una espuma viscosa, marrón (café), que cubre los estanques de aireación, incluso llegando a los decantadores secundarios, está asociado a un microorganismo de la familia *Nacordia*. Presenta un crecimiento lento y es parte del grupo de los actinomicetes rosada. Se caracterizan por su textura grasosa y oscura.

### Posibles causas:

Algunas de las causas de los problemas de espumas marrones son:

- La baja relación F/M en el tanque de aireación.
- Alta concentración de SST como resultado de deficiente desecho de lodos en el líquido de mezcla. (aumentando la edad del lodo)
- Reaireación de lodos.(Metcalf & Eddy, 1995)
- Aparece en RILes que contienen tintes o tinturas.

Observación: Es necesario destacar, que el incremento del flujo en los aireadores, para suministrar de mayor cantidad de O.D, provocara una expansión de la espuma en la superficie del tanque, agravando el problema.

### Posibles Efectos:

- Provoca problemas de seguridad
- Efluente de baja calidad
- Malos olores, producidos por concentración de oxígeno disuelto < a 1 mg/L

### Corrección:

En este caso, se presentan las siguientes propuestas para minimizar los problemas:

- Reducción de edad del lodo (Método mas empleado para controlar el problema)
- Agregar un antiespumante en base agua a cada reactor en forma independiente y al AST. Normalmente, una dosificación de 3 – 5 ppm debe ser suficiente. Para una aireación de alta intensidad, el uso de antiespumante puede ser incluso mayor.
- Cloración del lodo de retorno.
- Incrementar la F/M y disminuir TRC si la nitrificación no es necesaria. Para lograr este aumento se debe favorecer la proliferación de organismos formadores de

flóculos en la primera parte del proceso biológico al asegurar un nivel elevado de la relación alimento/microorganismo a concentraciones de O.D controladas.(Metcalf & Eddy, 1995)

- Si aparecen organismos filamentosos tratar la causa.

El crecimiento de este tipo de organismos es el problema más común en el funcionamiento de plantas de lodos activados. Esto produce Además un lodo de deficientes características de sedimentabilidad. (Metcalf & Eddy, 1995) Esta proliferación de microorganismos se da principalmente en sistemas de mezcla completa, debido a sus bajos niveles de sustrato. Una espuma marrón oscura indica un barro viejo.

#### 4.6.2 Problemas operacionales en Clarificador secundario

##### **iv. Problemas de Separación de Sólidos**

La separación o colocación deficiente de lodos es un problema usual en las plantas de tratamiento de estas características y esta determinada generalmente porque:

1. Se han excedido las condiciones hidráulicas del diseño;
2. Se han excedido las condiciones de cargamento de los sólidos del diseño;
3. Las condiciones ambientales que han ocurrido no favorecen la floculación de bacterias y la formación del floc.

Arrastre de Sólidos:

Esta condición inapropiada se puede visualizar de forma fácil en el sedimentador y se confirma con la ayuda de un test de sólidos en el líquido de mezclas. Los sólidos homogéneos que flotan cercanos a los vertederos del clarificador secundario a pesar de que el manto de lodos se encuentre en la parte inferior del tanque constituyen un problema.

Posibles Causas:

- Malfuncionamiento del equipo; El mal funcionamiento puede deberse a:
  - Fallas en las bombas de RAS están funcionando correctamente
  - Fallas en el medidor de flujo del RAS.
  - Fallas en las válvulas en línea del RAS
  - Los pernos de esquiroleo, impulsores o piezas del soporte en mal estado.

- Problemas en la succión de los colectores por atascamiento o averías en el puente barredor.
- Sobrecarga hidráulica (Flujo excesivo del afluente (afluencia e infiltración) o Flujo irregularmente distribuido entre unidades múltiples). La causa de este problema es:
  - Error de ajuste en las puertas del afluente y el vertedero del efluente que va al clarificador.
  - Mal cálculo del rango de flujo, sobrepasando parámetros de diseño.
- Sobrecarga de los sólidos; Las sobrecargas de sólidos ocurren cuando los sólidos entran en el clarificador más rápidamente de lo que el puede quitarlos. Puede ser causa de:
  - Corrientes de la temperatura o de densidad en la mezcla.

#### Posibles Efectos

- Profundidad del manto de lodo poco uniforme
- Aumento del manto de lodos y alta carga de sólidos en los análisis.
- Flujo de efluente a los vertederos poco uniforme.

#### Corrección:

- Para mejorar inconvenientes causado por mal funcionamiento de equipos, verificar el funcionamiento correcto de: bombas de RAS (lodos activados recirculados), medidor de flujo de RAS , válvulas en línea del RAS , pernos de esquiroleo, impulsores o piezas del soporte. Si se encuentran en mal estado, proceder a cambiarlos.
- Para el control de la carga hidráulica:
  - Ajustar las puertas del afluente y el vertedero de efluente que van al clarificador y facilitar el eculizado.
  - Ajustar el rango de flujo hidráulico rigiéndose por los parámetros de diseño de la planta.
- Para solucionar el arrastre de sólidos por aumento de carga de sólidos se debe:
  - Ajustar el RAS
  - Aumentar el rango de WAS

- Como alternativa de corto plazo, considerar agregarle: Polímero; Sales férricas (si no usa UV para la desinfección); Sales del aluminio.
- El problema de arrastre de sólidos por alteraciones de temperatura o corrientes, se puede controlar con clarificadores cubiertos.

#### **iv. Lodo ascendente**

Existe la posibilidad de que un lodo de buenas características de sedimentación llegue a la superficie del tanque en un tiempo medianamente corto.

Este fenómeno puede ocurrir incluso luego de la adición de coagulante (del tipo polímeros). Se pueden apreciar como aglomeraciones que flotan y burbujas ascendentes adheridas al sólido, es justamente esta característica la que permite diferenciarlo del lodo voluminoso (bulking).

#### Posibles causas:

- Posible desnitrificación, proceso en que los nitritos y nitratos del RIL se transforman a gas nitrógeno. Las burbujas de gas se alojan en el seno del lodo, son atrapadas y provocan que éste flote superficialmente. El fenómeno se da en condiciones anaerobias en presencia de nitratos.
- Exceso de inyección de aire en el reactor AST.

#### Posibles Efectos:

- Mala sedimentabilidad
- Alteraciones en el manto de lodos.

#### Corrección:

Para solucionar la problemática del lodo ascendente se propone:

- Aumentar la purga de lodos del tanque de decantación para minimizar el tiempo de retención.
- De no ser posible la medida anterior, disminuir el caudal del líquido de mezcla del tanque de aireación del decantador.
- Aumentar los mecanismos de eliminación de lodos del decantador, de ser posible.
- Disminuir el tiempo medio de retención celular por medio del incremento de las purgas.
- Para disminuir la nitrificación se debe aumentar la relación F/M

#### v. Lodo voluminoso (Bulking)

Se refiere a aquel que presenta mala sedimentabilidad y que no tiene textura compacta. El abultamiento de lodos es uno de los problemas operacionales más comunes y se hace presente con lodo de gran volumen, liviano y esponjoso en el sedimentador secundario. El lodo puede llegar a fugarse por los vertederos. (Jenkins, 1998)

Para poder determinar la presencia de bulking existen señales que facilitan su identificación, como la relación entre el índice volumétrico del lodo y la profundidad del manto. A medida que pasan los días se observa un aumento en la altura del manto, y un aumento en el IVL. Además se debe realizar una detallada observación microscópica del licor de mezcla.

Para facilitar la detección de la causa de aparición de Bulking, debido a la amplia gama de factores involucrados se recomienda investigar aspectos claves como:

1. Origen y características del afluente. Pueden contener elementos traza de ciertas sustancias que provoquen bulking. Es necesario considerar los niveles de Nitrógeno y Fósforo presentes, ya que se sabe que la presencia de cantidades insuficientes de uno o ambos de ellos favorece el desarrollo de fango voluminoso (Metcalf & Eddy, 1995)
2. Exceso de carga interna de la planta. Se debe mantener el control del sobrenadante y recirculaciones, para evitar retornos en periodos de carga orgánica punta o de carga hidráulica.
3. variaciones de cargas en los procesos. Es importante estar atento a las variaciones en el aporte de carga orgánica al efluente provenientes de cada máquina papelera.
4. Contenido de O.D. La escasa concentración de oxígeno disuelto es la causa más común de bulking. Se puede combatir con un aumento al máximo de los mecanismos de aireación. Para lograr al menos 2 mg/L de O.D para cargas normales.( Jenkins, 1998)
5. Microbiología del proceso. La relación F/M es otro factor a considerar dentro de los parámetros. A baja F/M se favorece proliferación de organismos filamentosos. Es necesario identificar el tipo de microorganismo que se presenta ya que varían de acuerdo a las condiciones climáticas presentes. (Metcalf & Eddy, 1995).

6. Funcionamiento de decantadores. Es más frecuentes en tanque de forma cilíndrica y alimentación central, como esta planta. Debido a que la extracción de lodos se realiza justo por debajo de la zona de ingreso de la mezcla y parte del lodo puede quedar estancado en estos lugares un tiempo mayor al presupuestado previamente. Si este fuese el caso, estamos frente a una deficiencia en el diseño.
7. Caudal de recirculación de lodos.

Pueden identificarse dos tipos:

- Bulking filamentoso: Generado por el crecimiento de organismos filamentosos en condiciones desfavorables (esta es el tipo más frecuente). Si aumenta la cantidad de filamentosos en relación a las bacterias formadoras de floculo se comienza a producir el fenómeno denominado bulking (abultamiento de lodos).
- Bulking no filamentoso: Provocado por agua enfrascada o embebida en el floculo, lo que hace que las células se llenen de agua, se inflen disminuyendo su densidad y evitando que sedimenten.

#### Posibles Causas:

- Características físicas y químicas del agua residual. Las características del RIL que pueden provocar bulking son:
  - Variaciones bruscas de caudal y concentración del afluente.
  - Variaciones de pH fuera del rango ideal.
  - Alteraciones importantes en la Temperatura
  - Grado de septicidad del afluente
  - Contenido de nutrientes
- Deficiencias en el proyecto de la planta. Las causas en este sentido dicen relación con:
  - Deficiencias en el suministro de aire
  - Insuficiencias en la capacidad de bombeo en la recirculación.
  - Problemas en la capacidad de mezclado de los reactores.

- Problemas de operación.

Es necesario hacer una distinción entre las causas que provocan bulking filamentoso y bulking no filamentoso.

Bulking Filamentoso:

- Bajas concentraciones de O.D en el tanque de aireación (Valores bajos de OD dan como resultado aparición de *Sphaerotilus natans*)
- Falta de nutrientes.
- Grandes variaciones de carga orgánica en el afluente.
- Baja relación F/M (resulta en la predominancia de *Microthrix parvicella* y *Nocardia*) (Metcalf & Eddy, 1995)
- Gradiente de DBO<sub>5</sub> soluble insuficiente.
- Desequilibrio en los niveles de pH

Bulking No Filamento:

- Cargas orgánicas inadecuadas.
- Aireación excesiva
- Presencia de compuestos tóxicos.

Posibles efectos:

- Mala sedimentabilidad
- Aumento en la turbidez
- Escasa degradación de sustrato, por lo tanto una merma en la remoción de materia orgánica.

Corrección:

- En el caso del Bulking filamentoso para controlar el crecimiento excesivo de este tipo de microorganismos:
  - Aumente la purga para reducir la concentración de MLSS
  - Mantenga buenas condiciones aeróbicas durante el proceso
  - Varíe las condiciones ambientales para favorecer la formación de organismos formadores de floculo.
- Corrección de la deficiencia de nutriente
  - Calcule la cantidad de alimentos disponibles para el sistema;
  - Establezca qué alimento es deficiente;
  - Determínese cuánto alimento se debe agregar para balancear el sistema.

Se debe recordar que para un proceso de lodos activados. Por cada 100 unidades de DBO (Kg. o en libras) los requerimientos de nutrientes son: 5 unidades de Nitrógeno, 1 unidad de fósforo. (Metcalf & Eddy, 1995)

- Remedios temporales para el bulking (corto plazo)
  - Cuando se presenta una situación de emergencia por cualquiera de los factores anteriormente nombrados, se puede actuar en primera instancia adicionando una solución de cloro. Esta medida es bastante usada para el control de bulking, aunque no es muy efectiva en los casos en que no es producido por filamentosas.
  - La desinfección con cloro ( $\text{Cl}_2$ ) y la adición químicos de ayuda deben ser usados sólo como remedios temporales.
  - El cloro no es un remedio efectivo para todos los tipos de filamentosas (es efectivo para *Sphaerotilus natans* y *Thiothrix*; no es efectivo para *Microthrix parvicella*)
  - Se recomienda clorar el lodo de recirculación con dosis de entre 2 y 3 mg/L de  $\text{Cl}_2$  por cada 1.000 mg/L de sólidos suspendidos volátiles (SSV), suministrando dosis de entre 8 y 10 mg/L por cada 1.000 mg/L en casos muy graves (WPCF, 1985).
  - Trate con cloro un máximo de 72 horas, hasta que usted alcanza buena sedimentación. Si el efluente persiste turbio, pare el tratamiento con cloro inmediatamente.
  
- En los casos en que no hay presencia de organismos filamentosos es necesario controlar la F/M para ver si el sistema esta en los rangos adecuados de operación. La presencia de un floc pequeño y muy disperso es propio de una alta F/M. Una turbulencia excesiva en el tanque puede impedir que se formen los floc y resultar muy pequeños pudiendo ser arrastrado con el efluente del clarificador.
  
- Para una solución adecuada es fundamental identificar el tipo de organismo presente, para ver la manera adecuada de enfrentarlo.

#### vi. Efluente secundario turbio:

Este parámetro debe ser controlado durante periodos de alta turbiedad del efluente, verificando varias veces hasta que se logre corregir el problema.

Cuando el sobrenadante es turbio, por que la mezcla no sedimenta lo suficiente. Se hace necesario llevarlo a estudio para determinar la presencia de protozoos.

Si en la muestra se encuentra:

- *Protozoo presente pero inactivo.* Indica la presencia de algún compuesto tóxico. Para esto se debe controlar la tasa de respiración. Si es baja, se puede confirmar la presencia del tóxico. Para corregir esto, se debe mantener en funcionamiento hasta que el toxico salga y posteriormente examinarlo para determinar su origen.
- *Protozoo presente y activo.* La presencia de estos organismos en cantidades normales, la turbiedad puede ser causada al exceso de turbulencia en el tanque. Otra causa, puede ser la presencia de flagelados, en un barro joven con problemas de sedimentación generando turbiedad.
- *Escasez o ausencia de protozoo.* Puede deberse a una alta tasa de F/M y provocar una sobrecarga en el sistema o también a una muy baja F/M.

*En el caso de ser alta:*

*Se debe reducir la tasa de desecho de lodo para aumentar la cantidad de sólidos.*

*En el caso de ser baja:*

*Baja concentración de oxígeno disuelto (O.D) en partes del tanque de aireación menores a 0,5 mg/L. Debe llevarse a un rango entre 1,5 a 4 mg/L (Metcalf & Eddy, 1995), residuo tóxico en la planta de tratamiento.*

#### **vii. Pinpoint floc (cabeza de alfiler)**

Describe la situación de flóculos ligeros y pequeños, sin la presencia de organismos filamentosos, o de bajo número, que no perturban la decantación y el espesamiento, expresado por un bajo índice volumétrico de lodos (IVL). Sin embargo, el sobrenadante queda turbio. Este fenómeno de crecimiento disperso ocurre cuando la concentración de sustrato es muy baja o muy alta. (Ronzano, 1995)

#### Posibles Causas:

Este problema puede estar causado por:

- Puede deberse a un lodo viejo, pobre en formación de flóculos.
- Excesiva turbulencia, lo que impide la adición.
- Este es un problema habitual de plantas de tratamiento que operan a baja carga.

Posibles Efectos:

- Se observa la aparición de un floc denso y pequeño en el sedimentador secundario.
- Lodos de rápida sedimentación pero de mala floculación, por lo que no se adicionan con otros formando flóculos más firmes.

Corrección:

- Disminuir la edad del lodo por medio de purgas
- Verificar si el problema tiene su origen en una baja carga de entrada

**viii. Floc Retardado:**

Problema provocado por concentraciones de SST muy baja. Se distingue por la aparición de partículas muy pequeñas, esponja y livianas que flotan en la superficie del clarificador y que se mueven cercanas a los vertederos.

Generalmente, no tiene un efecto significativo en el efluente. También puede ser causa de un retorno del lodo muy temprano en la mañana, provocando un déficit de microorganismos que manejan la carga diaria.

Se proponen medidas de precaución:

- Aumentar la tasa de SST por medio de la reducción de purga de lodos.
- Evitar la purga cuando la  $DBO_5$  aumenta y favorecer el retorno en caudales puntas.

#### **4.7 Marco regulatorio**

La ley 18.902, ley orgánica de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), otorga a este organismo el Control de los Residuos Industriales Líquidos (RILes). Este rol fue reafirmado mediante la ley 19.821 (publicada el 24.08.02) que modificó la Ley 18.902.

Es preciso tener presente, que los proyectos de plantas de tratamiento de RILes, deben dar cumplimiento al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, el cual está definido por la Ley 19.300, y en el que participa la SISS con su opinión sectorial respecto de cada presentación (EIA o DIA) (SISS, 2004).

La ley debe ser complementada con las normas de emisión, que definen los contenidos máximos de cada elemento contaminante posible de estar presente en los efluentes de los distintos establecimientos, según sea que se descarguen a cursos de aguas.

En este caso los vertidos se rigen por la normativa de descargas a aguas marinas y superficiales continentales, D.S. SEGPRES N°90/2000 publicada en el Diario Oficial el 07.03.01.

En abril del año 2002 CONAMA editó el Manual de aplicación de esta norma, donde se explican bajo cada articulado sus alcances, tales como la determinación del caudal de dilución por parte de la Dirección General de Aguas (DGA)

La normativa se aplica a todas las actividades económicas que superen determinadas cargas contaminantes en sus efluentes quienes pueden ser calificadas como un “establecimiento Industrial” en el caso que la descarga se realice a sistemas de alcantarillado o “Fuente emisora” en el caso de descargas a cursos superficiales.

El área de Papeles y Cartones de CMPC calificó según la normativa como “Fuente emisora”, considerando que el establecimiento descarga residuos líquidos al río Maipo, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros que la norma indica.

Para efectos de determinar si se cumplen las condiciones descritas cada establecimiento debe determinar su carga contaminante para lo cual la SISS a colocado a disposición de los interesados el Procedimiento de Calificación Industrial (PCEI), mediante cuya aplicación se permite concluir si la actividad industrial es o no generadora del RILes, y como tal obligada al cumplimiento de la normativa o, en caso contrario, considerarse exenta de la obligación. La superintendencia emite certificados de calificación industrial, se trata de una actividad que debe ser directamente realizada por el industrial, como una primera etapa básica, para saber si debe o no dar cumplimiento a la ley (SISS, 2004)

En el caso de la fuente emisora, se requiere un sistema de tratamiento para rebajar el contenido de contaminantes de sus efluentes a los niveles permitidos por las normas respectivas.

Dicho sistema de tratamiento deberá cumplir con al menos las siguientes mínimas resoluciones necesarias:

- Autorización en el contexto del sistema de evaluación de impacto ambiental (Ley 19.300), obteniendo una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) emitida por cada comisión regional del medio ambiente.
- Resolución del plan de monitoreo de los RILes emitida por la SISS. Para ello es necesario que con a lo menos 90 días de anticipación la empresa generadora debe dar aviso a la superintendencia de servicios sanitarios de acuerdo al formulario establecido para ello, tal como las modificaciones de la ley 18.902 señala.
- En régimen de operación normal sus efluentes deberán dar cumplimiento a las normas respectivas, lo que fiscalizará la SISS, sin perjuicio de las atribuciones de los servicios de salud y la Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR).

## **5. Materiales y Métodos**

### **5.1 Caracterizar e identificar los parámetros físico químicos del RIL generado a partir de los procesos productivos.**

La caracterización e identificación de los residuos líquidos, se realizó durante un periodo de 3 meses, desde 5 de enero de 2006 al 31 de marzo de 2006.

El muestreo se desarrolló mediante los procedimientos de medición y control establecidos por la norma vigente (D.S N° 90/Of.01 del MSGP).

El punto de muestreo se ubicó en el Parshall de entrada a la Planta de Tratamiento de Efluentes.

Para la caracterización se tomaron muestras compuestas diarias proporcionales al caudal de la descarga, derivadas de muestras puntuales obtenidas cada dos (2) horas, debido a que la descarga es continua. Este intervalo en la toma de muestras es aconsejado por la legislación correspondiente.

En cada muestra puntual se registró el caudal del efluente. Las muestras puntuales se constituyeron por la mezcla homogénea de dos submuestras de igual volumen, extraídas del interior del fluido. La medición del caudal se realizó en una cámara de medición y caudalímetro con registro diario.

Las condiciones del lugar de análisis, tipo de envase, preservación de las muestras, tiempo máximo entre la toma de muestra y el análisis, así como los volúmenes mínimos de muestras que se extrajeron, se rigieron por lo establecido en la NCh 411/Of. 96, a las NCh 2.313 y a lo descrito en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed.; (APHA-AWWA-WEF; 1995). Los parámetros identificados y utilizados para la caracterización fueron: caudal, pH, conductividad, demanda iónica, color, turbidez, consistencia (SST).

La determinación de conductividad, demanda iónica, color, turbidez, consistencia se realizó según lo establece en APHA-AWWA-WEF; 19th Ed. 1995.

Para la determinación de conductividad se utilizó un conductivímetro marca Hanna, Dist 6. La demanda iónica se midió con un detector de cargas eléctricas marca Mütek, modelo PCD-03>.

Para medir los valores de color y turbidez se utilizó un espectrofotómetro marca HACH, modelo DR 2000.

Los métodos para la determinación de pH son los indicados en la NCh 2313/1, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales. Métodos de análisis Parte 1: Determinación pH. El instrumento de medición utilizado fue un pH-metro marca Orion, modelo 420 A. 21085.

La determinación de consistencia se realizó de acuerdo a la NCh 2313/3, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales. Métodos de análisis Parte 3: Determinación de Sólidos Suspendidos Totales secados a 103°C - 105°C.

La empresa Papeles Cordillera S.A en forma paralela envió semanalmente durante el periodo entre diciembre de 2005 a abril de 2006, tres muestras para ser analizadas en el DICTUC (División de investigación científica y tecnológica de la Universidad Católica). Las muestras corresponden a : Una muestra del RIL crudo, una muestra de RIL de salida del tratamiento primario y una del RIL de salida del tratamiento secundario.

Las muestras fueron compuestas a partir de muestras puntuales tomadas cada dos horas en los siguientes puntos:

- RIL crudo, se tomó en el parshall de entrada a la planta de tratamiento de efluentes de Papeles Cordillera.
- RIL de salida de tratamiento primario, se tomó en la bifurcación de la tubería de alimentación delante de la bomba de alimentación de entrada al tratamiento secundario.
- RIL de salida del tratamiento secundario, se tomó directamente desde la tubería de desagüe del clarificador secundario, que descarga en el río Maipo.

La toma de muestra se llevó acabo por personal de la planta los días viernes de cada semana. La muestra se envasó en un recipiente plástico de 5 litros, posteriormente al terminar el tercer turno del día fueron transportadas al laboratorio del DICTUC .

La presentación de los resultados se realizó promediando los valores de muestras semanales, para obtener valores mensuales.

## **5.2 Comparar las características del RIL de salida de la planta de Tratamiento de Efluentes con el de entrada.**

El periodo de muestreo en la planta piloto de tratamiento secundario se realizó durante 12 semanas, entre Enero y Marzo del 2006. La toma de muestras se realizó durante las mañanas de lunes a viernes a cargo del personal del laboratorio químico de Papeles Cordillera S.A.

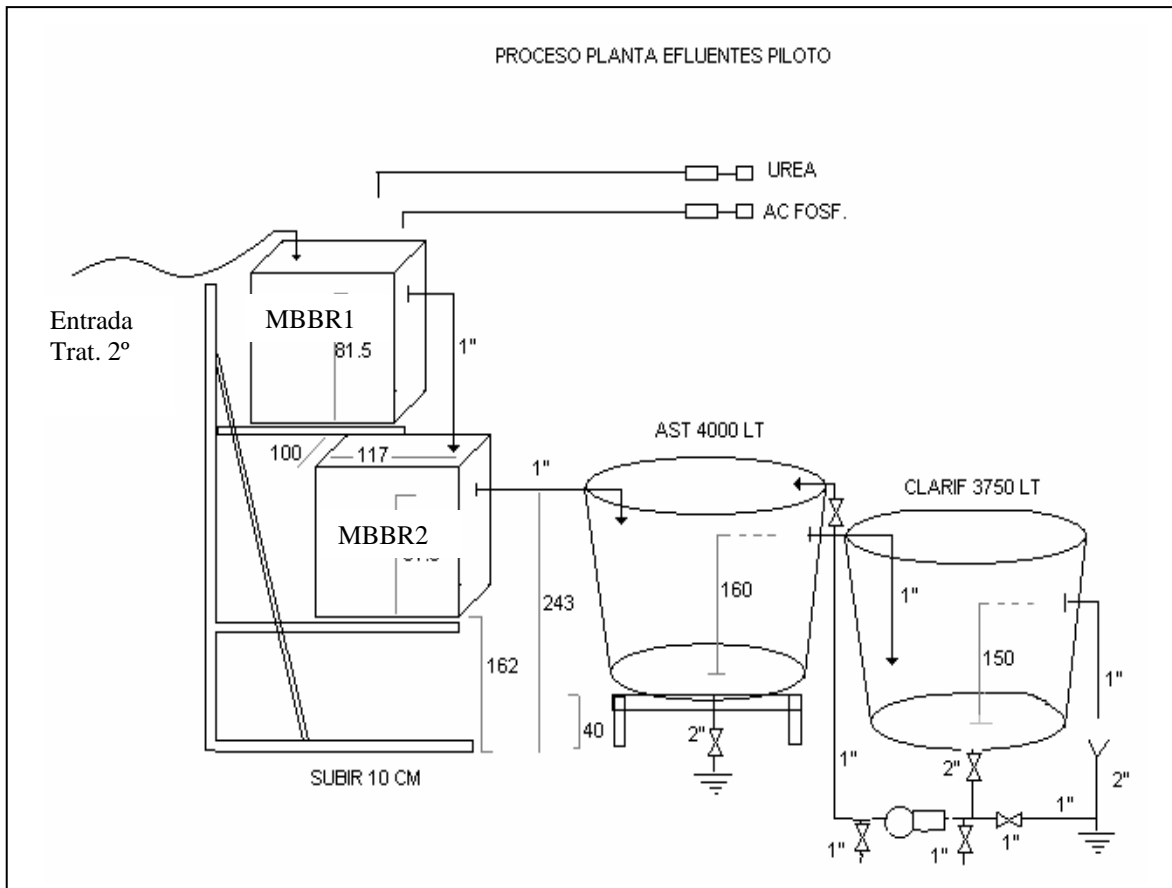
La planta piloto en la que se realizaron los muestreos del RIL estaba compuesta por dos reactores de biopelícula MBBR, un sistema de lodos Activados tradicional (AST), un difusor y dispositivos de ajuste de O.D y un sistema de dosificación de nutrientes. El sistema fue instalado en desnivel, tal como lo muestra la Figura 2.

