

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Ingeniería en Alimentos

Estudio de los residuos industriales líquidos y evaluación de las alternativas de mejoras para la Industria Cervecera Valdivia

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Ingeniería en Alimentos.

Profesor Patrocinante: Sra. Marcia Costa Lobo – Ingeniero Civil Bioquímico –
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

Franklin Mauricio Castro Aravena

Valdivia Chile 2003

Contenido

Profesor Co-patrocinante .	1
Profesor Informante . .	3
RESUMEN .	5
SUMMARY .	6
1. INTRODUCCION .	7
2. REVISION BIBLIOGRAFICA . .	9
2.1. Antecedentes generales .	9
2.2. Caracterización de las aguas residuales . .	12
2.2.1. Caracterización física .	13
2.2.2. Caracterización química .	14
2.3. Normativa ambiental .	15
2.4. Normativa sobre la descarga de residuos industriales líquidos . .	15
2.5. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales .	16
2.5.1. Tratamiento primario . .	17
2.5.2. Tratamiento secundario .	17
2.5.3. Tratamiento terciario . .	18
2.6. Antecedentes del proceso productivo . .	18
2.7. La cerveza . .	19
2.7.1. Obtención de la malta .	19
2.7.2. Elaboración .	19
2.7.3. Origen de las aguas residuales de la fabricación de cerveza . .	21
3. MATERIAL Y METODO . .	23
3.1. Muestras y análisis .	23
3.2. Equipos e instrumentos .	24
3.3. Otros materiales . .	25
4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS . .	27

4.1. Descripción del proceso productivo . . .	27
4.1.1. Tipo de cervezas elaboradas por la industria . . .	27
4.1.2. Equipos . . .	28
4.1.3. Proceso . . .	29
4.2. Identificación de los vertidos y las corrientes . . .	32
4.2.1. Estimación de los caudales de las corrientes . . .	34
4.2.2. Datos de producción . . .	34
4.2.3. Balance de agua . . .	35
4.2.4. Bases de cálculo para el balance de agua . . .	35
4.2.5. Caudales de las corrientes . . .	37
4.3. Caracterización de los vertidos . . .	42
4.3.1. Resultados de los análisis efectuados en la Sección 1 . . .	42
4.3.2. Resultados de los análisis efectuados en la sección 2 . . .	44
4.3.3. Resultados de los análisis efectuados en la Sección 3 . . .	45
4.3.5. Resultados de los análisis efectuados al efluente que abandona la planta . . .	46
4.4. Jerarquización de residuos . . .	50
4.5. Evaluación de los vertidos . . .	50
4.5.1. Vertidos generados en la elaboración de cerveza . . .	50
4.5.2. Vertido final que abandona la planta . . .	51
4.5.3. Determinación del índice de biodegradabilidad (IBDR) del efluente que abandona la planta . . .	52
4.5.4. Alternativa de tratamiento . . .	53
4.6. Recomendaciones y oportunidades de producción limpia . . .	55
4.6.1. Sección 1: "Sala de Cocimiento" . . .	55
4.6.2. Sección 2: "Sala de Fermentación, maduración y reposo" . . .	57
4.6.3. Sección 3: "Sala de envasado" . . .	58
5. CONCLUSIONES . . .	61
BIBLIOGRAFIA . . .	63
ANEXOS . . .	65

ANEXO 1. Diagramas simplificados de tratamientos biológicos . .	65
ANEXO 2. DISTRIBUCION DE LAS SECCIONES DE LA PLANTA Y PUNTOS DE MUESTREO .	66
ANEXO 3. DIAGRAMA GLOBAL DE EFLUENTES Y PUNTO DE MUESTREO .	67

Profesor Co-patrocinante

Sr. Carlos Arenas Soto – Químico Analista – Gerente Operaciones – Cervecería Valdivia.

Profesor Informante

Sr. Erwin Carrasco Ruis – Ingeniero Civil Químico – Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar físico-químicamente los residuos industriales líquidos de la industria Cervecería Valdivia se realizaron mediciones durante un mes normal de producción.

Estas mediciones consideraron variables tales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos totales (ST), Temperatura ($T^{\circ}C$), pH, entre otros.

Los resultados de este estudio mostraron que el consumo de agua en un mes normal de producción es de $3934 m^3$, produciendo un Consumo Promedio Diario de $127 m^3$, de los cuales la sección 4, el "Área de servicios", es la que mayor consumo de agua se produce ($3000 m^3$) representando un 76,26% del total del agua que ingresa a la industria.

En general los riles producidos mostraron concentraciones superiores a la Norma Chilena sobre la Descarga de Riles a Cuerpos Hídricos. (NCh .2313/Of.95). En particular la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) para el efluente que abandona la planta, que fue 16 veces mayor, mientras que variables tales como temperatura y sólidos sedimentables permanecieron dentro de los límites exigidos por la norma.

El índice de eficiencia arrojó un consumo relativamente alto debido al sistema de enfriamiento de la planta, aunque este factor se ve altamente disminuido sin considerar este último.

Por otro lado, el sistema de tratamiento ensayado con el producto comercial destinado a la reducción de la DBO_5 , redujo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

en 91,3%, aumentó el pH, (neutralización), mostró una disminución considerable de la intensidad del color y del olor. Sin embargo, la dependencia de material bacteriano, el costo del tratamiento y el tiempo de residencia complican la implementación y manejo de este tipo de sistemas.

SUMMARY

With the objective to characterize physical-chemical the liquid industrial remainders of the industry Valdivia Brewery were made measurements during a normal month of production. These measurements considered variables such as the Biochemical Demand of Oxygen (DBO_5), Chemical Demand of Oxygen (DQO), total Solids (ST), Temperature (T °C), pH, among others.

The results of this study showed that the water consumption in a normal month of production is of $3934 m^3$, producing Consumed Daily Average of $127 m^3$, of which the section 4, the "Area of services", is the one that greater water consumption takes place ($3000 m^3$) representing a 76.26% of the total of the water that enters wing trains. In general the produced wastewater showed concentrations superior to the Chilean Norm on the Unloading of Wastewater to Hydric Bodies (NCh 2313/Of.95), in individual the Biochemical Demand of Oxygen (DBO_5) for the effluent that leaves the plant, that was 16 times greater, whereas variable such as sedimentables, temperature and solids remained within you limit them demanded by the norm.

The efficiency index throw high a relatively consumption due to the system of cooling of the plant, although this factor is seen highly diminished without considering this I complete.

On the other hand, the system of treatment tried with the commercial product destined to the reduction of the DBO_5 , reduced the concentration of biochemical demand of oxygenate (DBO_5) in 91,3%, increase pH, (neutralization), it showed a significant diminution of the intensity of the colour and the scent. Nevertheless, the dependency of the bacterial material, the cost of the treatment and the time of residence make difficult the implementation and handling of this type of systems.

1. INTRODUCCION

Todo proceso productivo que resulta en la transformación de materias primas, requiere el uso de algún tipo de recurso natural y genera algún tipo de impacto en el ambiente. La generación diaria de estos residuos, representa un gran problema para el desarrollo futuro de la civilización y la sociedad.

Actualmente uno de los problemas que más preocupa a la humanidad es la gran cantidad de contaminantes que se desechan en el agua y al medio ambiente en general. Esto se torna crítico en la industria del procesamiento de alimentos, que se desarrolla a diferentes escalas y donde se usan una amplia gama de materias primas y tecnologías, y donde se generan una gran cantidad de desechos líquidos y sólidos, los que varían según el uso de tecnologías, manejo interno de desechos, escala de producción, tipos de ingredientes, etc.

La industria como primer y principal consumidor de materias primas, es la que debe adoptar más rápidamente metodologías que minimicen la generación de residuos, puesto que ello se traducirá no solamente en un menor impacto ambiental, sino que también en un menor consumo de recursos materiales.

Los objetivos económicos y medioambientales parecen con frecuencia difíciles de conciliar, con la particularidad que generalmente se concede prioridad a los aspectos económicos. Lamentablemente, la protección del medio ambiente se trata como un beneficio adicional, que debe tenerse en cuenta sólo si no impone graves restricciones económicas.

La industria elaboradora de cerveza, es uno de los procesos industriales que utiliza grandes cantidades de agua, no por ello libre de la nueva tendencia medioambiental que está siendo implantada por el gobierno y la opinión pública. La nueva legislación promueve que las empresas tengan que adaptarse y usar herramientas para la auto-evaluación ambiental evitando posibles sanciones y a su vez, optimizar su rendimiento. La herramienta más utilizada es la auditoria o evaluación ambiental, que detecta errores y propone la solución de éstos.

En este contexto, la empresa “Cervecera Valdivia”, una industria de reciente creación (10 años), consciente de la importancia de aplicar una estrategia integrada de prevención ambiental en los procesos con el objeto de reducir riesgos para el medio ambiente y a la vez incrementar la competitividad de la misma, dio las facilidades para realizar estudios al respecto, uno de los cuales será abordado en el presente trabajo de tesis.

La hipótesis de la presente investigación es:

A través del estudio de los residuos industriales líquidos generados en la planta cervecera valdivia, será posible determinar el nivel de contaminación producido por la industria con el fin de generar estrategias de reducción.

Basándose en la hipótesis y los antecedentes citados el objetivo general fue:

- Realizar un estudio de los Residuos Industriales Líquidos (RILES) al interior de la Industria Cervecera Valdivia, para luego evaluar alternativas de mejoras al proceso productivo.

Y los objetivos específicos fueron:

- Cuantificar y caracterizar los vertidos líquidos generados en el proceso productivo.
- Generar y evaluar alternativas y/o recomendaciones para la minimización de los residuos.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Antecedentes generales

Un residuo sólido, líquido o gaseoso, puede ser definido como cualquier sustancia, objeto o materia, generado durante el proceso productivo o de consumo, que puede representar algún valor económico para terceros, como material reciclable y/o reutilizable, los residuos pueden clasificarse según su origen como domiciliarios, industriales, hospitalarios, provenientes de actividades de la construcción, etc. El residuo de origen industrial, es un residuo proveniente de un proceso de producción, transformación, fabricación, utilización, consumo o limpieza (CHILE, MINISTERIO DE SALUD, 2000).

Los residuos industriales pueden clasificarse según su composición física, densidad y humedad, composición química, valor calorífico, así como su peligrosidad, en función de su eventual impacto al medio ambiente y a la salud de las personas (CHILE, COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, 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 la gestión ambiental es más útil clasificarlos de acuerdo a su peligrosidad:

- Residuo no peligroso: es aquel tipo de residuo que no presenta peligrosidad efectiva ni potencial para la salud humana, el medio ambiente o para el patrimonio publico.
- Residuo peligroso: se define como un residuo (sólido, líquido o gaseoso) peligroso cuando se presenta un riesgo sustancial para la vida humana o el medio ambiente.

Para efectos de identificación se entiende como residuo peligroso aquel que exhibe una o más de las siguientes características de peligrosidad: Toxicidad, inflamabilidad, reactividad y corrosividad.

