

UCH- FC
Ch. Ambiental
0511
C.1



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“IMPLEMENTACION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS
IDUSTRIALES LÍQUIDOS A TRAVÉS DEL MÉTODO GAS ENERGY MIXING
(GEM), EN LA FÁBRICA ARTESANAL DE PRODUCTOS DE PASTELERIA Y
MASAS DULCES.”**

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

Químico Ambiental

Vanessa Murielle Olmedo Álvarez

Directora de Seminario de Título:

Ing. Katherine Figueroa Martínez

Profesor Patrocinante:

Mag. Julio Hidalgo Carvajal

Enero de 2014
Santiago – Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Srta:

VANESSA MURIELLE OLMEDO ÁLVAREZ

“IMPLEMENTACION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES LIQUIDOS A TRAVES DEL METODO GAS ENERGY MIXING (GEM), EN LA FÁBRICA ARTESANAL DE PRODUCTOS DE PASTELERIA Y MASAS DULCES.”

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

Director Seminario de Titulo

Ing. Katherinne Figueroa M.

Comisión Revisora y Evaluadora

Presidente Comisión:

M.Cs. Sylvia Copaja C.

Evaluador:

Dr. Isel Cortés N.



Sylvia Copaja
Isel Cortés

Santiago de Chile, Enero de 2014



Nacida el 20 de Marzo de 1989 en Santiago. La mayor de dos hijos de Julieta y Manuel. A los días de nacer, se trasladó junto a sus padres a la ciudad de Iquique, donde su padre trabajaba. Transcurrido tres años de estadía en el norte del país, sus padres deciden regresar a Santiago donde comienza sus estudios escolares.

Terminado el colegio decide estudiar Química Ambiental ingresando al año siguiente a la Universidad de Chile, donde fue un gran paso de importancia en su vida donde encontró amigos, compañías y experiencias de las que difícilmente se podrá separar.



A mis Abuelos Leopoldo y Luisa ...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Directora de Seminario Katherinne Figueroa y a su compañero de trabajo, Miguel Castillo, por su constante apoyo y comprensión durante el desarrollo del proyecto.

A la miembro de la comisión examinadora y presidenta de la misma, M.Cs. Sylvia Copaja por sus valiosos aportes y sugerencias a este trabajo.



INDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN	1
1. Antecedentes.....	3
1.1. Los Residuos Industriales.....	3
1.2. Marco legal.....	8
1.3. Planta de Tratamiento de Residuos industriales líquidos (PTR)	12
1.4. Objetivos	17
1.4.1. Objetivo General.....	17
1.4.2. Objetivos específicos.....	17
II. MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1. Punto de muestreo en Curacaví y Quilicura.....	18
2.2. Caracterización química de efluentes	20
2.2.1. Empresa de Curacaví	20
2.2.2. Empresa de Quilicura	21
2.3. Caracterización de la eficiencia de reducción de parámetros en los sistemas de tratamientos de RILes implementado	23
III. RESULTADOS	26
3.1. Caracterización del RIL de la Fábrica de Curacaví sin PTR en base al D.S N° 609/98.....	26
3.2. Caracterización del RIL de la Planta Quilicura según el D.S N°609/98 y Código CIU	29
3.3. Análisis diarios de DQO de en la planta de Quilicura y Curacaví	30
3.4. Análisis diarios de DBO5 y Solidos suspendidos totales de la Planta de Curacaví y Quilicura.....	32
IV. DISCUSIÓN	36
V. RECOMENDACIONES	43
VI. CONCLUSIONES	47
VII. REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales contaminantes en las aguas residuales y su importancia.....	6
Tabla 2. Límites máximos permitidos para descargas de efluentes que se efectúan a redes de alcantarillado que cuenten con plantas de tratamiento de aguas servidas	11
Tabla 3 Métodos de análisis para la determinación de los parámetros estudiados	22
Tabla 4. Sectores de muestreo para la toma de análisis de DQO diario en ambas plantas	23
Tabla 5. Métodos de análisis para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno analizados diariamente	24
Tabla 6. Caracterización del RIL de la Planta de Curacaví previo a la instalación del sistema de tratamiento	27
Tabla 7 Análisis realizados al RIL de la Planta de Curacaví por el código CIU *	28
Tabla 8. Caracterización del RIL de La empresa de Quilicura.(*).....	29
Tabla 9. Caracterización del Ril de la Planta Quilicura según el código CIU (*)	30
Tabla 10. Análisis diarios de DQO en Quilicura, donde la planta de tratamiento es por sistema DAF	31
Tabla 11. Análisis diarios de DQO en Curacavi, donde la planta de tratamiento es por sistema GEM	32
Tabla 12. Análisis diarios de DBO5 y Solidos suspendidos totales de la planta de Curacaví (*).....	33
Tabla 13. Análisis diarios de DBO y Solidos suspendidos totales de la planta de Quilicura (*).....	34
Tabla 14. Porcentaje de reducción de los parámetros DBO5 y Sólidos suspendidos totales en las plantas de Quilicura y Curacaví.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cabezales LSGM del sistema GEM.....	14
Figura 2. Puntos de Muestreo en la planta de tratamiento en Curacaví	18
Figura 3. Puntos de Muestreo en la planta de tratamiento en Quilicura.	19
Figura 4. Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa	38
Figura 5 Estructura tridimensional del polímero en el RIL	39
Figura 6 Estructura extendida del floculante y la interacción que sufre con los contaminantes presentes en el RIL.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS

CIIU	Clasificación Industrial Uniforme de todas las actividades económicas
DAF	Flotación por aire disuelto
DBO5	Demanda Bioquímica de oxígeno transcurrida en cinco días
DQO	Demanda química de oxígeno
GEM	Gas energy mixing
PTR	Planta de tratamiento de RILes
SST	Sólidos suspendidos totales

Resumen

La fábrica de pasteles y masas dulces, ubicada en Curacavi, genera Residuos Industriales Líquidos de sus procesos, los cuales son descargados al sistema de alcantarillado perteneciente a la empresa Aguas Andinas S.A, para que éste trate las emisiones en su planta de tratamiento de aguas servidas aplicando un cargo tarifario al establecimiento. El objetivo de este trabajo es caracterizar la eficiencia y efectividad del equipo que se implementará en la empresa, denominado Gas Energy Mixing; el cual es un sistema de tratamiento físico-químico de RILes; sobre el tradicional DAF que se encuentra instalado en la fábrica de Quilicura (perteneciente a la misma corporación), el cual a su vez complementa el tratamiento primario con un tratamiento secundario de lodos activados, y examinar si se logra cumplir con las exigencias establecidas por el D.S N°609/98. El estudio se basó en la comparación de análisis de RILes obtenidos antes y después de que los efluentes fuesen procesados por la plantas de tratamiento ubicada en respectivas empresas. Para medir la eficiencia de los equipos, se midió durante una semana la Demanda Química de Oxígeno y para medir la efectividad de las planta de tratamientos se enfocó en la reducción de los parámetros de DBO₅ y Solidos Suspendidos totales.

Los resultados revelaron que el GEM posee una eficiencia del 25% más que el DAF debido a la tecnología de inyección de aire que posee, pero a pesar de esto no logra cumplir con la norma de emisión a los sistemas de alcantarillado. Por otro lado, se observó que la planta de tratamiento de Quilicura disminuye los parámetros de DBO₅ y SST en más de un 85%, y el GEM solo logra hasta un máximo del 73%, esto se debe a

que el tratamiento biológico logra abatir los azúcares presentes en el RIL, los cuales al solubilizar no logran ser tratados por el procesos de coagulación y floculación.

Abstract

Factory cakes and sweet doughs , located in Curacavi generates industrial waste liquids processes, which are discharged to the sewer system belonging to the company Aguas Andinas to this question emissions at its plant in wastewater treatment applying a tariff charge to property. The objective of this work is to characterize the efficiency and effectiveness of the team that will be implemented in the company, called Gas Energy Mixing, which is a physical-chemical treatment system RILes; over traditional DAF that is installed at the factory Quilicura (belonging to the same company), which in turn complements is set as secondary treatment with activated sludge tertiary treatment , and examine if it can meet the requirements established by Supreme Decree N°. 609/98 . The study was based on comparing RILes analysis obtained before and after the effluent were processed by the treatment plant located in respective companies. To measure the efficiency of equipment, was measured for a week the Chemical Oxygen Demand and to measure the effectiveness of the treatment plant focused on reducing parameters BOD5 and Total Suspended Solids.