Los reactores de biopelícula se adaptaron en bobines de plástico de 1 m<sup>3</sup>, los que en su interior contenían carriers plásticos de tamaño de laboratorio (5 cm de diámetro). El sistema de lodos activados se instaló en un tanque cilíndrico de cemento de 4 m<sup>3</sup> de volumen útil, el cual se encuentra al nivel de la salida del reactor MBBR 2.

El clarificador secundario se implementó en un tanque cilíndrico de cemento de 4 m<sup>3</sup> de volumen útil, el cual se encuentra 1 metro más bajo la salida del tanque aireador. El difusor de aire realizó una inyección de aire para los MBBR que fluctuó entre 2 a 3 mg/L, por medio de un sistema de flauta la que proporcionó burbujas gruesas, permitiendo la agitación y movimiento constante de los carriers en contacto con la materia orgánica. Para la aireación del AST, se inyectaron de 1 a 2 mg/L, en forma de burbujas finas, favoreciendo la mezcla y evitando el exceso de turbulencias.

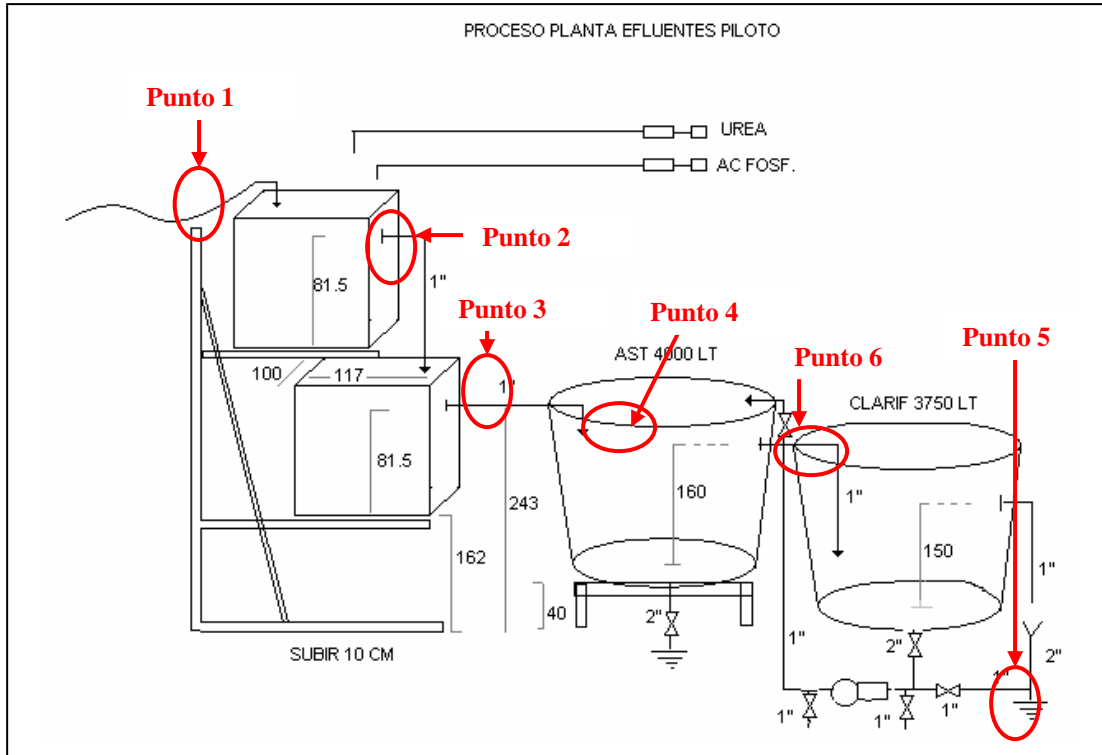
El sistema de bombeo en la planta está compuesto por bombas peristálticas y sus mangueras y tuberías correspondientes. Para la alimentación, recirculación y el ajuste adicional de nutrientes se utilizaron modelos de las bombas 7521-10 de la empresa COLE-PARMER, que llevan cabezales tipo “easy load” (7518-00) o “quick load” (7013-42).

Las mangueras de bombeo son del tipo Masterflex Tygon Lab (6409-14) de diámetro interno 1,6 m.m de alta resistencia a ácidos o bases y del tipo Masterflex Silicone (96400-16) de diámetro interno 3,1 mm. El consumo energético es de 1,5 A a 230 V. (Cole-Parmer, 1996).



**Figura 2.** Planta piloto sistema tratamiento secundario utilizada en el proyecto.

Los puntos de muestreo fueron: afluente de residuo industrial líquido, efluente de salida general, salida del sedimentador secundario, recirculación del clarificador al AST, licor de mezcla del AST y salida de los reactores (MBBR1 Y MBBR2) (Fig.3). En la Tabla 6, se observan los puntos de muestreo ubicados en la planta piloto y se detalla la técnica utilizada en la toma de muestras en cada lugar.



**Figura 3.** Planta con puntos de muestreo

**Tabla 6.** Puntos y técnicas de muestreo.

Punto	Lugar de muestreo	Técnica de muestreo
1	Entrada Trat. Secundario	Bifurcación en la tubería de alimentación delante de la bomba de alimentación.
2	Salida MBBR 1	Tomas directamente de la tubería de salida del MBBR 1 que alimenta MBBR 2.
3	Salida MBBR 2	Tomas directamente desde el tubo que sale del MBBR 2 que va hacia el AST.
4	Tanque AST	Toma directamente del tanque del AST. Del medio del estanque.
5	Salida Trat. Secundario	Tomadas directamente de la tubería de desagüe.
6	Recirculación Clarificador secundario	Toma directamente de la tubería de recirculación que llega al AST.

La Tabla 7 muestra el programa de muestreo aplicado durante el estudio, para el cual se utilizaron las siguientes simbologías en las frecuencias de muestreos:

N: Muestreo cuando sea necesario.

D: Valor posible de determinar a partir de otro parámetro

Nº: Indican la frecuencia semanal de muestreos.

**Tabla 7.** Programa de muestreo.

Punto muestreo	Pto. 1	Pto. 2	Pto.3	Pto. 4	Pto. 5	Pto. 6	Recirc.
pH	5	5	5	5	5	7	
Turbidez	5	5	5	5	5	7	
Temperatura	5	5	5	5	5		
O. disuelto	5	5	5	5	5		
Fósforo	5	-	-	-	5		
Nitrógeno	N	N	N	N	N		
DQO	5	N	N	N	5		
DBO <sub>5</sub>	D	D	D	D	D		
SST	-	-	-	5	5		N
SSV	-	-	-	5	5		N
IVL	-	-	-	5	5		N

Para la determinación de los diferentes parámetros que permitirán establecer el control y evaluación de la planta se utilizó el siguiente plan de muestreo.

- La determinación de la decantabilidad del lodo se realizó en el momento de la visita utilizando decantómetros (probetas).
- En el análisis de medición de Oxígeno disuelto y temperatura se realizó in-situ cada vez que se realiza la toma de muestras. Para su determinación se utilizó un equipo medidor de O.D portátil marca MONEC 8980 con electrodo Oxistat PPM

8878.4 de membrana selectiva. y la  $T^{\circ}$  fue determinada manualmente por un termómetro de laboratorio.

- Para la determinación de la presencia de microorganismos observados al microscopio, se tomó una muestra de 20 mL. De las muestras tomadas para el análisis de laboratorio.

Las determinaciones realizadas en el laboratorio fueron: pH, turbidez, fósforo, nitrógeno, demanda química de oxígeno (DQO), índice volumétrico de lodos (IVL), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV). Los análisis corresponden a los señalados por el texto Standard Methods (APHA-AWWA-WEF, 1995), si no se indica otro procedimiento. Los parámetros de pH, turbidez y sólidos suspendidos totales, se determinaron con los métodos y equipos mencionados en el punto anterior. A continuación se mencionan los restantes.

La determinación de Nitrógeno, Fósforo, turbidez y DQO se realizó por espectrofotometría en un equipo HACH, modelo DR 2000. El contenido de Nitrógeno se calculó como nitrógeno total Kjendahl (NTK), de acuerdo a lo que establece la NCh 2.313/28, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales a través del Método de Análisis Parte 28. El contenido de fósforo presente en las muestras se determinó de acuerdo a la NCh 2313/15, Of 97, decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales, a través del Métodos de Análisis Parte 15.

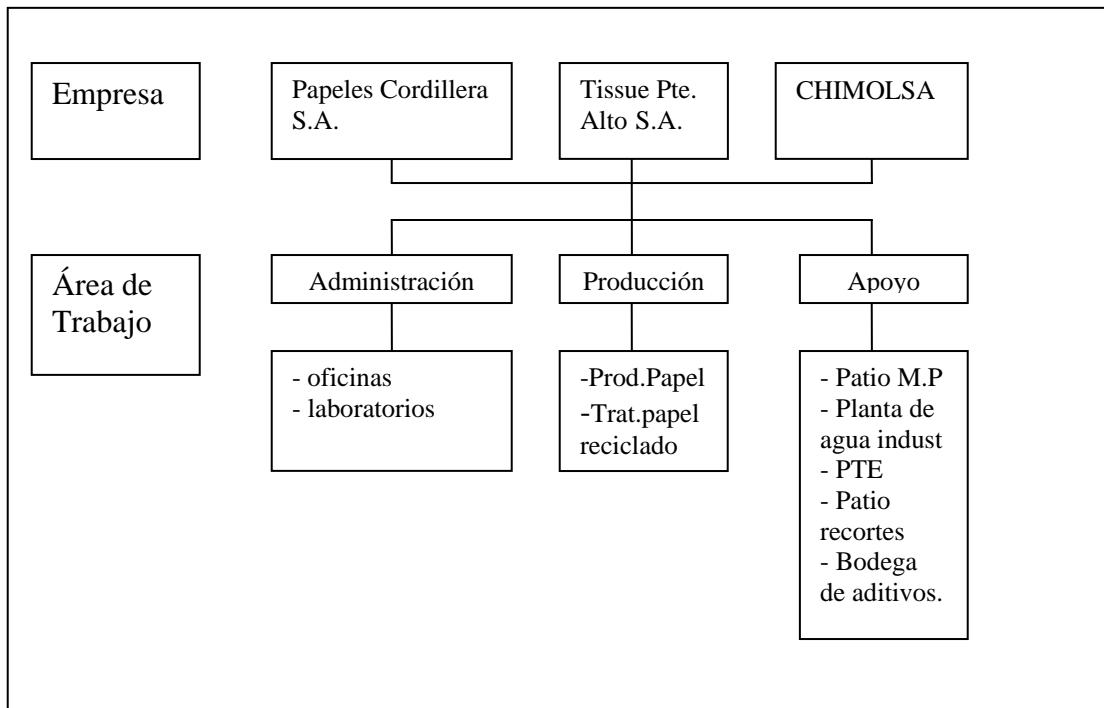
Para determinar la demanda química de oxígeno se utilizó un kit MERCK COD cell test 1.1455.000 rango de 50 -1.500. La determinación de la  $DBO_5$  se realiza en el DICTUC. de acuerdo a la NCh 2.313/5, Of 96, decreto supremo N° 146 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales. Métodos de análisis Parte 5. Los laboratorios de la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica (DICTUC) determinó que la relación DQO:  $DBO_5$  es de 2:1, por lo cual el valor de  $DBO_5$  se estableció en el laboratorio químico de Papeles Cordillera a partir de la demanda química de oxígeno. El índice volumétrico de lodos (IVL) se usó como parámetro de control de la planta y se determinó utilizando un probeta de 1 litro graduada sin mecanismo de agitación la cual se deja reposar por 30 min., la altura que alcance el decante debe cuantificarse en mL/g.

### 5.3 Análisis del proceso productivo y determinación de factores que afecten el ril.

#### 5.3.1 Definición del Área de trabajo

Se definió el área de trabajo como la planta de las fábricas de Papeles Cordillera S.A., Tissue Puente Alto S.A., CHIMOLSA y sus instalaciones de servicios.

El estudio se realizó durante el mes de Febrero y Marzo de 2006, en sus correspondientes días hábiles de trabajo. Las diversas instalaciones de las plantas se dividieron en áreas acorde a sus actividades, lo que facilitó el análisis de los procesos (Fig. 4).



**Figura 4.** Agrupación de áreas de trabajo.

- **Área de producción**  
Se identificaron los procesos productivos y los procesos complementarios en la fabricación de papeles y tratamiento de papeles recortados.
- **Área de Apoyo**  
Esta es una instalación industrial separadas de las Materias Primas, pero ubicados dentro del predio industrial.

En esta unidad se generan recortes, los cuales son conducidos a través de ductos a una central de acopio. De aquí se transportan al patio de materias primas para ser reutilizados.

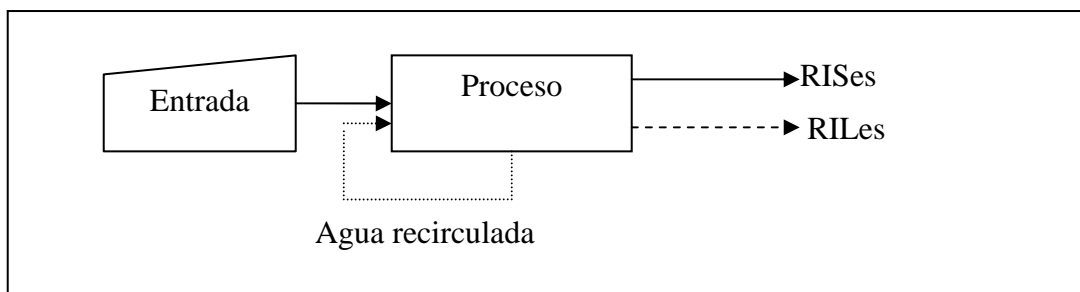
- Área de Administración  
En esta área se encuentran oficinas del personal encargado de dirigir el área de producción y apoyo.

### 5.3.2 Identificación de fuentes generadoras de RILes

Para identificar los puntos críticos del proceso, en primer lugar se realiza una descripción de las actividades productivas y sus anexos, evaluando objetivamente, sector por sector, los riesgos, fallos y deficiencias detectadas. Para ello se utilizaron las siguientes herramientas:

- Diagramas de Flujos
- Análisis de actividades realizadas en las empresas.
- Entrevistas efectuadas al personal de las diferentes áreas productivas y de servicios.

Los diagramas de flujo se utilizaron para determinar el comportamiento, proceso y/o estructura del sistema productivo, a partir de datos aportados por la empresa y observación en terreno. Los diagramas muestran las entradas de materias primas e insumos, procesos y salidas; especificando si estas son sólidas o líquidas (Fig. 5).



**Figura 5.** Estructura de un diagrama de flujos de procesos

*Entrevistas calificadas semi-estructuradas:*

Las entrevistas se realizaron para conocer comportamientos, experiencias, opiniones, conocimientos y otros aspectos organizacionales del objeto de estudio. La selección de los entrevistados se basó en su lugar de trabajo, experticia en el tema y trayectoria laboral. Las entrevistas se realizaron por medio de relatos del personal calificado. El personal seleccionado para la investigación se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Grupo de discusión y entrevistas en la empresa

<i>Empresa</i>	<i>Cargo</i>
Papeles Cordillera S.A.	Coordinador Ambiental – Jefe de proyecto Ingeniero de Procesos Encargado de Máquinas Clásicas Jefe Depto. Técnicos Jefe de laboratorio Químico Encargado de PTE
Tissue Puente Alto S.A.	Ingeniero de Procesos Jefes de Línea (3) Encargado de división Materias primas
CHIMOLSA	Ingeniero de Procesos.

### 5.3.3 Caracterización y evaluación de efectos de residuos e insumos

En esta etapa de la investigación se realizó una recopilación de los insumos y aditivos utilizados en el proceso productivo. Los aditivos se clasificaron de acuerdo a:

- *Nombre Genérico*
- *Nombre Comercial (proveedor de ser necesario)*
- *Cantidades ( t/año)*
- *Puntos de aplicación.*

La estimación de la cantidad de residuos generados en algunos casos se realizó a partir de la cantidad de papel producido, con el fin de establecer un indicador que permita revelar la eficiencia de los procesos y posibles pérdidas de materias primas como residuo.

Posteriormente los insumos fueron analizados por medio de sus hojas técnicas y hojas de seguridad, donde se identifican sus propiedades y características. Finalmente a los

insumos más utilizados, así como los considerados más incidentes en el afluyente, se les midió demanda iónica en el laboratorio químico de Papeles Cordillera.

A partir de este análisis se determinaron los efectos que potencialmente tendrían estos productos como residuos en el afluyente y los riesgos que corren los distintos sistemas de tratamiento.

## 6. Resultados y discusiones.

### 6.1 Proceso productivo del área de papeles y cartones Puente Alto de empresas CMPC

Los procesos de tratamiento de papeles reciclados y fabricación de papel se distinguen en aquellos realizados por Papeles Cordillera S.A., Tissue S.A. y Chilena de Moldeados S.A. Cada empresa genera riles de volumen y concentración particular: Papeles Cordillera aporta 24.000 m<sup>3</sup>/d, lo que corresponde al 59,25% del total del ril a tratar, con una carga orgánica promedio de 490 mg/L de DBO<sub>5</sub> soluble.

La Figura 6, muestra que el aporte de Tissue S.A. tiene un volumen medio de 15.000 m<sup>3</sup>/d, correspondiente al 37,04% del total; la contribución en términos de concentración de materia orgánica es de 229 mg/L de DBO<sub>5</sub> soluble. En lo que respecta a CHIMOLSA, ésta constituye el menor aporte volumétrico con sólo el 3,7% del total del RIL a tratar. Su aporte en términos de concentración de materia orgánica no está determinado, es incorporado al efluente de Papeles Cordillera S.A.

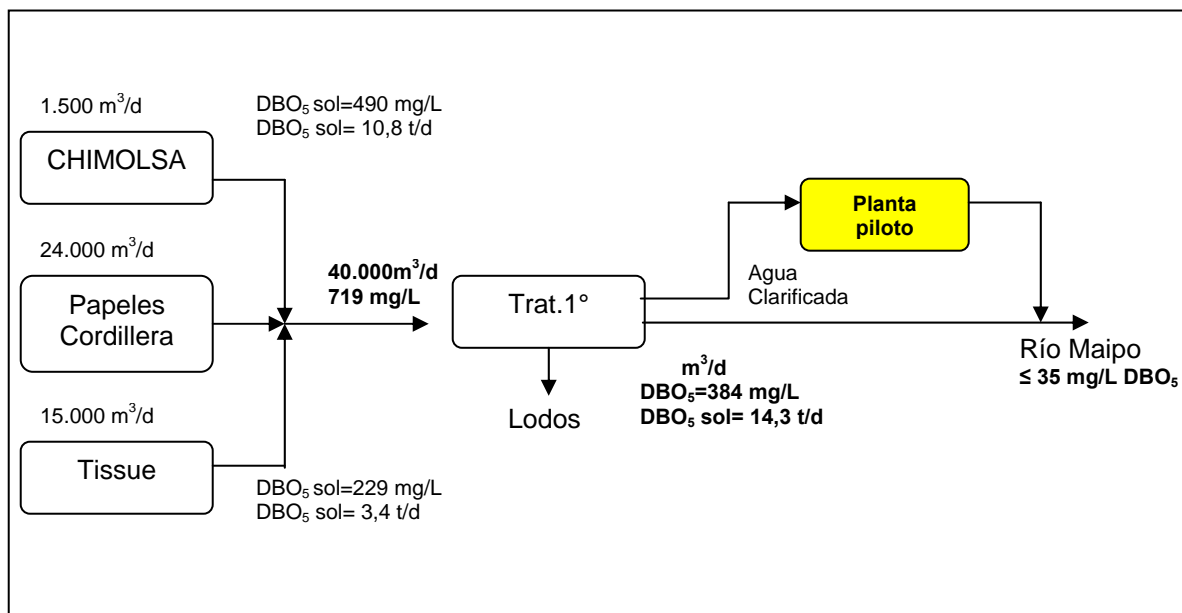


Figura 6. Diagrama de Flujo del RIL

Debido a las diferencias en los procesos productivos, se clasificaron los diferentes tipos de papeles fabricados, la empresa responsable y su punto de elaboración; para identificar los focos de aporte de RIL (Tabla 9).

**Tabla 9.** Tipos de papeles producidos por los tributarios al afluyente

Empresa	Máquina	Tipo de Papel	Fabricación
Papeles Cordillera	Máquinas Clásicas	Impresión y escritura	Bond, Ecograf, Bond Color, Seguridad, Otros Gráficos, Bond forco, Sobres blancos, Sobres color, Cuaderno, Monolúcido, Carta blanca, Carta color, Opalina
		Embalaje y envolver	Kraft café, Kraft blanco y otros envolver
		Corrugados	Test liner, Kraft envolver masivo.
	MP 20	Corrugados	Onda, liner blanco, liner Cordillera, test liner
		Construcción	Tubetes
Tissue S.A. Puente Alto	Máquinas papeleras.	Higiénico Toalla	Confort hoja celeste, Confort una hoja blanco 40 mt, Confort una hoja Blanco 50 mt, Higiénico Personal, Higiénico Preferido, Higiénico Noble, Higiénico noble Orquídea, Higiénico Elite estándar, Sabanilla, Toalla Blanca institucional, Toalla extra resistente institucional, Toalla natural institucional.
Chimolsa	Máquinas Papeleras	Moldeados	Bandejas MZ-I , Bandejas MZ-II, Bandejas MZ-III, Bandejas para paltas, Bandejas Biopak, Bandejas para almacenar de 20 y 30 huevos, Estuches para huevos 1x12 y 2x6

### 6.1.1 Área de producción de Papeles Cordillera S.A.

#### **Tratamiento de Papeles Recicladados**

Los papeles recuperados son recolectados manualmente, para luego entregar el material a la empresa SOREPA perteneciente a CMPC, la que posteriormente provee de esta materia prima a Papeles Cordillera. Este papel recolectado es clasificado de acuerdo a su composición en fibras y posteriormente enfardado para su fácil transporte.

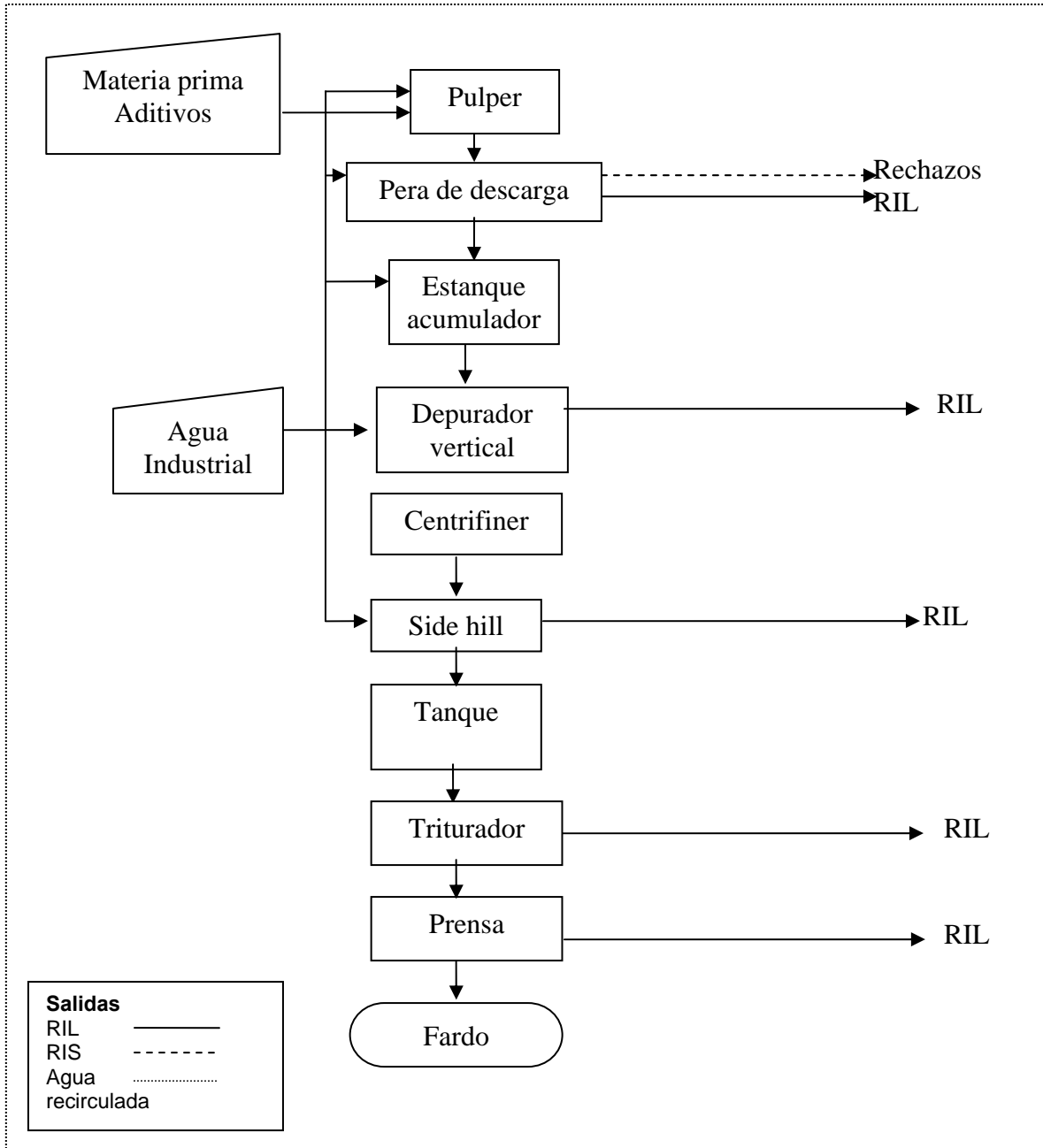
En Papeles Cordillera existen dos máquinas que tratan papel reciclado: la Planta de 60 t/d y Planta de 40 t/d. Estas plantas producen a partir del material reciclado una materia prima apta para ser cargada en los pulpers de las máquinas papeleras.