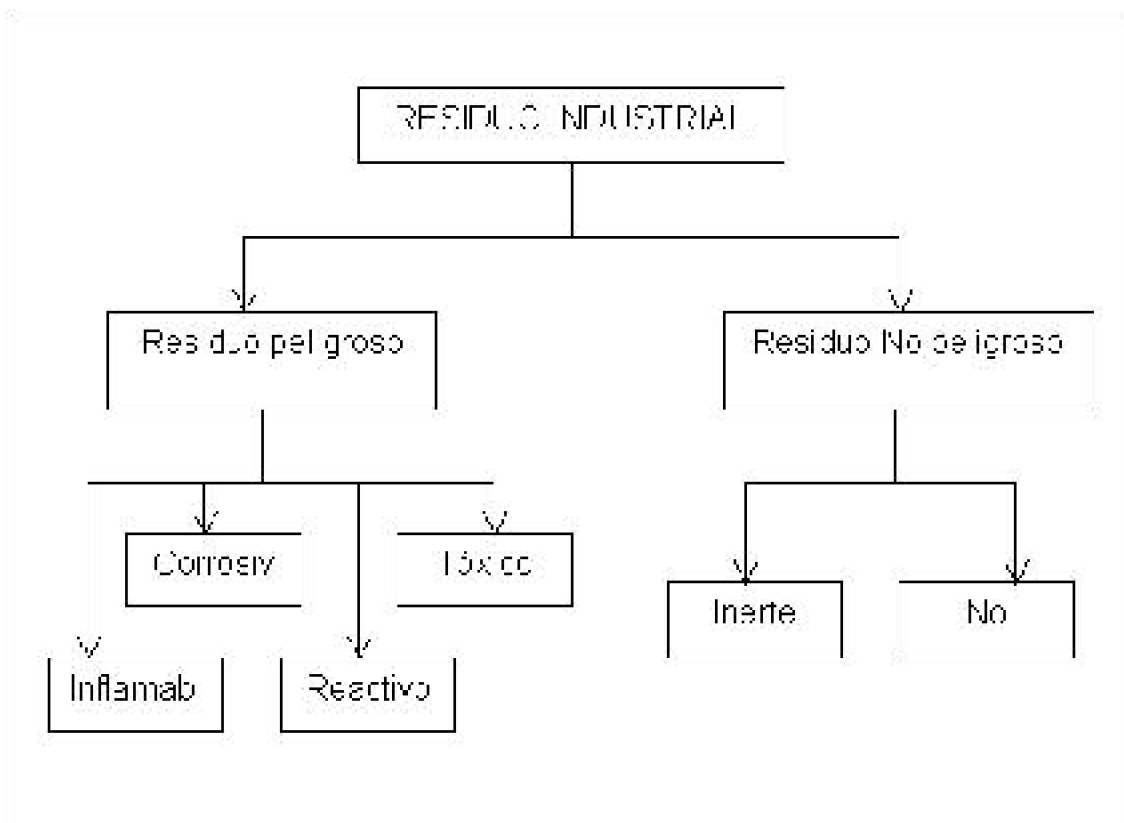


FIGURA 1. Clasificación de los residuos industriales.

FUENTE: COMISION NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE, CONAMA (1998)

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 Gaseosos.

Se entiende como residuo industrial a todos los líquidos y sólidos, que se originan de la actividad humana e industrial, cuyo principal componente es el agua y que generalmente son vertidos a cursos de agua, masas de aguas continentales y/o marinas. Su origen puede ser muy diverso, como por ejemplo, mecánico, físico, inorgánico y mineral, orgánico, urbano y colectivo (METCALF y EDDY, 1995).

En la industria del procesamiento de alimentos, en general, se generan grandes cantidades de residuos líquidos, sólidos y gaseosos y con ello un problema de contaminación al medio ambiente.

ZAROR (1993), plantea que el mayor problema ambiental lo generan los residuos líquidos o aguas residuales, derivado del procesamiento de alimentos. Los desechos líquidos producidos durante las operaciones en 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.

CUADRO 1. Origen de las aguas residuales de algunas industrias procesadoras de alimentos.

Tipo de industria	Características del RIL	Fuente
Carne/Aves	RIL con un alto contenido de lípidos emulsificados y proteínas	SEOANES (1998)
Láctea	RIL esencialmente con lípidos no emulsificados, lactosa y caseína	ZAROR (1993)
Vegetales/Frutas	Los Riles son ricos en azúcares y almidones; Los residuos sólidos consisten en cáscaras, cuescos y material carnosos (principalmente carbohidratos y celulosas)	ZAROR (1993)
Cervecera	Los riles de la elaboración de cerveza son fuente de un alto contenido de sólidos (granos de cebada en suspensión y de sólidos sedimentables provenientes de la tierra filtrante ocupada en la filtración), además son ricas en proteínas y azúcares altamente fermentables	PERU, MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACION Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES, MITINCI (2001)

Los desechos de la industria alimenticia pueden constituir fuente de malos olores y los sólidos residuales que son altamente susceptibles a la putrefacción y que por lo general son focos de enfermedades.

Algunas operaciones generan grandes volúmenes de aguas de desecho con bajo contenido orgánico biodegradable, por ejemplo las aguas del lavado de frutos y vegetales. Otras en cambio, generan efluentes con alta carga orgánica, tales como los efluentes de escaldado o cocción.

Los residuos sólidos de origen industrial (RISes) pueden generarse a partir de diferentes fuentes. Los residuos sólidos generados en la industria procesadora de alimentos, se pueden agrupar en el siguiente cuadro:

CUADRO 2. Actividades industriales generadoras de residuos sólidos.

Actividad	Residuo sólido.
Explotaciones ganaderas	Estiércol, deyecciones, tierra.
Cárnicas	Deyecciones, cadáveres.
Explotaciones Agrícolas	Excedentes agrícolas, plaguicidas, abonos minerales y orgánicos, plásticos.
Conservas	Embalajes, restos vegetales o animales, grasas, recortes metálicos.
Vínico-alcoholeras	Orujos, granos, melazas, pulpas y vegetales.
Azucareras	Lodos.

FUENTE: SEOANES (1998)

En ciertas operaciones existe un alto consumo de agua, con el consiguiente aumento de los desechos líquidos, como también se puede dar que existan líneas con residuos altamente concentrados, de relativamente bajo volumen; mientras que otras son de baja concentración de carga orgánica, pero de gran volumen (ZAROR, 1993).

El agua, es una materia prima fundamental; las industrias generalmente la obtienen de redes públicas o fuentes de abastecimiento y otras, por ejemplo de fuentes naturales, tales como napas subterráneas o pozos y su utilización y consumo está altamente influenciado por el tipo de industria, tecnología en los procesos, sistema de trabajo etc., y por ende, la generación de residuos tanto líquidos (RIL), como los sólidos (RIS), será muy variada, por lo que se hace altamente complejo su estudio, siendo recomendable estudiar tanto la fuente de agua como los residuos generados por el proceso (METCALF y EDDY, 1995).

En este contexto, para obtener y mantener los servicios y/o productos, con las características deseadas tanto de la calidad, como del impacto que pueden producir al medio ambiente, son necesarios los "Programas de Auto-evaluación", que son herramientas de análisis que sirven para evaluar e identificar las fortalezas y debilidades de la empresa, la calidad del servicio y/o producto, como también evaluar el impacto que se produce al medio ambiente por la fabricación o elaboración de un producto, y/o en la entrega de un servicio determinado.

Estas herramientas permiten formular opciones de mejoramiento, muchas de las cuales corresponden a soluciones de producción limpia. Un programa de auto-evaluación, bien concebido, puede proteger los activos de la planta contra los costos de las interrupciones imprevistas del proceso productivo, también puede permitir mejorar o reemplazar aquellas etapas críticas del proceso productivo que afectan la eficiencia operacional, prevenir pérdidas de materiales y energía, mejorar la capacidad de monitoreo y control de procesos y prevenir las multas producidas por el mal manejo de los residuos de la planta (KOSS,1997).

2.2. Caracterización de las aguas residuales

Resulta esencial, como primera medida de control ambiental en la industria de procesos, 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 tipo 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 CUADRO 3 se muestra los principales contaminantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales.

CUADRO 3. Principales contaminantes presentes en las aguas residuales y su importancia.

Contaminante	Razón de importancia
Materia Orgánica Biodegradable	Compuesta 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 de los recursos naturales.
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fangos y de 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 fósforo, 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 (ej. algas)
Sólidos Inorgánicos	Componentes 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

FUENTE: METCALF y EDDY (1995)

Dentro de la caracterización de las aguas residuales se pueden mencionar dos tipos de caracterización:

2.2.1. 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. Otras características físicas importantes son el olor, color, temperatura, densidad, pH y la turbiedad (METCALF y EDDY, 1995).

2.2.2. Caracterización química

Las características químicas de las aguas residuales se contemplan en las siguientes etapas:

2.2.2.1. Materia orgánica y medición de materia orgánica

La materia orgánica está compuesta por sólidos de origen animal y vegetal. Estos compuestos orgánicos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno, azufre y fósforo; entre estos se encuentran las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites. Para la medición del contenido de materia orgánica los métodos más usados son:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), este parámetro es aplicable tanto a aguas residuales como a aguas naturales. El ensayo dura 5 días a una temperatura de 20 °C, y tiene relación con la cantidad de oxígeno expresado en mg/L o ppm, que las bacterias (presentes o agregadas) son capaces de tomar del agua para la oxidación de la materia orgánica disuelta. (SIERRA, 1989).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): este parámetro se utiliza para medir el contenido de la materia orgánica oxidable total. Corresponde a la materia altamente oxidable (MILENKO, 1999). En el caso de la industria elaboradora de cerveza son principalmente azúcares y proteínas que se descomponen rápidamente produciendo olores significativos (CORTEZ, 2001).

2.2.2.2. Materia inorgánica y medición de la materia inorgánica

Debido a que el contenido de materia inorgánica es muy variada tanto en las aguas naturales como industriales, se deben determinar cuáles son de importancia al momento de determinar la calidad del agua.

En el CUADRO 4 se muestran las aguas de desecho (RILes) de algunas industrias procesadoras de alimentos y su grado de contaminación.

CUADRO 4. Las aguas de desecho en la industria alimenticia.

Industria	Flujo (m ³ /Ton Prod)	DBO ₅ (kg/Ton)	S.S. (kg/Ton Prod)
Lácteos	1-20	0,3-57	0,1-12
Azúcar	3-50	0,6-20	0,1-94
Carnes/ Aves	5-18	5-12	2-9
Conserva	1-35	1-37	0,1-46
Prod. Marinos	1-175	2-210	0,7-370
Cervecerías	6-20	9-25	3-10

FUENTE: ZAROR (1993)

2.3. Normativa ambiental

En Chile existe una creciente explotación de los recursos y un fuerte desarrollo de industrias procesadoras que generan residuos tanto sólidos como líquidos.

Como consecuencia de ello, se han desarrollado conceptos de control ambiental preventivo a través de medidas tecnológicas y de gestión, para maximizar la eficiencia de la utilización de los recursos y evitar la generación residuos, reducir los riesgos operacionales y otros posibles aspectos ambientales adversos, a través de toda la cadena de producción.

En este contexto, como primera medida se dictó el 9 de marzo de 1994 la Ley 19.300, Ley de Bases del Medio Ambiente, como una ley marco de la nueva política ambiental que obliga a las empresas a incorporar, en forma efectiva la dimensión ambiental en el proceso de toma de decisiones.

La creación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) como un servicio descentralizado que la ley le otorga la obligación básica de la "coordinación de los servicios públicos con competencias ambientales" y también de instrumentos de gestión ambiental, como los Sistemas de Evaluación de Impacto Ambiental (S.E.I.A.), que son instrumentos necesarios para mejorar el desempeño ambiental y competitividad del sector productivo, particularmente en el caso de la pequeña y mediana empresa (Induambiente, 2001).

2.4. Normativa sobre la descarga de residuos industriales líquidos

Una de las primeras leyes "ambientales" chilenas, fue aquella promulgada en 1916, que prohibía el vertido de aguas industriales sin tratamiento a cursos de agua (Induambiente, 2001).

Debido a la preocupación de los gobiernos en materia ambiental, y en especial el

gobierno chileno, a través de la superintendencia de Servicios Sanitarios, elaboró en 1997 el Reglamento 1172, que modifica el decreto N° 351, una precisión de sobre la dictada ley de 1916, que especifica los procesos industriales que requieren tratamiento (los procesos industriales están agrupados en los códigos CIUU, Clasificación Industrial Internacional Uniforme)

Asimismo, el cómo se debe llevar a cabo el tratamiento, está especificado en las normas de descarga de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillados y cursos de aguas superficiales, elaboradas por la CONAMA, bajo el alero de la Ley General de Bases del Medio Ambiente, Ley 19.300.

Estas normas establecen límites máximos para cada elemento considerado como contaminante, tanto para la vida humana como para las especies acuáticas.

En el siguiente CUADRO 5 se muestran algunos de los límites máximos permitidos por la norma chilena y los parámetros a controlar en la industria cervecera (*) según el código CIUU.

CUADRO 5. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a redes de alcantarillado que no cuenten con plantas de tratamiento de aguas servidas.