The results revealed that the GEM has an efficiency of 25 % on the DAF due to air injection technology you have, but even this fails to meet the emission standard sewer systems . Furthermore, it was observed that the treatment plant parameters decreases Quilicura BOD5 and TSS in more than 85 % , and the GEM only achieves a maximum of 73% , this is due to the biological treatment achieves folding the sugars present in the RIL , which fail to solubilize be treated by the processes of coagulation and flocculation.

I. INTRODUCCIÓN

En el año 1945 nace en la ciudad de México una de las marcas mundiales a lo que respecta al rubro de la panificación y alimentación. Esta empresa se fue expandiendo alrededor del mundo llegando a Chile en el año 1992 con la adquisición de una de las panaderías más grande del país, ubicada en la comuna de Quilicura, pionera de la producción de “pan envasado”, convirtiéndola en una de las empresas más avanzadas en el rubro a nivel sudamericano. Transcurrido unos años la empresa decide expandirse y en el año 1997 se adjudican una de las fábricas de dulces chilenos más conocidas del territorio.

Esta última empresa adquirida, nace y se desarrolla en la comuna de Curacaví, perteneciente a la provincia de Melipilla, ubicada a 46 Kilómetros al Nor-oeste de Santiago. La empresa se desempeña hace más de 10 años en la elaboración de dulces, pasteles y masas tradicionales, donde los productos más destacables se encuentran los alfajores, dulces de mil hojas y pan de pascua, los cuales son procesados siguiendo recetas tradicionales mediante procesos principalmente manuales.

El proceso de elaboración, parte desde la transformación de la materia prima, hasta adquirir las masas que se necesitan para dar origen a cada producto que se presenta en el mercado, es por esto, que cae dentro de la denominación de Establecimiento industrial (Ministerio de Obras Publicas , 1998), puesto que se realiza una actividad económica donde se produce un cambio en los materiales empleados, y no se produce ningún cambio en su esencia.

Este establecimiento, genera cargas de efluentes que provienen del proceso de elaboración de sus productos, los cuales son recepcionados en el sistema de alcantarillado. Es por esto que está obligado a seguir las normas de emisión correspondiente, la cual es el denominado D.S 609/98, el cual regula los contaminantes asociados a las descargas de aguas procedentes de las industrias a los sistemas de alcantarillados.

Actualmente la empresa cumple la Norma de Emisión, por medio del punto 4.6 del decreto, donde se dicta que los “establecimientos industriales que descarguen sus efluentes en una red de alcantarillado que cuente con una planta de tratamiento de aguas servidas autorizadas para aplicar cargo tarifarios, podrán solicitar al prestador de servicios sanitarios de que reciben el servicio de recolección de aguas servidas, autorización para descargar efluentes con una concentración media diaria superior a los valores permitidos en la tabla 4, respecto de los contaminantes DBO₅, Fósforo, Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal y Solidos Suspendidos totales” (Ministerio de Obras Publicas , 1998)

Con este escenario, se crea la necesidad de implementar un sistema de tratamiento de RILes con objetivo tratar en su totalidad los efluentes generados, incorporando operaciones unitarias destinadas a retirar estos compuestos de los efluentes, y de este modo cumplir con la normativa ambiental que rige el decreto de emisión, y así dejar de pagar los costos tarifarios a la empresa de Aguas Andinas, por el tratamiento de los residuos líquidos.

1. Antecedentes

1.1. Los Residuos Industriales

Toda actividad industrial, no está exenta en producir residuos generados de sus procesos de elaboración. En si los residuos se definen como *aquellos materiales, sustancias u objetos sobrantes de cualquier operación, actividad o proceso productivo tanto en sus procesos intermedios de producción o en su consumo total.* (CICLOS,2005)

Al proceder de este tipo de actividad los residuos son denominados residuos industriales que se describen como todo tipo de residuo sólido y líquido, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no pueden asimilarse a los residuos domésticos (CICLOS,2005). Su origen puede ser diverso, como por ejemplo, mecánico, físico, inorgánico y mineral, orgánico, urbano y colectivo. (Metcalf & Eddy, 1977)

Estos residuos pueden clasificarse según su composición física, densidad y humedad, composición química, valor calorífico, así como su peligrosidad, en función de su eventual impactos al medio ambiente y a la salud de las personas. (Conama, 1998)

Existen diversos tipos de residuos y emisiones industriales, basados en criterios y principios muy variados, los cuales consideran criterios acorde con la tecnología existente, origen de residuos, legislación ambiental, etc. Desde el punto de vista de gestión ambiental es más útil clasificarlos de acuerdo a su peligrosidad:

- Residuo no peligroso: es aquel tipo de residuo que no presenta peligrosidad efectiva no potencial para la salud humana, el medio ambiente o para el patrimonio público.

- Residuo peligroso: es aquel que exhibe una o más de las siguientes características de peligrosidad: toxicidad, inflamabilidad, reactividad y corrosividad.

Otra forma de clasificación, complementaria a la anterior, es según su estado físico. En este sentido se dividen en tres categorías:

- Residuos Líquidos
- Residuos Sólidos
- Residuos gaseoso

En la industria del procesamiento de alimentos, como es el caso de esta fábrica, por lo general, se generan grandes cantidades de residuos líquidos, sólidos y gaseosos, que podrían conllevar un problema de contaminación ambiental.

ZAROR (1993) plantea que el mayor problema ambiental lo generan los residuos líquidos o aguas residuales, derivado del procesamiento de alimentos. Este tipo de desecho, el cual se produce durante las operaciones de una planta procesadora, son muy variados debido a los distintos niveles de operaciones, turnos, descargas imprevistas y las operaciones de lavado, tan importantes y necesarias para cumplir con los requerimientos de higiene, y que finalmente constituyen una importante fuente de aguas residuales. (Zaror, 1993)

Algunas operaciones generan grandes volúmenes de aguas de desechos con bajo contenido orgánico biodegradable, por ejemplo, las aguas del lavado de frutos y vegetales. Otras en cambio generan alta carga orgánica, como la industria alimentaria.

Como primera medida para hacer frente al control ambiental en la industria de procesos, resulta esencial, conocer el origen y la composición tanto física como química de los desechos, para posteriormente reducir, a través, del empleo de medidas de control o de alguna tecnología, la generación de contaminantes en sus efluentes. Las aguas industriales presentan una gran variabilidad en su composición química, física, biológica y sus contaminantes, debido a su origen y/o procedencia. .

Para la industria procesadora en general, hay ciertos tipos de contaminantes de las aguas residuales que son de suma importancia por el impacto que producen en el ambiente y por tanto es recomendable estudiar.

En el Tabla 1 se muestra los principales contaminantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 1. Principales contaminantes en las aguas residuales y su importancia.

Contaminantes	Razón de importancia
Materia orgánica biodegradable	Compuesto principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales. La materia orgánica se mide en función de la DBO ₅ (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Su impacto puede generar un agotamiento en los recursos naturales
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fangos y condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fosforo, junto con el carbono, son nutrientes, esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, puede generar el crecimiento de vida acuática no deseada, como las algas.
Sólidos inorgánicos	Constituyentes inorgánicos, tales como el calcio, sodio y los sulfatos, se añaden al efluente como consecuencia del uso del agua y es posible que deban eliminarse si se reutiliza el agua residual
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.

Además de la importancia de la presencia de los contaminantes, es importante caracterizar las aguas residuales que se van a tratar. Dentro de la caracterización de las aguas residuales se pueden mencionar dos tipos:

- Caracterización física: la caracterización física del agua residual abarca parámetros como son el contenido total de sólidos (ST), lo que implica el material en suspensión, el material sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (SiSS, 1998).
- Caracterización Química: esta caracterización abarca la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Demanda química de oxígeno (DQO), Carbono orgánico total (COT), nitrógeno orgánico, fósforo orgánico, nitrógeno total, metales como: Plomo, Mercurio, Cadmio. (SiSS, 1998)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), es uno de los parámetros más importantes al momento de calcular los efectos de las descargas de los efluentes industriales y domésticos sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Esta prueba es usada para determinar el requerimiento de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en aguas municipales, industriales y en general en aguas residuales, es decir, mide la cantidad de oxígeno necesaria o consumida para la descomposición microbiológica (oxidación) de la materia orgánica en el agua.

Este indicador es importante para el control de la contaminación de las corrientes, donde la carga orgánica se debe restringir para mantener los niveles deseados de oxígeno disuelto, esto se debe a que el aporte de carga orgánica acelera la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno, provocando que algunas especies de peces y otras

especies acuáticas deseables ya no puedan vivir en las aguas donde están presentes dichos microorganismos.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), posee una gran relación con el DBO₅. Este parámetro mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que se encuentra disueltos o en suspensión en una muestra. A pesar de que pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles a ser oxidadas, que también se reflejan en la medida.