El papel reciclado que llega a las plantas posee un alto grado de contaminación, por lo tanto requiere de varios procesos previos de limpieza, tales como:

1. La disolución concentrada del material en los pulpers y peras de descarga
2. Adición de aditivo microbicida para evitar la aparición de microorganismos en el producto final; Separación de objetos extraños por densidad (depuradores verticales)
3. Clasificación de las fibras por dimensión
4. Dispersión a alta consistencia por medio de un triturador
5. Prensado, para obtener una humedad adecuada y ser transportado a las máquinas papeleras para su utilización.

El residuo generado en este proceso proviene principalmente de la disgregación y limpieza

de papeles reciclados. Las fibras de papel que se pierden en el proceso se incorporan al efluente y son tratadas en la planta de tratamiento de efluentes (PTE) (Fig. 7).



**Figura 7.** Proceso de tratamiento de papeles reciclados, Papeles Cordillera.

**Proceso de fabricación de papel.**

La fabricación de papel se genera en dos etapas. Primero, se prepara una pulpa o pasta de papel y posteriormente el trabajo de las máquinas papeleras propiamente tal, que transforman esta pulpa en una hoja perfectamente acabada.

**1. Preparación de pastas:** se lleva a cabo, de acuerdo al tipo de papel que se quiera fabricar. Papeles Cordillera trabaja en la elaboración de sus productos en base a dos materias primas: fibra reciclada y celulosa, están son utilizadas en cantidades cercanas a 260.000 t/año y 50.050 t/año, respectivamente. Las cantidades y proporciones se detallan en cada receta papelerera.

La materia prima es incorporada a los pulpers (licuadores), este equipo da inicio al proceso de fabricación. A los licuadores ingresa la materia prima que se diluye y desintegra por el aguas recirculadas del proceso, la acción mecánica es el resultado del giro de rotor en la mezcla, obteniendo una solución de fibra acuosa. Posteriormente, pasa a un proceso de limpieza en refinadores, para lograr una fibra diluida sin impurezas. Esta pulpa limpia es conducida a la máquina papelerera por líneas cerradas. En el transporte y el lavado de la pulpa se generan los primero aportes de RIL, que luego constituirán el afluente que llegará a la PTE.

Otros aportes de residuos líquidos se forman debido al funcionamiento de los equipos que intervienen en el proceso, tales como:

- Aguas de enfriamiento
- Aguas de sello de bombas,
- Limpieza y purga de líneas, etc.

**2. Elaboración de la hoja:** Una vez en la máquina papelerera, la mezcla acuosa de fibra se envía a la primera unidad del proceso, en donde se comienza a formar la hoja. Aquí se separa la fibra del agua, por drenaje favoreciendo al entrecruzamiento y formación del tejido que da origen a la hoja de papel. La hoja aun posee un alto contenido de agua, la que es extraída por variados mecanismos hasta alcanzar el porcentaje de humedad requerido por la norma técnica del producto.

El agua extraída en el desaguado es enviada por línea cerrada hacia los pulpers al inicio del proceso. Posteriormente la hoja pasa a una sección de secado, donde por presión de rodillos y succión por vacío se extrae el remanente de agua contenida, la que es recirculada al proceso.

En esta sección se otorga al papel las características físicas deseadas. Finalmente la hoja pasa por unos rodillos secadores, donde se da el acabado al producto con un encolado superficial. La hoja calibrada se bobina en un jumbo, para posteriormente ser dimensionada según los requerimientos del cliente. En la figura 8, se muestra el proceso de fabricación de papel en la máquina 20 (MP-20), posteriormente en la figura 9 se detalla el proceso realizado en las máquinas papeleras clásicas de Papeles Cordillera.

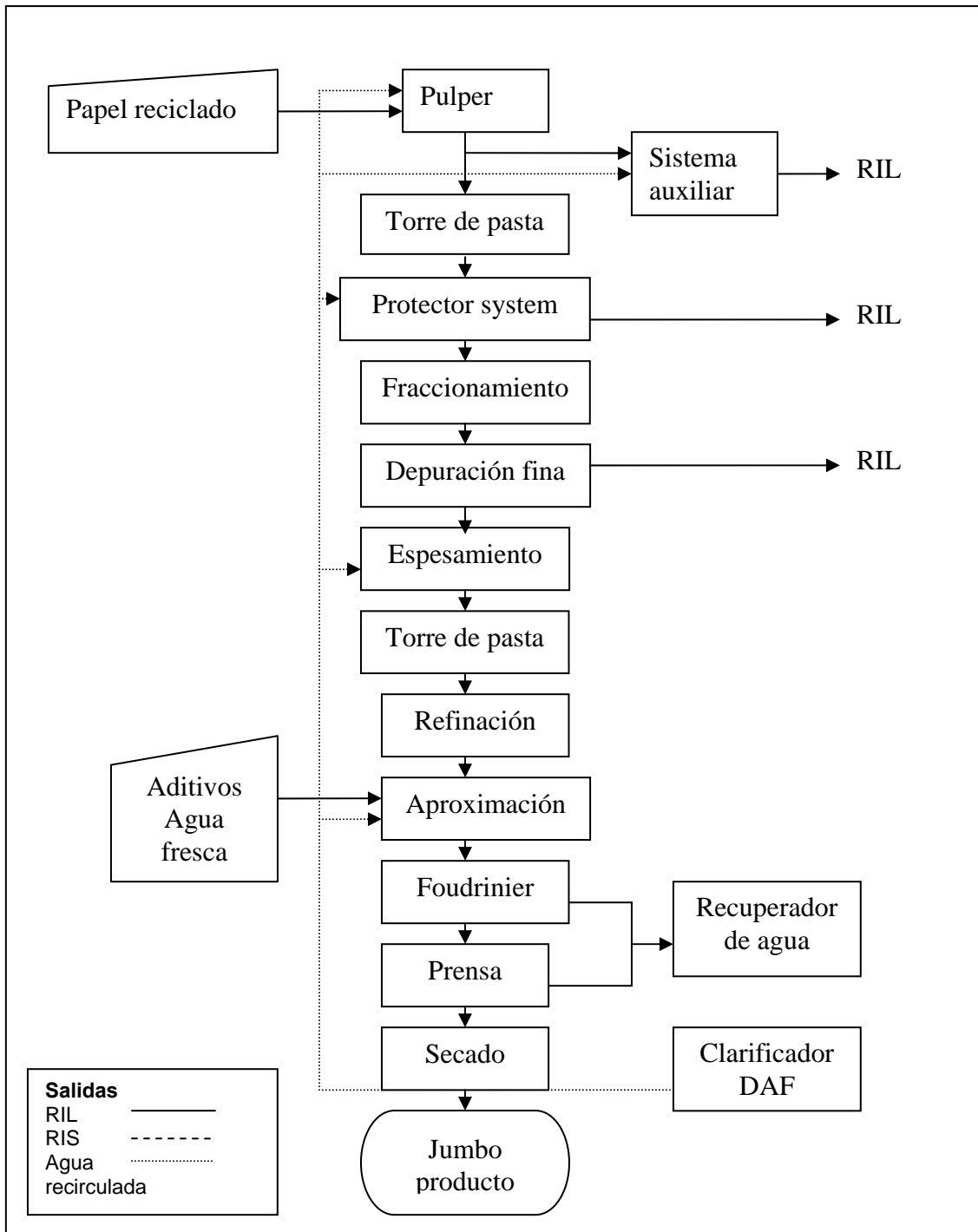


Figura 8. Proceso de producción de papel, Máquina 20 Papeles Cordillera S.A.

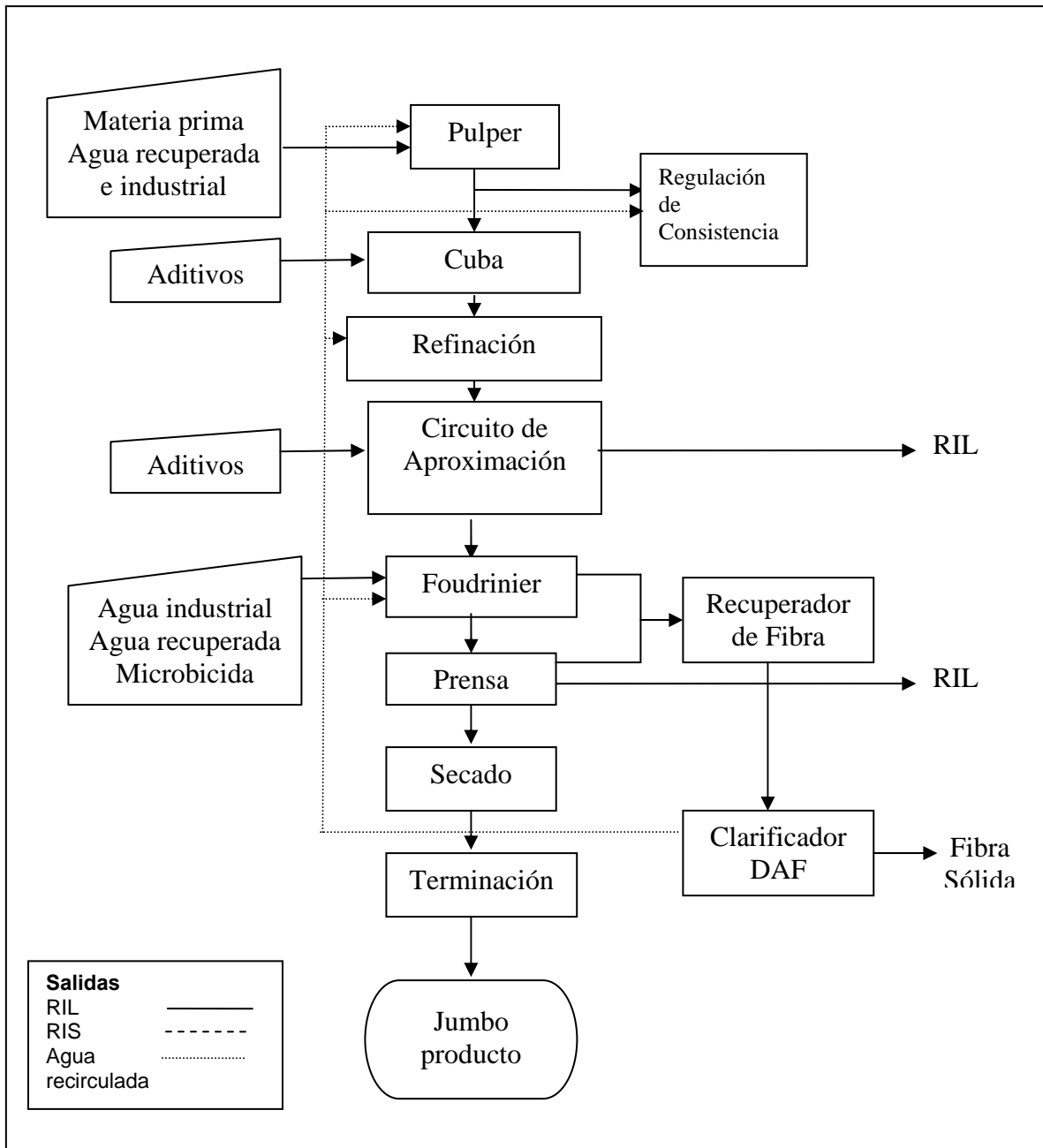


Figura 9. Proceso producción Máquinas Clásicas Papeles Cordillera S.A.

### 6.1.2 Área de producción Tissue

La planta de CMPC Tissue en Puente Alto utiliza cerca de un 90% de papeles reciclado como materia prima. La fabricación en dos máquinas papeleras la MP-1 Puente Alto (ex MP-16) y MP-2 Puente Alto (ex MP-17), el acondicionamiento de las fibras recicladas se realiza en la PRP (Planta Recuperadora de Papeles), las que por medio de variadas recetas generan fardos de pasta, que serán la base de los papeles producidos por Tissue S.A (Fig.10)

Los efluentes líquidos, por su parte, son minimizados mediante procesos internos de recuperación y los excedentes son canalizados a la planta de tratamiento de efluentes. La Planta Recuperadora de Papeles (PRP) está directamente conectada a la entrada de la máquina 1, también posee conexiones con la máquina 2. El detalle de los procesos y las descargas al afluente en las máquinas papeleras de Tissue Puente Alto, están descritos en la figura 11.

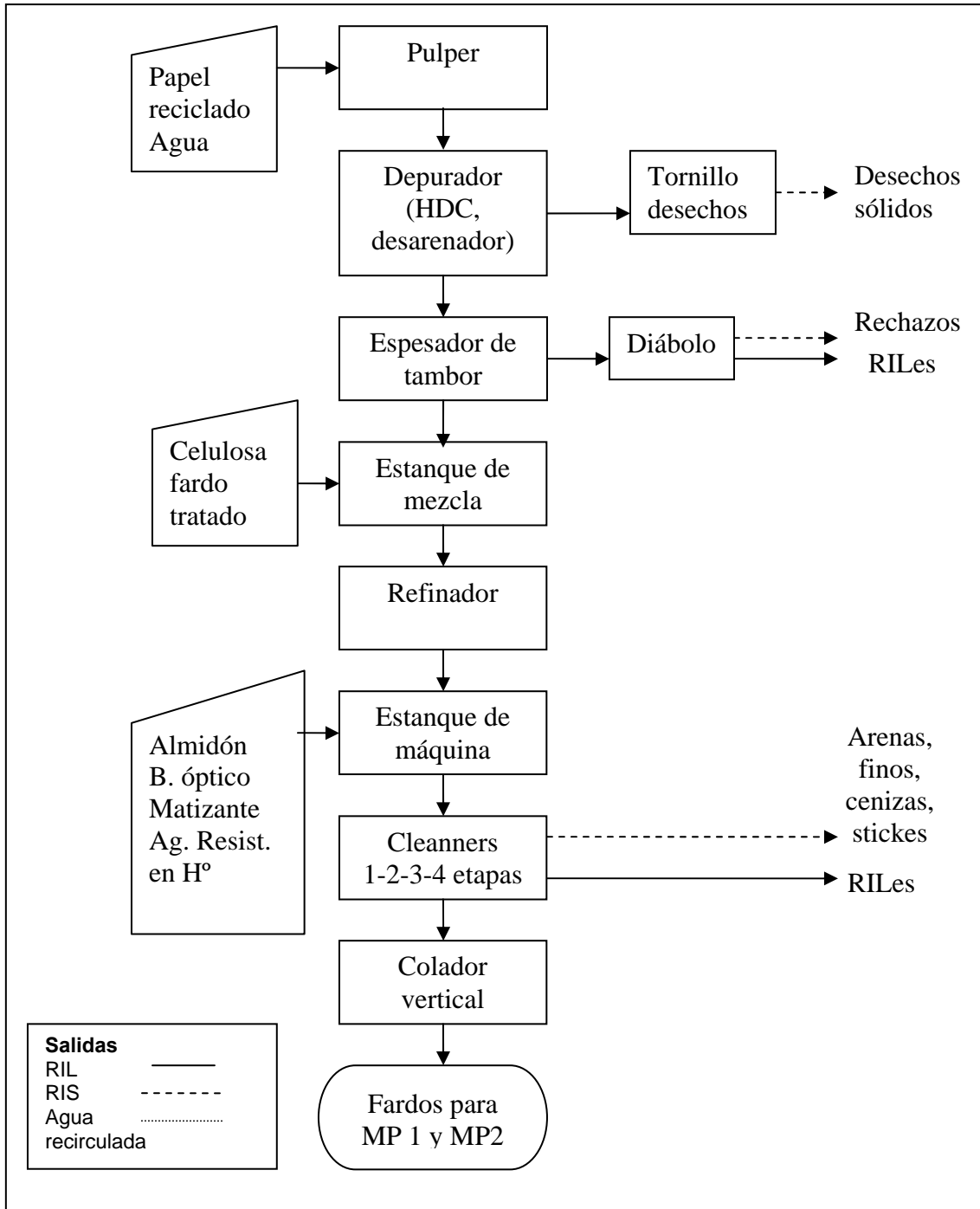


Figura 10. Proceso de recuperación de papel Tissue S.A.

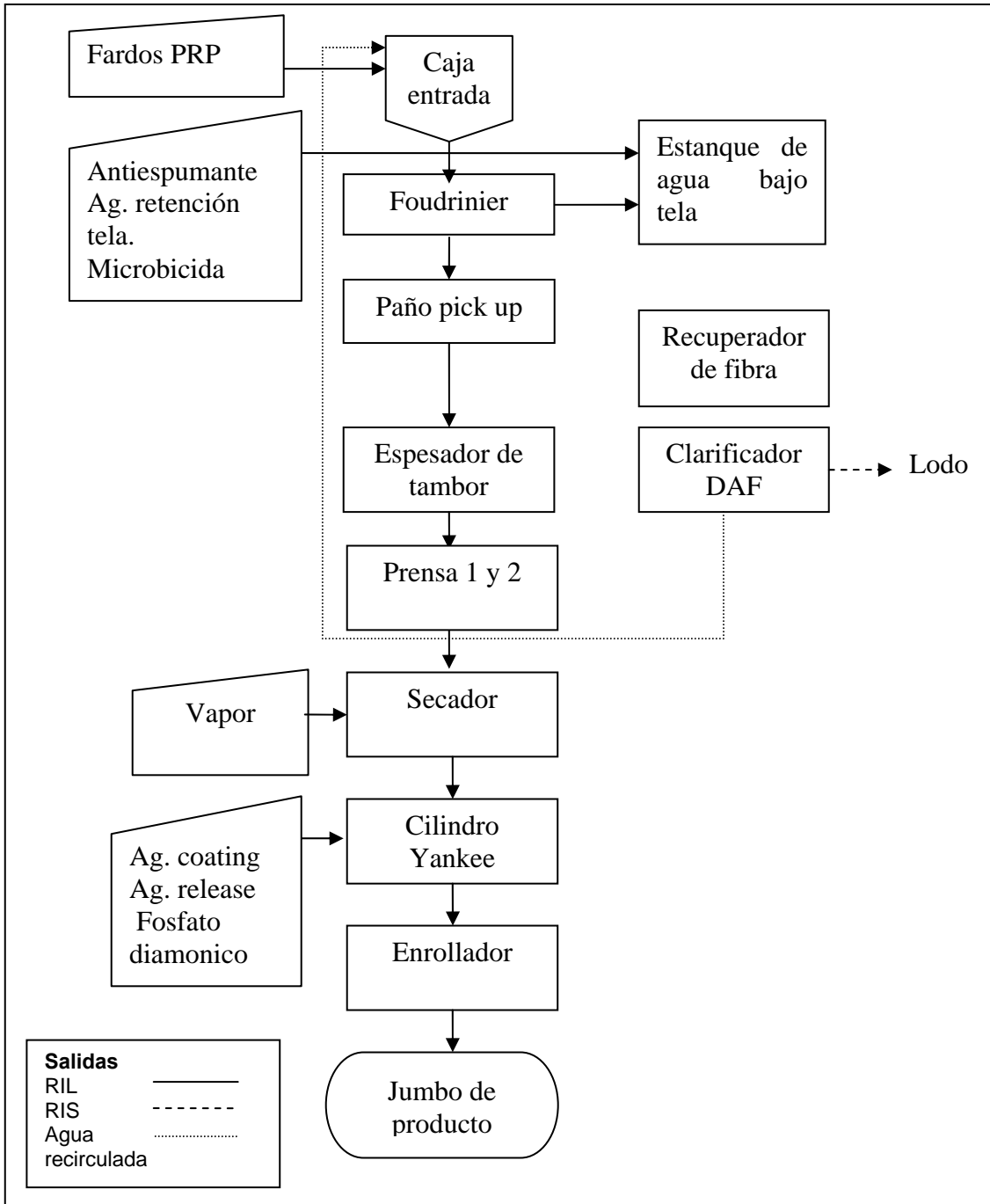


Figura 11. Proceso de producción de papel Máquinas papeleras 1 y 2 de Tissue S.A.

### 6.1.3 Área de producción de CHIMOLSA

#### **Proceso de Producción de Bandejas.**

La materia prima, principalmente fardos de papel de diario y dúplex, son obtenidos a partir del reciclaje de la ciudad, son llevados por medio de un equipo transportador desde la cancha de acopio hasta el pulper. En este se adiciona agua y aditivos en proporciones adecuadas el cual mediante un rotor hélico procede a disgregar los fardos de recortes transformándolo en pulpa moldeable sin depurar, para luego enviarla a la pera de descarga.

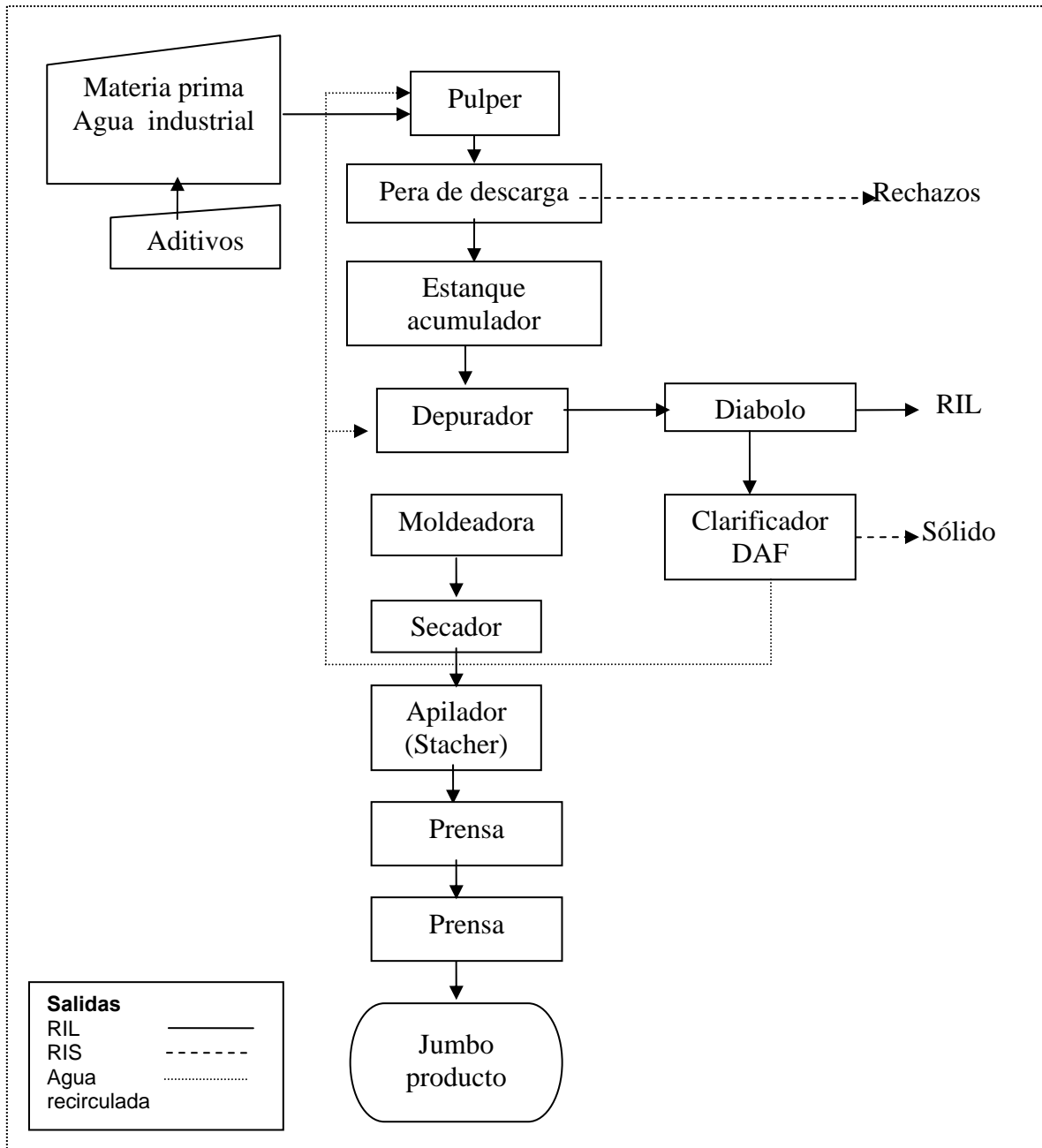
La pera de descarga, permite rechazar las impurezas que trae la fibra, como: plásticos, metales de gran tamaño, madera, etc. Este rechazo se produce una vez que el contenido del pulper ha pasado por medio de la válvula de rechazo ubicada en la parte inferior. Una vez depurada la pasta (limpia), se envía mediante bombas a un estanque acumulador, donde se revuelve constantemente con un agitador, para luego ser enviado por otra bomba hacia una cuba, posteriormente pasa al depurador de alta consistencia (HDC). Este equipo es ciclónico y permite extraer arenas, clip, corchetes, restos de alambres pequeños de alto peso que aún contiene la pasta. El rechazo se expulsa por válvulas inferiores, y el aceptado es enviado al colador.