Parámetro	Unidad	Expresión	Límite máximo permitido
Aceite y Grasas*	mg/L	A y G	150
Arsénico	mg/L	Ar	1
Aluminio	mg/L	Al	10
Coliformes fecales	NMP/100mL	-	1000
DBO ₅ *	mgO ₂ /L	DBO ₅	300
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Fósforo Total	mg/L	P	15
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁺	80
pH *	Unidad	PH	5.0-9.0
Sólidos sedimentables *	ml/L 1 h	S.D.	20
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	1000
Temperatura *	°C	T°	35
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S	300

FUENTE: CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (1999)

2.5. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los métodos que se emplean para tratar los efluentes dependen, en gran medida, del fin a que se destina el efluente; por ejemplo para usos domésticos es deseable eliminar las

impurezas, ya sea disuelta o suspendida, eliminar las bacterias que puedan ser perjudiciales para la salud y el bienestar del consumidor. Por otro lado, los requerimientos de calidad para las aguas industriales son diversos según su empleo, ya sea para su reutilización en la industria (lavado de pisos, riego, agua para las calderas, etc.) o para controlar el impacto que producen a la fuente receptora y al medio ambiente en general.

ZAROR (1993) destaca que dentro de los métodos de tratamiento de aguas residuales, existen tres tipos de tratamientos:

2.5.1. Tratamiento primario

Es la primera etapa de un sistema de tratamiento de residuos industriales líquidos, y consiste normalmente en la eliminación de sólidos y material no disuelto. Dentro de este sistema de tratamiento se encuentran las siguientes operaciones:

- Cribaje (tamices).
- Sedimentación primaria (clarificación).
- Flotación.
- Filtración primaria
- Ecuilización.

2.5.2. Tratamiento secundario

Conocido también como tratamiento biológico, el cual tiene por objetivo reducir la demanda biológica de oxígeno usando procesos biológicos, es decir utilizando la acción degradativa de microorganismos o plantas, antes de eliminar o descargar los efluentes al receptor final. Las operaciones pueden ser clasificadas según las condiciones ambientales de operaciones en:

- Procesos aeróbicos: constituyen el mecanismo clásico de tratamiento para residuos líquidos con alta carga orgánica logrando reducciones de hasta el 95% de la DBO_5 y SST (LEVIN, 1997).

La implementación de los procesos aerobios requiere considerar la necesidad de un diseño que garantice el correcto recorrido de aireación del residuo líquido con los cálculos para el adecuado tiempo de residencia y las facilidades de espacio físico para la construcción de cámaras de ecualización, cribas mecánicas, estanques de oxidación y sedimentación además de todo el equipo mecánico con el correspondiente suministro de energía y la instalación de paletas aireadoras en los fondos (LAGREGA, 1996). Ello también implica prever la necesidad de recursos humanos para operar el sistema, así como, facilidades de operación que son inherentes al sistema

Este mecanismo permite una drástica reducción de la DBO_5 en cortos períodos de tiempo, pero necesita mucha energía y producen muchos fangos¹. El proceso de implementación incluye el desarrollo de obras eléctricas, obras civiles, obras estructurales

y procesos de instrumentación y control para la planta de tratamiento. De igual forma, cada planta industrial deberá evaluar sus posibilidades de la posterior utilización del agua tratada que se obtiene como producto final, así como de las opciones de disposición final de los lodos utilizados y el destino del material sólido recuperado en el proceso.

- Procesos anaeróbicos. Estos sistemas requieren generalmente la construcción de camas de lodo granular que funcionan produciendo gas metano o biogas que puede recuperarse, y menores cantidades de lodo, estando diseñado para soportar mayores cargas de DBO_5 que las utilizadas para los lodos aeróbicos. Sin embargo, este tipo de tratamiento produce variaciones en el pH del residuo.

El proceso de tratamiento con lodos anaerobios permite tratar mayores cargas de DBO_5 en tiempos similares y la eficiencia depende del diseño aplicado (LAGREGA, 1996). Sin embargo, debe tenerse en cuenta las necesidades de espacio físico, facilidades de construcción y equipo auxiliar, equipo de monitoreo y neutralización de pH, así como las facilidades de ingeniería que sean necesarias para poner en operación una planta de tratamiento de esta naturaleza. Los costos asociados suelen ser muy similares a los requeridos en el proceso de lodos activados aeróbicos (PERU, MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACION Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES, MITINCI, 2001). En el ANEXO 1 se pueden observar diagramas de flujo típicos para procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas.

2.5.3. Tratamiento terciario

Es el tratamiento destinado a la refinación final para producir un efluente de alta calidad, según su utilización. Se destacan las siguientes operaciones:

- Lagunas de refinación.
- Carbón activado.
- Filtración /adsorción.
- Osmosis inversa.
- Intercambio iónico.
- Electrodialisis.

2.6. Antecedentes del proceso productivo

Las bebidas alcohólicas se elaboran a partir de líquidos azucarados sometidos a fermentación alcohólica. Los azúcares son fermentados por las levaduras, que se hallan presentes o se generan a partir de otras materias primas. Las bebidas alcohólicas más

¹ HUBER TECNOLOGY. Informe de asistencia técnica Cervecera Valdivia. 2001

importantes son la cerveza, el vino y el agua ardiente (BELITZ y GROSCH, 1997).

La fabricación de cerveza y de vino era ya muy conocida por muchos pueblos a lo largo del tiempo, antes de nuestra era, constituyendo en ocasiones industrias muy desarrolladas.

Hoy en día, la industria de la cerveza es una industria consolidada a escala mundial, y más aún, en Valdivia que se inició por el año 1851, con la llegada de los colonos alemanes al sur de Chile y que se había perdido con el terremoto del año 1960 y que ha sido reactivada por la industria Cervecera Valdivia desde hace diez años. Esta industria ha ido evolucionando y desarrollándose a través de los años llegando a constituir lo que es hoy, una importante industria tanto en el ámbito local, nacional e internacional.

2.7. La cerveza

La cerveza puede considerarse como una mezcla de alimento y bebida, que fundamentalmente se bebe por placer. Su composición es un complemento valioso por sus vitaminas y otras sustancias. En forma técnica simple, la cerveza es una bebida obtenida por fermentación del mosto cervecero hecho con cereales, mayoritariamente cebada malteada o malta. La fermentación es producida por levaduras cerveceras (CORTEZ, 2001).

El primer paso de la elaboración de la cerveza es obtener la cebada malteada o malta, con las características adecuadas para la elaboración de la cerveza.

2.7.1. Obtención de la malta

La malta se obtiene de la cebada a través de un proceso que se inicia con el remojo de los granos de la cebada en agua fría. A continuación, la cebada se transfiere a compartimentos apropiados donde se desarrolla su germinación en un periodo de 5 a 8 días. La cebada germinada se lleva hacia un horno de secado, el horno se calienta de 50° a 80 °C. El calor interrumpe el proceso de germinación y carameliza parcialmente la malta. La malta preparada se guarda en silos o sacos. Para su uso en la fabricación de la cerveza, la malta se almacena en silos apropiados para su posterior uso (TRINKS, 2000).

2.7.2. Elaboración

La elaboración de la cerveza, en general, se lleva a cabo en las siguientes fases:

- **Molienda: es la trituración de la cebada malteada o malta para preparar la materia prima para la maceración (cáscaras, sémolas y harinas)**
- Maceración: los objetivos de la maceración son:
 - Disolver las sustancias que se han formado durante el malteado

- Disponer de las enzimas para transformar el almidón en azúcares más simples
- Disolver sustancias que sean inmediatamente solubles (10 a 15% del peso total de los ingredientes).

- **Filtración del mosto:** Después de la sacarificación o maceración, el mosto se transfiere a un cuba-filtro (*Lauter tun*) o una cuba de filtrado para la separación de los restos insolubles (orujo). El orujo se puede guardar en silos para su comercialización posterior como alimento para animales.
- **Ebullición del mosto:** El mosto filtrado junto con el lúpulo (en forma de pellets o concentrado) es sometido a ebullición (2-3 horas a 100 °C). El lúpulo es el responsable de proporcionar el aroma y amargor característico de la cerveza. En esta ebullición se extraen los compuestos amargos y aromáticos del lúpulo, también ocurre la inactivación de las enzimas, la coagulación de materias nitrogenadas (trup) y la esterilización del mosto.
- **Separación de proteínas:** El mosto hervido es enviado, a un estanque denominado "*Whirpool*", donde se inyecta tangencialmente a gran velocidad, para ayudar la precipitación/decantación de las proteínas coaguladas.
- **Enfriamiento. Es el descenso de la temperatura (10° a 20 °C) del mosto hervido, a la temperatura requerida por la levadura para iniciar la fermentación.**
- **Fermentación y Maduración:** El mosto enfriado y aireado (con aire filtrado) es enviado a los estanques de fermentación para que la levadura transforme los azúcares del mosto en alcohol y gas carbónico. El proceso de fermentación dura de 6 a 9 días y se divide en dos fases:
 - A. Reproducción de levadura (**aeróbica**), con aumento de la cantidad de levadura de 2 a 6 veces.
 - B. Fermentación (**anaeróbica**). **Con la producción de alcohol y dióxido de carbono.**

La levadura, después de la fermentación, se deposita en el fondo del estanque donde se retira, se almacena o se elimina. Al final de la fase de fermentación, se obtiene la cerveza con su respectivo grado alcohólico.

- **Maduración o Reposo:** Terminada la fermentación de la cerveza, se inicia el proceso de enfriamiento donde se pasa la cerveza a un estanque de maduración para lograr la estabilización y desarrollo del sabor (2 a 8 semanas) a baja temperatura (aproximadamente a 0 °C).
- **Filtración:** después de la maduración, la cerveza pasa por un proceso de filtración a través de un circuito compuesto por filtros de placas horizontales, usando tierra diatomácea como ayuda del filtrado, filtros verticales o de cartón (CORTEZ, 2001). En estos filtros, se retienen la levadura y las sustancias nitrogenadas residuales e insolubles, y finalmente pasa por un filtro bacteriológico, para asegurar la calidad y estabilidad del producto en el tiempo (COORS, 1978).
- **Envasado :** La cerveza, proveniente del sistema de filtración es automáticamente

acondicionada en barriles de acero inoxidable, previamente lavados e higienizados. Las botellas son lavadas en la máquina envasadora donde posteriormente son llenadas, tapadas y colocadas en bandejas para ser pasteurizadas (CORTEZ, 2001).

- Pasteurización: Las botellas y barriles, se pasteurizan mediante el incremento de la temperatura (de temperatura ambiente hasta 65 °C) y luego disminución de la temperatura (65 °C hasta temperatura ambiente) con aspersion de agua en un equipo adecuado, para garantizar la estabilidad y la calidad microbiológica (YOUNG, 1978).
- Distribución: Finalmente la cerveza embotellada es etiquetada y empacada. La cerveza embarrilada está lista para el consumo y distribución. Sólo los barriles que son enviados a zonas más alejadas son pasteurizados por precaución para darles una mayor estabilidad en el tiempo.

2.7.3. Origen de las aguas residuales de la fabricación de cerveza

El proceso de fabricación de cerveza presenta diversos puntos de generación de efluentes.

Dada la complejidad existente en las diversas etapas de producción de la cerveza y la naturaleza de las materias primas utilizadas, la composición química y microbiológica del efluente de una cervecería es muy variada (STEWART, 2001).

Las aguas residuales de las plantas elaboradoras de cerveza suelen contener muchas materias insolubles, como residuos de malta (orujo) y lúpulo, levaduras, restos de tierra filtrante, etc.

En forma general los efluentes se producen en el lavado de equipos, tales como estanques de cocimiento, filtros prensa, intercambiadores de calor, estanques de fermentación y maduración, lavado del circuito de filtración, lavado de botellas, barriles, pisos y tuberías en general.

A continuación, se indican las principales operaciones donde se generan los efluentes, resaltando el hecho de que se realizan los lavados de los equipos luego de cada lote de producción:

- Preparación de mosto (caldera de cocción-maceración, cuba-filtro, estanque decantador).
- Lavado del piso del área de producción del mosto.
- Lavado de estanques CIP.
- Lavado de los intercambiadores de calor.
- Lavado de materiales, pisos y tuberías en general.
- Lavado de los estanques de fermentación, maduración.
- Lavado de los estanques de almacenamiento de la cerveza.
- Llenado de botellas y de barriles.
- Lavado de pisos de las áreas de llenado de botellas y embarrilamiento.

- Residuos del proceso de llenado de botellas y mermas (vidrio, tapas)

ULMANN (1951), menciona que estas aguas residuales, se caracterizan por una elevada proporción de materias orgánicas descomponibles con especial facilidad, y por la presencia de grandes cantidades de gérmenes de la fermentación (bacterias) y otros microorganismos.