Por otro lado, los Sólidos Suspendidos Totales (SST), es otro de los parámetros de gran importancia que se debe controlar. Esto se debe, a que forma una capa flotante en ríos, lagos, o en sistemas de tratamiento, afectando de este modo la transferencia de oxígeno hacia estos cuerpos de agua, además de atraer moscas e insectos. Otra de las razones de control, se debe que provocan la turbidez, impidiendo el paso de la luz solar, afectando la actividad fotosintética, la flora y fauna acuática. Lo que respecta a los sólidos suspendidos más pesados que el agua, sedimentan y pasan a formar parte del suelo acuático, provocando la descomposición orgánica por la ausencia de oxígeno, generando olores y gases.

1.2. Marco legal

Con la necesidad de proteger el medio ambiente de las descargas de efluentes provenientes de las industrias, debido a su impacto, explicado anteriormente, se generan leyes para dar tratamiento a los residuos líquidos. Es por esto que en Chile se dio inicio a la protección ambiental con la creación de la Ley N° 3.133 del año 1916 donde se establecía la "Prohibición a los establecimientos industriales, sean mineros,

metalúrgicos, fabriles, etc., a vaciar corrientes o depósitos de aguas, lagos o lagunas, los residuos de su funcionamiento que contengan sustancias nocivas a la bebida o al riego”. Sin embargo tuvo poco efecto debido a su poca claridad y falta de fiscalización, lo que conllevó a ser derogada en el año 2002.

Dentro del periodo que estuvo vigente la Ley N° 3.133 nació en el año 1990, la Ley N° 18.902, que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios como un servicio funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, actuando como un ente fiscalizador de los prestadores de servicios sanitarios, para que cumplan las normas relativas a servicios sanitarios del control de los residuos líquidos industriales. Posteriormente en el año 1994 se promulga la Ley N° 19.300 de Bases del Medio Ambiente, que establece mediante normas y reglamentos, derechos y obligaciones, que toda actividad industrial debe tomar en consideración, con la finalidad de proteger y preservar el medio ambiente.

El artículo 40 de la ley N°19.300 hace mención de las emisiones; en este punto se establece que las normas de emisión se instaurarán, a través de los llamados, decretos supremos. Es por esto que en el año 1998, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de los Residuos líquidos industriales, a los sistemas de alcantarillado, denominada D.S N° 609/98, ésta norma tiene como objetivo (Ministerio de Obras Publicas , 1998):

- *Mejorar la calidad ambiental de las aguas servidas que los servicios públicos de disposición de estas vierten a los cuerpos de agua terrestre o marítimos mediante el control de los contaminantes líquidos de origen industrial, que se descargan*

en el alcantarillado". Con lo anterior se logra que los servicios públicos de disposición de aguas servidas dispongan aguas residuales con un bajo nivel de contaminación, protegiendo así los cuerpos de agua receptores.

- *Proteger y preservar los servicios públicos de recolección y disposición de aguas servidas mediante el control de las descargas de residuos industriales líquidos que puedan producir interferencias con los sistemas de tratamiento de aguas servidas, o dar lugar a la corrosión incrustación u obstrucción de las redes de alcantarillado o a la formación de gases tóxicos o explosivos en las misma, u otros fenómenos similares. Esta norma, al proteger los sistemas de recolección de aguas servidas, evita que los contaminantes transportados por estos puedan eventualmente ser liberados sin tratamiento, al medio ambiente urbano (calle, suelo, aire entre otros), por efecto de roturas u obstrucciones del sistema, pudiendo afectar la calidad de éste y la salud de las personas.*

Entre las disposiciones generales que se presentan en la norma se encuentra los límites máximos permitidos para los Riles descargados por la empresa, y que estas descargas no podrán contener sustancias radioactivas, corrosivas, venenosas, infecciosas, explosivas o inflamables, sean estas sólidas, líquidas, gases o vapores y otras de carácter peligroso en conformidad a la legislación y reglamentación vigente (Ministerio de Obras Publicas , 1998).

El decreto determina los límites máximos permitidos para las descargas de residuos industriales líquidos a la redes de alcantarillado de los servicios públicos de recolección de aguas servidas. Si las descargas de efluentes se efectúan a redes de alcantarillado que cuenten con plantas de tratamiento de aguas servidas, como es el caso de Aguas

Andinas S.A, deberán cumplir con los límites máximos señalados en la tabla 4 del decreto.

En la tabla 2 se expone los límites máximos permitidos para las descargas de efluentes al alcantarillado, que se presentan en la tabla 4 de la norma.

Tabla 2. Límites máximos permitidos para descargas de efluentes que se efectúan a redes de alcantarillado que cuenten con plantas de tratamiento de aguas servidas

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido D.S 609/98	Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido D.S 609/98
Aceites y Grasas	mg/L	150	pH		5,5-9,0
Aluminio	mg/L	10	Plomo	mg/L	1
Arsénico	mg/L	0,5	Poder Espumógeno	Mm	7
Boro	mg/L	4	Sólidos Sedimentables	mg/L	20
Cadmio	mg/L	0,5	Sulfato	mg/L	1000
Cianuro	mg/L	1	Sulfuro	mg/L	5
Cobre	mg/L	3	Zinc	mg/L	5
Cromo (VI)	mg/L	0,5	Temperatura	C°	35
Cromo Total	mg/L	10	DBO5	mg/L	300
Hidrocarburos Totales	mg/L	20	Fósforo	mg/L	10-15
Manganeso	mg/L	4	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	80
Mercurio	mg/L	0,02	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	300
Níquel	mg/L	4			

1.3. Planta de Tratamiento de Residuos industriales líquidos (PTR)

El tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varían en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Los sistemas de tratamiento de RILes suelen presentar cuatro etapas de operación que son (Cortés & Montalvo, 2010):

- **Pretratamiento:** Proceso de eliminación de sólidos de gran tamaño y sólidos suspendidos pesados, como las arenas. Las operaciones que se incluyen en este tipo de tratamiento son, desbastes, desarenación, homogenización, neutralización, y trituración.
- **Tratamiento primario:** Proceso físico y/o químico de las partículas suspendidas que están presente en los residuos líquidos crudos. En general este tratamiento se realiza por técnicas como decantación, sedimentación, coagulación-floculación entre otros.
- **Tratamiento secundario o biológico:** Este procesos tiene como objetivo reducir el DBO₅ de las aguas residuales. Los mecanismos a utilizar son procesos de oxidación biológicas, que consiste en la asimilación de la materia orgánica degradable biológicamente (DBO₅) por los microorganismos.

- **Tratamiento terciario o avanzado:** en este tratamiento se aplica para la eliminación de contaminantes específicos, los cuales no han sido eliminados en los tratamientos anteriores y tienen como objetivo aumentar la calidad del efluente. Se aplican sistemas de desinfección y regeneración.

Un sistema de tratamiento de las aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes. En el caso de la fábrica de masas dulces, se busca cumplir con los parámetros que se encuentran excedido respecto a los límites máximo permitido por la tabla 4 del D.S 609/98.

Los RILes de la empresa, al provenir de la industria del área de la fabricación del Pan y afines, puesto que pueden incluirse productos derivados de la llamada industria molinera y de la industria pastelera, donde el ingrediente común lo constituye la harina de algún cereal, tiene como fortaleza elevados índices de DBO₅ y SST. Es por esto que el tratamiento destinado para retirar los compuestos de los efluentes está constituido por una primera etapa de ecualización y neutralización, seguida por un sistema físico-químico utilizando un equipo GEM (Gas Energy Mixing), para la flotación de los compuestos no deseados. La característica principal de ésta planta trata de un sistema modular compuesto por un solo equipo principal, que se define como una mejora substancial al sistema de flotación por aire disuelto (DAF).

La tecnología el equipo GEM radica en que tiene incorporados un sistema de mezcladores trifásicos (aire, líquido, sólido) denominados LSGM (Fig.1), estos realizan el contacto entre los productos químicos (coagulantes y floculantes), el aire, que posibilita la flotación, y el RIL que contienen los contaminantes a separar.