El colador separa las impurezas plásticas y pastillas de pulpa aún no disgregadas en el proceso. Esta separación se realiza por medio de una rejilla con perforaciones de 2,5 mm de diámetro aproximadamente, dejando pasar impurezas inferiores a este calibre, que son enviadas al diábolo.; el cual retiene las impurezas y por medio de un rotor las disgrega y retira, dejando pasar el agua con fibra recuperada, que luego es enviada a una cuba.

La etapa descrita anteriormente constituye la fase de depuración de la pulpa, luego la pulpa ya depurada es enviada hacia la última cuba de la preparación pasta, donde previo control de la consistencia es transportada hacia la máquina moldeadora donde por medio de matrices se forma el producto.

Los moldes presan la pulpa y succionan toda el agua posible de extraer por bombas de vacío. El producto ya formado, se transfiere al secador donde se extrae gran parte del agua remanente del producto por medio de la evaporación generada por

quemadores alimentados por gas natural. A la salida del secador, el producto ya terminado se envía a los stacker (apiladores) para luego prensarlos y comprimirlos, formando pilas que luego son embolsadas, obteniendo así el producto terminado y envasado. El proceso se muestra en la Figura 12.

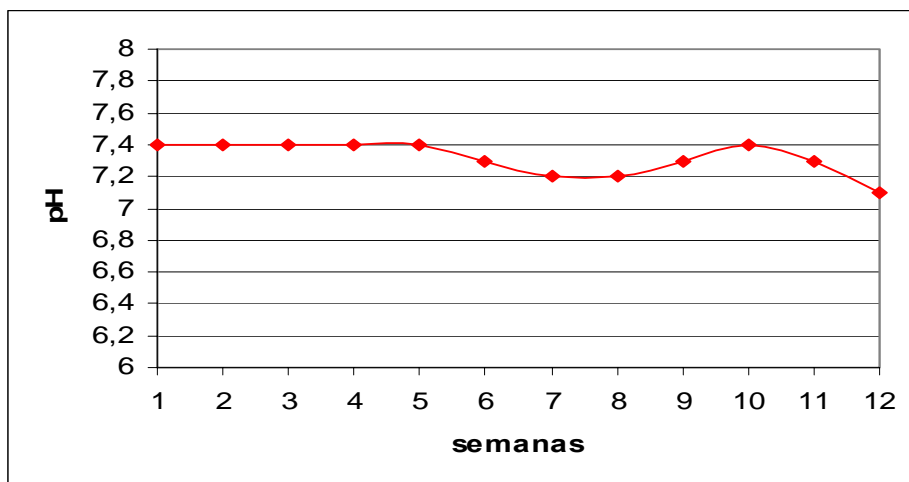


**Figura 12.** Proceso de producción bandejas moldeadas CHIMOLSA.

## 6.2 Caracterización del RIL resultante de la unión de RILes del área de Papeles y Cartones Puente Alto de empresas CMPC

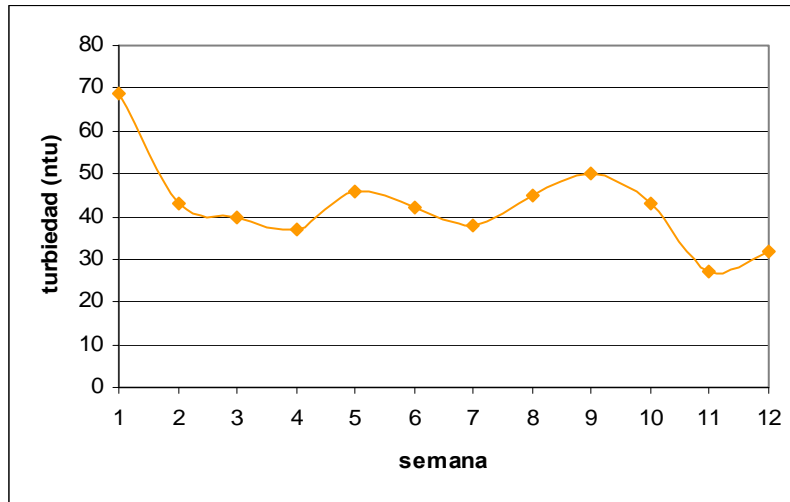
Los análisis realizados por el laboratorio químico de Papeles Cordillera dieron como resultado que el RIL resultante de la unión de RILes del área de papeles y cartones CMPC, Puente Alto, presentó un caudal promedio de 35.376 m<sup>3</sup>/d.

Los valores de pH variaron entre 7,0 y 7,4 mostrando un promedio semanal de 7,3 por lo que el RIL es considerado neutro, favoreciendo la actividad de los microorganismos participantes del tratamiento (Fig. 13). Se observaron alteraciones en los valores de pH cada vez que se practicaban lavados de máquina o al presentarse fallas en sistema de operación. Los resultados de los análisis de pH, nunca superaron los límites establecidos por la norma .



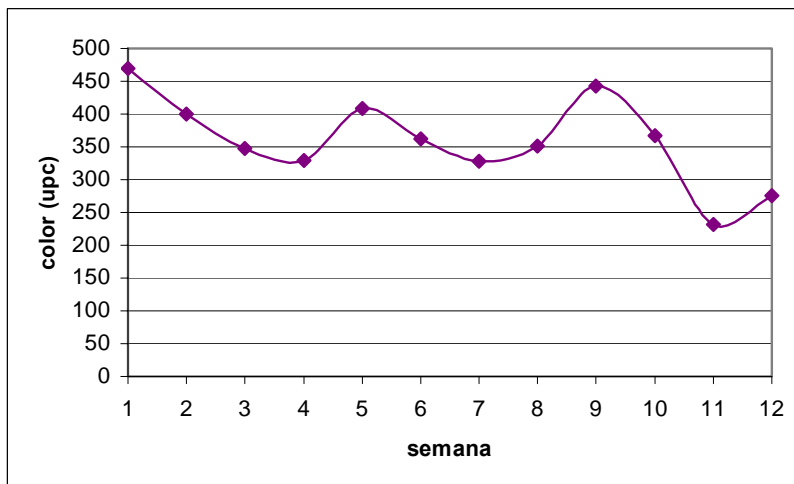
**Figura 13.** Valores promedio semanales de pH en el RIL.

La turbidez mostró valores que van desde 26 ntu<sup>3</sup> a un máximo de 90 ntu con un promedio semanal de 43 ntu, con lo cual se cumplen los límites establecidos por la autoridad (Fig. 14).



**Figura 14.** Valores promedios semanales de turbidez en el RIL.

El color real del RIL presentó un mínimo de 700 upc<sup>4</sup> y un máximo de 216 upc, logrando un promedio semanal de 335,9 upc, resultando bajo respecto de los establecidos por la normativa. La figura 15, muestra una fluctuación en los valores de color del RIL, esta variación puede ser causada por cambios en la fabricación de papel, pasando de papel blanco liner a papel kraft o papel fruta.

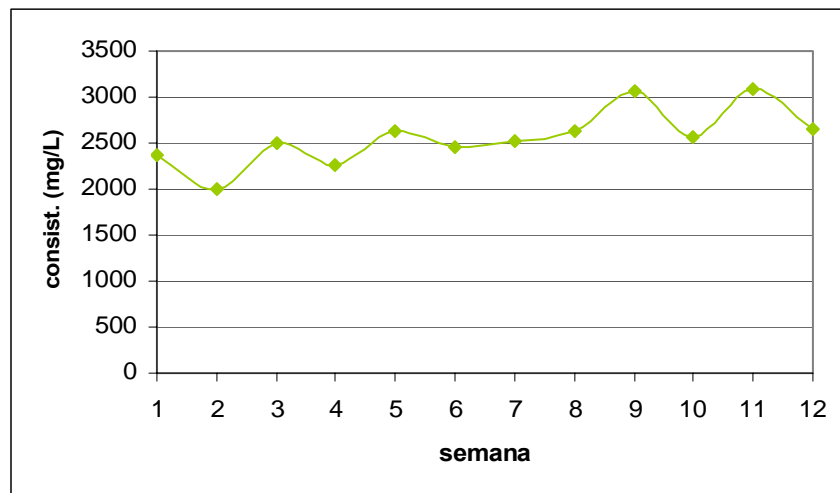


**Figura 15.** Valores promedios semanales de color en el RIL.

<sup>3</sup> Unidad de medida: Unidades nefelométricas de turbidez

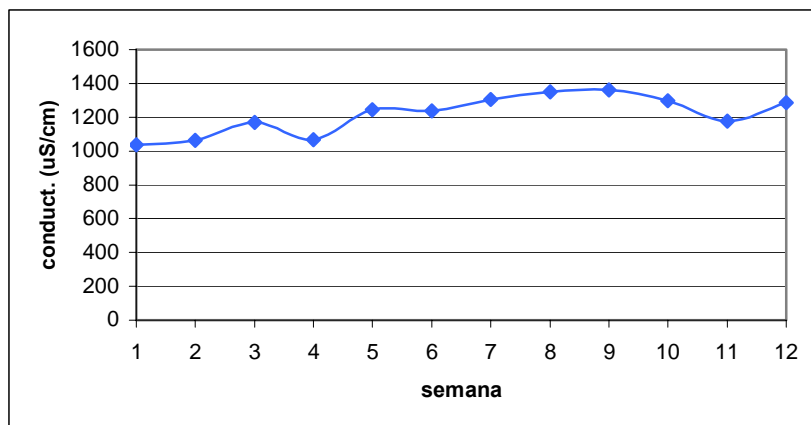
<sup>4</sup> Unidad de medida: unidades platino cobalto

El comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) resultado del análisis de consistencia, presentó valores muy fluctuantes, inicialmente los valores fueron bajos debido posiblemente al tipo de papel que se fabricó y la materia prima utilizada para la elaboración. En las semanas posteriores se observa un alza en los SST del RIL, la cual coincide con sucesivos derrames de fibra de papel en el efluente, lo cual aumenta considerablemente la consistencia del RIL; del mismo modo, fue influido por la utilización de materias primas de menor calidad. El RIL alcanzó valores de 2.800 mg/L, promediando 2.530 mg/L (Fig.16), lo que no resultó perjudicial para el sistema de tratamiento biológico, ya que durante el periodo de muestreo los RILs mantuvieron los valores recomendados para su buen funcionamiento.



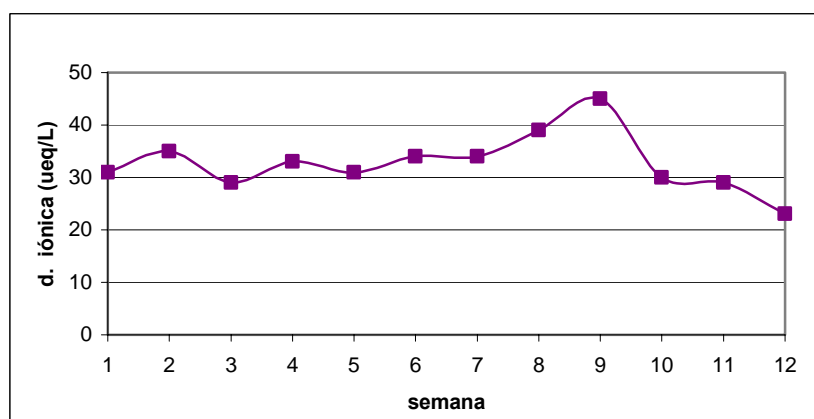
**Figura 16.** Valores promedios semanales de consistencia en el RIL.

La figura 17, muestra que la conductividad del RIL fluctuó entre 870  $\mu\text{S}/\text{cm}^5$  a 1.693  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un promedio semanal de 1.216  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El análisis indicó la presencia de partículas en suspensión que tienen una longitud de hasta 1 nm. Se presume que la oscilación en los valores semanales, pudo deberse a vertidos accidentales de agentes contaminantes externos al RIL.



**Figura 17.** Valores de conductividad eléctrica del RIL

La demanda iónica, muestra el carácter aniónico del efluente, la que se relaciona a la presencia de fibra de papel de 1 nm a 100  $\mu\text{m}$ . Los valores de demanda fluctuaron entre +56  $\text{ueq}/\text{l}^6$  y +16  $\text{ueq}/\text{l}$  con un promedio semanal de +33  $\text{ueq}/\text{l}$  (Fig. 18). La determinación de la demanda iónica, conductividad y pH, fueron utilizados para detectar sustancias coloidales en suspensión ajenas al contenido habitual del ril, generalmente catiónicas.



**Figura 18.** Valores promedios semanales de demanda iónica en el RIL.

<sup>5</sup> Unidad de medida: mili siemens/centímetro

<sup>6</sup> Unidad de medida: micro equivalentes litro

Los análisis de DBO<sub>5</sub>, DQO, nutrientes y coliformes fecales fueron realizados durante el periodo comprendido entre diciembre de 2005 y abril de 2006. Las muestras fueron analizadas por el laboratorio del DICTUC, los resultados se presentan como valores promedios mensuales en base a mediciones semanales. La siguiente Tabla, muestra el resumen de la caracterización de los RILes .

**Tabla 10. Caracterización de RIL a tratar.**

Fecha	caudal (m <sup>3</sup> /d)	Entrada a tratamiento primario			Salida de tratamiento primario			Salida de tratamiento secundario		
		DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	Coliformes (NMP/100 mL)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	Coliformes (NMP/100 mL)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	Coliformes (NMP/100 mL)
dic-05	35.412	1.230	2.635	11.250	414	840	8.525	129	285	5.885
ene-06	36.416	1.027	2.111	14.100	323	626	3.550	51	104	553
feb-06	35.490	1.430	2.899	60.250	365	680	13.333	78	335	65.965
mar-06	35.232	1.354	3.112	9.538	294	726	3.650	44	105	644
abr-06	34.328	1.438	3.426	15.444	397	830	5.022	40	97	101.951
promedio	35.376	1.296	2.837	22.116	359	740	6.816	68	185	35.000

Fuente: Laboratorio del DICTUC.

### 6.3 Comparación del RIL afluente al sistema de tratamiento biológico con el efluente.

El período de observación del RIL en la planta de tratamiento abarca 88 días entre el 2 de Enero y 31 de Marzo del año 2006, durante el cual nunca se logró una operación estable de la planta que permitiera establecer los balances de masa.

La planta piloto de tratamiento secundario para ser evaluada debió ser comparada en términos de RIL crudo a la entrada y el RIL tratado a la salida del clarificador secundario. En lo relativo a la operación y el control del sistema de tratamiento se optó por dividir el proceso en dos fases, que se definieron de la siguiente manera:

**Fase 1:** Reactores de cama móvil MBBR, Fase en donde se lleva a cabo la primera remoción de materia orgánica contenida en el RIL. El sistema presentó menos problemas de estabilidad que la fase 2, pero el nivel de remoción es inferior al logrado por el sistema de lodos tradicional. Se destacó por su gran capacidad de adaptación a las fluctuaciones de la carga volumétrica.

**Fase 2:** Sistema de lodos activados tradicional (AST) el sistema presenta una capacidad de remoción considerada buena de un 76% sin embargo presentó graves problemas de aparición de Bulking, no permitiendo una operación normal. El reactor aerobio debió ser inoculado nuevamente con lodos activados de la planta de tratamiento de la industria papelera local.

### **Problemas de operación y medidas de control**

Problemas graves resultaron por la aparición de espumas que causaron pérdidas de lodos debido a rebalse. El efecto de Bulking se agravó con el aumento del flujo suministrado y la reducción del TRH, resultando una velocidad de flujo creciente en el clarificador secundario, que compite con la velocidad de sedimentación reducida de los lodos voluminosos. Además, los flóculos tienden a estar muy livianos con una alta relación de SSV/SST. Se observaron flóculos pequeños en la superficie del sedimentador. En resumen, la concentración de biomasa activa expresada como SSV resultó bajo lo normal para un sistema de lodos activados y se puede estimar una edad del lodo (TRC) reducida, que puede aportar a problemas de operación. Las medidas de control fueron: aumento en la concentración de oxígeno disuelto, una adaptación frecuente de la tasa de recirculación de lodos, el empleo de nutrientes adicionales y finalmente la nueva inoculación con lodos adaptados al RIL empleado.

### **Parámetros Físico Químicos**

#### **pH**

El RIL sin tratar presenta valores de pH similares a los de salida del tratamiento biológico, manteniéndose cercanos a 7 (Tabla 11), considerado ideal para la operación del sistema biológico, ya que se encuentra en el rango adecuado de funcionamiento entre 6,5 y 8,0 (Eckenfelder, 1989). No fue necesario realizar una corrección preliminar, la estabilidad en cuanto a pH se debe a que en el proceso productivo no hay intervención de productos con características marcadamente alcalinas o ácidas.

El pH de los reactores MBBR 1 y 2 se mantiene constantemente alrededor de 7,0, al igual que la fase del sistema tradicional en donde no se observan cambios significativos, que afecten el cumplimiento de la normativa.

**Temperatura.**

En cuanto a la temperatura, los valores obtenidos a la salida del tratamiento son similares a los de entrada, con una diferencia promedio de 4°C (Tabla 11), por lo que no constituyen un inconvenientes en el funcionamiento del biosistema y se encuentran bajo lo exigido por la normativa.

La fase 1 opera a temperatura ambiente, no presentó inconvenientes debido a que resultó estable y moderada alrededor de los 25 °C. Los lodos activados operan a temperatura ambiente, por lo tanto están comprendidas en el rango de 20 a 28 °C. Una influencia significativa sobre la eficiencia de la purificación no fue observada.

**Oxígeno disuelto**

La concentración de oxígeno disuelto (O.D) es un 32% menor en el RIL de salida del sistema biológico respecto al de entrada, promediando 1,55 mg/L. Según lo recomendado por Ronzano et al, (1995) la concentración mínima de oxígeno disuelto en el tanque de aireación debe ser de 2,0 mg/L. Los valores a la entrada que promedian 2,29 mg/L, presentaron una desviación estándar de 0,77, lo que produce una concentración mínima de 1,52 mg/L en algunos períodos, resultando límite para la operación óptima del biosistema. Aun así la planta no presentó problemas respecto de este parámetro.

Durante la fase 1 la incorporación de oxígeno disuelto es de control automático, presenta un gran nivel de turbulencias, por lo cual los carriers están permanentemente en contacto con el oxígeno , presentó un valor mínimo de 1,4mg/L y un máximo de 3,9 mg/L, con un promedio de 3 mg/L resultando superior a los requerimientos recomendados.

En la fase 2 se observó la aparición de espumas por lo que debió operar a un valor menor de O.D, para minimizar las pérdidas de lodos debido al rebalse. Durante el crecimiento excesivo de microorganismos filamentosos, se programó una concentración mínima de 3,0 mg/L para garantizar condiciones más favorables para los microorganismos formadores de flóculos. El sistema de lodos presentó un valor mínimo de 1,3 mg/L y un máximo de 5,5 mg/L promediando 3,8 mg/L, luego del evento de bulking se aumento

considerable la inyección de oxígeno disuelto, por lo que el promedio del periodo de estudio aumento por sobre de lo recomendado.

### **Nutrientes**

En el sistema biológico a escala piloto, debió ser dosificado de nutrientes, para compensar la escasa presencia de nitrógeno se incorporó urea y para favorecer el funcionamiento de los microorganismos se incorporo fósforo en forma de ácido fosfórico. (Tabla 11). En el caso del nitrógeno los valores en la salida del RIL eran en promedio de 1,5 mg/L, siendo un 100% superior a los valores de entrada. Del mismo modo el fósforo se vio incrementado en un 194%. Los nutrientes incorporados en forma externa, se adicionaron con el fin de garantizar la relación óptima DBO5:N:P de 100:5:1 para los organismos heterótrofos, según lo recomendado por la literatura (Li, 1993).

La dosificación de nutrientes se realizó en la fase 1 del tratamiento, sin embargo el monitoreo se realizó antes de la dosificación. Los análisis mostraron que el valor mínimo en la concentración de nutrientes fue de 0,4 mg/L y un máximo de 2,9 mg/L promediando 1,1 mg/L.

En la fase 2 los nutrientes fueron monitoreados solo a la salida del clarificador secundario obteniendo un valor mínimo de 0,4 mg/L y un máximo de 4,4 mg/L promediando 1,7 mg/L.

En ocasiones la dosificación excedió lo aconsejable, por lo que el nutriente se perdió en el efluente, aumentando los niveles a la salida del tratamiento. Nunca se excedieron los valores establecidos por la norma.

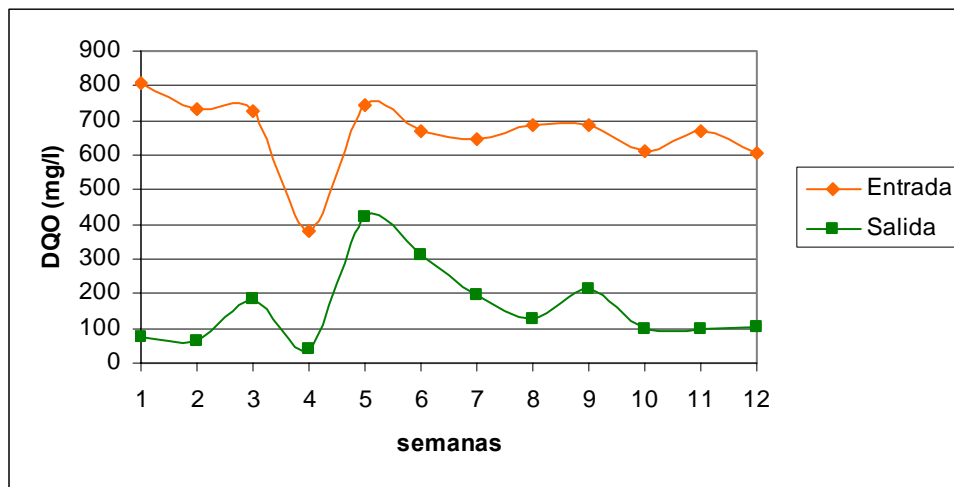
**Tabla 11.** Comparación de parámetros físico químicos entre valores de entrada al sistema de tratamiento y salida del clarificador secundario.

Semana	pH		Turbidez (ntu)		Temperatura (°C)		O. D (mg/L)		Fósforo (mg/L)		Nitrógeno (mg/L)	
	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada <sup>7</sup>	salida	entrada <sup>8</sup>	salida
1	7,1	7,2	71,5	15,2	28,5	23,5	1,3	0,7	0,5	2	6	18
2	7	7,3	62,2	18,4	28,2	23	2,4	1,9		3,7	11	15
3	7,1	7,2	67,8	34,8	26,8	23	2	1,3		1,8	2	9
4	7,2	7,3	54,5	6,3	28,5	24,8	1,4	2,2		3,5	3	9
5	7,1	6,9	69	21,5	26,5	25,5	2,4	1,3		0,5	0	30
6	7,1	7,2	73,8	21,6	28	25,75	3,2	1,6	0,5	0,6	3	4,5
7	7,2	7,3	73,4	37,6	28,2	25,8	2,8	2,6	0,5	0,4	4	5,4
8	7,2	7,3	69,8	30,6	29,4	26,2	2,5	2,6	0,5	0,4	6	4,2
9	7,1	7,2	71,3	24,2	27,8	24,6	1,7	1,6	0,4	0,7	4,5	3
10	7,2	7,2	78	23,5	26,5	23,5	2,6	2	0,5	0,7		
11	7,1	7	94	25	27	22,3	4	2,1	0,5	0,8	6	3
12	7,2	7,3	67	31,8	26,6	22,8	2,5	0,9	0,7	4,2	2,4	6,6
13	7,1	7,1	62	27	27,8	24,6	2,3	0,4	0,4	0,5	3	3
14	6,8	6,8	71	28,8	29	25,4	1,1	0,5	0,6	1,2	8,8	7,9
<b>Prom.</b>	<b>7,11</b>	<b>7,15</b>	<b>70,38</b>	<b>24,73</b>	<b>27,77</b>	<b>24,34</b>	<b>2,29</b>	<b>1,55</b>	<b>0,51</b>	<b>1,50</b>	<b>4,55</b>	<b>9,12</b>
<b>d.s<sup>9</sup></b>	<b>0,11</b>	<b>0,14</b>	<b>8,98</b>	<b>8,16</b>	<b>0,95</b>	<b>1,30</b>	<b>0,77</b>	<b>0,74</b>	<b>0,10</b>	<b>1,35</b>	<b>2,95</b>	<b>2,51</b>

<sup>7</sup> RIL de entrada sin dosificación de nutriente.<sup>8</sup> RIL de entrada sin dosificación de nutriente.<sup>9</sup> desviación estándar

### Demanda Química de Oxígeno (DQO)

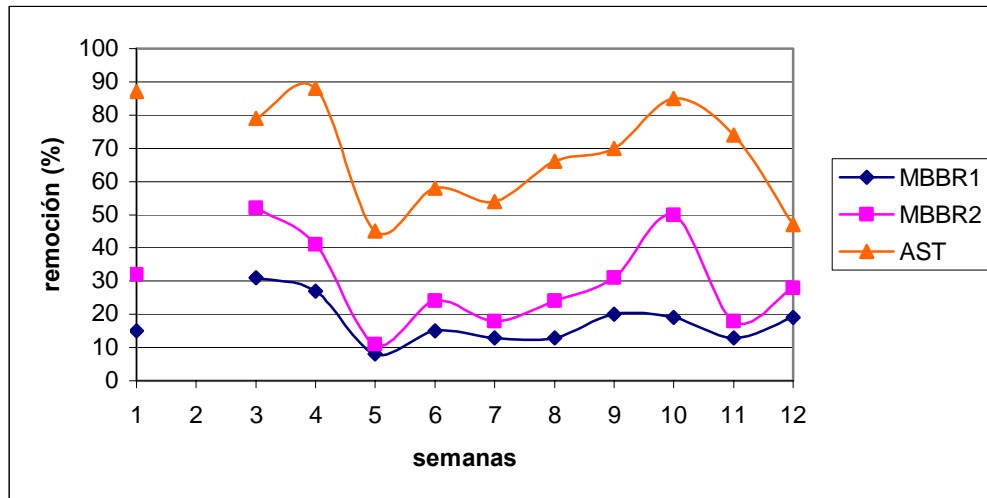
La demanda química de oxígeno del RIL alcanza en la entrada valores de hasta 808 mg/L promediando 664 mg/L. A la salida del clarificador secundario las mediciones mostraron un valor mínimo de 43 mg/L y un máximo 419 mg/L, con un promedio de 162 mg/L (Fig.19). La tendencia durante el periodo de muestreo presenta variaciones, siendo la más considerable la baja ocurrida durante la cuarta semana, mostrando un descenso de 75% respecto del valor promedio. Se desconocen las causas de la caída en los valores.