Es característico que los efluentes contengan sólidos en suspensión o sólidos sedimentables, provenientes de las impurezas (cáscaras y granos) de la materia prima. Poseen color y turbiedad bastante elevadas y un pH variado, desde 3.5 a 4.6, pudiendo llegar a valores de 10 a 11 durante el lavado con soda cáustica de los estanques (STEWART, 2001).

Además de los residuos mencionados, pueden encontrarse en los efluentes, restos de etiquetas de las botellas, almidón, levadura decantada o centrifugada, tierra filtrante y una cantidad de cerveza y levadura proveniente de las purgas y de las botellas que se rompen durante la pasteurización (PERU, MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACION Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES, MITINCI, 2001).

Todos estos efluentes se caracterizan por presentar una DBO₅ alto y son ricos en proteínas que se descomponen rápidamente, produciendo olores significantes (HERNAN, 1997).

En el CUADRO 6, se presenta el origen y composición de los diferentes tipos de efluentes en las fases de producción de la cerveza.

CUADRO 6. Origen y composición de los efluentes en la producción de la cerveza.

Fase de Producción	Origen del Residuo	Composición
Cocción	Residuos de mosto y lavado de equipos	Solución acuosa de azúcares, dextrina, proteínas, taninos y resinas
Fermentación	Lavado de estanques	Alcohol etílico, ácidos, aldehídos, cetonas, ésteres, bacterias
Maduración	Fondo de los estanques	Líquido enriquecido de proteínas y productos derivados de su degradación

FUENTE: PERU, MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACION Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES, MITINCI (2001)

3. MATERIAL Y METODO

3.1. Muestreos y análisis

Una vez conocido el sistema productivo, se elaboró un diagrama de flujo de la elaboración de cerveza, seguido por la empresa Cervecera Valdivia, resaltando aquellas etapas donde se genera algún tipo de residuo.

Previa selección de los puntos de muestreo, se procedió a la toma de las muestras para su respectivos análisis. Las muestras fueron tomadas en los lugares elegidos y colocadas en frascos plásticos, se les asignó una identificación, también se registró la hora en que se efectuó la toma de la muestra. Posteriormente las muestras fueron colocadas en una caja de plumavit, para su posterior transporte.

El análisis físico-químico o la caracterización de los efluentes se realizó en el laboratorio de la Planta Cervecera Valdivia, Laboratorio de Levaduras Collico y en el Laboratorio de Procesamiento de Alimentos del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL) de la Universidad Austral de Chile (UACH) y la metodología seguida está basada en el Manual de Análisis para los residuos industriales Líquidos (RIL) y Aguas Domésticas, de la Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile, basado en los Métodos Estándares de Control del Agua y Residuos Industriales de 1989 (Standard Methods for the Examination of water and Wasterwater 17^o Ed.). Para la caracterización

de residuos, se seleccionaron los análisis según los exigidos por la Norma Chilena sobre la Descarga de Riles a Cuerpos Hídricos. (NCh .2313/Of.95)

3.2. Equipos e instrumentos

El desarrollo del trabajo experimental requirió de cierta cantidad de recursos y materiales específicos.

A continuación se entregan algunos detalles de ellos.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5):
 - Sistema OxiTop[®] WTW, Modelo IS6.
 - Estufa Incubadora Velpet Modelo FOC225E.
 - Pipetas de 1 y 10 ml
 - Probeta de 100 ml
 - Tabletillas de Hidróxido de Sodio (NaOH).
 - Hidróxido de Sodio (NaOH) 1 N, Merck. USA.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO):
 - Reactor DQO de Hach[□], Modelo DR/2000 U
 - Pipetas de 1 y 10 ml
 - Probeta de 100 ml
 - Acido Sulfúrico (H_2SO_4) 1N, Merck. USA.
 - Agua desmineralizada.

- Determinación de pH:
 - pHímetro EXTECH Instruments Modelo 321990

- Determinación de Sólidos Sedimentables (S Sed):
 - Cono de decantación IMHOFF

- Determinación de Sólidos Suspendidos:
 - Filtros de Fibra de vidrio Whatmann de 1[□]m de diámetro, Alemania.
 - Estufa de secado a 100°C.
 - Cápsulas de aluminio de 100 cm³ aproximadamente.
 - Balanza analítica digital; CHYO JK-200, Japón.

- Bomba de vacío.
- Determinación de sólidos totales:
 - Balanza analítica digital; CHYO JK-200, Japón
 - Estufa de secado a 600°C.
- Determinación de temperatura:
 - Termómetro de mercurio, DBGGM, Alemania.

3.3. Otros materiales

- Envases Plásticos de 500 cm³ y 1 Litro, para la toma de muestras.
 - Balde cubicado de 20 L.
 - Tacho plástico de 200 L.
 - Caja de plumavit.
 - Cronómetro digital.
 - Vasos precipitados de 500 mL, PYREX, Alemania.
 - Pie de metro.
 - Varilla de vidrio.
 - Papel de aluminio Aluza Foil.
 - Papel absorbente.
 - Pinzas de aluminio.
 - Pilas tipo botón modelo Cr 2420.

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Descripción del proceso productivo

La cerveza elaborada en la industria, se fabrica estrictamente con cebada malteada, cepas escogidas de levadura, lúpulo y agua de vertiente (basado en el “Edicto de la Pureza”, dictado en 1516 por Guillermo I)

El proceso cervecero contempla 3 cocciones/día, cada una de 3400 Litros (34 HL), para producir cerveza en botellas de 330 cm³ y en barriles de 50 litros.

4.1.1. Tipo de cervezas elaboradas por la industria

En la industria, se elaboran tres tipos de cerveza:

- Cerveza Lager, producida por fermentación baja, a temperaturas entre los 12 a 14 °C, empleándose en su fabricación malta rubia, lúpulo, agua y levadura de cepa tipo Lager. Este tipo de cerveza reposa 15 días a bajas temperaturas (0 °C) lo que facilita la obtención de ciertas características especiales de madurez. Su grado alcohólico es

de 4,2 °G.L.

- Cerveza Pale Ale, cerveza producida por fermentación alta (20-22 °C), con agradable y característico aroma a lúpulo. De color ámbar pálido dado por maltas rubias y caramelo. Su grado alcohólico es de 5.0 °G.L.
- Cerveza Bock, de intenso color oscuro, con un marcado sabor a malta tostada y ligero dulzor, resultado de una fermentación baja, de un grado alcohólico mayor (5,3 °G.L.), producto de una elevada concentración del mosto inicial y de un prolongado reposo a baja temperatura.

Debido a que la elaboración de los tres tipos de cerveza se lleva a cabo de la misma forma, y que el proceso presenta sólo algunas diferencias, para efectos de esta investigación, se consideró la elaboración de la cerveza como el proceso global de las operaciones, para la determinación físico-química de los vertidos.

4.1.2. Equipos

Para una mejor comprensión del proceso cervecero, se procedió a dividir la planta, en cuatro secciones:

Sección 1, "Sala de cocimiento". Sección comprendida por las etapas donde se elabora el mosto, se filtra, se somete a cocción y posteriormente es enfriado, quedando listo para la fermentación. La sala de cocimiento, cuenta con los siguientes equipos:

- Caldera de cocción–maceración, de 50 HL de capacidad.
- Cuba-filtro (*Lauter tun*), de 30 HL de capacidad.
- Estanque decantador (*Whirpool*) de 45 HL de capacidad.
- Enfriador de placas marca APV de 4000 L /h.
- Estanque almacenamiento de soda (700 L de capacidad).
- Estanque almacenamiento de ácido (700 L de capacidad).
- Estanque almacenamiento de aguas de la cuba-filtro (*Lauter tun*). (1100 litros de capacidad).

Sección 2, "Sala de fermentación, maduración y filtración". Sección comprendida por las etapas en que el mosto es mezclado con la levadura y donde se produce la fermentación propiamente tal, posteriormente la maduración, concluyendo con la filtración de la cerveza. La sección 2 cuenta con los siguientes equipos:

- 11 estanques cilíndrico-cónicos de fermentación, o también llamados Uni-Tank (UT) que se dividen en cinco estanques de 9000 L, tres estanques de 18000 L y tres estanques de 27000 L de capacidad.
- 4 estanques Drunk-Tank (DT) de almacenamiento de cerveza filtrada, que se dividen en dos de 7000 L y dos de 9000 L de capacidad.
- 5 estanques de reposo y maduración (TR), que se dividen en uno de 7000 L, tres estanques de 18000 L y un estanque de 27000 L de capacidad.

- Un estanque propagador de cultivos (PC) de 1500 L de capacidad.
- Un filtro grueso (Padovan) de unos 600 L/h de capacidad.
- Un filtro de placas paralelas, de celulosa.
- Un filtro *Handtmann* (filtro microbiológico).
- Dos bombas, una bomba CIP para la limpieza y una "bomba de traspaso", para el traslado de producto de un estanque a otro o de una sección a otra.

Sección 3: "Sala de envasado". Sección comprendida por la etapa del envasado de la cerveza en botellas y en barriles, pasteurizado y empaque de la cerveza. En esta sección se encuentran los siguientes equipos:

- Envasadora de Botellas de 330 cm³ de aproximadamente 1500 botellas/hora de capacidad.
- Embarriladora (para barriles de 50 L).
- Pasteurizador de botellas y barriles de 3500 botellas de capacidad aproximadamente (8 m³).

Sección 4: "Area servicios". Sección comprendida por la sección de abastecimiento de agua, y por las diferentes salas de servicios (sala de caldera, sala del compresor y estanque de agua caliente)

En relación con el sitio de las descargas se pueden mencionar 2 colectores o desagües:

Desagüe Central : Es el ducto al cual, llega la mayoría de las aguas del proceso productivo, se ubica al centro de las instalaciones de la planta, y las aguas vertidas están constituidas principalmente por las aguas de los lavados y enjuagues diarios de los equipos e instalaciones.

Desagüe Aguas Lluvia: Se ubica en el exterior de la planta, las aguas que llegan a este desagüe son principalmente las aguas de los equipos de frío (compresor), las aguas de los procesos de calentamiento (80 °C/30 min.) de las líneas de mosto y del circuito de filtración.

4.1.3. Proceso

El proceso cervecero comienza cuando la cebada es molida, en un molino de dos rodillos, un sistema simple propio de cervecerías pequeñas, a una granulometría específica para permitir la dispersión de las enzimas y así aumentar el contacto con el agua durante la maceración.

La mezcla de la cebada y el agua (1950 litros para cerveza Lager y 2300 litros para cerveza Pale Ale y Bock), se realiza en la caldera de cocción-maceración, un estanque cilíndrico de 50 HL de capacidad, dotado de una doble pared, donde se le inyecta vapor para elevar la temperatura de la mezcla y producir la maceración el mosto.

La maceración del mosto, contempla tres temperaturas. La primera temperatura de maceración que se emplea es de 50 a 55 °C durante 35 minutos, luego la mezcla es

calentada mediante un sistema de chaqueta a la que se le inyecta vapor y se alcanza la segunda temperatura de maceración, que es entre los 60 y los 65 °C durante 40 minutos, finalmente se eleva nuevamente la temperatura entre los 70 y 75 °C para lograr la tercera temperatura de maceración, etapa que dura alrededor de 35 minutos. Terminada la maceración, se eleva nuevamente la temperatura a 78 °C , con el fin de lograr una inactivación total de las enzimas.

Una vez concluida la inactivación enzimática, se lleva la mezcla a la cuba- filtro (*Lauter tun*), donde se produce el lavado de los granos con agua entre los 70 °C y 80 °C durante aproximadamente una hora y una recirculación de 35 a 40 minutos, con el objetivo de producir una clarificación, aumentar el extracto y producir la eliminación de los restos de cáscaras y granos de cebada (orujo), para obtener un volumen final de aproximadamente 3400 litros (34 HL) de mosto cervecero.

El mosto filtrado es llevado nuevamente a la caldera de cocción-maceración, donde es mezclado con lúpulo y sulfato de calcio, CaSO_4 (la cantidad depende del tipo de cerveza que se está elaborando), y calentado a 100 °C durante una hora, con el fin de esterilizar y concentrar el mosto, mejorar la estabilidad coloidal de las proteínas y destruir alguna enzima que podría haber quedado de los procesos anteriores.