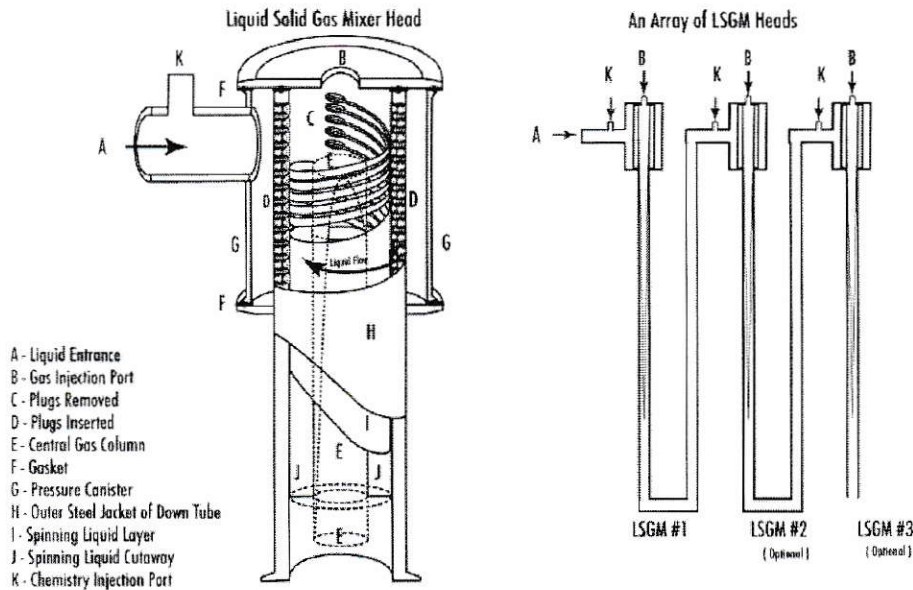


Figura 1. Cabezales LSGM del sistema GEM

El agua a tratar, entra al tanque de equalización y neutralización, que estabiliza el pH del RIL, luego ingresa a los cabezales LSGM donde el aire que es incorporado desde la cima del cabezal entra a una presión muy elevada, lo que produce un ciclón de burbujas de tamaño muy pequeño, alrededor de los 20 a 100 micrones de diámetro, lo que ayuda que el contacto entre el RIL y los compuestos sea más eficiente. Posteriormente, al realizar este proceso reiteradas veces por la serie de cabezales, el efluente ingresa a la cámara de flotación donde por diferencia de presiones, las burbujas, que traen adheridas los residuos, se expanden generando la elevación de los residuos a la superficie del tanque formando una capa de lodos que son retirados por el barredor de lodos.

La diferencia con un sistema DAF es que éste proceso trata el agua contaminada a través del llamado tubo de floculación, en este sector se hace la inyección de los

compuestos, coagulante y floculante, para la remoción de las sustancias, y luego el RIL es sometido al tanque de flotación, en este sector se introducen micro burbujas de aire en el estanque con agua residual o lodo. Al ascender las micro burbujas, las partículas presentes en el líquido se adhieren a éstas, separándose y formando una capa flotante de material concentrado.

La tecnología GEM comparado con el DAF tiene una serie de características positivas como (Colic, 2011):

- Altos niveles de remoción de contaminantes
- Mayor eficiencia en el uso de químicos
- Lodos más secos
- Alta flexibilidad, que permite manejar cambios en los niveles de contaminación y caudal de los Riles que se reciben
- Requiere menos espacio
- El sistema GEM disuelve aire en el 100% del afluente a alta presión, por lo cual no es necesario generar corriente de recirculación como en el DAF.
- Mantenimiento más simple que el de las unidades DAF

Para realizar una comparación del sistema DAF con el GEM, se utilizará la planta de tratamiento implementada, hace más de 10 años, en la fábrica de Quilicura. Cabe destacar que esta PTR, cuenta con dos tipos de tratamiento, el primario que corresponde al proceso físico-químico, por sistema DAF, y el secundario o biológico es por lodos activados, para la oxidación biológica de los compuestos presentes en el afluente.

Este procedimiento secundario se basa en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas residuales y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar materia orgánica. Cuando los lodos que contienen estos organismos, entran en contacto el efluente, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Implementar un Sistema de Tratamiento GEM, para tratar los Residuos Industriales Líquidos en la fábrica de dulces chilenos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Cumplir las exigencias definidas en el D.S MOP N°609/98, el cual establece la Norma de Emisión que regula la disposición de Contaminantes Asociados a las descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistema de Alcantarillado
- Evaluar la eficiencia de la unidad GEM respecto a la unidad tradicional utilizada en plantas de tratamiento de RILes, DAF, por medio de la comparación de la Demanda Química de Oxígeno diaria.
- Analizar los estudios de las aguas residuales Industriales generados por la planta de Curacaví realizado por HIDROLAB y DICTUC
- Evaluar y generar recomendaciones para una mayor eficiencia en el sistema de tratamiento de aguas implementado en la fábrica de Curacaví.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Punto de muestreo en Curacaví y Quilicura.

El punto de muestreo donde se realizaron los análisis de RIL en la fábrica ubicada en la provincia de Melipilla, antes de la implementación del sistema GEM, fue en el ducto de salida del efluente desde la fábrica al alcantarillado, perteneciente a la empresa Aguas Andinas S.A.

Luego de la instalación del GEM, los análisis comparativos se realizaron en dos sectores, que corresponde a la entrada del sistema físico-químico, específicamente en el tanque ecualizador de pH (1C), y en la salida del efluente desde el sistema GEM al alcantarillado (2C). En la Figura 2 se aprecia los puntos de muestreo.

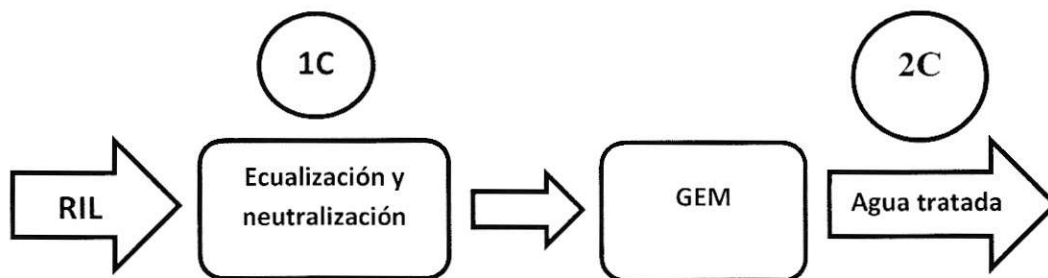


Figura 2. Puntos de Muestreo en la planta de tratamiento en Curacaví

En el caso de la empresa de Quilicura, al poseer una PTR compuesta por un tratamiento primario y secundario los tramos de estudios se seccionaron en 3, que son, a la entrada, que corresponde al estanque de ecualización y neutralizador de pH (1Q), la salida del efluente desde el sistema DAF al tratamiento de lodos activados (2Q) y el tercer lugar corresponde al sector de descarga que se realiza hacia el alcantarillado (3Q), luego de ser procesado por el tratamiento biológico.

En la Figura 3 se expone el diagrama de flujo de la planta con los respectivos puntos de muestreo.

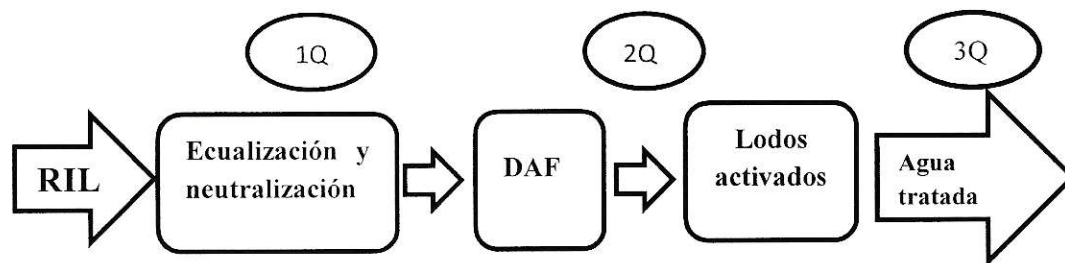


Figura 3. Puntos de Muestreo en la planta de tratamiento en Quilicura.

2.2. Caracterización química de efluentes

2.2.1. Empresa de Curacaví

La empresa de Curacaví al no contar, en primera instancia, con un sistema de tratamiento de RILes, se debió realizar un estudio completo de sus aguas, para obtener un panorama general de que parámetro se debe tratar con mayor importancia para mejorar la calidad de las aguas servidas.

La fábrica de masas dulces al generar sus descargas de efluentes a las redes de alcantarillado, que cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas, deberá cumplir, con los límites máximos señalados en la tabla 4 del D.S 609/98. Los parámetros que pueden superar la concentración media diaria permitida son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Fósforo Total
- Nitrógeno amoniacal
- Sólidos suspendidos

Para efectos de procedimientos de medición y control de los parámetros, que se establece en el punto 6 de la norma de emisión, los contaminantes a considerar en los análisis son señalados de modo referencial en la Tabla 5 "Parámetros según actividad económica", detallada en la Tabla 6 "Descripción de actividades según el código CIIU".