**Figura 19.** Valores de DQO en la entrada y la salida del tratamiento biológico

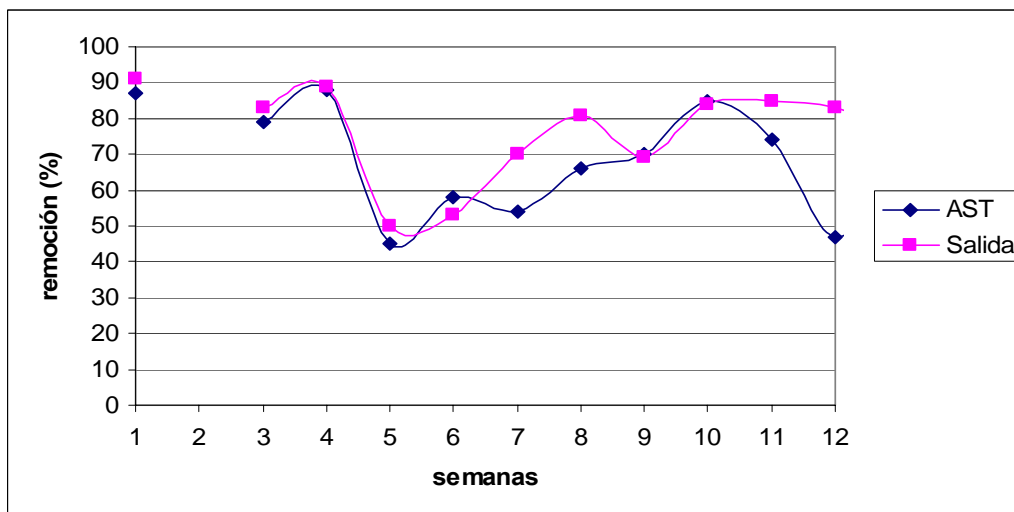
En relación al comportamiento de cada fase de operación del tratamiento se puede observar en la figura 20, que durante la fase 1 los valores de DQO presentaron una remoción que va desde un 8% a un 50 %. Esta etapa mantuvo una promedio de 25 %, lo que se considera menor al compararlo con la remoción total en las concentraciones de DQO. En el reactor MBBR 1 el promedio de remoción fue de un 18% y en el MBBR 2 fue de un 30%.

En la fase 2, las condiciones de remoción variaron desde un 45% a un 88%, presentando una mayor inestabilidad durante todo el periodo, el promedio en la remoción del AST fue de un 68%.



**Figura 20.** Valores promedio semanales de remoción de DQO en las distintas etapas de tratamiento del RIL.

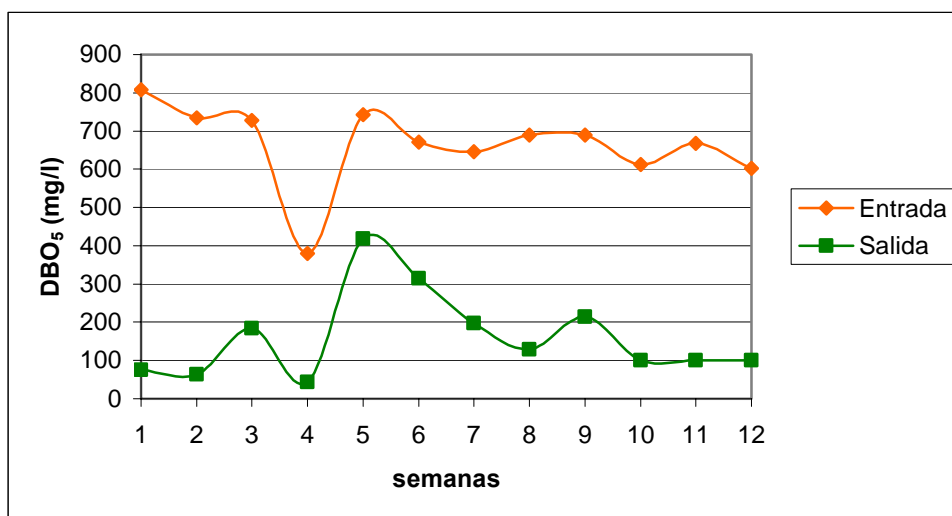
Se puede observar además en la Figura 21, que en las semanas 6, 9 y 10 la remoción calculada a la salida del sistema es menor a la registrada en el AST, por lo que se puede inferir que el problema se provocó en el clarificador secundario. Probablemente, el problema fue producido por episodios de reflote de lodos y el bulking anteriormente mencionado.



**Figura 21.** Valores promedio semanales de remoción de DQO en el AST y la salida del tratamiento secundario.

### Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Con respecto a la DBO<sub>5</sub>, los valores presentaron una tendencia similar a la del parámetro de DQO. Los valores a la salida del tratamiento biológico fueron un 70% menores en promedio que los de entrada, lo que indica un buen desempeño del sistema de tratamiento, sin embargo, el adecuado funcionamiento no asegura el cumplimiento de la normativa vigente. Al momento de la descarga del efluente posterior al tratamiento biológico, el RIL presentó un promedio de 97mg/L, casi triplicando lo exigido por la autoridad (Fig.22).

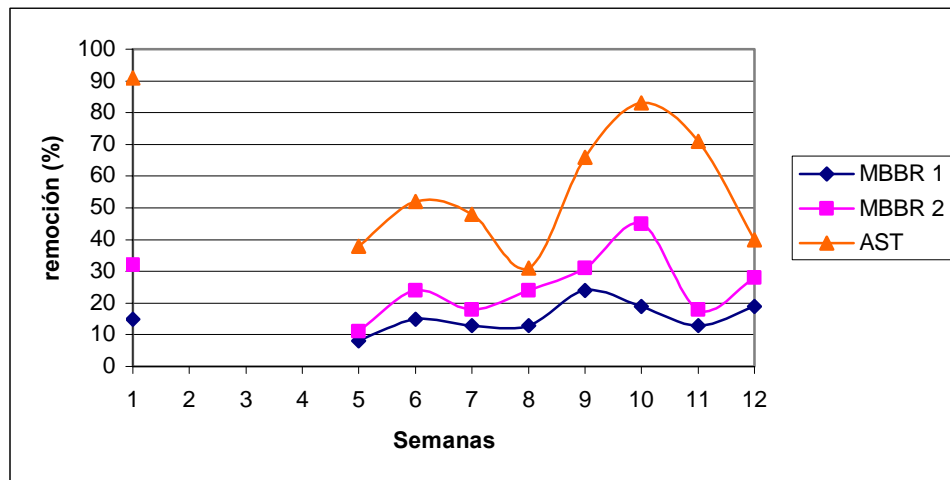


**Figura 22.** Valores promedio semanales de remoción de DBO<sub>5</sub> en la entrada y la salida del tratamiento biológico.

Durante la semana 5 se observa un aumento de 419 mg/L en la salida, dicho incremento puede encontrar su origen en la mala calidad de la materia prima utilizada en ese periodo de fabricación, influenciado además por el efecto causado por un episodio de bulking. La semana 9 también presenta un aumento en la demanda la que coincide con los valores observados en la medición de DQO.

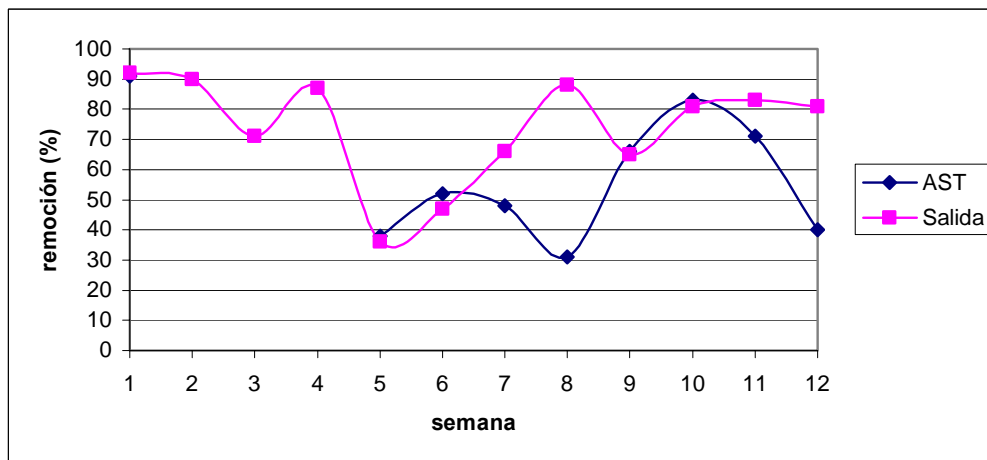
En relación al comportamiento de cada fase de operación del tratamiento se puede observar en la figura 23, que durante la fase 1 los valores de DBO<sub>5</sub> presentaron una remoción que va desde un 8% a un 45 %. Esta etapa mantuvo una promedio de 21 %, lo que se considera similar al compararlo con la remoción total de DQO. En el reactor MBBR 1 el promedio de remoción fue de un 15% y en el MBBR 2 fue de un 26%.

En la fase 2, las condiciones de remoción variaron desde un 31% a un 91%, presentando una mayor inestabilidad durante todo el periodo, el promedio en la remoción del AST fue de un 75%.



**Figura 23.** Valores promedio semanales de remoción de DQO en las distintas etapas de tratamiento del RIL.

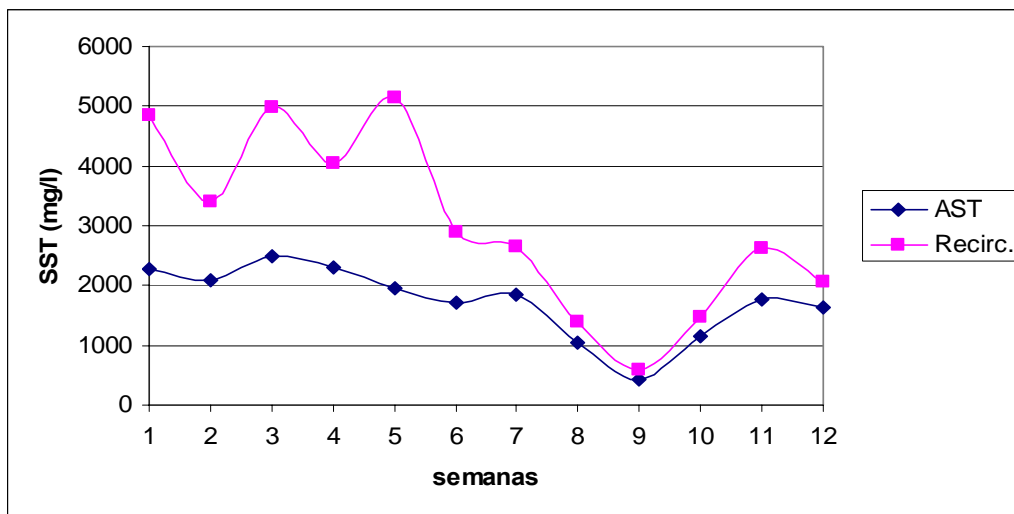
Al igual que en los valores de DQO, se puede observar (figura 24), que en la semana 5, 6, 9 y 10 la demanda biológica de oxígeno calculada a la salida del sistema es menor a la registrada en el AST, por lo que se corrobora que el problema se provocó en el clarificador secundario, producido por episodios de reflote de lodos, el bulking anteriormente mencionado o por la disminución de los SSV en el licor de mezcla, debido a una purga programada.



**Figura 24.** Valores promedio semanales de remoción de DQO en el AST y la salida del tratamiento secundario.

### **Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles (SST y SSV)**

La concentración de SST del sistema de lodos activados presenta valores óptimos en los primeros periodos de muestreo, obteniendo en el AST hasta la sexta semana un valor promedio de 2.139 mg/L, mientras que la recirculación se presentaba con una concentración de 4.220 mg/L. Estos valores descendieron bruscamente a partir de la 7ª semana donde el AST mostraba un promedio de 1.311 mg/L (Fig.25) y 1.798 mg/L en la recirculación. Este hecho, pudo ser originado por la pérdida de sólidos en el evento de bulking acontecido en ese periodo, de lo contrario, puede corresponder a pérdidas por rebalse debido a espumas y otros inconvenientes en los sistemas de operación presentados en ese periodo.



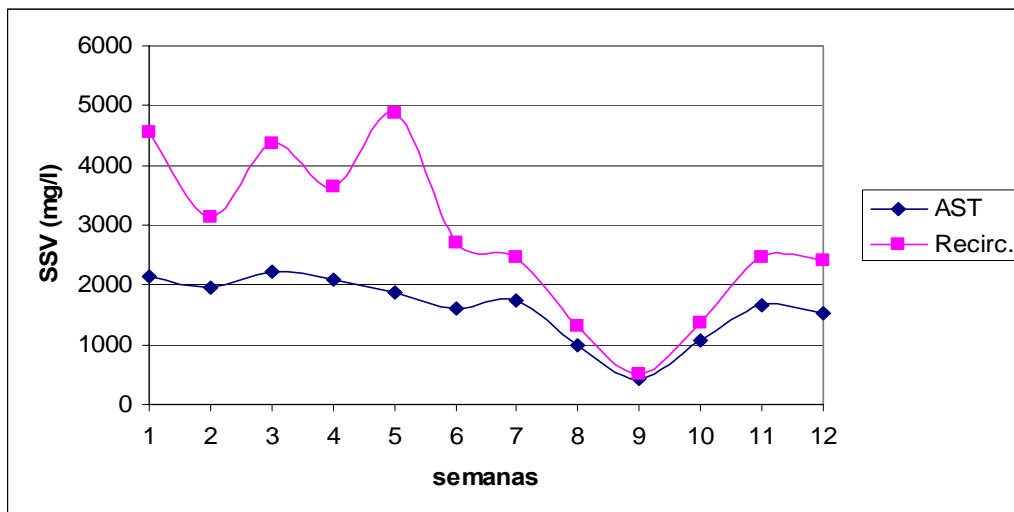
**Figura 25.** Valores promedio semanales de sólidos suspendidos totales en el licor de mezcla del AST y la recirculación.

Durante la novena semana, se puede observar el punto más bajo de todo el monitoreo, la causa puede tener su origen en un lavado con soda cáustica cuyo residuo fue derramado al afluente. El agua de lavado además de tener soda cáustica contenía aproximadamente 11 toneladas fibra de papel. Los efectos provocados por el derrame fueron: (1) una alteración en la relación F/M que registró niveles muy altos, por lo que se provocó un desequilibrio en la planta; (2) lodo reflatado en el clarificador y espuma café en la superficie del AST; (3) los SST tuvieron un descenso considerable llegando a 600 mg/L en el AST y 680 mg/L en la recirculación del clarificador.

Para estabilizar la planta se recomendó: (1) detener los despiches del clarificador, aumentando la recirculación. (2) frente a la presencia de lodo reflatado, averiguar la causa que lo originó, descubriendo la presencia de filamentosas.

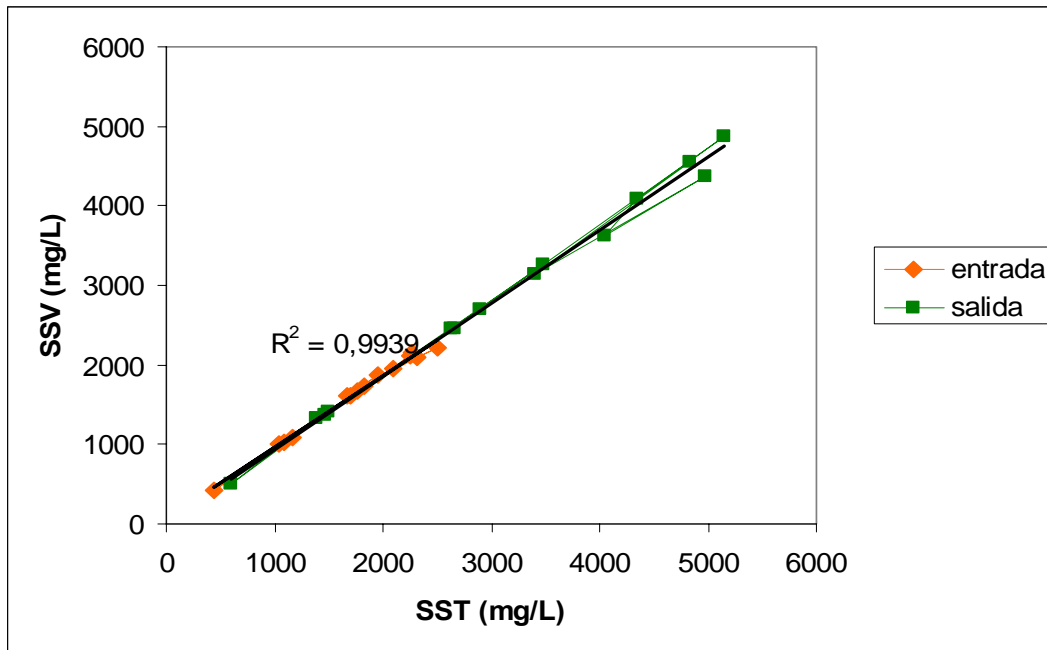
Con la intención de estabilizar la planta, se aumentó la incorporación de oxígeno de 2 mg/L a 4 mg/L, además se controlaron las purgas de lodos y la dosificación de nutrientes. A pesar de estos esfuerzos, la planta no logró estabilizarse. Posteriormente, el sistema fue inoculado con lodos de otra planta de tratamiento de la industria papelera local, con lo que se logró estabilizarla fuera del periodo de monitoreos.

Se puede observar que el contenido de sólidos suspendidos volátiles presentes en el AST durante el periodo de muestreo tuvo una tendencia similar a la del total de sólidos antes y después de la sexta semana (Fig.26). En el primer periodo hasta la semana 6 el promedio de SSV en el AST fue de 1.982 mg/L y en la recirculación de 3.877 mg/L. Luego de presentarse la emergencia de pérdida de sólidos en el licor de mezcla, los valores de SSV en el AST fueron de 1.241 mg/L y de 1.753 mg/L en la recirculación. Los motivos de esta caída en los valores son similares a los recientemente mencionados en los SST; del mismo modo se procedió para estabilizar la planta, no logrando resultados óptimos durante el periodo de muestreo.



**Figura 26.** Valores promedios semanales de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla del AST y la recirculación.

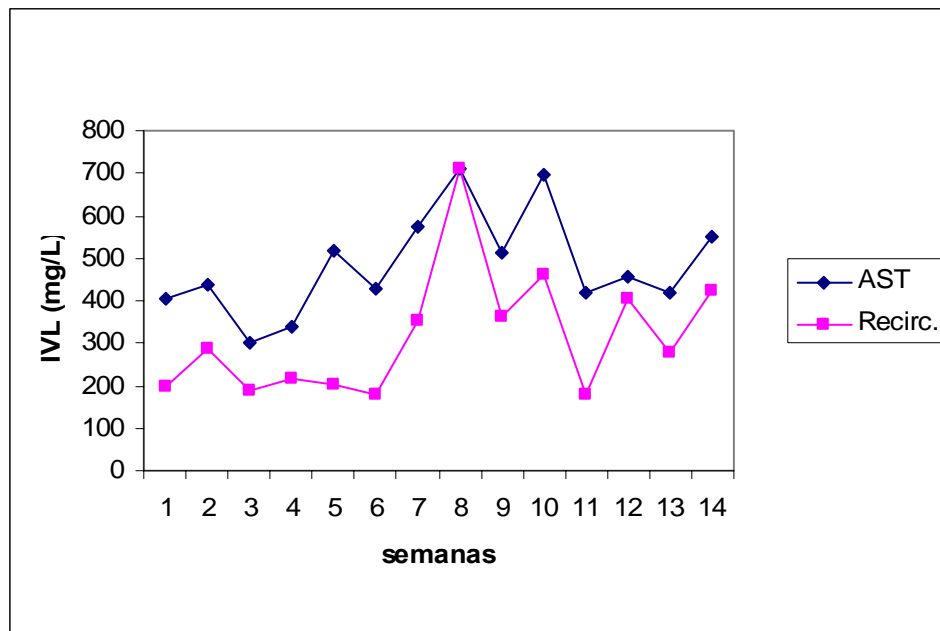
Se puede observar que el contenido de sólidos suspendidos volátiles del licor de mezcla constituye la mayor parte del contenido total de sólidos presentes en el biosistema, la relación SSV/SST presenta una correlación lineal de 0,99 en la entrada y la salida del tratamiento secundario (Fig.27). Por lo tanto, el sistema biológico no incide en la relación establecida entre la fracción volátil y la total de sólidos.



**Figura 27.** Correlación lineal de SSV y SST en la entrada y salida del tratamiento biológico.

### Parámetros de Operación

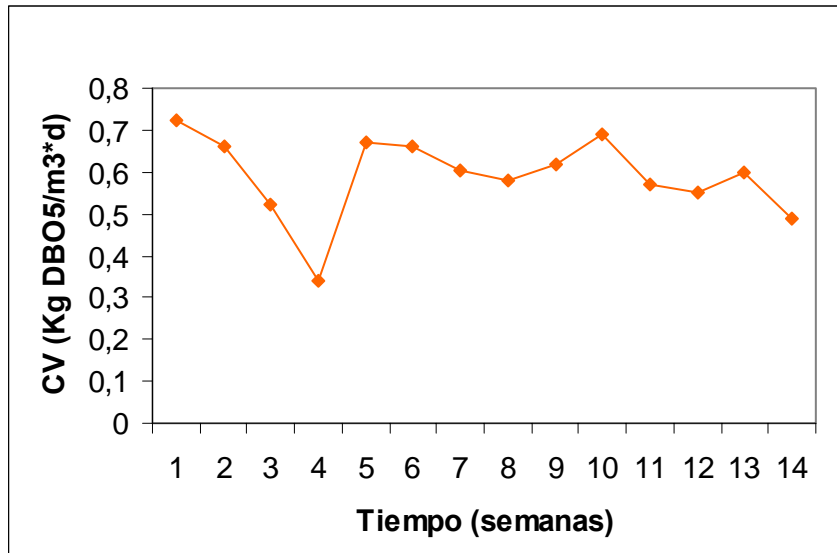
En un principio, los lodos presentaron propiedades de decantación aceptables, resultando en un índice volumétrico de lodos (IVL) promedio en el AST de 405 ml/g, cercano a los valores óptimos; sin embargo, en las últimas semanas alcanzó valores de hasta 710 ml/g presentando dificultades en los lodos operativos de planta, los inconvenientes se produjeron por la escasa decantación de lodos, debido a problemas en la recirculación y la disminución en la concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla. (Fig.28). Las propiedades del lodo se vieron afectadas luego de la sexta semana, por el efecto del bulking en el tanque aireación, que provocó reflote de lodos y un considerable asenso en los valores de índice volumétrico, el cual se muestra normalizado a partir de la décima semana.



**Figura 28.** Valores de índice volumétrico de lodos en el AST y recirculación del clarificador secundario.

En el caso de la carga volumétrica (CV) en el tanque de aireación, presentó un promedio de 0,59 Kg. DBO<sub>5</sub>/(m<sup>3</sup>·d) mostrando una tendencia a la baja (Fig.29).

Según Gray (1990), en tratamientos convencionales la carga volumétrica (CV) está comprendida entre 0,4 y 1,5 Kg. DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>·d y en el régimen de aireación prolongada de solamente 0,03 a 0,15 Kg. DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>·d, por lo tanto la planta se encontraría en condiciones optimas de operación.



**Figura 29.** Parámetros de control de la planta piloto de tratamiento biológico.

Durante el periodo de monitoreo se pueden observar puntualmente los momentos en que la operación fue más deficiente y relacionar dichos valores con el acontecimiento de algún problema operacional o situación de emergencia ambiental. Los eventos que se presentan a continuación, pueden resultar fundamentales a la hora de evaluar el comportamiento de el sistema de tratamiento, debido a que coinciden con el desequilibrio en el sistema y una disminución en el rendimiento. Luego de estos hechos, la planta no pudo recuperarse en su totalidad, por lo cual se puede plantear que la inestabilidad e insuficiencia del tratamiento durante el periodo de estudio puede ser causada por una deficiencia en la operación.

A continuación, se muestran los eventos mencionados anteriormente, donde se indica la fecha en la que aconteció, la causa que lo provocó, los efectos sufridos y las recomendaciones sugeridas en el momento.

### **I. Contaminación del afluente con producto químico.**

**Producto:** Soda Cáustica

**Fecha:** 13/01/06

**Origen:** Planta de Tratamiento de Efluentes.

**Causa:** Lavado de circuito de prensas sin aislar el efluente Clarificado que ingresa a la planta piloto de Tratamiento Secundario

**Efecto:**

- Aumento de pH a 14 en MBBR1 y 9 en MBBR2.
- Pérdida de biopelícula microbiana.
- Disminución % de remoción a 64%.

**Recomendación:**

- Realizar lavado de circuito cerrado.
- De ocurrir nuevamente en planta piloto, desaguar los reactores MBBR.
- No desaguar el AST, por que ahí se encuentra la mayor actividad microbiana.
- De ocurrir en Planta Industrial, desviar el efluente si se trata de una cantidad considerable de producto.

### **II. Detención de bomba de recirculación**

**Fecha:** 26/01/06

**Origen:** Planta Piloto de Tratamiento Secundario.

**Causa:** Detención por 20 horas de la bomba de recirculación que cicla el lodo del clarificador secundario al AST. Este inconveniente sumado a una baja carga orgánica del efluente de entrada a la planta piloto.