Después de efectuado el cocimiento, el mosto es llevado al estanque *Whirpool* (decantador), que es un estanque cilíndrico, donde el mosto entra en forma tangencial a las paredes y de esta forma se facilita la precipitación de los sólidos, proteínas y lúpulo (trup), además también se logra la estabilización del mosto dejándolo en reposo a 100 °C por alrededor de 40 a 45 minutos.

Una vez lograda la estabilización del mosto, este es enfriado en un intercambiador de Placas. El enfriamiento se realiza de acuerdo al tipo de cerveza que se está elaborando, 12 a 14 °C para la cerveza lager y bock y 20 a 22 °C para la cerveza Toro Bayo Ale, además del enfriamiento, también se inyecta aire a través de un filtro estéril al mosto, con el fin de facilitar el desarrollo de la levadura durante la fermentación.

Una vez que el mosto es enfriado, es traspasado a un estanque unitank(ut), que son estanques cilíndricos verticales con fondos cónicos de poca profundidad, a través de la línea de mosto, donde al mismo tiempo, también es inoculada la levadura. Este inóculo es preparado en un pequeño estanque propagador de cultivos (pc).

El cultivo de levadura es diferente para los tipos de cerveza que se elaboran, siendo *Saccharomyces cerevisiae* para la fermentación alta (22 – 23 °C) y *Saccharomyces carlsbergensis* para una fermentación baja (10 – 13 °C). La cantidad de inóculo es de aproximadamente un litro por cada hectolitro de mosto.

Cabe mencionar que se distinguen dos fases en la fermentación, una primera fase aeróbica, donde se produce levadura y se genera calor, el cual es controlado por refrigeración y una segunda fase anaeróbica, donde se consumen los azúcares del mosto para formar alcohol y dióxido de carbono. La fermentación en estos estanques es de alrededor de 7 días.

Una vez terminada la fermentación, se procede a retirar o eliminar la levadura que ha decantado.

Retirada la levadura, la cerveza es traspasada a un estanque de reposo (tr) a través de la línea, donde se produce la maduración de la cerveza, proceso cuya duración es de alrededor de los 15 a 30 días dependiendo del tipo de cerveza (también se puede realizar la maduración en el mismo estanque, ut dependiendo de la producción)

La maduración se realiza a 0 °C y tiene por objetivo producir una clarificación, homogeneización y maduración del sabor (reducción del ácido sulfhídrico, acetaldehído y diacetilo). Una vez terminada la maduración de la cerveza, ésta lista para ser filtrada.

La filtración de la cerveza se realiza en tres etapas:

- Filtración gruesa o "Padovan": este filtro tiene la función de retener las partículas de levadura y otros restos que pudiera traer la cerveza reposada.
- Filtro intermedio (celulosa):este filtro tiene la función de retener las partículas de tierra filtrante y levaduras que vengan con la cerveza que ha sido filtrada con anterioridad.
- Filtración Fina o Handtmann, Filtro encargado de la calidad microbiológica de la cerveza, como también de la retención de partículas de diámetro muy reducido.

Para realizar la filtración primero se debe preparar el "lecho filtrante" o "torta de filtración", es decir, se hace depositar la tierra filtrante entre las placas del filtro Padovan y mediante el tamiz formado por ésta, se filtra la cerveza.

Para preparar el lecho filtrante se mezclan en el estanque mezclador del filtro Padovan, agua más los diferentes tipos de tierra filtrante, a diferentes intervalos de tiempo (ya que varían en su textura). La operación toma alrededor de 90 min.

Luego de preparado el lecho filtrante (tortas de filtración) se procede a calentar la línea de filtración, para ello se ocupa agua a 85 °C por 30 minutos. Después de calentada la línea de filtración, se enfría antes de conectar el filtro Padovan con el resto de circuito de filtración. Una vez que el flujo es cerveza, propiamente tal, se conecta el Filtro Padovan con el resto del circuito y comienza el proceso de filtración.

Después que la cerveza ha pasado por esta serie de filtros, es llevada a un estanque de reposo, (de cerveza filtrada), donde madura por alrededor de 15 días.

Luego del reposo de la cerveza en los estanques de reposo (dt) se realiza la carbonatación, para ello se conecta un cilindro de CO₂ donde el gas ingresa a través de una válvula al estanque. Una vez que la cerveza ha adquirido el dióxido de carbono deseado (2 a 3 %) está lista para ser envasada.

La cerveza que es embotellada lo hace a través de una línea de acero inoxidable, con aislación (para mantener baja la temperatura de la cerveza), donde llega a la máquina envasadora.

Las botellas ingresan a la línea, donde son lavadas por dentro con un chorro de agua fría, para eliminar alguna suciedad. La máquina envasadora tiene capacidad para lavar dos botellas a la vez.

La cerveza destinada a ser envasada en barril (shop) , lo hace también a través de la línea de acero inoxidable. Primeramente el barril es lavado, se elimina el aire y finalmente es llenado.

La cerveza embotellada es posteriormente pasteurizada, en un pasteurizador de botellas, que tiene una capacidad para 3500 botellas aproximadamente. El proceso de pasteurización es a 62 °C por 10 minutos.

Finalmente la cerveza es embotellada, etiquetada y empacada, en pack's de 4 botellas, cajas de 24 botellas o en display's, también de 24 botellas, según corresponda.

La cerveza embotellada (shop) está lista para el consumo y distribución. Sólo aquellos barriles que serán enviados a las zonas de venta más alejadas, son pasteurizados como medida de precaución, para darles mayor estabilidad y durabilidad, es decir prolongar la vida útil de la cerveza.

4.2. Identificación de los vertidos y las corrientes

Conforme a los objetivos planteados se logró identificar los vertidos que genera el proceso productivo para la elaboración de cerveza, dentro de los principales se pueden mencionar:

- Aguas de lavado de los equipos de la sección 1. Estas aguas son en su mayoría provenientes de los “lavados diarios” que reciben los equipos después de elaborado cada mosto y están constituidas principalmente por sólidos de cebada (orujo) y *trup*, que es la proteína decantada con restos de cebada y lúpulo que se produce en el estanque *Whirpool* (decantador).
- Aguas del lavado químico de equipos de la sección 1. Todos los equipos son sometidos a un lavado del tipo ácido-alcalino que tiene por objetivo eliminar las incrustaciones en el interior de los estanques, que son en su mayoría restos de levadura, proteínas y lúpulo, que se endurecen en las paredes internas y que son precursoras de bacterias contaminantes de la cerveza. Este lavado se realiza con soda cáustica (2 %), ácido fosfórico (1,5 %), cloro (100 ppm) y una solución desinfectante. Los equipos de la sección 1 se someten a este tipo de lavado cada 15 días normalmente, esto varía según la producción demandada. Para los demás estanques, al menos dos estanques al día, reciben este mismo tipo de lavado.
- Aguas del lavado del circuito de filtros. Estas aguas en su mayoría están compuestas por kieselguhr (tierra diatomácea más restos de levaduras) y restos de cerveza. También se incluye el agua empleada para el calentamiento de las líneas de filtros. Esta operación es realizada cada nueva operación de filtrado y sus aguas son eliminadas al desagüe de aguas lluvia.
- Aguas de lavado de pisos y tuberías en general. Principalmente aguas con restos de producto.

La secuencia de las etapas del proceso productivo se presentan en la FIGURA 2, indicando las etapas donde se generan residuos líquidos y sólidos:

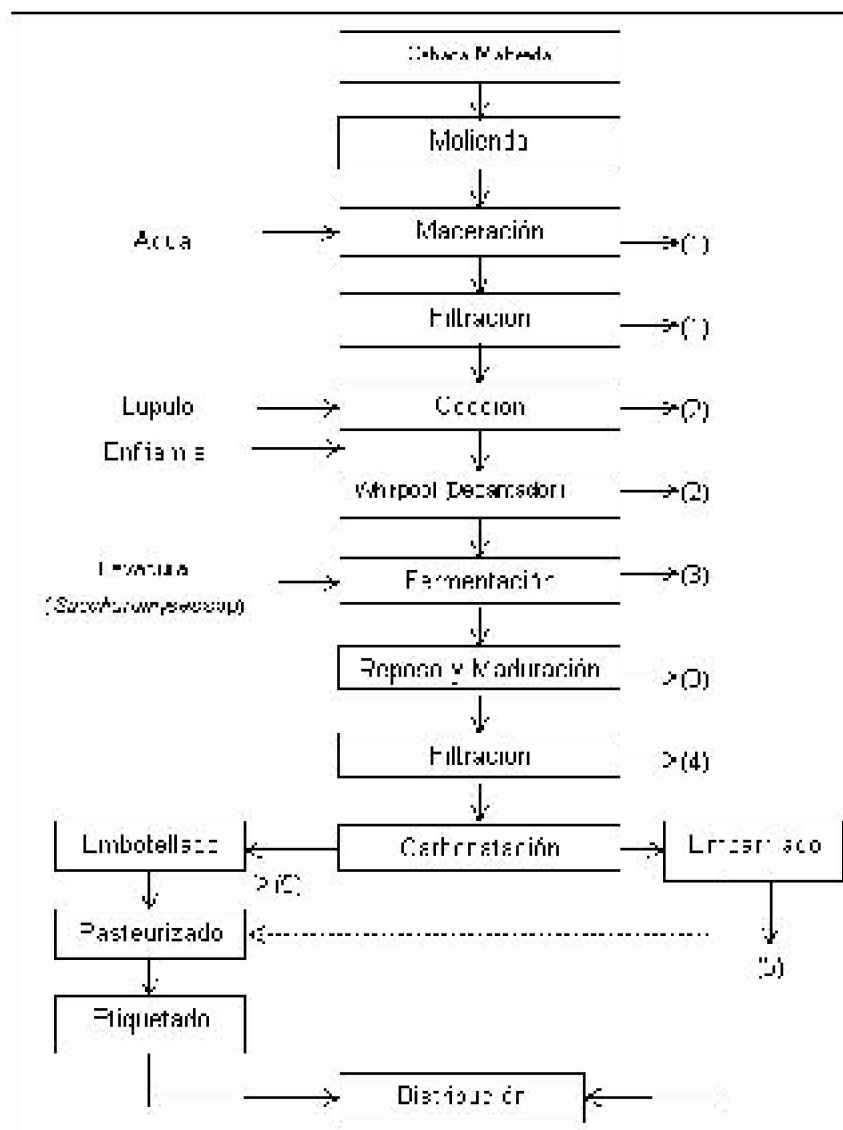


FIGURA 2. Línea de flujo de la elaboración de la cerveza seguida por la industria y las principales etapas del proceso que generan o producen residuos líquidos y sólidos.

Respecto a la FIGURA 1 es necesario especificar:

(1): Aguas con restos de orujo (restos de cáscaras y granos), o con residuos de la elaboración del mosto y aguas del lavado del equipo.

(2): Aguas con restos de Trup (sólidos y proteínas decantadas más restos de lupulo) y aguas del lavado del equipo.

(3): Aguas con restos de levadura decantada y con restos de cerveza, también aguas del lavado de los estanques, equipos y tuberías en general.

(4): Aguas con sólidos de la filtración o “kieselguhr” (tierra diatomácea más restos de levaduras y cerveza) y a aguas del lavado de los filtros.

(5): Aguas del lavado de botellas, de las líneas y de los equipos.

Dentro de las corrientes identificadas como de residuos, también se identifica en la

industria las siguientes corrientes considerando la utilidad que se le da a cada una. Estas son:

- Corrientes de agua de proceso, que tienen contacto con el producto.
- Aguas de lavado de equipos.
- Corrientes de refrigeración.
- Corrientes de vapor.
- Corrientes de agua fría y/o caliente.

Una vez conocido el proceso productivo e identificado las principales descargas efectuadas en la planta, se seleccionaron los puntos de muestreo (ver ANEXO 2), y la determinación de los caudales de las corrientes identificadas.

4.2.1. Estimación de los caudales de las corrientes

Debido a que el suministro de agua de la planta proviene de napas subterráneas, el agua no recibe ningún tipo de tratamiento (ya sea filtración o cloración), además no dispone de suministro de la red de agua potable de la ciudad, por lo que no cuenta con ningún tipo de medidor de consumo de este recurso.

4.2.2. Datos de producción

La información que se muestra a continuación, fue obtenida de los datos que posee la planta (bitácoras de proceso) y corresponden a un mes normal de producción.