En base a lo anterior, la actividad asignada según el código CIIU es el 31174 que corresponde a "*Elaboración de fideos, tallarines y otras pastas*", por ende los contaminantes a considerar en los análisis de muestras corresponden a:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- pH
- Temperatura
- Sólidos suspendidos
- Sólidos disueltos
- Nitrógeno amoniacal
- Poder espumógeno

2.2.2. Empresa de Quilicura

Lo que respecta a los análisis para la fábrica de Quilicura, al poseer una planta de tratamiento implementada, los contaminantes a considerar en los análisis son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Aceites y grasas
- Poder espumógeno
- Sólidos suspendidos totales

Por otro lado, al igual que en la fábrica de Melipilla, para los efectos de medición y control de parámetros los elementos a muestrear son los establecidos por el código CIU 31174, que son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- pH
- Temperatura
- Sólidos suspendidos

- Sólidos disueltos
- Nitrógeno amoniacal
- Poder espumógeno

Los laboratorios a cargo de los estudios de ambas plantas son Hidrolab y DICTUC. Éstos se deben regir por el punto N°6.3.2 para efectuar los análisis de los contaminantes presente en los efluentes, el decreto de emisiones establece que por cada punto de descarga se deberá obtener una muestra compuesta, representativa del volumen descargado el día de control (Ministerio de Obras Publicas , 1998), es por esto que la duración del muestreo que realizan los laboratorios dura 24 h.

Los métodos de análisis se efectuaron de acuerdo a los métodos establecidos en las normas chilenas vigentes, que corresponde a la Norma Chilena 2313.

Tabla 3 Métodos de análisis para la determinación de los parámetros estudiados (*)

Parámetro	Unidades	Método de Referencia
pH		NCh 2313/1
Temperatura	°C	NCh 2313/2
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	NCh 2313/3
DBO5	mg/L	NCh 2313/5
Aceites y Grasas	mg/L	NCh 2313/6
Fósforo Total	mg/L	NCh 2313/15
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NCh 2313/16
Poder espumógeno	Mm	NCh 2313/21

(*)Normas Chilenas Oficializadas, serie NCh 2313-Residuos Industriales Líquidos.

El fundamento para la determinación de los Sólidos suspendidos totales, se basa en filtrar la muestra por medio de un filtro de fibra de vidrio, previamente preparado y masado, y el residuo retenido es secado a peso constante a temperatura entre 103 – 105 °C. Para el caso del análisis del DBO5 el método consiste en llenar una botella Winkler de 300 mL con una muestra diluida e inoculada e incubada por cinco días a una temperatura de 20 °C en la oscuridad. El oxígeno disuelto es medido al inicio y al final del periodo de incubación y la DBO5 se calcula de la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el final, tomando como referencia la dilución de la muestra en la botella

2.3. Caracterización de la eficiencia de reducción de parámetros en los sistemas de tratamientos de RILes implementado

Para medir el porcentaje de eficiencia de cada sistema implementada en cada empresa (DAF y GEM), se realizó el muestreo diario de la Demanda Química de Oxígeno.

Los puntos de muestreo de DQO se obtuvieron de dos sectores esenciales en cada planta, los cuales son: a la entrada y salida del efluente desde el sistema de tratamiento de aguas. En la siguiente tabla se especifica los puntos muestreados:

Tabla 4. Sectores de muestreo para la toma de análisis de DQO diario en ambas plantas

	Curacavi		Quilicura	
Punto de muestreo de DQO	1C	2C	1Q	2Q

Al obtener estos dos punto de comparación, debido que el efluente es tratado por el sistema físico-químico, se tiene como resultado una reducción del parámetro estudiado, y de este modo se logra calcular, por medio de una ecuación simple matemático, el porcentaje de disminución de cada método.

El método de análisis efectuado para las mediciones diarias, fue por medio de los KIT de reactivos certificados de DQO, elaborados por la empresa HANNA. Para los procesos de medición se utilizaron dos tipos de rangos de químicos que son los de:

- Rango mediano: mide de 0 a 1500 mg/L de O₂
- Rango alto: mide de 0 a 15000 mg/L de O₂

En la siguiente tabla se presenta el método de análisis implicado, y su técnica correspondiente.

Tabla 5. Métodos de análisis para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno analizados diariamente

Parámetro	Unidades	Método de Referencia	Técnica de Análisis
DQO	mg/L	SM-5220D	Método colorimétrico a reflujos cerrado

El principio de análisis de DQO, por método colorimétrico se basa en la oxidación de la materia orgánica por medio de un oxidante fuerte como el dicromato, el Cr (VI), de color naranja presente en la solución de análisis se reduce a Cr (III) de color verde, la reducción del cromo depende directamente de sus reacción con la materia orgánica total existente en la muestra, lo que permite cuantificar la materia orgánica presente en la

muestra por medio del método colorimétrico que mide la Absorbancia del Cr (III) a 600 nm.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización del RIL de la Fábrica de Curacaví sin PTR en base al D.S N° 609/98

La caracterización del RIL, se realizó previo instalación de la planta de tratamiento basándose en lo especificado en la tabla 4 del D.S 609/98. El sector de muestreo fue la cámara de salida del afluente, el cual se encuentra antes de llegar al alcantarillado público.

La tabla 6 presenta los resultados que se obtuvieron de los análisis del RIL de Curacavi.

Tabla 6. Caracterización del RIL de la Planta de Curacaví previo a la instalación del sistema de tratamiento (*)

Parámetro	Unidad	Límite máximo		Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		permitido DS	Resultados			permitido DS	Resultados
		609/98				609/98	
Aceites y Grasas	mg/L	150	67,4	Níquel	mg/L	4	<0,01
Aluminio	mg/L	10	0,35	pH		5,5-9,0	6,66
Arsénico	mg/L	0,5	<0,006	Plomo	mg/L	1	<0,002
Boro	mg/L	4	0,08	Poder Espumógeno	Mm	7	<1
Cadmio	mg/L	0,5	<0,002	Sólidos Sedimentables	mg/L	20	1,4
Cianuro	mg/L	1	<0,05	Sulfato	mg/L	1000	43,3
Cobre	mg/L	3	0,11	Sulfuro	mg/L	5	<0,5
Cromo (VI)	mg/L	0,5	<0,005	Zinc	mg/L	5	0,16
Cromo Total	mg/L	10	<0,01	DBO ₅	mg/L	300	1788,4
Hidrocarburos Totales	mg/L	20	11,2	Fósforo	mg/L	10-15	3,91
Manganeso	mg/L	4	0,02	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	80	13,1
Mercurio	mg/L	0,02	<0,001	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	300	350

(*) Análisis realizado por DICTUC

Por otro lado, el D.S N° 609/98 establece los parámetros a considerar en los análisis según la actividad económica, que es determinado por el código CIU. En este caso, el rubro en que entra la empresa es de "Elaboración de fideos, tallarines, y otras pastas". Los análisis correspondientes son presentados en la Tabla 7.

Tabla 7 Análisis realizados al RIL de la Planta de Curacaví por el código CIU *

Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		permitido DS 609/98	Resultados
DBO ₅	mg/L	300	2727,6
pH		5,5-9,0	6,48
Temperatura	C°	35	16,86
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	300	471,4
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	1,4
Poder espumógeno	Mm	7	<1
Nitrógeno amoniacal	mg/L	80	31,5

(*) Análisis realizados por el laboratorio DICTUC

De los estudios realizados y representados en las tablas 6 y 7, se observa que los parámetros Sólidos suspendidos totales, con un valor de 471,4 mg/L y 350 mg/L, y DBO₅ con valores de 1788,4 mg/L y 2727,6 mg/L, resultados se encuentran fuera de lo establecido por el decreto supremo donde en ambos casos el límite máximo es de 300 mg/L.

3.2. Caracterización del RIL de la Planta Quilicura según el D.S N°609/98 y Código CIU

Esta caracterización tiene como fin tener un punto de comparación frente a los resultados entregados por la empresa de Curacaví. En Tabla 8 se presenta los resultados de los parámetros, más significativos requeridos por el decreto supremo:

Tabla 8. Caracterización del RIL de La empresa de Quilicura.(*)

Parámetro	Unidad	Límite máximo	Resultados
		permitido DS 609/98	
DBO ₅	mg/L	300	95
pH		5,5-9,0	7,68
Temperatura	C°	35	20,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	300	99
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	<0,1
Poder espumógeno	Mm	7	<2
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	80	29,3
Fósforo Total	mg/L	10-15	4,66
Sulfato disuelto	mg/L	1000	165
Aceites y Grasas	mg/L	150	25

(*) Análisis realizados por el laboratorio DICTUC

En la Tabla 9 se presentan los análisis que exigen según la actividad económica, determinada por el código CIU.