**Efecto:**

- baja calidad del lodo.
- Incipiente anaerobiosis en el medio.
- Disminuyen la cantidad de SST (1400 ppm), casi la mitad de lo recomendado.
- Aumento de los valores de salida de DQO.
- Merma en la remoción de materia orgánica del sistema. Alrededor de 60%.

**Recomendación:**

- Se recomienda contar con una bomba en stand –by para que pueda ser utilizada en caso de que se repita una situación similar.
- Reparar lo más rápido posible el equipo dañado.

- No descuidar la dosificación de nutrientes, ni la aplicación de oxígeno al sistema.
- Evaluar la situación de entrada de caga orgánica, debido que una detención en baja carga puede provocar mayores daños por insuficiencia en el sustrato. No así en alta carga, ya que el ingreso de materia orgánica puede suplir en alguna medida la falta de recirculación.

### **III. Crecimiento excesivo de Bacterias Filamentosas**

**Fecha:** 30/01/06

**Origen:** Planta de Tratamiento Piloto (recirculación)

**Causas:**

- Detención de la bomba de recirculación de lodos. Provocó un sistema con insipientes características anaeróbicas. Una disminución en los parámetros de oxígeno disuelto y pH.
- Escasez de nutrientes (N y P). Se cortó la dosificación durante 3 días.
- Carga orgánica baja del RIL de entrada al sistema. (Liner Blanco en MP-20)

**Efectos:**

- Relación F/M alta, fuera del rango recomendado.
- Altos valores de IVL, fuera del rango recomendado.
- DQO de salida alta y DBO5 sobre la norma.
- % de remoción < 50%

**Recomendaciones:**

Se recomienda tratar el sistema por medio de la regulación de parámetros de control:

- Mejorar la concentración de O.D.
- Estableces nuevos parámetros de despiche.
- Regular el sistema de recirculación
- Monitorear F/M, edad del lodo, realizar un recuento e identificación de filamentosas.

En caso de ser un problema urgente, como solución a corto plazo, considerar la dosificación de productos clorados, regulando la cantidad y la duración de la intervención.

#### **IV. Bulking** (Lodo abultado)

**Fecha:** 07/02/06

**Origen:** Clarificador secundario de Planta piloto.

**Causas:**

- Crecimiento excesivo de filamentosas.
- Malas condiciones de operación (bajos niveles de O.D, excesivos TRC), no se logró superar de forma satisfactoria la detención del sistema de recirculación.

**Efectos:**

- Alta relación F/M
- Lodo refltado
- Baja calidad del afluente
- Escasa remoción de materia orgánica. En los momentos críticos llegando a un 30%.

**Recomendaciones:**

- Estabilizar la adición de nutrientes
- Aumentar la purga de lodos.
- Regularizar el sistema de recirculación (parámetro de control)
- Reconocer el tipo de filamentosas presentes.
- Solución a corto plazo, incorporar un oxidante fuerte como H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o algún producto clorado.

#### **V. Derrame de Residuo peligroso al Afluente**

**Producto:** 400 L de Aceite Lubricante

**Fecha:** 16/02/06

**Origen:** MP-20 Papeles Cordillera S.A.

**Causa:**

- Rompimiento de una manguera hidráulica de un polín durante la detención por lavado de máquina.

**Efectos:**

- Los efectos fueron percibidos 4 días después del vertido y afectó a la planta de tratamiento secundario.
- Alta turbidez en el sistema, especialmente en la salida.
- Dificultad en el intercambio de gases por presencia de capa superficial oleosa.
- Color pardo en el Clarificador por desprendimiento de algas en las paredes del estanque.

- Reflote de lodos por diferencia de densidad.

**Recomendaciones:**

- Los derrames de aceite son el evento más perjudicial que puede enfrentar el tratamiento biológico. Por lo tanto deben tomarse medidas preventivas, debido a que los derrames son inevitables e impredecibles.
- Para evitar la generación de accidentes se recomienda mejorar de las actividades de mantención en las instalaciones de MP-20.
- Se debe construir un pozo desengrasador.
- Se debe estudiar la posibilidad de implementar tecnología de remediación de derrames, como membranas.
- De acontecer un derrame de este tipo, se debe avisar inmediatamente del vertido a PTE y la cantidad estimada, para poder desviar el efluente.

**VI. Aumento de la carga Orgánica del Afluente**

**Fecha:** 27/02/06

**Origen:** MP-20 de Papeles Cordillera S.A.

**Causas:** Lavado con Soda cáustica, residuo derramado al afluente. El agua de lavado además de tener soda cáustica contenía aproximadamente 11 toneladas fibra de papel.

**Efectos:**

- La relación F/M registró niveles muy altos. Por lo que se provocó un desequilibrio en la planta.
- Lodo refltado en el clarificador y espuma café en la superficie del AST.
- Los SST tuvieron un descenso considerable llegando a 600 mg/L en el AST y 680 mg/L en la recirculación del clarificador.

**Recomendaciones:**

- Si el sistema enfrenta este problema y presenta una cantidad escasa de SST, se deben detener los despiches del clarificador, aumentando la recirculación.
- Si hay presencia de lodo refltado, averiguar la causa que lo originan, pudiendo ser presencia de filamentosas, o un alto nivel de inyección de oxígeno.

De ser causado por exceso de aire se debe regular el sistema de aireación.

#### 6.4 Determinar factores que potencialmente pueden afectar el funcionamiento de la planta piloto de Tratamiento Secundario.

Los circuitos de aguas utilizados para la elaboración de papel y cartón, así como para el tratamiento del RIL, fueron determinados por tres factores. Los factores determinantes o procedimientos en los que se utilizan materiales y/o productos o se realizan acciones “vulnerables” de provocar mal funcionamiento de la planta piloto de tratamiento secundario fueron denominados como “eventos claves”.

Los eventos claves son:

- (1) Materias Primas. En su Cantidad, Composición y Calidad.
- (2) Aditivos. En su cantidad y peligrosidad.
- (3) Lavados de Máquina. En su frecuencia y procedimiento

##### 6.4.1 Materias Primas

Las diferentes materias primas utilizadas en la elaboración de papeles y cartones resultaron determinantes a la hora de evaluar el buen funcionamiento del sistema piloto de tratamiento secundario, debido al aporte de carga orgánica que realizan al afluente.

Las materias primas utilizadas en la elaboración de papeles y cartones son las mencionadas en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Materias primas utilizadas en las empresas CMPC Papeles Puente Alto.

Tipo	Origen	Características	Producto	Lugar de utilización	Cantidad t/año
Virgen	externo		Celulosa blanqueada Celulosa Kraft	P. Cordillera (M.Clásicas) Tissue	50.500
Recuperada	interno	Recorte preconsumo	DKL (P.C) Blanco 1 (T) Blanco 2 (T) Pañal (T)	P.Cordillera Tissue	260.000
	externo	Recorte usado	OCC (P.C) Papel periódico(P.C) Blanco 3 (T) Revista (T)	P.Cordillera Tissue CHIMOLSA	

La fabricación de papel por la MP-20 de Papeles Cordillera constituye un circuito prácticamente cerrado., por lo cual, aumenta su eficiencia recuperando la mayor parte de la fibra proveniente del fardo. A pesar de eso, debido a los volúmenes que maneja, puede significar el mayor aporte de Papeles Cordillera S.A. al afluente. En esta unidad se utilizan principalmente materias primas recuperadas.

Las máquinas clásicas no aporten gran cantidad de materia orgánica al afluente, sólo se perderá un poco de fibra de celulosa, pero no habrá derroche de sólidos o cargas minerales. El RIL aportado por las máquinas clásicas es prácticamente agua y químicos, por lo que este factor favorece a la dilución del afluente ayudando a la disminución de DBO<sub>5</sub>.

Tissue, utiliza mayoritariamente recorte para la elaboración de sus productos, privilegiando aquellos con mayor blancura, debido a que los clasifica según su *grados de blancura*, los cuales deben aumentar en 11 unidades al final del proceso con respecto a la entrada del recorte. Las mezclas obtenidas deben tener entre 67% y 82% de blancura. Por lo tanto, las materias primas utilizadas resultan de mediana calidad.

CHIMOLSA en la fabricación de sus productos utiliza sólo papel recuperado, de mediana y baja calidad. El consumo general de recortes en CHIMOLSA alcanza las 354 Ton/mes. Principalmente corresponde a periódicos que constituyen el 49%. El que se utiliza en menor cantidad es el papel Kraft, con solo un 1%, lo que da cuenta de la baja calidad del recorte utilizado.

Para determinar el efecto provocado por cada una de las materias primas en la operación de la planta piloto de tratamiento secundario, se establecieron los siguientes criterios.

Calidad:

**Alta (A):** materia prima virgen.

**Media (M):** Materia prima recuperada, sin uso.

**Baja (B):** materia prima recuperada, usada.

Aporte de Carga orgánica:

**Alta carga orgánica (AC):** Aportes con concentraciones de  $DBO_5 > 800$  mg/L, establecido como valor máximo aceptable.

**Baja carga orgánica (BC):** materias primas que aportan concentraciones de  $DBO_5$  muy bajas, menores a 300 mg/L.

De acuerdo a los criterios establecidos, las materias primas pueden afectar potencialmente el funcionamiento de la planta piloto de tratamiento secundario como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Criterios de evaluación para materia prima.

Materia prima	Calidad			Aporte Carga orgánica		Efecto sistema piloto de Trat. secundario
	A	M	B	AC	BC	
Celulosa Blanqueada	X				X	La disminución de la carga pudiese afectar en ocasiones al tratamiento biológico, si disminuye la relación F/M, el sustrato se hace insuficiente para la masa de microorganismos, por lo que se puede ver afectada la eficiencia del sistema.
Celulosa Kraft	X				X	
DKL		X				No afecta potencialmente al tratamiento secundario.
OCC			X	X		Un aumento en la carga orgánica del RIL a tratar, puede afectar en ocasiones el funcionamiento del tratamiento biológico, toda vez que tal desajuste provoque un aumento en la relación F/M y por lo tanto se incremente la $DBO_5$ .
Papel periódico			X	X		
Mixto			X	X		

**6.4.2 Aditivos:**

Los aditivos fueron considerados como una fuente potencial de contaminación del afluente, debido al gran número utilizado, su difícil detección al momento de ser vertido y los innumerables daños que puede causar un derrame en el acueducto, por ende el sistema de tratamiento del RIL.

Por esto, se identificaron y evaluaron los productos incorporados en las recetas y su efecto en el sistema de tratamiento.

Las consecuencias que puede tener un potencial derrame puede afectar el tratamiento primario como en el tratamiento biológico. No obstante, se debe tener presente que el daño o falla en el tratamiento primario, puede igualmente desencadenar una emergencia en el biosistema.

En la Tabla 14 se detallan los aditivos más utilizados y sus potenciales efectos sobre el efluente y el sistema de tratamiento biológico.

La información que se presenta a continuación se obtuvo a partir de las hojas de seguridad facilitada por el proveedor de cada producto químico.

**Tabla 14.** Aditivos utilizados y potenciales efectos en el efluente.

<b>Genérico</b>	<b>Característica</b>	<b>Efectos Tratamiento Secundario</b>
<i>Almidón:</i>	Mejora las propiedades físico-mecánicas del papel. Origen natural. Puede ser extraído de la papa, la mandioca o el maíz. - Almidón Catiónico - Almidón Nativo - Almidón prensa	Derrame accidental de almidón catiónico debido a que presenta una alta demanda iónica, afectando las cargas del sistema. El derrame de almidón ya sea catiónico o nativo provoca un aumento en la carga orgánica del afluente, lo que afecta los valores de DQO.
<i>Cargas Minerales:</i>	Aportar flexibilidad al papel, favorece el blanqueado y además favorece el ahorro de fibra. Carbonato de Ca y Caolín.	Color del afluente y la conductividad. No debe alterar al sistema biológico

Tabla 14, continuación

<b>Genérico</b>	<b>Característica</b>	<b>Efectos Tratamiento Secundario</b>
<i>Encolante:</i>	Determina el grado de permeabilidad al agua del papel. Encolante ácido (resinato de sodio) en Máquinas Clásicas y Encolante neutro (ASA) en MP-20.	Producirá un incremento en la generación de espuma. Puede afectar el pH. El ASA no debe provocar daño si se vierte emulsionado, además no genera espuma. El encolante posee base oleosa (aceite), por lo que al ser vertido puede traer efectos perjudiciales a los microorganismos.
<i>Agente de Retención:</i>	Solución de Percol al 0.1%. una demanda aniónica de 11500 ueq/L, altísimo poder catiónica	Su alta carga dejará al sistema catiónico, pudiendo incluso tapan el clarificador. El tratamiento biológico se afecta al disminuir la carga proveniente del tratamiento primario.
<i>Blanqueante óptico:</i>	Sirve para papeles blancos, aumentar su blancura hasta el 98%. Es un agente oxidante, con bajo pH, características catiónicas que le entregan alta afinidad con la fibra de papel. En la MP-20 para la fabricación de liner blanco.	Generalmente se utiliza en bajas cantidades, por lo que no debe causar un efecto perjudicial; sin embargo, sus características oxidantes, pueden llegar a alterar el pH del sistema
<i>Antiespumante:</i>	Posee una base oleosa	Un derrame puede resultar dañino en el tratamiento biológico, debido a que su base de aceite provoca el reflote de lodo biológico en el clarificador, por diferencias de densidad.
<i>Microbicida</i>	Es altamente oxidantes. Afecta la medición de parámetros como el ORP.	Un derrame provocaría consecuencias letales en el sistema biológico, la muerte instantánea de los microorganismos.
<i>Coagulante Catiónico:</i>	Coagulante primario, además ayuda al proceso de encolado del papel. Posee una demanda aniónica en solución muy alta.	Graves daños en tratamiento primario, debido a que posee una alta carga positiva. Pudiendo incluso provocar el taponamiento del clarificador. Puede producir una baja de pH. Al tratarse de Sulfato de aluminio, puede generar la proliferación de bacterias sulfato reductoras.

Tabla 14, continuación

<b>Genérico</b>	<b>Característica</b>	<b>Efectos Tratamiento Secundario</b>
<i>Floculante catiónico</i>	Posee base oleosa	Separación en fase por diferencia de densidad, lo que produce un reflote del lodo en el sedimentador secundario. La dificultad de intercambio gaseoso superficial puede provocar una incipiente anaerobiosis.
<i>Agente de Release:</i>	Posee base oleosa	Separación en fase por diferencia de densidad, lo que produce un reflote del lodo en el sedimentador secundario. La dificultad de intercambio gaseoso superficial puede provocar una incipiente anaerobiosis.
<i>Antincrustante</i>	Se trata de polímeros sintéticos de acción dispersante que actúan directamente sobre sales incrustantes como el $\text{Ca}^+$ y $\text{Mg}^+$ .	Por lo tanto, no debiese afectar al sistema biológico.
<i>Agente resistencia en Húmedo: (Resamín)</i>	Tiene características catiónicas	Afectar las cargas del sistema de tratamiento, incluso taponando la salida del clarificador 1°. Al afectarse el sistema primario, se perjudica al tratamiento biológico, debido que disminuye la carga orgánica de entrada al sistema biológico, lo que repercute en muerte microbiológica.
<i>Blanqueante</i>	<i>(Peróxido de Hidrógeno 70%):</i> descomposición química al reacciona rápidamente en presencia de agua	Directamente sobre el sistema, puede actuar como desinfectante y microbicida, perjudicando la flora microbiana.
<i>Silicato de Na:</i>	Altamente alcalino (pH 10.5) Tiene características de electrolito aniónico,	Puede neutralizar el efecto del PAC (Coagulante) en la floculación levantando el lodo del Clarificador Afecta al sistema biológico causando un aumento del pH sobre 8, provocando la muerte de los microorganismos.
<i>Agente Coating:</i>	Resina de naturaleza orgánica pH 3 (ácido) en estado puro , solución acuosa de copolimero catiónico de acrilamina	Afectar las cargas del sistema de tratamiento Al afectarse el sistema primario, se perjudica al tratamiento biológico, debido que disminuye la carga orgánica de entrada al sistema biológico

Tabla 14, continuación

<b>Genérico</b>	<b>Característica</b>	<b>Efectos Tratamiento Secundario</b>
<i>Blanqueante reductor</i>	Contiene Hidrosulfito de sodio y otros compuestos derivados del azufre;	Promueve la producción de bacterias sulfato reductoras
<i>Lavador de fieltros y tela: (New Solven)</i>	Propiedades de hidrocarburo aunque se encuentra modificado químicamente	Actúa de la misma forma en que lo haría un aceite, separando en fases el sistema y reflatando el lodo. Además de dificultara la transferencia de oxígeno a nivel superficial.
<i>Agente de release:</i>	Combinación de aceite natural y mulsionadotes, pH 6-7, no iónico.	Separación en fase por diferencia de densidad, lo que produce un reflote del lodo en el sedimentador secundario. La dificultad de intercambio gaseoso superficial puede provocar una incipiente anaerobiosis.
<i>Colorantes:</i>		Si se tiñe el agua puede alterar los parámetros de salida en el color real, sino solo teñira la fibra contenida en el RIL.

Los resultados de la investigación en el uso de aditivos se presentarán diferenciando la utilización de cada empresa y su punto de aplicación (Tabla 14-15-16), para determinar con mayor precisión donde se pudiera generar un derrame. Se incorporaron genéricos, cantidades utilizadas anualmente, concentración, etc.

#### Aditivos de Papeles Cordillera S.A.:

Los que utiliza Papeles Cordillera se distinguen en aquellos de las MP Clásicas y la MP-20. En general, el aditivo que más se incorpora en las recetas de Papeles Cordillera es el almidón (catiónico, neutro, oxidado) con cerca de 7.272 t/año equivalentes al 48% de los aditivos utilizados. El remanente de este insumo que se pierde en el proceso productivo eleva considerablemente la carga orgánica del RIL, expresado en términos de DBO<sub>5</sub>.

Otro aditivo importante a la hora de cuantificar son las cargas minerales (carbonato y caolines) que alcanzan las 3.720 t/año equivalentes al 24% del total de insumos.

El total de aditivos, sus cantidades y aplicaciones se detallan a continuación.

En el caso de la MP-20 a diferencia de las MP Clásicas, los aditivos son incorporados en una especie de “caja negra”. Esta adición no cuenta con salida permanente al acueducto, los vertidos son considerados como Riles discontinuos. En la Tabla 15 se muestra la clasificación y cuantificación de aditivos utilizados. La información que se presenta a continuación se obtuvo a partir de las hojas de seguridad facilitada por el proveedor de cada producto químico.

**Tabla 15.** Aditivos utilizados en Papeles Cordillera S.A.

Genérico	Producto	Punto de aplicación	Consumo (t/año)
Almidón Catiónico	Avacat 2200 Amilofax PW Fox Heat Halocat A 22	MP-20 y Trad. Especial MP-20 MP-20 MP-20 MP-7 MP-8 MP-10	3754
Almidón nativo	Nalco 7542	MP-20	1920
Almidón oxidado	Surebond Avermyl 55 Oxidado AF	MP-20 y Trad MP-20 MP-20 y Trad MP-7 MP-8	2602
Caolín Corriente	Caolín ACME Fonder	MP Trad MP-7 MP-8	1630
Sulfato de Al C/ Fe	Sulfato de Al Arteaga c/ Fe Sulfato de Al Ecocorp	MP-20 MP-20 MP-10	1827
Carbonato	Hidrocarb 60 Líqu OMYA	MP-20 MP-7 MP-8	2865
Sulfato de Al s/Fe	Sulfato de Al Arteaga s/ Fe	MP Trad MP-7 MP-8	933
Caolín especial	Caolín Hidralux 91	MP Trad MP-7	870
Encolante ácido	Resinato de Sodio 88P-50 Abiesacan LV Raisize 9235	MP Trad MP Trad MP-10 MP-/	590
Auxiliar de retención	Hidrocol CH	MP-20	420
Encolante alcalino	Nalco 7542	MP-20 MP-7 MP-8	362
Colorante	Azul Dcto.BR Violeta Dcto.2B	MP-7 MP-8 MP-10	3.2
Blanqueante óptico	Leucophor UM Tinopal ABP	MP-20 y Trad MP-20 y Trad	114
Agente de retención	Percol 182 Polca 01	MP-20 MP-20 y Trad MP-7 MP-10	98
Antiespumante	Nalco 99 PGO 28 Versinqui AE-61	MP-20 y Trad MP-20 y Trad MP-7 MP-10	57
Microbicida	Busan 85	MP-20 y Trad	28

Tabla 15, continuación

Genérico	Producto	Punto de aplicación	Consumo (t/año)
Microbicida	Busan 52	MP-7 MP-8	0.7
Blanqueante	Blantin PCP	MP-7 MP-8 MP-10	64
Coagulante	Nalco 2030 Coagulante	MP-7 MP-8	4

Aditivos de Tissue S.A.

En la Tabla 16 se clasificaron y cuantificaron los aditivos utilizados en Tissue S.A., las cantidades mensuales y sus lugar de aplicación.

Tabla 16. Aditivos utilizados en Tissue S.A.

Genérico	Producto	Punto de aplicación	Consumo t/año
Destintante	No definido	Pulper hélico PRP	28,8
Antiespumante	Versinqui AE 67 Nalco 60096	Agua bajo tela MP-1 Agua bajo tela MP-2	24
Floculante catiónico	Polca 02 Praestol 650 BC	Tauro MP-2 y PRP Purgomat MP-2 y Purgomat PRP	52,8
Agente release	Versinqui 158	Ch. shower MP-1	24
Antincrustante	Dispersol 210	Disperger PRP, agua de enfriamiento sist. condensado MP-1 y MP-2	1,8
Agente de resistencia en húmedo	Resamin HW604 (20%)	Circ. Aproximación MP1- MP-2	120
Blanqueante	Peróxido Hidrógeno 70%	Kneader de PRP	180
Lavador y regulador de pH	Soda cáustica liq. 50%	MP-1 y PRP	160,2
Estabilizador de reacción	Silicato de Sodio	Pulper hélico, tornillo calefactor PRP	24
Agente de coating	Nalco 3936 Cotac 33-H	Ch. shower MP-2 MP-1 cilindro yankee	86,4

Tabla 16, continuación

Genérico	Producto	Punto de aplicación	Consumo t/año
Agente modificador coating	Cotac 257P	MP-1 cilindro yankee	6
Matizante	Violeta Cartasol 5 BFN	Circ. Aproximación MP-1	3,6
Blanqueante reductor	V-Brite FAS Dastech	MP-2 Disperger PRP	228,4
Colorante Básico	Violeta Cartazine 4E	MP-2	5,04
Lavador de fieltros y tela	New Solven	MP-1	24
Acondicionador de fieltros	Versinqui 260	MP-2	21,6
Acondicionador de telas	Versinqui 280	MP-1	30
Acondicionador de telas	Daraspray FP 6314	MP-1 y Variosplit PRP	57
Acondicionador Filtros continuo	Prestige 6012	MP-2	8,64
Acondicionador Filtros ( 4 Hrs)	Prestige 7382	MP-2	3,24
Blanqueante óptico	Leucofor UM	Circ. Aproximación MP-1 y MP-2	76,8
Protector cilindro Yankee	Fosfato Diamónico FG	MP-1 y MP-2	0,31
Adhesivo transferencia jumbos	Spray 3M HI Stregth 90	MP-1	60 UNIDADES
Almidon catiónico crudo	Amilofax 2200	MP-1 y MP-2	540
Aglutinante de stickies	Versinqui B-100 Versinqui B-220	MP-2 MP-1 y PRP	según necesidad 90

#### Aditivos de CHIMOLSA

Las cantidades utilizadas en CHIMOLSA son considerablemente menores a las utilizadas por Papeles Cordillera y Tissue. Sin embargo, son ricas en químicos que pueden llegar a teñir el afluente (Tabla 17). La información que se presenta a continuación se obtuvo a partir de las hojas de seguridad facilitada por el proveedor de cada producto químico.

Tabla 17. Aditivos utilizados en CHIMOLSA

Genérico	Productos	Cantidad (Kg/mes)
Soda cáustica	al 50%	26,6
Sulfato de aluminio		214,956
Colorantes	Bazasol 54-l, 57-l Básico 7710 – l, bln. Colorante ht b-l, h-t. básico nº1 Violeta metilo 2b-l. Naranja os-10-742 química flesch. Pant 226-12109 stabyl set xa5-311. Pant 361 stabyl set os-5-2665. Stabyl set xa5-321. 9264 stabyl xa5-322. 4hr-4554	22,05
Tintas	pt300 f/12110; 4hr-4798 (072-u ) 9hr-9217 standard; 3hr-3781 (1788-u) 2hr-2561 (012-u); 8756- 6hr6026 2646- 3hr 3379; shr-5537 (361-u) shr-5058 (2645); 7hr 7186 3hr 3958; 2hr 2639	2,162
Agente de resistencia al húmedo	Resamin	113,1
Resina palatal 420 poliester		0,86
Raiwax 1500 (ex nopcote pem-15		2,16
Aditivo beltz dearborn f-18		8,64
Parasize cl-25.		24
Almidón	Almidón pregelatinizado catsol.	8,10
Encolante ácido	Resinato 30/60 ( cloramom)	32,15
Coagulante cationico.	n-7673	18,72
Floculante anionico	n-3977	18,60
Agente encolante neutro	n-7542.	30,48
Carrier encolante neutro	. N-7541	29,57
Abiescan e.		51,012
Diluyente	Común sprins	0,98

#### 6.4.3 Lavado de máquina

El lavado de circuito fue considerado como el último de los eventos claves, por el alto riesgo de derrames presente en cada una de los procedimientos a efectuar, además de la toxicidad de los aditivos utilizados y el exceso de material remanente en los equipos.

Lavado en Papeles Cordillera S.A.:

El lavado puede ser mecánico o químico.

*Lavado mecánico de las máquinas papeleras:*

En el lavado mecánico se aprovecha el paso del agua a presión para eliminar residuos de fibra contenidos en los equipos.