Producción:

Tipo de Cerveza	Lager	Pale Ale	Bock	Total/mes
Litros /mes	101875	72236	9468	183579
Nº Cocimiento /mes	30	21	3	54
Malta (kg /mes)	13950	12369	1767	28086
Lúpulo (kg /mes)	56,7	39,69	6,52	102,91
T Enfriamiento	10	22	10	-
Plato final	10,5-10,7	12,4-12,8	13-13,4	-

- Insumos:
 - Sulfato de calcio: 43,2 kg/mes
 - Celulosa: 16,2 kg/mes
- Tierra Filtrante:

Tipo de tierra	Consumo (kg/mes)
Tierra D11	378
Tierra D12	135
Tierra D14	108
Tierra D15	27

4.2.3. Balance de agua

El agua empleada en el proceso productivo es obtenida de pozos o napas subterráneas ubicadas cerca de la planta a 41 metros de profundidad. A través de la perforación de estos pozos, el agua llega a la planta impulsada por una bomba, donde es conducida y almacenada en cuatro estanques de 8,6 m³ cada uno, ubicados en el exterior de la planta, y es utilizada a medida que el proceso lo requiera.

El volumen máximo de almacenamiento es de 34,40 m³. Por ser agua de napas subterráneas se trata de aguas blandas y de una muy buena calidad, por lo que no recibe ningún tipo de tratamiento.

Debido al carácter de artesanal de la planta y al proceso de producción de la planta basado en un sistema por lotes (batch) y dado que la demanda de la producción de cada tipo de cerveza depende de la demanda existente en el mercado, el balance de agua presenta cierto grado de complejidad, además que se cuenta con una gran cantidad de flujos esporádicos de vertidos, ya sean corrientes de agua de producción, lavados y enjuagues de equipos, que dependen en gran medida de la persona encargada de la función.

4.2.4. Bases de cálculo para el balance de agua

Para realizar el balance de agua de la planta se tomaron las siguientes consideraciones:

- Se realizan tres cocimientos diarios de aproximadamente 3400 litros (34HL) cada uno.
- Agua de proceso: es el agua que se emplea en la elaboración directa del mosto cervecero. Para la cerveza Lager se emplean 1950 L de agua, para la cerveza Bock y Toro Bayo se emplean 2300 L de agua.
- Aguas de filtración del mosto: estas aguas están comprendidas por un "pie de agua", formado por unos 300 L de agua en el fondo de la cuba-filtro (*Lauter tun*), y por las aguas de lavado del grano, que dependen en gran medida de la cantidad y concentración inicial del mosto primario y de la concentración final que se quiera alcanzar.
- La cantidad de orujo que se produce durante la filtración del mosto es de 110 a 130 kg de orujo por cada 100 kg de carga, con un contenido aproximado entre 70 a 80% de humedad.

- Aguas del “lavado diario” de equipos: es el agua que se emplea en lavar los equipos después de su funcionamiento. Este lavado es realizado con agua fría y una manguera que se ubica en la sección. El volumen de agua se determinó mediante el tiempo de aforo directo de la corriente y el tiempo promedio empleado por el operario en realizar dicha función.
- Aguas del lavado químico de equipos: estas aguas se obtuvieron de las planillas de lavados existentes en el laboratorio, con un total aproximado de 5000 L de agua por lavado. El lavado incluye un enjuague inicial, lavado con soda cáustica, lavado con ácido fosfórico, un lavado con cloro y finalmente con Oxonia, una solución desinfectante.
- Aguas de la filtración de la cerveza. Esta agua la componen aquellas utilizadas en la preparación del “lecho filtrante” o “torta de filtración”, y esterilización de los filtros. Para preparar el lecho filtrante se hace depositar la tierra filtrante entre las placas del filtro Padovan y mediante el tamiz formado por ésta, se filtra la cerveza. Para preparar el lecho filtrante se mezclan en el estanque mezclador del filtro Padovan, unos 30 L de agua más la tierra filtrante. A medida que se forma el lecho se hace circular agua y los diferentes tipos de tierra (ya que varían en su textura) a diferentes intervalos de tiempo. La operación toma alrededor de 90 min. Luego de preparado el lecho filtrante, se procede a calentar la línea de filtración, para ello se ocupan alrededor de 2500 L de agua a 85 °C por 30 minutos. Después de calentada la línea de filtración, se enfría el circuito con unos 200 L de agua fría. El número de filtraciones realizadas en una semana se determinó de las bitácoras del proceso de filtrado. Los volúmenes de agua fueron obtenidos a través de las bitácoras de proceso y a través de la determinación del tiempo de aforo directo de los caudales generados.
- Aguas de lavado exterior de equipos: estos volúmenes se calcularon suponiendo que al menos una vez al mes es lavado cada equipo por fuera. El volumen de agua se calculó mediante aforo directo de la corriente y por el tiempo empleado por el operario a cargo.
- Aguas de calentado de líneas y bombas: las corrientes identificadas se calcularon determinando el tiempo de aforo directo de las corrientes y a través de las bitácoras de proceso.
- Aguas de efluente final: la corriente fue calculada a través del “método velocidad-área”, considerando que el caudal es igual al área de la sección transversal del conducto multiplicado por la velocidad de la corriente en dicho punto. En la medición de la velocidad se utilizó un elemento flotante. Se midió la distancia de un tramo entre dos alcantarillas, luego se registraron los tiempos que demoró el flotador en recorrer dicha distancia, teniendo en cuenta que la velocidad está dada en términos de longitud dividido por unidad de tiempo. No obstante, la velocidad que se obtiene es aproximada. La velocidad máxima normalmente se da bajo la superficie.
- Aguas para la generación de vapor y agua de refrigeración: se obtuvieron de las bitácoras y de datos aportados por operarios y mantención.

4.2.5. Caudales de las corrientes

Los consumos identificados y los caudales de las corrientes identificadas se presentan en los siguientes cuadros resumen.

En el CUADRO 7 se muestran los diferentes consumos de agua, para la elaboración de la cerveza.

CUADRO 7. Aguas utilizadas en la sección 1, para la preparación del mosto, en un mes normal de producción.

Tipo de cerveza	Volumen (m ³ /mes)	%
Lager	67,5	51,96
Pale Ale	54,6	42,03
Bock	7,8	6,01
Total	130	100

Se observa que el mayor consumo de agua, en un mes normal de producción, es en la elaboración de cerveza Lager con 67,5 m³ (54,96 %), luego le sigue la cerveza Pale Ale con 54,6 m³ (42,03 %) y finalmente la cerveza Bock con 7,8 m³ (6,01%). Esto se debe principalmente a la mayor demanda existe en el mercado por este tipo de cerveza (Lager).

En el CUADRO 8 se muestran los caudales de los principales vertidos producidos en la sección 1, donde se elabora el mosto.

CUADRO 8. Resumen de las principales descargas de la Sección 1, donde se efectúa la preparación del mosto cervecero.

Estudio de los residuos industriales líquidos y evaluación de las alternativas de mejoras para la Industria Cervecera Valdivia

Operación	Frecuencia	Volumen Total (L)	Volumen m³/mes	m%
Lavado diario de la caldera de cocción-maceración	Cada Cocimiento	1000	54	27,25
Lavado diario del cuba-filtro	Cada Cocimiento	500	27	13,62
Lavado estanque de Recuperación de Aguas del cuba-filtro (<i>Lauter tun</i>)	Cada Cocimiento	200	10,8	5,45
Lavado diario del estanque decantador (<i>Whirpool</i>)	Cada Cocimiento	250	13,5	6,81
Lavado y calentamiento de la línea de mosto	Cada Cocimiento	1200	64,8	32,72
Lavado manual del enfriador de placas	Una vez a la semana	700	2,8	1,41
Lavado químico estanque de recuperación de aguas del filtro Lauter	Una vez a la semana	200	2	1,01
Lavado químico del circuito completo	Una vez a la semana	4820	19,28	9,73
Total	-	8870	194	100

En este cuadro resumen de las descargas de la sección 1, se puede observar que los mayores volúmenes se producen en la operación de lavado y esterilizado de la línea de mosto con 64,8 m³ al mes, representando un 32,72%, del total de los flujos de esta sección. Otros flujos importantes generados en esta sección son el lavado diario del estanque Cocedor-macerador con 54 m³ (27,25%), el lavado diario del filtro Lauter con 27 m³ (13,62%), aguas del lavado químico del circuito completo de esta sección con 19,28 m³ al mes (9,73%) y lavado diario del estanque decantador (*Whirpool*) con 13,5 m³ (6,81%).

En el CUADRO 9 se muestran los caudales de los principales vertidos producidos en la sección 2, donde se produce la fermentación, maduración y filtración de la cerveza.

CUADRO 9. Resumen de las descargas de la Sección 2, donde se efectúa la fermentación, maduración y filtración del mosto.

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Operación	Frecuencia	Volumen Total (L)	Volumen m ³ /mes	%
Preparación de "tortas de filtración"	Cada filtración	200	7,2	1,94
Esterilización del circuito de filtración	Cada filtración	2500	90	22,23
Enfriamiento línea filtración	Cada filtración	200	7,2	1,94
Limpieza filtro Padovan	Cada filtración	800	28,8	7,75
Lavado químico del filtro Padovan	Tres veces al mes	1500	4,5	1,21
Regeneración o lavado en contracorriente de la línea de Filtrado	Cada Filtración	1000	63	16,96
Lavado Alcalino - Acido de los Estanques	Dos estanques al día (promedio)	4300	133,3	35,89
Lavado exterior estanques	Según observación Operario	700	18,9	5,09
Lavado de cañerías y bomba de traspaso	Cada traspaso	500	15,5	4,71
Lavado de pisos	Todos los días	100	15,5	0,81
Total	-	12200	371	100

El CUADRO 9 resume las descargas de la sección 2, se puede observar que los mayores volúmenes se₃ producen en la operación de lavado alcalino-ácido de los estanques, con 133,3 m³ al mes, constituyendo un 35,89%₃ del total de esta sección, le siguen la esterilización de la línea de filtración con 90 m³ al mes (22,23%)₃, luego la regeneración o lavado en contracorriente de la línea de Filtrado con 63 m³ al mes (16,96%), y finalmente la limpieza del filtro Padovan con 28,8 m³ al mes (7,75%).

En el CUADRO 10 se muestran los caudales de los principales vertidos producidos en la sección 3, donde se produce el envasado de la cerveza.

CUADRO 10. Resumen de las descargas de la Sección 3, donde se efectúa el envasado de la cerveza.

Operación	Frecuencia	Volumen Total (L)	Volumen m³ /mes	%
Lavado de botellas (2 a la vez)	Cada embotellado	0,130	36,15	20,06
Lavado barril	Cada embotellado	5	3,68	2,65
Lavado químico Línea	Cada embotellado	1600	49,68	38,82
Lavado maquina envasadora	Cada embotellado	400	32,8	26,65
Lavado de pisos	Cada embotellado	200	16,4	11,82
Total	-	2205,13	139	100

El CUADRO 10 resume las descargas de la sección 3. Se puede observar que los mayores volúmenes se producen en la operación de lavado químico o alcalino-ácido de la línea donde se transporta la cerveza desde la Sección 2 hacia la máquina envasadora, con 49,68 m³ al mes, constituyendo un 38,82%, del total de esta sección. Otros consumos importantes son el lavado de la máquina envasadora con 32,8 m³ al mes (26,65%) y el lavado de botellas con 36,15 m³ al mes (20,06%)

A continuación, en el CUADRO 11 se muestran los consumos de las principales corrientes de la sección servicios, que están comprendidas por el sistema de abastecimiento de agua, y por las diferentes salas de servicios.

CUADRO 11. Resumen del volumen total utilizado por área de servicios

Corriente	Volumen m³ /mes	%
Agua para generación de vapor	1000	33,33
Agua refrigeración	2000	66,67
Total	3000	100

En el área servicios destaca el agua de refrigeración, que es el mayor recurso ocupado por la planta, con cerca de 2000 m³ de agua al mes (66,67%) , seguido del agua ocupada para la generación de vapor (caldera) con unos 1000 m³ al mes (33,33%). Esto se debe principalmente al sistema de enfriamiento (refrigeración) utilizado por la planta.

En el CUADRO 12 se presenta un cuadro resumen con los volúmenes de agua utilizados por las diferentes secciones de la planta durante un mes típico de producción.