Tabla 9. Caracterización del RIL de la Planta Quilicura según el código CIU (*)

Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		permitido DS	Resultados
		609/98	
DBO5	mg/L	300	100
pH		5,5-9,0	7,61
Temperatura	C°	35	18,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	300	93
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	1,1
Poder espumógeno	Mm	7	2
Nitrógeno amoniacal	mg/L	80	29,3

(*) Análisis realizados por el laboratorio DICTUC

Se observa en ambas tabla que los análisis realizados al RIL que descarga la empresa de Quilicura, la cual posee una planta de tratamiento de aguas, los parámetros no logran superar el límite máximo permitido, por ende el establecimiento de Quilicura cumple con la norma de emisión

3.3. Análisis diarios de DQO de en la planta de Quilicura y Curacavi

Los análisis diarios de DQO se efectuaron en la jornada de la mañana en ambas plantas. Los días de análisis no son del mismo mes para cada caso, puesto que al momento de muestrear en Quilicura, la planta de Curacaví aún no contaba con la implementación de la Planta GEM.

Con los resultados de los dos puntos de muestreo se logra calcular el porcentaje de reducción de cada sistema físico-químico implementado.

En la tabla 10 se presenta los análisis DQO que se realizaron en la PTR de Quilicura, donde esta implementado el sistema DAF, los días de estudios que se presentan en el informe se realizaron desde 21 al 27 de febrero.

Tabla 10. Análisis diarios de DQO en Quilicura, donde la planta de tratamiento es por sistema DAF

Día de análisis	DQO (mg/L) Punto 1Q	DQO (mg/L) Punto 2Q	Porcentaje de Reducción DAF (%)
21 Feb	8680	2230	74,31
22 Feb	6300	2500	60,32
23 Feb	6000	3560	40,67
24 Feb	3400	1400	58,82
25 Feb	6430	4440	30,95
26 Feb	4090	1990	51,34
27 Feb	4700	3290	30,00

En la tabla 11 se presentan los análisis diarios de DQO, en los puntos 1C y 2C, que se realizaron en la planta de Curacaví, donde el sistema GEM es el tratamiento físico-químico implementado. Los días de estudios se realizaron desde el 3 al 9 de noviembre del 2013.

Tabla 11. Análisis diarios de DQO en Curacaví, donde la planta de tratamiento es por sistema GEM

Día de análisis	DQO (mg/L) Punto 1C	DQO (mg/L) Punto 2C	Porcentaje de Reducción GEM (%)
3 nov	2860	844	70,49
4 nov	4795	843	82,42
5 nov	1357	320	76,42
6 nov	820	291	64,51
7 nov	5020	675	86,55
9 nov	3050	1950	36,07
10 nov	4890	603	87,67

Se aprecia en la tabla 19 que la eficiencia de reducción que realiza el sistema DAF para el parámetro de DQO varía desde un 30 % al 74,31 %, con un promedio del 49,48 %

En el caso del porcentaje de eficiencia de reducción que realiza la planta con el sistema GEM, Tabla 11, se logra tasas de remoción para el parámetro de DQO de 36,07% a un 87,67 %, con un promedio de eficiencia del 72%.

3.4. Análisis diarios de DBO5 y Sólidos suspendidos totales de la Planta de Curacaví y Quilicura

Los análisis diarios de DBO5 y Sólidos suspendidos totales, se realizaron en ambas plantas al momento en que ambos lugares cumplían con la condición que respecta al tratado de los RILes. Los puntos de muestreos fueron en los Punto 1C y Punto 2C, para la planta de Curacaví, y los punto 1Q y 3Q, para la planta de Quilicura.

La tabla 12 representa los análisis diarios realizados en Curacaví. Las muestra que se generaron son de tipo compuesta de 24 h, donde los días de estudios fueron desde el 3 al 10 de noviembre del 2013

Tabla 12. Análisis diarios de DBO5 y Sólidos suspendidos totales de la planta de Curacaví (*)

Día de análisis P1C	DBO5 (mg/L) P1C	DBO5 (mg/L) P2C	Sólidos suspendidos totales (mg/L) P1C	Sólidos suspendidos totales (mg/L) P2C
3 – 4 nov	1788,4	424	290	5
4 – 5 nov	2010	692	205	109
5 – 6 nov	295,6	105	109	22
6 – 7 nov	2999,5	321	475	170
7 – 8 nov	2271,3	772	280	37
8 – 9 nov	880,2	448	128	68
9 – 10 nov	2008	586	447	46

(*) Análisis realizados por el laboratorio Hidrolab.

Los análisis diarios de DBO5 y Sólidos suspendidos Totales para el sistema DAF, son representados en la tabla 13. El tipo de muestra que se realizo es de tipo compuesta de 24 h, donde los días de estudios fueron entre el 11 al 24 de noviembre del 2013.

Tabla 13. Análisis diarios de DBO5 y Sólidos suspendidos totales de la planta de Quilicura (*)

Día de análisis	DBO5 (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
	P1Q	P3Q	P1Q	P1Q
11 - 12 nov	1340	184	568	185
13 - 14 nov	1500	130	468	75
15 - 16 nov	8000	60	720	68
17 - 18 nov	1700	342	879	243
19 - 20 nov	2150	4	953	68
21 - 22 nov	2045	73	853	102
23 - 24 nov	3500	100	638	93

(*) Análisis realizados por el laboratorio hidrolab

Con los datos obtenidos en las tablas 12 y 13, se puede realizar el cálculo del porcentaje de reducción que realiza cada sistema de tratamiento, gracias que los análisis se realizaron en la entrada y salida del efluente, nos da la variación que sufre el RIL en los parámetros, al momento de ser tratado por un sistema físico – químico.

Tabla 14. Porcentaje de reducción de los parámetros DBO5 y Sólidos suspendidos totales en las plantas de Quilicura y Curacaví

PTR Quilicura por sistema DAF		PTR Curacavi por sistema GEM	
DBO5 (%)	Sólidos suspendidos totales (%)	DBO5 (%)	Sólidos suspendidos totales (%)
86,27	67,4	76,3	98,28
77,20	84,0	65,6	46,83
99,25	90,6	64,5	79,82
92,35	72,4	89,3	64,21
99,81	92,9	66,0	86,79
96,43	88,0	49,1	46,88
97,14	85,4	70,8	89,71

En la Tabla 14 se aprecia que los porcentajes de reducción para el parámetro de DBO5 en Quilicura van desde 77,20% al 99,25%, obteniendo un promedio del 92,63% en la reducción del parámetro. A los que respecta a los Sólidos suspendidos totales los porcentajes de reducción van desde 67,4% al 92,9% con un promedio del 82,95%.

En el caso de Melipilla donde solo se cuenta con un tratamiento primario, el primer parámetro de reducción se encuentra entre el 49,1% al 89,3% con un promedio del 68.8%. Para el segundo parámetro la eficiencia de reducción presenta un intervalo del 46,83% al 98,28% con un promedio del 73,21%.

IV. DISCUSIÓN

La instalación del sistema de tratamiento físico-químico provino de la premisa de que el RIL al provenir de la elaboración de dulces chilenos donde su materia prima principal es la harina, la fortaleza de sus efluentes se concentraría en los parámetros de DBO₅ y los Sólidos suspendidos totales.

Esta decisión se pudo ratificar con la caracterización que se le realizó al efluente de la planta de Curacaví, donde se puede observar en las tabla 6 y 7 que los valores que se excedían de los límites permitidos por decreto correspondían precisamente a los mencionados anteriormente.

En la caracterización del RIL de la empresa de Curacaví (Tabla 6) los análisis de sólidos suspendidos totales se observa que es alto, con 350 mg/L, sin embargo, la prueba de sólidos sedimentables posee un valor relativamente pequeño (1,4 mg/L), comparado con el valor máximo permitido, por lo que se logra concluir que la aplicación de la sedimentación simple no sería capaz de eliminar una gran parte de los sólidos suspendidos, lo cual determina la existencia de las partículas llamadas coloides.

Estas partículas tienen tamaños de 1 a 100 μm , lo que genera que puedan sedimentar por gravedad pero a una velocidad extremadamente baja, lo que hace poco viable aplicar la técnica de decantación por gravedad para separar estas partículas del agua .

Esta precipitación tan lenta en los coloides se debe a las cargas superficiales electroestáticas que presentan son del mismo signo, lo que genera una fuerza de repulsión que hace que se mantengan separadas unas de las otras y a la vez como

poseen tamaños muy pequeños no logran alcanzar la masa necesaria para provocar la precipitación.