Este tipo de lavado se debe realizar toda vez que se cambie la fabricación de un producto café ó gris, a un producto blanco, se debe lavar con alta presión la canaleta de despiche, evitando que las impurezas adheridas a esta se suelten durante el proceso y contaminen el producto. También se deben limpiar los raspadores para evitar el mismo problema de contaminación.

Al efectuar el lavado mecánico de circuito, es necesario utilizar agua a alta presión por lo que es indispensable contar con pistolas y mangueras en buen estado.

**Riesgo potencial:** La descarga de una alta cantidad de fibra de papel y el vertido brusco de la totalidad del material, puede afectar la calidad del afluente y producir un aumento considerable en la consistencia llegando incluso a obstruir el clarificador del tratamiento primario. En ocasiones, alterar la eficiencia del tratamiento biológico, provocando el mismo efecto mencionado por una alta carga orgánica en el RIL.

*Lavado Químico en las máquinas papeleras:*

El Jefe de turno de máquina papelera debe avisar a su homólogo de planta térmica en el momento que se procederá a efectuar un lavado químico de circuito.

Es importante que la máquina esté detenida una vez que se ha sacado toda la fibra posible como papel, de tal forma, que al descargar sean la menor cantidad posible de pasta y aditivos los que vayan al afluente.

Los aditivos y el procedimiento en forma genérica se detallan a continuación:

Los aditivos utilizados en el lavado son:

- Agua Fría

- Detergente (Versinqui DP-8)
- Soda Cáustica (pellets)
- Agua Caliente
- Microbicida (Busan 1009, 85)
- Antiespumante
- Hipoclorito de Sodio

El procedimiento de lavado genéricamente es el siguiente:

Se prepara una mezcla en el pulper con agua fría (la cantidad depende la MP), detergente (Versinqui DP-8) y Soda cáustica en pellet, se completa la mezcla enrazando el pulper con agua caliente. La solución, se hace pasar por todo el circuito, recirculando por un tiempo determinado de acuerdo a las dimensiones de la MP.

Posteriormente el lavado químico es descargado a canal, por lo que el Jefe de turno de máquina papelera debe dar aviso de esta situación al Jefe de Turno de planta térmica.

Al finalizar el lavado se debe realizar un enjuague, esto es llenando el Pulper hélico con agua limpia y adicionando microbicida (Busan), luego se baja esta mezcla y se suma otra pulpada solamente con agua, para así comenzar la recirculación. El tiempo esta determinado para cada MP. Durante el lavado para evitar el exceso de espuma se agrega antiespumante.

Dentro del procedimiento existen maniobras con potenciales riesgos de contaminación del efluente y mal funcionamiento del sistema de tratamiento, dentro de los cuales se encuentra el vertido accidental de la solución de lavado.

A continuación se detallan los efectos de aditivos que no han sido analizados y que participan en el proceso de lavado:

Soda Cáustica:

El derrame de este producto químico afectará en mayor medida al sistema de tratamiento biológico. La soda cáustica tiene un alto poder corrosivo (pH 14), por lo que el medio se verá alterado pudiendo ocasionar la muerte de la población bacteriana.

El lodo del AST podría reducir su contenido de SST, la mezcla podría verse más diluida.

Al disminuir la cantidad de SST, el proceso afecta por un aumento en la DBO<sub>5</sub> y en consecuencia una merma en el % de remoción de materia orgánica.

Hipoclorito de Sodio (NaClO):

Sus disoluciones acuosas generan gases tóxicos al entrar en contacto con ácidos.

En general es incompatible con ácidos fuertes. Esta permitido un uso máximo de 20 L. para el enjuague de estanques.

Es un oxidante fuerte, con propiedades desinfectantes.

En caso de fugas o derrames: El hipoclorito puede afectar el funcionamiento del tratamiento secundario, ya que aumenta mucho el pH.

Al disminuir la población de microorganismos se producirá una disminución de SST, una merma en la remoción de materia orgánica.

Ácido amilosulfámico:

Estos ácidos deben manejarse con mucho cuidado ya que tienen acción corrosiva sobre metales como aluminio, estaño y los galvanizados. Se usa inhibido.

De acontecer un derrame, se verá afectado el pH del afluyente, alterando el tratamiento secundario, eliminando biomasa y perjudicando la remoción de materia orgánica.

**Riesgo potencial:** Es frecuente que en el proceso de lavado de máquina ocurran derrames accidentales de otro tipo de productos contenidos en los estanques que van a ser lavados (aceites, agentes de retención, etc.) Es muy importante tener en cuenta que no está permitido el vaciado al afluyente de estanques con productos químicos bajo ninguna circunstancia. Sólo se puede descargar al acueducto el enjuague acuoso o químico de los estanques, siempre que la limpieza y descarga se refiera solo a las paredes del receptáculo, evitando de esta manera la contaminación del RIL y el menoscabo de los microorganismos encargados del tratamiento.

### Lavados papeleros en Tissue S.A.:

En Tissue S.A. se identificaron distintos tipos de lavados de máquina.

A continuación se detallará el proceso.

#### Lavado Tela:

Este constituye un lavado continuo y leve. Consiste en la extracción de stickies (adhesivos) de la tela formadora de la hoja.

En caso de presentarse una contaminación puntual un operario de la máquina será el encargado de aplicar el producto disolvente directamente sobre la tela, este procedimiento se realizará con un equipo portátil.

Para realizar el lavado se aplican automáticamente y en forma directa 50 lt de New Solven, aproximadamente 0.5 lt/Ton de papel producido. El New Solven es un hidrocarburo modificado, que no presenta olor.

**Riesgo potencial:** No constituye un riesgo potencial en la operación normal del sistema de tratamiento ni en la contaminación del efluente

#### Lavado de paño:

El lavado de paño se realiza 1 vez al mes con una solución lavadora. La solución es preparada en un manque contenedor por un operario y está compuesta por:

- 500 lt de agua
- 50 lt de soda cáustica al 50%
- 20 lt de New Solven

Este procedimiento se realiza en continuo y sin intervención de operarios en la aplicación.

**Riesgo potencial:** No constituye un riesgo potencial en la operación normal del sistema de tratamiento ni en la contaminación del efluente

#### Lavados de circuitos:

No existen procedimientos de lavados programados del circuito papelerero. Sin embargo, de resultar necesario, se aprovechan las paradas de máquina para asear los tanques contenedores de pulpa.

Este procedimiento es realizado cuando los tanques se encuentran desocupados, por 2 operarios que ingresan al tanque y con mangueras utilizan agua a presión para efectuar el lavado mecánico. Posteriormente, se carga la solución en el primer tanque permitiendo que la mezcla circule en el contenedor. Luego la solución, se hace pasar a un nuevo tanque para que así sucesivamente se vaya limpiando el sistema.

La solución de mezcla se prepara del mismo modo que la utilizada para el lavado de paño. Con una mayor concentración y en mayores volúmenes.

Aproximadamente,

- 1000 lt de Soda Cáustica al 98%
- 26 m<sup>3</sup> de agua.

Con una concentración cercana al 4% de soda.

**Riesgo potencial:** Derrame de 26m<sup>3</sup> de solución altamente alcalina con pH de 14 y concentración de 0,3 mg/L.

Limpiezas de Celda de flotación

Tarea crítica área PRP

Elementos necesarios:

- 2 personas
- Traje de PVC
- Guantes de PVC
- Antiparras
- Botas de seguridad
- Bomba hidrolavadora
- Bomba de espuma (propiedad de proveedores)

Procedimiento:

1. Detener y usar tarjeta **no operar** en bombas nº 24, 28 y 29.
2. Detener sistema de vacío chupadores celdas de flotación
3. La persona1 se ubicará sobre la celda de flotación, en el pasillo.
4. La persona2 le pasará la pistola de la bomba hidrolavadora a la persona1 y pondrá en servicio la bomba.

5. La persona1 lavará las caras interiores y fondo de la celda con agua a presión así como también los ductos de succión y cañerías.
6. después de ejecutada esta tarea la persona2 se introducirá al interior de la celda para barrer los restos de pasta acumulados en el fondo.
7. La persona2 se retirará del interior de la celda para preparar junto a la persona1, la bomba de espuma y el producto químico (Renew, 200-220 Kg.) que se utilizará para el lavado.
8. La persona1 aplicará la espuma, desde el pasillo ubicado en la parte superior de la estructura, a toda la superficie interna de la celda (BC-26 y BC-27)
9. Después de 45 min. de reposo de la espuma sobre la superficie de la celda, esta se retirará aplicando agua con baja presión (circuito de agua fresca)
10. Terminada esta tarea se debe solicitar la reconexión de bombas nº 24, 28 y 29.

**Riesgo potencial:** El volumen de agua utilizadotes variable en el que se disuelen entre 200 y 220 Kg de químico altamente espumante. El despiche del lavado va directamente dirigido a acueducto.

Lavados en CHIMOLSA:

En CHIMOLSA no existen procedimientos de lavado para las máquinas papeleras. No hay aseos programados.

Sólo se realizan limpiezas en caso de vaciado accidental de algún producto o cuando la pasta se turba en los tanques. Los lavados se realizan sólo con agua a presión por parte del personal.

**Riesgo potencial:** La inexistencia de procedimientos y regulaciones a la hora de asear las máquinas constituyen el riesgo de vaciado de productos indiscriminadamente, cada vez que la pasta no este en condiciones de ser utilizada, afectando la calidad del afluente y pudiendo perjudicar el tratamiento biológico.

## 7. Conclusiones

La identificación de las etapas de los procesos productivos de las tres empresas papeleras integradas al sistema de tratamiento biológico, resultó fundamental para definir el área de generación de los RILes y determinar su composición y volumen. El aporte más considerable lo genera Papeles Cordillera contribuyendo con el 59% del efluente y el 68% de la carga orgánica total. Tissue aporta el 37% del volumen y su carga orgánica corresponde al 32% del total. El RIL aportado por CHIMOLSA se considera bajo con respecto del volumen total, siendo su carga orgánica incorporada al proceso de tratamiento de efluentes de Papeles Cordillera.

El RIL resultante de la unión de RILes procedentes de las áreas de generación de RILes tiene un caudal de 35.376 m<sup>3</sup>/d. Se caracterizó por presentar una alta carga de materia orgánica biodegradable correspondiente al 46% de la DQO. La adición de nutrientes no afectó las características del efluente final.

La remoción de la DBO<sub>5</sub> en la planta piloto de tratamiento secundario fue significativa alcanzando un promedio de 75%, sin embargo, no resultó suficiente para cumplir la normativa vigente. La fase uno del sistema, compuesta por dos reactores de biofilm de cama móvil, se presentó como la etapa más estable del sistema, teniendo un rendimiento satisfactorio frente a las variaciones de fibra producidos ocasionalmente (las fibras tienden solo a fluir a través de los reactores), sin embargo, presentó limitaciones en su capacidad de remoción. La fase dos, que está compuesta por el proceso de lodos activados, se presentó sensible a los derrames de sólidos, porque éstos ponen una carga adicional en los clarificadores secundarios y sólo pueden ser eliminados lentamente del sistema a través del desecho de lodo. En términos de rendimiento el sistema presentó una mayor eficiencia que la fase uno.

Los eventos considerados como determinantes en la operación adecuada del sistema de tratamiento biológico fueron: (1) las operaciones de lavado de circuitos y/o máquinas papeleras; (2) las diferentes materias primas utilizadas de acuerdo a su carga orgánica; (3) la cantidad y variedad de aditivos e insumos incorporados en el proceso y sus posibles derrames, considerando a los coagulantes como los aditivos más riesgosos.

Se recomienda que el personal de la planta este informado de la sensibilidad del proceso biológico y que exista una comunicación directa entre el personal de fábrica y el personal de la planta de tratamiento de efluentes, para evitar así grandes derrames de materiales tóxicos y ser alertados si algo inusual ocurre en la fábrica. Se recomienda, además, que se instalen sensores de conductividad y otros instrumentos de detección en ubicaciones estratégicas para advertir derrames.

## 8. Referencias bibliográficas

- ❖ APHA/AWWA/WPCF. 1995. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, 19ª Ed., Editorial Díaz de Santos S.A., Madrid, España.
- ❖ Atlas; R.M y Bartha, R. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Educación,S.A., Madrid, P.473-494.
- ❖ Chamy, R. 2003. Avances en la biotecnología ambiental: Tratamiento de Residuos líquidos y sólidos. Ediciones universitarias de Valparaíso. Pontificia universidad Católica de Valparaíso.
- ❖ Coleman, M. 1998. TAPPI J. 81 (1): 31
- ❖ Gray, N. F. 1990. Activated sludge: theory and practice. Oxford University Press.
- ❖ IHOBE.2001.Libro Blanco de la pasta y el papel. Departamento de ordenación del territorio y medio ambiente. Gobierno Vasco, España.
- ❖ Jenkins, D.; Richard, M. G. & Deigger, G. T. 1993. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Lewis Publishers, Chelsea, citado en Matsché et al., 1998.
- ❖ López, M. 1981. Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. CONACYT. Ed.pp.259-284,1981.
- ❖ M. Bravo, A. Moreno, C. Hernández, J. Yeomans, S. Okumoto. 2003. Implementación y monitoreo de la etapa inicial del sistema de tratamiento de aguas residuales del laboratorio de procesamiento de alimentos de la universidad de Earth.Universidad Earth Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica.
- ❖ Metcalf & Eddy. 1995. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Volumen II. 3ª Ed., Mc Graw-Hill.

- ❖ Ministerio Secretaria General de la Presidencia (Chile). D.S 90/ Of.00 : Norma de emisión para la regulación de vertidos líquidos a aguas marinas y superficiales continentales. Santiago, Chile : MSGP, 2001.
- ❖ Ramalho, R. 1993. Tratamiento de Aguas Residuales, 2a Ed., Editorial Reverté, Barcelona,.
- ❖ Ronzano, E. & Dapena, J. L. 1995. Tratamiento biológico de las aguas residuales, Díaz de Santos, Madrid, España.
- ❖ Roque ,A. 2004. Residuos industriales líquidos: Conceptos básicos y formas de tratamiento. Escuela de Ingeniería y ciencias. Universidad de Chile.
- ❖ Wiesmamm, U. Abwasserringingung II. Vorlesungsskript, Technische Universität Berlin
- ❖ Wagner, F. 1982.. Ursache, Verhinderung und Bekämpfung der Blähschlamm Bildung in Belebungsanlagen, Kommissionsverlag R. Oldenbourg, Manchen, Alemania
- ❖ CETESBS. Centro colaborador de OMS en Brasil.1999.Manual de Gestión de riesgos químicos. [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br) (visita: 10- 20 Diciembre 2005)
- ❖ Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias ambientales. 1999. Curso de autoinstrucción en precaución, prevención y respuesta para desastres. [www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org) .(visita: Marzo 2006)
- ❖ AnoxKaldnes. Disponible en [www.anoxkaldnes.com](http://www.anoxkaldnes.com) (visita: Marzo 2006)
- ❖ Superintendencia de servicio sanitario. 2004. Marco Legal: residuos líquidos. [www.siss.cl](http://www.siss.cl) (visita: febrero 2006)

- ❖ Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2004. Protección de recursos hídricos. [www.conama.cl](http://www.conama.cl) (visita: 20-30 Enero 2006)
  
- ❖ Leite, Valderi, Duarte *et al.* 2004. Anaerobic treatment of organic wastes with low concentration of solids. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, . disponible en: [www.scielo.br](http://www.scielo.br) . ( visita: Junio 2006).
  
- ❖ Oliveira, Selene de; Pascual, Antenor. 2004. Evaluation of indicative parameters of pollution for liquid effluent of a sanitary landfill. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3. Disponible en: [www.scielo.br](http://www.scielo.br) (Junio 2006)

## **9. Anexos**

Documentación de apoyo

**Anexo I: Nomenclatura**

### Nomenclatura

Abreviación	Unidad	Descripción
AST		Tratamiento de lodos Activados (Treatment Sludge Activated)
BAS		Lodos Activados más biofilm (Biofilm Activated Sludge)
CMPC		Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones
CV	kg DQO/(m <sup>3</sup> *d)	Carga Volumétrica
DBO5	mg/L	Demanda Bioquímica de Oxígeno durante cinco días
DQO	mg/L	Demanda Química de Oxígeno
F/M	kg DBO5/(kg*d)	Carga másica/Factor de Carga (ingl. Food/Microorganisms)
IVL	mL/g	Índice Volumétrico de Lodos
SST	mg/L	Sólidos suspendidos totales de licor de mezcla
SSV	mg/L	Sólidos suspendidos volátiles de licor de mezcla
MBBR		Reactor Biofilm de Cama Móvil (Moving Bed Biofilm Reactor)
MP		Máquina Papelera
NTK	mg/L	Nitrógeno Total Kjeldahl
OD	mg O <sub>2</sub> /L	Oxígeno Disuelto
PTE		Planta de tratamiento de Efluentes
RIL		Residuo Industrial Líquido
s/a		Sin año
T°	°C	Temperatura
TRC lodo)	d	Tiempo de Residencia Celular (Edad del

TRH  
RAS

h

Tiempo de Residencia Hidráulica  
Lodo Activado Recirculado

**ANEXO II : Norma de emisión para la regulación de vertidos líquidos a aguas marinas  
y superficiales continentales**

NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES

D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (DO 07.03.2001)

ESTABLECE NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES

Núm. 90.- Santiago, 30 de mayo de 2000.-

Vistos: Lo establecido en la Constitución Política de la República, en su artículo 19 Nº 8 y 32 Nº 8; lo dispuesto en el artículo 40 de la ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en la ley 3.133, sobre Neutralización de los Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales; en el DFL Nº 725, de 1967, del Ministerio de Salud, Código Sanitario; en el decreto ley 2.222, Ley de Navegación; en la ley 18.902 que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios, modificada por la ley 19.290; en el decreto supremo Nº 93, de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión; el acuerdo del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, de fecha 12 de abril de 1996, que aprobó el Primer Programa Priorizado de Normas, publicado en el Diario Oficial el día 1º de junio de 1996; la resolución exenta Nº 2.084, de 9 de septiembre de 1996, del Director Ejecutivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial de 23 de septiembre de 1996 y en el diario La Tercera el día 25 de septiembre del mismo año, que dio inicio a la elaboración del anteproyecto de norma de emisión; la resolución exenta Nº 19, de 10 de enero de 1997, del mismo Director Ejecutivo, que prorroga el plazo para acompañar los estudios científicos y antecedentes necesarios para la elaboración del anteproyecto; la resolución exenta Nº 613, de 9 de septiembre de 1997, del mismo Director Ejecutivo, que aprobó el anteproyecto de norma de emisión, cuyo extracto se publicó en el Diario Oficial de 15 de septiembre de 1997 y en el diario La Tercera el día 21 de septiembre del mismo año; el análisis general del impacto económico y social de la norma señalada, de fecha 30 de octubre de 1997; los estudios científicos; las observaciones formuladas en la etapa de consulta al anteproyecto de norma; el análisis de las observaciones señaladas; el acuerdo del Consejo Consultivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de fecha 6 de enero de 1998; el acuerdo Nº 88/98, de 6 de noviembre de 1998 del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el proyecto definitivo de la norma de emisión; los demás antecedentes que obran en el expediente público respectivo, y lo dispuesto en la resolución Nº 520 de 1996, de la Contraloría General de la República que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la resolución Nº 55 de 1992, de la Contraloría General de la República,

Decreto:

Artículo primero: Establécese la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, cuyo texto es el siguiente:

## 1.OBJETIVO DE PROTECCION AMBIENTAL Y RESULTADOS ESPERADOS

La presente norma tiene como objetivo de protección ambiental prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales de la República, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. Con lo anterior, se logra mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas, de manera que éstas mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República.

## 2.DISPOSICIONES GENERALES

La presente norma de emisión establece la concentración máxima de contaminantes permitida para residuos líquidos descargados por las fuentes emisoras, a los cuerpos de agua marinos y continentales superficiales de la República de Chile.

La presente norma se aplicará en todo el territorio nacional.

## 3.DEFINICIONES

3.1Carga contaminante media diaria: Es el cociente entre la masa o volumen de un contaminante y el número de días en que se descarga el residuo líquido al cuerpo de agua, durante el mes del año en que se genera la máxima producción de dichos residuos. Se expresa en unidades de masa por unidades de tiempo (para sólidos suspendidos, aceites y grasas, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, hidrocarburos fijos, DBO5, arsénico, aluminio, boro, cadmio, cianuro, cloruros, cobre, índice de fenoles, cromo hexavalente, cromo total, estaño, flúor, fósforo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, nitrógeno total kjeldahl, nitrito y nitrato, pentaclorofenol, plomo, SAAM, selenio, sulfatos, sulfuro, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, xileno y zinc), en unidades de volumen por unidad de tiempo (para sólidos sedimentables) o en coliformes por unidad de tiempo (para coliformes fecales o termotolerantes).

La masa o volumen de un contaminante corresponde a la suma de las masas o volúmenes diarios descargados durante dicho mes. La masa se determina mediante el producto del volumen de las descargas por su concentración.

3.2 Contenido de captación: Es la concentración media del contaminante presente en la captación de agua de la fuente emisora, siempre y cuando dicha captación se realice en el mismo cuerpo de agua donde se produzca la descarga. Dicho contenido será informado por la fuente emisora a la Dirección General de Aguas, o a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante según sea el caso, debiendo cumplir con las condiciones para la extracción de muestras, volúmenes de la muestra y metodologías de análisis, establecidos en la presente norma.

3.3Contenido natural: Es la concentración de un contaminante en el cuerpo receptor, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del cuerpo de agua más las

situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico. Corresponderá a la Dirección General de Aguas o a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, según sea el caso, determinar el contenido natural del cuerpo receptor.

3.4Cuerpos de agua receptor o cuerpo receptor: Es el curso o volumen de agua natural o artificial, marino o continental superficial, que recibe la descarga de residuos líquidos. No se comprenden en esta definición los cuerpos de agua artificiales que contengan, almacenen o traten relaves y/o aguas lluvias o desechos líquidos provenientes de un proceso industrial o minero.

3.5DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y a 20°C.

3.6Descargas de residuos líquidos: Es la evacuación o vertimiento de residuos líquidos a un cuerpo de agua receptor, como resultado de un proceso, actividad o servicio de una fuente emisora.

3.7Fuente emisora: es el establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados, en la siguiente tabla:

### Establecimiento emisor

Contaminante	Valor Característico	Carga contaminante media diaria (equiv. 100 Hab/día) *
PH **	6 – 8	---
Temperatura **	20 ° C	---
Sólidos Suspendidos Totales	220 mg/L	3520 g/d
Sólidos Sedimentables **	6 ml/L 1h	---
Aceites y Grasas	60 mg/L	960 g/d
Hidrocarburos fijos	10 mg/L	160 g/d
Hidrocarburos totales	11 mg/L	176 g/d
Hidrocarburos volátiles	1 mg/L	16 g/d
DBO <sub>5</sub>	250 mg O <sub>2</sub> /L	4000 g/d
Aluminio	1 mg/L	16 g/d
Arsénico	0,05 mg/L	0,8 g/d
Boro	0,75 mg/L	12,8 g/d
Cadmio	0,01 mg/L	0,16 g/d
Cianuro	0,20 mg/L	3,2 g/d
Cloruros	400 mg/L	6400 g/d
Cobre	1 mg/L	16 g/d
Cromo Total	0,1 mg/L	1,6 g/d
Cromo Hexavalente	0,05 mg/L	0,8 g/d
Estaño	0,5 mg/L	8 g/d
Fluoruro	1,5 mg/L	24 g/d
Fósforo Total	10 mg/L	160 g/d
Hierro	1,0 mg/L	16 g/d
Manganeso	0,3 mg/L	4,8 g/d
Mercurio	0,001 mg/L	0,02 g/d
Molibdeno	0,07 mg/L	1,12 g/d
Níquel	0,1 mg/L	1,6 g/d
Nitrógeno total kjeldahl	50 mg/L	800 g/d
Nitrito más Nitrato (lagos)	15 mg/L	240 g/d
Pentaclorofenol	0,009 mg/L	0,144 g/d
Plomo	0,2 mg/L	3,2 g/d
Selenio	0,01 mg/L	0,16 g/d
Sulfato	300 mg/L	4800 g/d
Sulfuro	3 mg/L	48 g/d
Tetracloroetano	0,04 mg/L	0,64 g/d
Tolueno	0,7 mg/L	11,2 g/d
Triclorometano	0,2 mg/L	3,2 g/d
Xileno	0,5 mg/L	8 g/d
Zinc	1 mg/L	16 g/d
Indice de Fenol	0,05 mg/L	0,8 g/d
Poder espumógeno **	5 mm	5 mm

SAAM	10 mg/L	160 g/d
Coliformes Fecales o termotolerantes	$10^7$ NMP/100 ml	$1,6 \times 10^{12}$ coli/d

\*)Se consideró una dotación de agua potable de 200 L/hab/día y un coeficiente de recuperación de 0,8.

\*\*)Expresados en valor absoluto y no en términos de carga.

Las fuentes que emitan una carga contaminante media diaria o de valor característico igual o inferior al señalado, no se consideran fuentes emisoras para los efectos de esta norma y no quedan sujetos a la misma, en tanto se mantengan esas circunstancias.

3.8Fuentes existentes: Son aquellas fuentes emisoras que a la fecha de entrada en vigencia del presente decreto se encuentren vertiendo sus residuos líquidos.

3.9Fuentes nuevas: Son aquellas fuentes emisoras que a la fecha de entrada en vigencia del presente decreto, no se encuentren vertiendo sus residuos líquidos.

3.10Residuos líquidos, aguas residuales o efluentes: Son aquellas aguas que se descargan desde una fuente emisora, a un cuerpo receptor.

3.11Sólidos sedimentables y suspendidos totales: Son aquellos que se adecuan a la definición contenida en la NCh 410.Of96. No se consideran en este concepto aquellos sólidos que son vertidos mediante la utilización de aguas, como forma de transporte de residuos sólidos, en un lugar de disposición legalmente autorizado.

3.12Tasa de dilución del efluente vertido (d): es la razón entre el caudal disponible del cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos, expresado en las mismas unidades.