CUADRO 12. Resumen del volumen total utilizado por las diferentes secciones durante un mes normal de producción.

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Secciones	Consumo mensual m ³	%
Elaboración mosto	130	3,30
Sección 1	194	4,93
Sección 2	371	9,43
Sección 3	139	3,53
Sección 4	3000	76,26
Consumo no identificado (*)	100	2,54
Total	3934	100

(*) Se asume este gasto como consumos de agua del laboratorio, pérdidas por filtración o rebalse durante las operaciones de lavado y otras corrientes no identificadas.

El consumo total de agua en un mes normal de producción fue de 3934 m³, lo que arroja un Consumo Promedio Diario de 127 m³.

Por las condiciones de proceso y el tipo de industria, en su carácter artesanal, se puede decir que sólo el 3,30 % del agua que ingresa a la planta es utilizada en la elaboración directa de la cerveza, el resto del agua que ingresa, abandona la planta como efluente con cargas contaminantes muy variadas, con lo cual se deben buscar alternativas de minimización del recurso agua.

La Sección 4, el área de servicios, es la sección que presenta el mas alto consumo de agua de toda la planta, con aproximadamente 3000 m³ de agua mensuales (76,26 %), ya que dentro de esta sección se encuentra el sistema de enfriamiento de la planta, cuyo consumo está dado principalmente por el enfriamiento del compresor, agua que se elimina o desecha por el desagüe de aguas lluvia. Dado que el agua de refrigeración no sufre contaminación alguna, debe considerarse la recuperación de esta, ya sea en un sistema cerrado de refrigeraciones o para la re-utilización en el lavado de equipos, o para la producción de agua caliente, etc.

Las secciones de la planta que están relacionadas con las operaciones de proceso y elaboración directa de la cerveza, ocupan el segundo lugar en cuanto al consumo del recurso agua con 695 m³ al mes (17,66 %), de las cuales la Sección 2, es la principal ya que se consumen 371 m³ en un mes normal de producción. Esto se debe a que en esta sección se encuentran la mayor cantidad de equipos, ya sea estanques de fermentación o de maduración, así como también los equipos de filtración de cerveza, por lo que los consumos de agua están dados principalmente por el lavado de estanques y esterilización de los equipos de filtración de cerveza. En la Sección 1, donde se realiza la elaboración del mosto, destacan las operaciones de esterilización de la línea de mosto, el lavado diario de la caldera de cocción-maceración y el lavado químico de la sección, como las operaciones que consumen una cantidad de agua considerable.

La sección 3, es el lugar donde se consume menos agua en relación al resto de la planta, solo 139 m³ (3,53 %), esto es debido principalmente a que en esta parte de la planta se realiza sólo el envasado de la cerveza y dentro del consumo de agua que se produce, encontramos aquellos producidos por el lavado químico de las líneas de envasado y aquellos producidos por el lavado de la máquina envasadora.

Con respecto a los consumos no identificados específicamente (2,54 %), pueden ser

atribuidos a varios factores tales como la observación del operario que realiza la labor (Ej. lavado), al mal uso y manejo de las mangueras existentes en la planta, rebalses durante operaciones de lavado, etc. Se incluye también en este ítem, el agua utilizada en el laboratorio y el agua utilizada para la pasteurización de la cerveza. El agua utilizada en este proceso se almacena en un pequeño estanque ubicado sobre el equipo y se emplea unas tres veces y luego es eliminada.

Para la industria cervecera, se utiliza como índice de eficiencia del uso del agua la cantidad de agua consumida (m^3) por m^3 de cerveza³ producido; de acuerdo a la literatura los valores fluctúan entre los 5 y 20 m^3 / m^3 de cerveza (ZAROR,1993). Considerando los datos obtenidos para la industria en estudio, resulta en un consumo de 30,28 m^3 / m^3 de cerveza, incluyendo el sistema térmico de la planta³. Este factor se ve altamente disminuido sin considerar este último sistema, a 7,19 m^3 / m^3 de cerveza. Todo lo cual se explica debido al sistema de enfriamiento utilizado por la planta y que tal como se indicó anteriormente, esta agua no sufre contaminación alguna y por lo tanto debe considerarse la recuperación de la misma, ya sea para su re-utilización en un circuito cerrado de refrigeración, o bien para ser utilizada en lavados de equipos y pisos.

4.3. Caracterización de los vertidos

Para realizar la caracterización de los vertidos generados en las diferentes secciones de la planta, se realizó un muestreo directo de las corrientes identificadas.

Se efectuaron hasta tres muestreos para los parámetros físico-químicos de los principales vertidos identificados y un seguimiento de los RILes finales que abandonan la planta.

Todos los análisis se realizaron en duplicado, de acuerdo a las normas de la S.I.S.S. (Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile), basado en los métodos estándares de control del agua y residuos líquidos de 1989 (Std. Methods for the Examination of Water and Wasterwater 17° Ed. 1989)

4.3.1. Resultados de los análisis efectuados en la Sección 1

Los análisis efectuados a los principales vertidos generados por el proceso productivo en esta sección, se encuentran en los siguientes cuadros resumen, donde se indica el parámetro controlado, además, el límite máximo permitido por la Norma Chilena y la Carga Contaminante Diaria producida por el vertido.

CUADRO 13. Aguas del "enjuague o lavado diario" de la caldera de cocción-maceración.

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Parámetros	Caldera cocción – maceración	Limites permitidos	Carga contaminante (kg/día)
DBO ₅ (mg/L)	420	300	0,73
DQO (mg/L)	780	-	1,35
S Sed (mL/L)	49,20	20	-
ST (mg/L)	7580		13,20
Temperatura (°C) ₃	18	35	
Volumen Total (m ³ /mes)	54	-	-

En el CUADRO 14 se muestran los análisis efectuados a las aguas del lavado diario de la cuba-filtro y la carga contaminante (kg/día) que produce el vertido.

CUADRO 14. Aguas del "lavado diario" de la cuba-filtro (*Lauter tun*).

Parámetros	Cuba-filtro	Limites permitidos	Carga contaminante (kg/día)
DBO ₅ (mg/L)	2100	300	0,91
DQO (mg/L)	2600	-	1,13
S Sed (mL/L)	131,87	20	-
ST (mg/L)	29,36	-	0,01
Volumen Total (m ³ /mes)	13,5	-	-

En el CUADRO 15 se muestran los análisis efectuados a las aguas del lavado diario del decantador *Whirpool* y la carga contaminante (kg/día) que produce el vertido.

CUADRO 15. Aguas del "Lavado diario" del *Whirpool* (decantador).

Parámetros	Decantador w <i>hirpool</i>	Limites permitidos	Carga contaminante (kg/día)
DBO ₅ (mg./L)	525	300	0,46
DQO (mg/L)	840	-	0,73
S Sed (mL/L)	1,65	20	-
ST (mg/L)	123,09	-	0,11
Temperatura (°C) ₃	20	35	-
Volumen Total (m ³ /mes)	27	-	-

En el CUADRO 16 se muestran los análisis efectuados a las aguas del lavado químico de la sección 1 y la carga contaminante (kg/día) que produce cada enjuague realizado.

CUADRO 16. Lavado químico de la Sección 1.

Parámetros	Primer enjuague	Carga cont. (kg/día)	Segundo enjuague	Carga cont. (kg/día)	Tercer enjuague	Carga cont. (kg/día)
DBO ₅ (mg/L)	3690	0,29	111,3	0,0	30	0,0
DQO (mg/L)	4200	0,32	132	0,01	66	0,0
ST (mg/L)	1449,84	0,11	790,35	0,06	228	0,01
Volumen Total (m ³ /mes)	2,4	-	2,4	-	2,4	-

4.3.2. Resultados de los análisis efectuados en la sección 2

Los resultados de los vertidos generados en esta sección se encuentran en los siguientes cuadros resumen.

En el CUADRO 17 se muestran los análisis efectuados a las aguas del lavado químico efectuado a los estanques de fermentación (UT), que se ubican de la sección 2 y la carga contaminante (kg/día) que produce cada enjuague realizado.

CUADRO 17. Lavado químico de los estanques de fermentación (UT).

Parámetros	Primer enjuague	Carga cont. (kg/día)	Segundo enjuague	Carga cont. (kg/día)	Tercer enjuague	Carga cont. (kg/día)
DBO ₅ (mg/L)	2250	0,90	6,6	0,0	0	0,0
DQO (mg/L)	4800	1,92	14,4	0,0	2,7	0,0
S Sed (mL/L)	8,25	-	0	-	0	-
ST (mg/L)	2332	0,93	370,6	0,14	58,6	0,02
Volumen Total (m ³ /mes)	12,4	-	12,4	-	12,4	-

En el CUADRO 18 se muestran los análisis efectuados a las aguas del lavado químico efectuado a los estanques de reposo y maduración, que se ubican en la sección 2 y la carga contaminante (kg/día) que produce cada enjuague realizado.

CUADRO 18. Lavado químico de estanques de reposo y maduración (TR).

Parámetros	Primer enjuague	Carga cont (kg/día)	Segundo enjuague	Carga cont (kg/día)	Tercer enjuague	Carga conte (kg/día)
DBO ₅ (mg./L)	810	0,32	1,5	0,0	0	0,0
DQO (mg/L)	1026	0,41	7,5	0,0	2,7	0,0
S Sed (ml/L)	19,5	-	0	-	0	-
ST (mg/L)	920,7	0,36	13,2	0,0	8,3	0,0
Volumen Total (m ³ /mes)	12,4	-	12,4	-	12,4	-

En el CUADRO 19 se muestran los análisis efectuados a las aguas del lavado químico efectuado a los estanques cerveza filtrada, que se ubican en la sección 2 y la

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

carga contaminante (kg/día) que produce cada enjuague realizado.

CUADRO 19. Lavado químico estanques de cerveza filtrada (DT).

Parámetros	Primer enjuague	Carga cont (kg/día)	Segundo enjuague	Carga cont (kg/día)	Tercer enjuague	Carga cont (kg/día)
DBO ₅ (mg./L)	3060	1,22	46,5	0,01	29,7	0,01
DQO (mg/L)	3633	1,45	81	0.03	40,2	0,01
S Sed (mL/L)	4	-	0	-	0	-
ST (mg/L)	828,9	0,33	17,9	0,0	6,77	0,0
Volumen Total (m ³ /mes)	12,4	-	12,4	-	12,4	-

CUADRO 20. Descarga terminada la etapa de filtración.

Parámetros	Vertido final filtración	Limites permitidos	Carga contaminante (kg/día)
DBO ₅	17200	300	6,00
DQO (mg/L)	24980	-	8,70
S Sed (mL/L)	98	20	-
ST (mg/L)	10578,2	-	3,70
Volumen Total (m ³ /mes)	10,8	-	-

CUADRO 21. Lavado químico Filtro Hadmann.

Parámetros	Primer enjuague	Carga contaminante (kg/día)	Segundo enjuague	Carga contaminante (kg/día)
DBO ₅ (mg./L)	60	0,0	6,6	0,0
DQO (mg/L)	114	0,01	13,5	0,0
ST (mg/L)	130,2	0.01	82,65	0,01
Volumen Total (m ³ /mes)	4	-	4	-

CUADRO 22. Escape producido y lavado del filtro Padovan.

Parámetros	Escape durante fermentación	Carga contaminante (kg/día)	Lavado filtro Padovan	Carga contaminante (kg/día)
DBO ₅ (mg./L)	53200	2,88	2340	0,12
DQO (mg/L)	63600	3,44	3900	0,21
ST (mg/L)	55071	2,98	-	-
Volumen Total (m ³ /mes)	1,68	-	28,8	-

4.3.3. Resultados de los análisis efectuados en la Sección 3

Los análisis efectuados a esta sección, donde se indica el parámetro controlado, además del límite máximo permitido por la Norma Chilena y la Carga Contaminante Diaria producida por el vertido, se encuentra en el siguiente cuadro resumen:

CUADRO 23. Análisis efectuados a los vertidos de la Sección 3.

Parámetros	Lavado barril	Carga cont. (kg/día)	Vertido durante envasado	Carga cont. (kg/día)	lavado químico líneas *	Carga cont. (kg/día)
DBO ₅ (mg./L)	180	0,03	2800	0,66	3250	1,3
DQO (mg/L)	270	0,05	3300	0,78	4700	1,88
Volumen Total (m ³ /mes)	3,68	-	7,4	-	12,4	-

(*) Primer enjuague.