En general un tratamiento físico-químico, como es el caso del GEM y DAF, tiene la finalidad, acelerar la decantación mediante la técnica de coagulación-floculación con el uso de reactivos químicos, lo que anula las fuerzas repulsivas entre las partículas por medio de mecanismos de agregación o adsorción; este proceso se denomina coagulación.

Las operaciones de coagulación tienen como objetivo la desestabilización del coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas de este tipo, con la formación de núcleos microscópicos. Mientras que la floculación logra la aglomeración de estas partículas desestabilizadas, primero en microfloculos y más tarde en aglomerados voluminosos, llamados flóculos. En la Figura 4 se observa la acción del coagulante en la desestabilización del coloide.

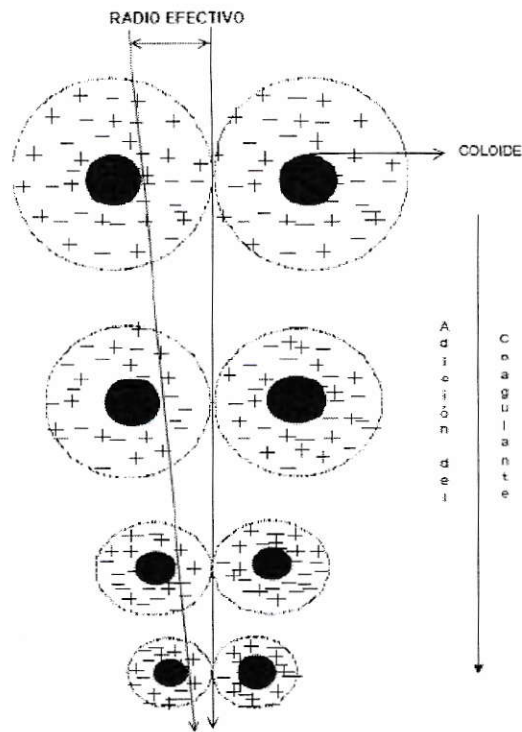


Figura 4. Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa (Andia, 2000)

A pesar que en ambos sistemas de tratamiento de RILes, DAF y GEM, generan las operaciones que provocan la separación de las partículas en suspensión del agua, se observa en las Tablas 10 y 11, donde se realiza en análisis de comparación del parámetro de DQO, que la planta incorporada en Curacavi, presenta una mayor reducción, que aproximado corresponde al 25 % más que en Quilicura.

Esta mayor eficiencia en la planta de Curacavi, se debe al tipo de tecnología que utiliza en los cabezales LSGM. En este sector, el RIL es sometido a una inyección de aire, a gran presión, proveniente de la cima del cabezal LSGM, que conlleva a la formación de un ciclón de aire, que tiene como finalidad que los floculantes obtenga una mayor eficiencia al momento de la interacción con el agua servida.

Esta mayor eficiencia en la interacción entre RIL-Floculantes, se debe a que floculante al ser un polímero, es decir, macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas, sus uniones se realizan por medio de enlaces peptídicos, lo que genera que adopte una conformación tridimensional. En la Figura 5 se muestra una referencia de una estructura tridimensional del polímero en el RIL, donde se representan en la forma de ovillo, y las partículas en suspensión son representadas por medio de las esferas amarillas.

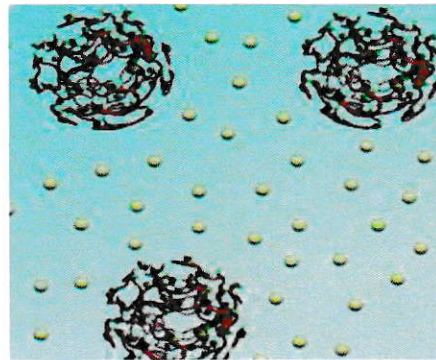


Figura 5 Estructura tridimensional del polímero en el RIL

El equipo GEM al generar el contacto de los polímeros con el ciclón, la forma tridimensional se pierde, adoptando una estructura extendida, lo que ayuda que los sitios cargados del floculante se encuentre más expuesto, aumentando la posibilidad de contacto entre el químico y las partículas contaminantes del agua tratada.

En la Figura 6 se da una representación del cambio de estructura que sufre el químico y la interacción que se obtiene con el RIL.

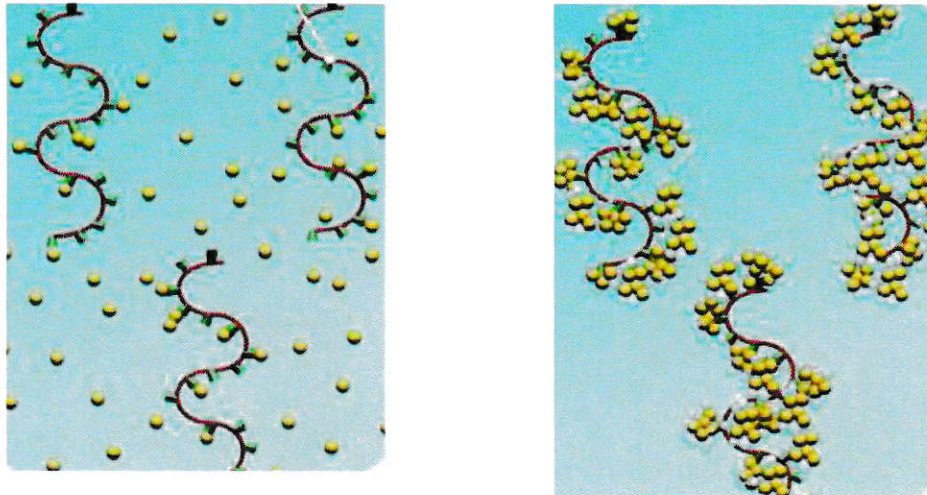


Figura 6 Estructura extendida del floculante y la interacción que sufre con los contaminantes presentes en el RIL

Es por lo anterior que el sistema DAF al no poseer esta tecnología que aumenta la posibilidad de interacción, entre el floculantes y el RIL, la eficiencia no logra ser tan óptima como el GEM.

Por otro lado, el parámetro de DBO5 en los análisis de caracterización de RIL de la empresa de Curacaví (tabla 6), presento niveles muy altos respecto a lo permitido (1788,4 mg/L de DBO5), esto nos indica que el efluente posee una composición muy elevada de materia orgánica.

La materia orgánica biodegradable, en general se constituye principalmente de proteínas, que son esencialmente aminoácidos (compuesto por un grupo amino $-NH_2$); carbohidratos, como azúcares y almidones; y lípidos que incluyen grasas y aceites. Todos estos materiales contienen en su estructura carbono, el cual es convertido biológicamente a dióxido de carbono, ejerciendo de este modo una demanda de oxígeno.

Al realizar un estudio comparativo del parámetro de DBO₅ y el origen del RIL, se puede establecer que el mayor constituyente de la materia orgánica corresponde principalmente a carbohidratos. Esto se debe a que al provenir de la actividad de lavado de moldes, que se utilizan para la elaboraciones de los productos, los residuos que se encuentran en una proporción más elevada son restos de azúcares, harina, aceites, grasas y restos de materia que se puede encontrar en suspensión en el efluente.

En la tabla 12, donde se presentan los análisis de DBO₅ y SST después de la instalación del GEM, se observa que ocurre una buena eficiencia en la reducción de los parámetros, en promedio del 68,8% y el 73% respectivamente (Tabla 13), sin embargo no se logra satisfacer en cabalidad las necesidades de la empresa, debido que el rango de DBO₅, no logra cumplir con el límite máximo permitido por el D.S 609/98.

Este hecho es porque el RIL aparte de contener una gran cantidad de sólidos en suspensión y materia orgánica, no logra abatir en su totalidad, o gran parte, la presencia de azúcares.

Los azúcares, al ser material orgánico, específicamente carbohidratos, de estructura, C₁₂H₂₂O₁₁, escapa del proceso de coagulación-floculación debido que logra una alta solubilidad en agua por la formación de los puentes de hidrogeno que logra establecer con el efluente.

Se comparan los análisis de la tabla 13, donde se presenta los porcentaje de reducción de ambas plantas, se observa que la empresa de Quilicura (tomando en cuenta todos los procesos involucrados que posee en la PTR) logra reducir los parámetros en más de un 85% de DBO₅ y SST, por ende nos lleva a confirmar que las técnicas implementadas en esta fábrica son las mínimas necesarias para el tratamiento completo

de un RIL proveniente de una industria alimentaria, con un alto nivel de material orgánico biodegradable, para cumplir con la norma de emisión establecida.

Esta mayor efectividad en Quilicura, se debe, porque los compuestos orgánicos que no logran ser tratados en cabalidad por la etapa físico-química, como por ejemplo los azúcares, logran ser removidas por el metabolismo bacteriano del tratamiento biológico de la PTR.