La Tasa de Dilución será, entonces, la siguiente:

$$d = \frac{\text{Caudal Disponible del Cuerpo Receptor}^*}{\text{Caudal Medio Mensual del Efluente vertido}^{**}}$$

\* =El caudal disponible del cuerpo receptor es la cantidad de agua disponible expresada en volumen por unidad de tiempo para determinar la capacidad de dilución en un cuerpo receptor. Para estos efectos, el caudal disponible del cuerpo receptor será determinado por la Dirección General de Aguas.

\*\* =El caudal medio mensual del efluente es la suma de los volúmenes de residuos líquidos, descargados diariamente durante el mes, dividido por el número de días del mes en que hubo descargas.

3.13Zona de Protección Litoral: Es un ámbito territorial de aplicación de la presente norma que corresponde a la franja de playa, agua y fondo de mar adyacente a la costa continental o insular, delimitada por una línea superficial imaginaria, medida desde la línea de baja marea de sicigia, que se orienta paralela a ésta y que se proyecta hasta el fondo

del cuerpo de agua, fijada por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante en conformidad a la siguiente formula:

$$A = \left[ \frac{1,28 \times H_b}{m} \right] \times 1,6$$

En que,

H<sub>b</sub> =altura media de la rompiente (mts).

m =pendiente del fondo.

A =ancho zona de protección de litoral (mts).

Para el cálculo de H<sub>b</sub> se deberá utilizar el método HindCasting u otro equivalente autorizado por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante.

#### 4.LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS PARA DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES Y MARINAS

##### 4.1Consideraciones generales.

4.1.1La norma de emisión para los contaminantes a que se refiere el presente decreto está determinada por los límites máximos establecidos en las tablas números 1, 2, 3, 4 y 5, analizados de acuerdo a los resultados que en conformidad al punto 6.4 arrojen las mediciones que se efectúen sobre el particular.

Los límites máximos permitidos están referidos al valor de la concentración del contaminante o a la unidad de pH, temperatura y poder espumógeno.

4.1.2Los sedimentos, lodos y/o sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de residuos líquidos no deben disponerse en cuerpos receptores y su disposición final debe cumplir con la normas legales vigentes en materia de residuos sólidos, sin perjuicio de lo dispuesto en el punto 3.11 de esta norma.

4.1.3Si el contenido natural y/o de captación de un contaminante excede al exigido en esta norma, el límite máximo permitido de la descarga será igual a dicho contenido natural y/o de captación.

4.1.4Los establecimientos de servicios sanitarios, que atiendan una población menor o igual a 30.000 habitantes y que reciban descargas de residuos industriales líquidos provenientes de establecimientos industriales, estarán obligados a cumplir la presente norma, reduciendo la concentración de cada contaminante en su descarga final, en la cantidad que resulte de la diferencia entre la concentración del valor característico establecida en el punto 3.7, para cada contaminante y el límite máximo permitido señalado en la tabla que corresponda, siempre que la concentración del valor característico sea mayor al valor del límite máximo establecido en esta norma.

4.2Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de aguas fluviales.

##### TABLA N° 1

#### LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LIQUIDOS A CUERPOS DE AGUA FLUVIALES

CONTAMINANTES	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MAXIMO PERMITIDO
Aceites y Grasas	Mg/L	A y G	20
Aluminio	Mg/L	Al	5
Arsénico	Mg/L	As	0,5
Boro	Mg/L	B	0,75
Cadmio	Mg/L	Cd	0,01
Cianuro	Mg/L	CN <sup>-</sup>	0,20
Cloruros	Mg/L	Cl <sup>-</sup>	400
Cobre Total	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Indice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,05
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	35 *
Fósforo	mg/L	P	10
Fluoruro	mg/L	F <sup>-</sup>	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
Pentaclorofenol	mg/L	C <sub>6</sub> OHCl <sub>5</sub>	0,009
PH	Unidad	pH	6,0 -8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Poder Espumógeno	mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80 *
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1000
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	1
Temperatura	C°	T°	35
Tetracloroetano	mg/L	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	0,04
Tolueno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	0,7
Triclorometano	mg/L	CHCl <sub>3</sub>	0,2
Xileno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,5
Zinc	mg/L	Zn	3

\* =Para los residuos líquidos provenientes de plantas de tratamientos de aguas servidas domésticas, no se considerará el contenido de algas, conforme a la metodología descrita en el punto 6.6.

4.2.1 Las fuentes emisoras podrán aprovechar la capacidad de dilución del cuerpo receptor, incrementando las concentraciones límites establecidas en la Tabla N° 1, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C_i = T1_i x (1+d)$$

en que:

$C_i$ =Límite máximo permitido para el contaminante  $i$ .

$T1_i$ =Límite máximo permitido establecido en la Tabla N° 1 para el contaminante  $i$ .

$d$ =Tasa de dilución del efluente vertido.

Si  $C_i$  es superior a lo establecido en la Tabla N° 2, entonces el límite máximo permitido para el contaminante  $i$  será lo indicado en dicha Tabla.

TABLA N° 2

LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LIQUIDOS A CUERPOS DE AGUA FLUVIALES CONSIDERANDO LA CAPACIDAD DE DILUCION DEL RECEPTOR

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIO N	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	50
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	1
Boro	mg/L	B	3
Cadmio	mg/L	Cd	0,3
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	1
Cloruros	mg/L	Cl <sup>-</sup>	2000
Cobre Total	mg/L	Cu	3
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Indice de Fenol	mg/L	Fenoles	1
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,2
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	300
Fluoruro	mg/L	F <sup>-</sup>	5
Fósforo	mg/L	P	15
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	50
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	3
Mercurio	mg/L	Hg	0,01
Molibdeno	mg/L	Mo	2,5
Níquel	mg/L	Ni	3
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	75
Pentaclorofenol	mg/L	C <sub>6</sub> OHCl <sub>5</sub>	0,01
PH	Unidad	pH	6,0 – 8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,5
Poder Espumógeno	mm.	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	300
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2000
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	10
Temperatura	°C	T <sup>o</sup>	40
Tetracloroetano	mg/L	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	0,4
Tolueno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	7
Triclorometano	mg/L	CHCl <sub>3</sub>	0,5
Xileno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5
Zinc	mg/L	Zn	20

4.3 Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres.

4.3.1 Las descargas de residuos líquidos que se viertan en forma directa sobre cuerpos de agua lacustres naturales (lagos, lagunas) como aquellos que se viertan a cuerpos fluviales que sean afluentes de un cuerpo de agua lacustre, no deberán sobrepasar los límites máximos que se indican en la Tabla N° 3.

4.3.2 Las descargas a cuerpos lacustres de naturaleza artificial deberán cumplir con los requisitos establecidos en el punto 4.2.

TABLA N°3  
LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS DE AGUA LACUSTRES

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESION	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,1
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	0,5
Cobre Total	mg/L	Cu	0,1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000-70 *
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,2
Cromo Total	mg/L	Cr Total	2,5
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	35
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Fluoruro	mg/L	F <sup>-</sup>	1
Fósforo	mg/L	P	2
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	5
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	2
Manganeso	mg/L	Mn	0,5
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,07
Níquel	mg/L	Ni	0,5
Nitrógeno Total <sup>1</sup> **	mg/L	N	10
PH	unidad	pH	6,0 - 8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Sedimentables	ml/1/h	S SED	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1000

Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	1
Temperatura	°C	T°	30
Zinc	mg/L	Zn	5

\* =En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

\*\* =La determinación del contaminante corresponderá a la suma de las concentraciones de nitrógeno total kjeldahl, nitrito y nitrato.

4.4 Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos.

4.4.1 Las descargas de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos deberán hacerse en el lugar y forma que se determine conforme a la normativa vigente sobre la materia.

Los residuos líquidos que se viertan deberán cumplir los límites establecidos en la presente norma de acuerdo a si la descarga se autoriza dentro de la zona de protección litoral o fuera de ella.

4.4.2 Descargas de residuos líquidos dentro de la zona de protección litoral.

Las descargas de residuos líquidos, que se efectúen al interior de la zona de protección litoral, deberán cumplir con los valores contenidos en la Tabla N° 4.

TABLA N° 4  
LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LIQUIDOS A CUERPOS DE AGUA MARINOS DENTRO DE LA ZONA DE PROTECCION LITORAL

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	0,5
Cobre	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000-70*
Indice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,2
Cromo Total	mg/L	Cr Total	2,5
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	60
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Fluoruro	mg/L	F <sup>-</sup>	1,5
Fósforo	mg/L	P	5
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	10
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HCV	1
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,1
Níquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
PH	Unidad	pH	6,0 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Sedimentables	m1/1/h	S SED	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	100
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	1
Zinc	mg/L	Zn	5
Temperatura	°C	T°	30

\* =En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

#### 4.4.3 Descargas fuera de la zona de protección litoral.

Las descargas de las fuentes emisoras, cuyos puntos de vertimiento se encuentren fuera de la zona de protección litoral, no deberán sobrepasar los valores de concentración señalados en la Tabla N° 5.

TABLA N° 5

LIMITES MAXIMOS DE CONCENTRACION PARA DESCARGA DE RESIDUOS LIQUIDOS A CUERPOS DE AGUA MARINOS FUERA DE LA ZONA DE PROTECCION LITORAL

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE A PARTIR DEL 10º AÑO DE VIGENCIA DEL PRESENTE DECRETO
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	350	150
Sólidos Sedimentables	ml/1/h	S.SED	50	20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.	700	300
Aluminio	mg/L	Al	10	
Arsénico	mg/L	As	0,5	
Cadmio	mg/L	Cd	0,5	
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	1	
Cobre	mg/L	Cu	3	
Indice de Fenol	mg/L	Fenoles	1	
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,5	
Cromo Total	mg/L	Cr Total	10	
Estaño	mg/L	Sn	1	
Fluoruro	mg/L	F <sup>-</sup>	6	
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	20	
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HC	2	
Manganeso	mg/L	Mn	4	
Mercurio	mg/L	Hg	0,02	
Molibdeno	mg/L	Mo	0,5	
Níquel	mg/L	Ni	4	
PH	Unidad	pH	5,5 - 9,0	
Plomo	mg/L	Pb	1	
SAAM	mg/L	SAAM	15	
Selenio	mg/L	Se	0,03	
Sulfuro	mg/L	S <sup>2-</sup>	5	
Zinc	mg/L	Zn	5	

5. PROGRAMA Y PLAZOS DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA PARA LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES

5.1 A partir de la entrada en vigencia del presente decreto, los límites máximos permitidos establecidos en él, serán obligatorios para toda fuente nueva.

5.2 Desde la entrada en vigencia del presente decreto, las fuentes existentes deberán caracterizar e informar todos sus residuos líquidos, mediante los procedimientos de medición y control establecidos en la presente norma y entregar toda otra información

relativa al vertimiento de residuos líquidos que la autoridad competente determine conforme a la normativa vigente sobre la materia. Aquellas fuentes emisoras que pretendan valerse del contenido natural y/o de captación acorde con lo previsto en el punto 4.1.3, deberán informar dichos contenidos a la autoridad competente.

5.3 Las fuentes emisoras existentes deberán cumplir con los límites máximos permitidos, a contar del quinto año de la entrada en vigencia del presente decreto, salvo aquellas que a la fecha de entrada en vigencia del mismo, tengan aprobado por la autoridad competente y conforme a la legislación vigente, un cronograma de inversiones para la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales, en cuyo caso el plazo de cumplimiento de esta norma será el que se encuentre previsto para el término de dicha construcción.

En cualquier caso, las fuentes emisoras podrán ajustarse a los límites máximos establecidos en este decreto desde su entrada en vigencia.

## 6. PROCEDIMIENTOS DE MEDICION Y CONTROL

### 6.1 Control de la norma.

Las inspecciones que realice el organismo público fiscalizador y los monitoreos que debe realizar la fuente emisora deberán someterse a lo establecido en la presente norma.

### 6.2 Consideraciones generales para el monitoreo.

Las fuentes emisoras deben cumplir con los límites máximos permitidos en la presente norma respecto de todos los contaminantes normados.

Los contaminantes que deben ser considerados en el monitoreo serán los que se señalen en cada caso por la autoridad competente, atendido a la actividad que desarrolle la fuente emisora, los antecedentes disponibles y las condiciones de la descarga.

Los procedimientos para el monitoreo de residuos líquidos están contenidos en la Norma Chilena Oficial NCh 411/2 Of 96, Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo; NCh 411/3 Of 96, Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras, y NCh 411/10 Of 97, Calidad del agua - Muestreo - Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.

El monitoreo se debe efectuar en cada una de las descargas de la fuente emisora. El lugar de toma de muestra debe considerar una cámara o dispositivo, de fácil acceso, especialmente habilitada para tal efecto, que no sea afectada por el cuerpo receptor.

### 6.3 Condiciones específicas para el monitoreo.

#### 6.3.1 Frecuencia de monitoreo.

El número de días en que la fuente emisora realice los monitoreos debe ser representativo de las condiciones de descarga, en términos tales que corresponda a aquellos en que, de acuerdo a la planificación de la fuente emisora, se viertan los residuos líquidos generados en máxima producción o en máximo caudal de descarga.

El número mínimo de días del muestreo en el año calendario, se determinará, conforme se indica a continuación:

Volumen de descarga $M^3 \times 10^3/\text{año}$	Número mínimo de días de monitoreo anual, N
< 5.000	12
5.000 a 20.000	24
> 20.000	48

Para aquellas fuentes emisoras que neutralizan sus residuos líquidos, se requerirá medición continua con pHmetro y registrador.

El número mínimo de días de toma de muestras anual debe distribuirse mensualmente, determinándose el número de días de toma de muestra por mes en forma proporcional a la distribución del volumen de descarga de residuos líquidos en el año.

### 6.3.2 Número de muestras.

Se obtendrá una muestra compuesta por cada punto de descarga.

i) Cada muestra compuesta debe estar constituida por la mezcla homogénea de al menos:

Tres (3) muestras puntuales, en los casos en que la descarga tenga una duración inferior a cuatro (4) horas.

Muestras puntuales obtenidas a lo más cada dos (2) horas, en los casos en que la descarga sea superior o igual a cuatro (4) horas.

En cada muestra puntual se debe registrar el caudal del efluente.

La muestra puntual debe estar constituida por la mezcla homogénea de dos submuestras de igual volumen, extraídas en lo posible de la superficie y del interior del fluido, debiéndose cumplir con las condiciones de extracción de muestras indicadas en el punto 6.3.3. de esta norma.

ii) Medición de caudal y tipo de muestra.

La medición del caudal informado deberá efectuarse con las siguientes metodologías, de acuerdo al volumen de descarga:

- menor a 30 m<sup>3</sup>/día, la metodología de medición deberá estimarse por el consumo del agua potable y de las fuentes propias.
- entre 30 a 300 m<sup>3</sup>/día, se deberá usar un equipo portátil con registro.
- mayor a 300 m<sup>3</sup>/día, se debe utilizar una cámara de medición y caudalímetro con registro diario.

Las muestras para los tres casos deberán ser compuestas proporcionales al caudal de la descarga. La autoridad competente, podrá autorizar otra metodología de medición del caudal, cuando la metodología señalada no pueda realizarse.

### 6.3.3 Condiciones para la extracción de muestras y volúmenes de muestra.

Las condiciones sobre el lugar de análisis, tipo de envase, preservación de las muestras, tiempo máximo entre la toma de muestra y el análisis, y los volúmenes mínimos de muestras que deben extraerse, se someterán a lo establecido en la NCh 411/Of. 96, a las NCh 2313 y a lo descrito en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed, 1995.

TABLA Nº 6 CONDICIONES DE EXTRACCION DE MUESTRAS

Contaminante	Lugar de análisis	Envase <sup>1)</sup>	Preservación <sup>2)</sup>	Tiempo máximo <sup>3)</sup>	Volumen mínimo de muestras
Tetracloroe teno	Laboratori o	V c/TFE	4°C. Ácido clorhídrico (HCl) pH < 2. Agregar 1000 mg de ácido ascórbico si se presenta cloro residual.	7 días	40 ml por 2 muestras
Tolueno	Laboratori o	V c/TFE	4°C. Ácido clorhídrico (HCl) pH < 2. Agregar 1000 mg de ácido ascórbico si se presenta cloro residual.	7 días	40 ml por 2 muestras
Tricloromet ano	Laboratori o	V c/TFE	4°C. Ácido clorhídrico (HCl) pH < 2. Agregar 1000 mg de ácido ascórbico si se presenta cloro residual.	7 días	40 ml por 2 muestras
Xileno	Laboratori o	V c/TFE	4°C. Ácido clorhídrico (HCl) pH < 2. Agregar 1000 mg de ácido ascórbico si se presenta cloro residual.	7 días	40 ml por 2 muestras

1)V c/TFE = Vidrio de 40 ml dotado de un tapón de tapa rosca con orificio en el centro (Pierce 13075 o equivalente) y un tabique de silicona (Pierce 12722 o equivalente) revestido de TFE (teflón).

2)De preferencia agregar el preservante en terreno sobre la muestra.

3)Tiempo máximo comprendido entre la toma de la muestra y el análisis.

### 6.4 Resultados de los análisis.

6.4.1. Si una o más muestras durante el mes exceden los límites máximos establecidos en las tablas Nº 1, 2, 3, 4 y 5, se debe efectuar un muestreo adicional o remuestreo.

El remuestreo debe efectuarse dentro de los 15 días siguientes de la detección de la anomalía. Si una muestra, en la que debe analizarse DBO5, presenta además valores excedidos de alguno de los contaminantes: aceites y grasas, aluminio, arsénico, boro,

cadmio, cianuro, cobre, cromo (total o hexavalente), hidrocarburos, manganeso, mercurio, níquel, plomo, sulfato, sulfuro o zinc, se debe efectuar en los remuestreos adicionales la determinación de DBO5, incluyendo el ensayo de toxicidad, especificado en el anexo B de la norma NCh 2313/5 Of 96.

6.4.2. No se considerarán sobrepasados los límites máximos establecidos en las tablas números 1, 2, 3, 4 y 5 del presente decreto:

a) Si analizadas 10 o menos muestras mensuales, incluyendo los remuestreos, sólo una de ellas excede, en uno o más contaminantes, hasta en un 100% el límite máximo establecido en las referidas tablas.

b) Si analizadas más de 10 muestras mensuales, incluyendo los remuestreos, sólo un 10% o menos, del número de muestras analizadas excede, en uno o más contaminantes, hasta en un 100% el límite máximo establecido en esas tablas. Para el cálculo del 10% el resultado se aproximará al entero superior.

Para efectos de lo anterior en el caso que el remuestreo se efectúe al mes siguiente, se considerará realizado en el mismo mes en que se tomaron las muestras excedidas.

#### 6.5 Métodos de Análisis.

La determinación de los contaminantes incluidos en esta norma se debe efectuar de acuerdo a los métodos establecidos en las normas chilenas oficializadas que se indican a continuación, teniendo en cuenta que los resultados deberán referirse a valores totales en los contaminantes que corresponda.

·NCh 2313/1, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 1: Determinación pH.

·NCh 2313/2, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 2: Determinación de la Temperatura.

·NCh 2313/3, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 3: Determinación de Sólidos Suspendidos Totales secados a 103°C - 105°C.

·NCh 2313/4, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 4: Determinación de Sólidos Sedimentables.

·NCh 2313/5, Of 96, decreto supremo N° 146 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 5: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).

·NCh 2313/6, Of 97, decreto supremo N° 317 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 6: Determinación de Aceites y Grasas.

·NCh 2313/7, Of 97, decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 7: Determinación de Hidrocarburos totales.

·NCh 2313/9, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 9: Determinación de Arsénico.

·NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.

·NCh 2313/11, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 11: Determinación de Cromo Hexavalente.

- NCh 2313/12, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 12: Determinación de Mercurio.
- NCh 2313/14, Of 97, decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 14: Determinación de Cianuro Total.
- NCh 2313/15, Of 97, decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 15: Determinación de Fósforo Total.
- NCh 2313/17, Of 97, decreto supremo N° 1144 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 17: Determinación de Sulfuro Total.
- NCh 2313/18, Of 97, decreto supremo N° 1144 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 18: Determinación de Sulfato disuelto (para la determinación se sulfato total se debe realizar previa digestión de la muestra).
- NCh 2313/19, Of 98, decreto supremo N° 1461 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 19: Determinación del índice de fenol.
- NCh 2313/20, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 20: Determinación de Trihalometanos (se utiliza para los Triclorometano y Tetracloroetano).
- NCh 2313/21, Of 97, decreto supremo N° 1144 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 21: Determinación del Poder Espumógeno.
- NCh 2313/22, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 22: Determinación de Coliformes Fecales en medio EC.
- NCh 2313/23, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 23: Determinación de Coliformes Fecales en medio A-1.
- NCh 2313/25, Of 97, decreto supremo N° 37 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de Análisis Parte 25: Determinación de Metales por espectroscopía de emisión de plasma.
- NCh 2313/27, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 27: Determinación de Surfactantes aniónico, Método para Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM).
- NCh 2313/28, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 28: Determinación de Nitrógeno Kjeldahl.
- NCh 2313/29, Of 99, decreto supremo N° 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 29: Determinación de Pentaclorofenol y algunos herbicidas organoclorados.
- NCh 2313/30, Of 99, decreto supremo N° 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 30: Determinación de Selenio.
- NCh 2313/31, Of 99, decreto supremo N° 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 31: Determinación de benceno y algunos derivados (Tolueno y Xileno).
- NCh 2313/32, Of 99, decreto supremo N° 414 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 32: Determinación de Cloruro.
- NCh 2313/33, Of 99, decreto supremo N° 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 33: Determinación de Fluoruro.
- Método Cromatografía Iónica con Supresión Química de Conductividad del Efluente, para determinar Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), según 4110 B, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed.; APHA-AWWA-WEF; 1995.
- Método de Electrodo de Nitrato, para determinación de Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), según 4500-NO<sub>3</sub>-D Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed.; APHA-AWWA-WEF; 1995.

6.6 Metodología de análisis para la determinación de calidad de aguas tratadas con presencia de microalgas.

#### 1.- Campo de Aplicación.

La presente metodología es especialmente útil para la determinación de calidad de aguas tratadas en sistemas de lagunas de estabilización. Este tipo de aguas, en general, presentan una cantidad importante de microalgas, las cuales aportan sólidos suspendidos totales (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) que afectan su calidad al ser medidos como concentraciones totales.

El contenido de microalgas en el agua no necesariamente significa un mayor grado de contaminación en especial cuando esta agua es descargada a cursos naturales como ríos y esteros.

#### 2.- Metodología.

##### 2.1. Desarrollo de cultivo de microalgas predominantes.

Previo al desarrollo del cultivo de microalgas, debe determinarse el tipo de alga que predomina en la muestra, para lo cual debe realizarse el análisis de identificación de acuerdo a las metodologías establecidas en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Esta identificación es importante para establecer los cuidados específicos que pudiera requerir cada tipo de alga.

El cultivo de algas se realiza para obtener la misma masa algal presente en forma natural en la muestra, que esté libre de elementos extraños, desarrollada en agua limpia y en una cantidad suficiente que permita extraer muestras para realizar análisis de SS y DBO5, entre otros, representativos de los aportes de la masa algal, los que deberán realizarse según los Métodos de Análisis NCh 2313/3, Of. 95 y NCh 2313/5, Of. 96 respectivamente.

El procedimiento para el cultivo es el siguiente:

Centrifugar una cantidad adecuada de muestra para concentrar la masa algal presente y obtener una cantidad suficiente para efectuar el cultivo.

Lavar la masa algal obtenida centrifugándola 2 ó 3 veces en medio de cultivo.

Aplicar CO<sub>2</sub> a saturación por 30 minutos para la eliminación de rotíferos y depredadores que pudieran estar presentes en la muestra.

Cultivar en botella de vidrio transparente la masa algal tratada de acuerdo a lo indicado anteriormente, durante un período de 48 horas. El cultivo debe estar sometido a las siguientes condiciones durante todo el tiempo de desarrollo:

- Intensidad luminosa de 600 watt/m<sup>2</sup>
- Flujo de aire filtrado no inferior a 25 L/hr.

##### 2.2 Correlación entre Clorofila a y contaminante de control.

Corresponde a la determinación de una correlación entre el contaminante que interesa medir para determinar la calidad del agua de la muestra (contaminante de control) y la

Clorofila a. Se usa la Clorofila a por ser específica de las algas y por su facilidad de medición (método 10200 H Chlorophyll 1 y 2 del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed).

La correlación que se obtenga, se aplica a la(s) muestra(s) que se desea controlar, analizándole(s) el contenido de Clorofila a, determinado el valor del contaminante de control asociado a cada una de estas mediciones y asumiendo que corresponde al aporte del contenido algal. Este aporte se descuenta de la concentración total del contaminante de control, la que debe ser determinada previamente en la(s) muestra(s).

El procedimiento para la confección de la curva de correlación es el siguiente:

- Concentrar por centrifugación un volumen adecuado de cultivo.
- Lavar el concentrado de algas con agua bidestilada por centrifugación, a lo menos en 3 ocasiones sucesivas.
- Preparar 5 o más diluciones de 200 ml como mínimo para la confección de la curva de correlación.
- Tomar alícuotas adecuadas de cada dilución y hacer, a cada una de ellas, las determinaciones de Clorofila a y del contaminante de control, ambas en mg/L.
- Graficar y obtener una correlación del tipo lineal entre Clorofila a y el contaminante de control.

### 3.-Preparación Medio de Cultivo.

La preparación del medio de cultivo se hará según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed, sección 8010E.4cl.

## 7. FISCALIZACION

La fiscalización de la presente norma corresponderá a la Superintendencia de Servicios Sanitarios, a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante y a los Servicios de Salud, según corresponda.

## 8. PLAZO DE VIGENCIA

El presente decreto entrará en vigencia 180 días después de su publicación en el Diario Oficial.

Tómese razón, anótese, comuníquese y publíquese.- RICARDO LAGOS ESCOBAR, Presidente de la República.- Alvaro García Hurtado, Ministro Secretario General de la Presidencia.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento.- Saluda Atte. a Ud., Eduardo Dockendorff Vallejos, Subsecretario General de la Presidencia de la República.