Esta carga orgánica que no logra ser suprimida en su totalidad por el tratamiento físico-químico, es asimilada por los microorganismos (lodos activados) los que la utilizan como alimento, obteniendo la energía necesaria para mantener su metabolismo, transformando la contaminación del agua en compuestos más estables como el dióxido de carbono y agua.

V. RECOMENDACIONES

Para mejorar el rendimiento de un sistema físico-químico, se tiene que tener en cuenta el tipo de RIL que genera la industria y los químicos que se utilizan. Por lo general, el efluente proveniente de los establecimientos de alimentos suele ser muy variado en su análisis, puesto que sus parámetros se modifican diariamente.

Los químicos son las variables que más se puede modificar al momento de un mejor proceso de las aguas. Las sustancias que se utilizan en la PTR de Curacavi son: cal, coagulante y floculante.

En la etapa de ecualización-neutralización, donde se utiliza cal como químico, tiene la función de minimizar las fluctuaciones del pH que presenta el RIL. Este reactivo a pesar de ser el más usado en las empresas, presenta varias desventajas que no favorecen la eficiencia de la PTR, entre ellas están lo poco soluble en el agua, lo que genera una gran cantidad de precipitado, y su velocidad de reacción es muy lenta (Cortes & Montalvo, 2010). Para optimizar este proceso, se puede utilizar hidróxido de sodio, puesto que genera puentes de hidrogeno, lo favorece a la solubilidad del reactivo favoreciendo la velocidad de reacción y la no precipitación de éste.

Por otro lado, los coagulantes realizan el mayor trabajo en lo que respecta a la captación de los contaminantes, puesto que tiene la ventaja de actuar como coagulante-floculante al mismo tiempo. El sistema GEM utiliza Sulfato de alúmina, este es conocido como alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8, generando flóculos pequeño y esponjoso.

Como el RIL de Curacavi genera muchas variaciones en sus niveles de pH, y la etapa de neutralización no logra estabilizar el parámetro al intervalo de optimización del coagulante (pH 6 a 8), se produce una baja en la eficiencia del sistema. Para compensar esto, una de las medidas que se podrían optar es el cambio del coagulante por uno que sea de un espectro más amplio de pH.

Un ejemplo del compuesto que cumpliría esta condición, es el Sulfato de hierro (III), éste funciona de forma estable en intervalos de pH de 4 a 11, siendo uno de los más amplios conocidos. Produce flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, por lo que está indicado tanto en la precipitación previa como en la coprecipitación de aguas residuales urbanas o industriales.

Es importante tener en cuenta que se pueden presentar dificultades en alguno coloides desestabilizados para formar flóculos pesados que sedimenten bien, por ende se ha dado la búsqueda de sustancias que ayudan a la formación de éstos.

Entre las dificultades que se pueden presentar en un proceso de floculación están:

- Formación de flóculos pequeños de lenta sedimentación.
- Formación lenta de flóculos.
- Flóculos frágiles que fragmentan en los procesos de acondicionamiento del lodo.
- Formación de microflóculos que pasan por los filtros.

Para eliminar estas dificultades y lograr flóculos grandes y bien formados de fácil sedimentación se han utilizado sustancias y procedimientos muy variados, denominado Coadyuvantes de la floculación. Los más usados son los siguientes:

- Oxidantes: Como la percloración, que en parte oxida la materia orgánica y rompe enlaces en los coloides naturales, ayudando a una mejor floculación posterior.
- Adsorbentes: Las aguas muy coloreadas y de baja mineralización en que los flóculos de aluminio ó hierro tienen muy poca densidad, coagulan muy bien al añadir arcilla que da lugar a que se adsorba y origine flóculos pesados de fácil sedimentación. Otros adsorbentes son la caliza pulverizada, sílice en polvo y carbón activo.
- Sílice activa: Algunos compuestos inorgánicos pueden ser polimerizados en agua para formar polímeros floculantes inorgánicos. Este es el caso de la sílice activa que presenta una alta efectividad como auxiliar del tratamiento con Alumbre.

Otro tipo de reactivos que puede actuar solo o como coadyuvantes para floculación, son los denominados polielectrolitos que son polímeros orgánicos con carga eléctrica que al contacto con disoluciones acuosas (agua) quedan como polímeros cargados. Inicialmente se utilizaron los de origen natural, como almidón, celulosa, gomas de polisacáridos, etc. Los polielectrolitos pueden clasificarse en:

- Catiónicos: Cargados positivamente.
- Aniónicos: Cargados negativamente.
- No iónicos: No son polielectrolitos en sentido estricto aunque exhiben en disolución muchas de las propiedades floculantes de los anteriores.

Los polielectrolitos catiónicos son poliaminas que se hidrolizan en agua como sigue:



Puesto que la hidrólisis da OH^- , a pH alto se fuerza la reacción a la izquierda y el polímero se vuelve no iónico.

De forma semejante, los polímeros aniónicos incorporan a su estructura un grupo carboxilo que en agua se ioniza del siguiente modo:



Un pH bajo fuerza la reacción a la izquierda y transforma el polímero aniónico en no iónico. Según esto, generalmente se usan los polímeros catiónicos a bajos pHs y los aniónicos a altos pHs. Esto no significa que en caso contrario dejen de funcionar, lo que ocurre es que se transforman en no iónicos, lo que hará variar en cierto modo su efectividad en el tratamiento concreto a que se aplican.

VI. CONCLUSIONES

A partir de lo establecido en los estudios generados en el presente seminario se logró concluir lo siguiente:

- De los análisis realizados por los laboratorios se logró determinar que la mayor composición del RIL de la fábrica de masas dulces, correspondían a restos de azúcares, aceites, grasas, harina, y restos de material que se presenta en suspensión y de forma coloidal.
- El porcentaje de eficiencia del sistema DAF en la reducción del parámetro DQO es en promedio de 49,48%.
- El porcentaje de eficiencia del sistema GEM en la reducción del parámetro DQO es en promedio del 72%.
- Con los análisis diario de la Demanda Química de Oxígeno, en los sistemas físicos-químicos de ambas empresa, se pudo determinar que el porcentaje de eficiencia del equipo GEM sobre el DAF es alrededor del 25%.
- El sistema GEM a pesar de ser más eficiente que un DAF, no logra ser suficiente, para controlar el excedente de carga orgánica (DBO₅) que presenta el RIL y de este modo cumplir con el D.S 609/98. Esto se debe porque el mecanismo físico-químico, solo logra controlar la materia orgánica que se encuentra en suspensión y de forma coloidal.

- El excedente de concentración de DBO₅ que se presenta en el RIL luego de ser procesado por el GEM, indica la presencia de material orgánico biodegradable de tipo soluble en agua, como los azúcares. Estos compuestos logran esta condición gracias a los puentes de hidrógeno que establecen con las moléculas de agua.
- La optimización del procesamiento del RIL en la fábrica de Curacaví, se lograría complementando el tratamiento físico-químico, con el procedimiento biológico, debido al metabolismo bacteriano, donde la fuente de energía utilizada por los organismos proviene del material orgánico biodegradable.
- Otra forma de realizar la optimización de un proceso físico-químico es un estudio de comportamiento de los químicos empleados ante el RIL. Donde las variables de estudio son el reactivo de neutralización de pH, el coagulante y floculante.
- El proceso de coagulación y floculación se puede mejorar con la ayuda de los Coadyuvantes de la floculación, los cuales favorecerían la formación de flóculos en el RIL.

VII. REFERENCIAS

Andia Yolandia Tratamiento de Aguas: Coagulación y Floculación. - Lima : [s.n.], 2000. - pág. 10.

CICLOS Residuos industriales ¿Cuales son?. - 2005. - pág. 1.

Colic Miroslav From air sparged hydrocyclone to gas energy mixing (GEM) flotation. - California : Clean water technology, 2011. - págs. 11-14.

Conama Comisión Nacional del Medio Ambiente. - Santiago, Chile : [s.n.], 1998.

Cortes Nodarse Isel; Montalvo Martinez Silvio Aguas: Calidad y contaminación. Un enfoque químico-ambiental. - Santiago : [s.n.], 2010. - Vol. 1 : págs. 219-231.

Metcalf Leonard y Eddy Harrison Tratamiento y depuración de las aguas residuales. - [s.l.] : Labor S.A, 1977. - Vol. 2 : pág. 33.

Ministerio de Obras Públicas Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a Sistemas de alcantarillado. - Chile : [s.n.], 1998.

SiSS Superintendencia de Servicios Sanitarios. - Santiago : [s.n.], 1998.

Zaror Claudio Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos. - [s.l.] : Universidad de Concepción, 1993. - pág. 147.