Resultados de los análisis efectuados en la Sección 4. Las descargas generadas por el área de servicio no presentan problemas en cuanto a la carga que producen por lo que el tipo de análisis efectuado fue del tipo microbiológico para el agua de proceso.

CUADRO 24. Análisis microbiológico del agua de abastecimiento.

Fuente	Recuento Total (Col/100 ml)	Coliformes NMP
Agua de abastecimiento	5	<2

4.3.5. Resultados de los análisis efectuados al efluente que abandona la planta

Los análisis efectuados a los riles finales de la planta fueron del tipo físico-químico durante tres días seguidos. Los resultados se pueden observar en las siguientes figuras:

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

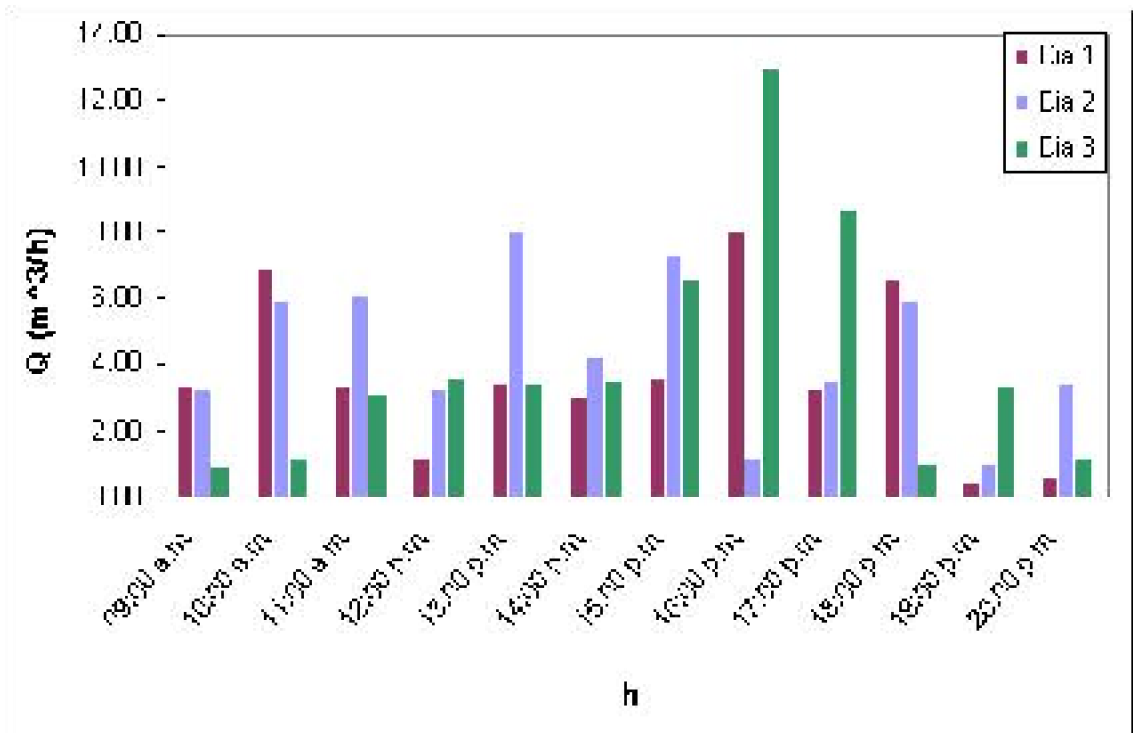


FIGURA 3. Caudal del RIL que abandona la planta.

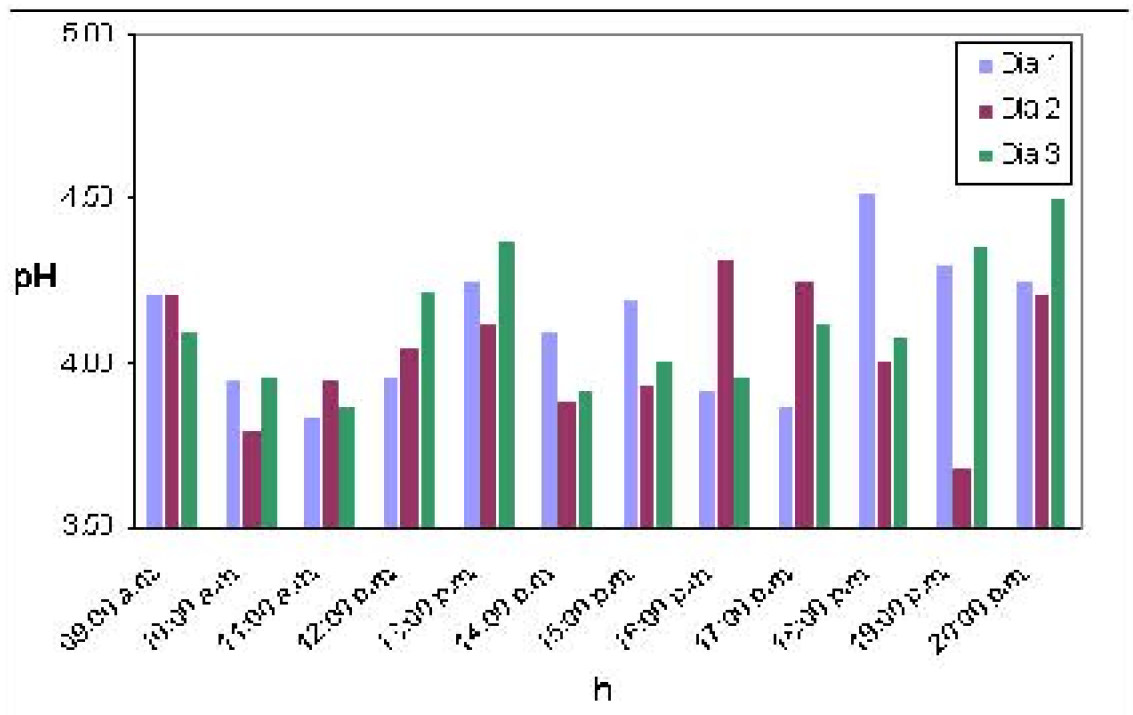


FIGURA 4. pH del RIL que abandona la planta.

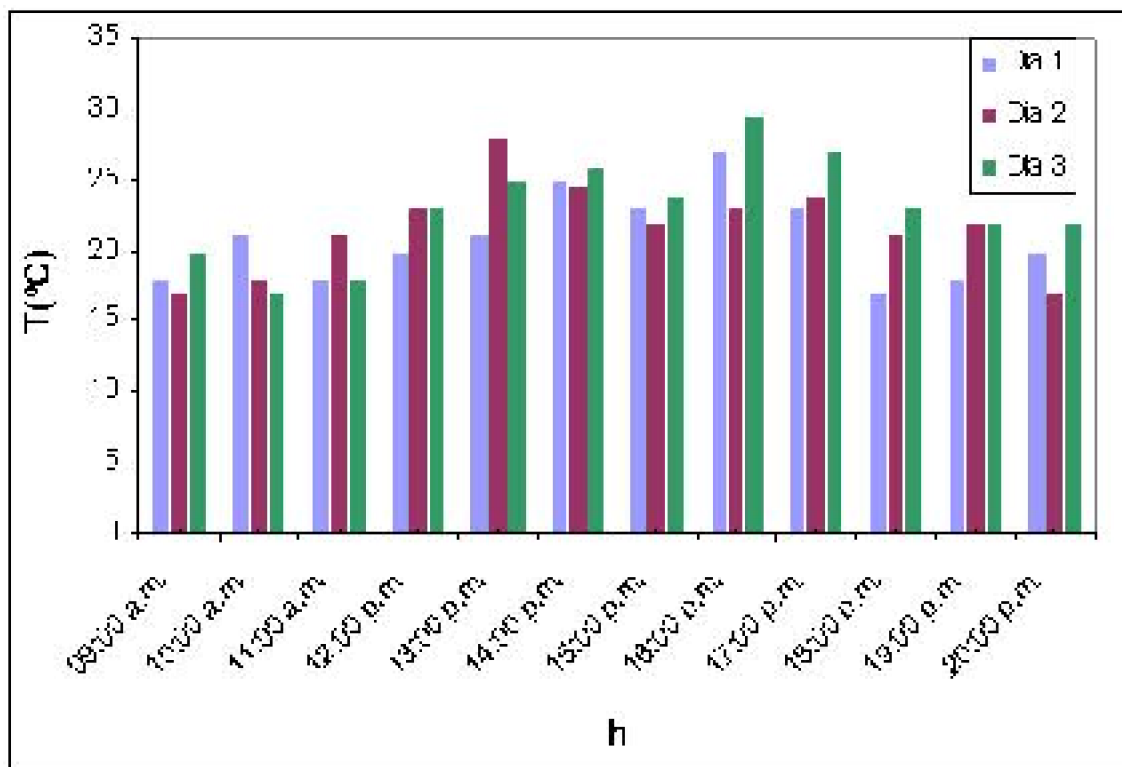


FIGURA 5. Temperatura del RIL que abandona la planta.

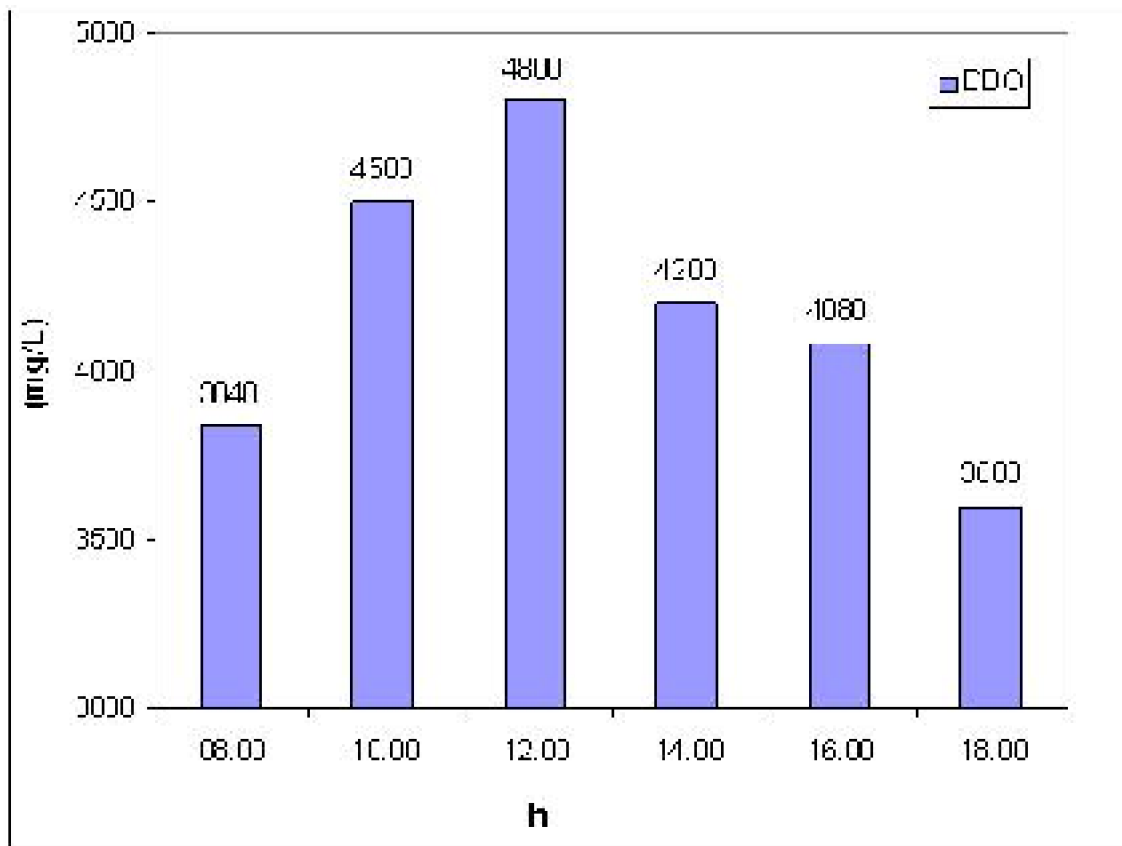


FIGURA 6. DBO₅ del RIL que abandona la planta en un día normal de producción.

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

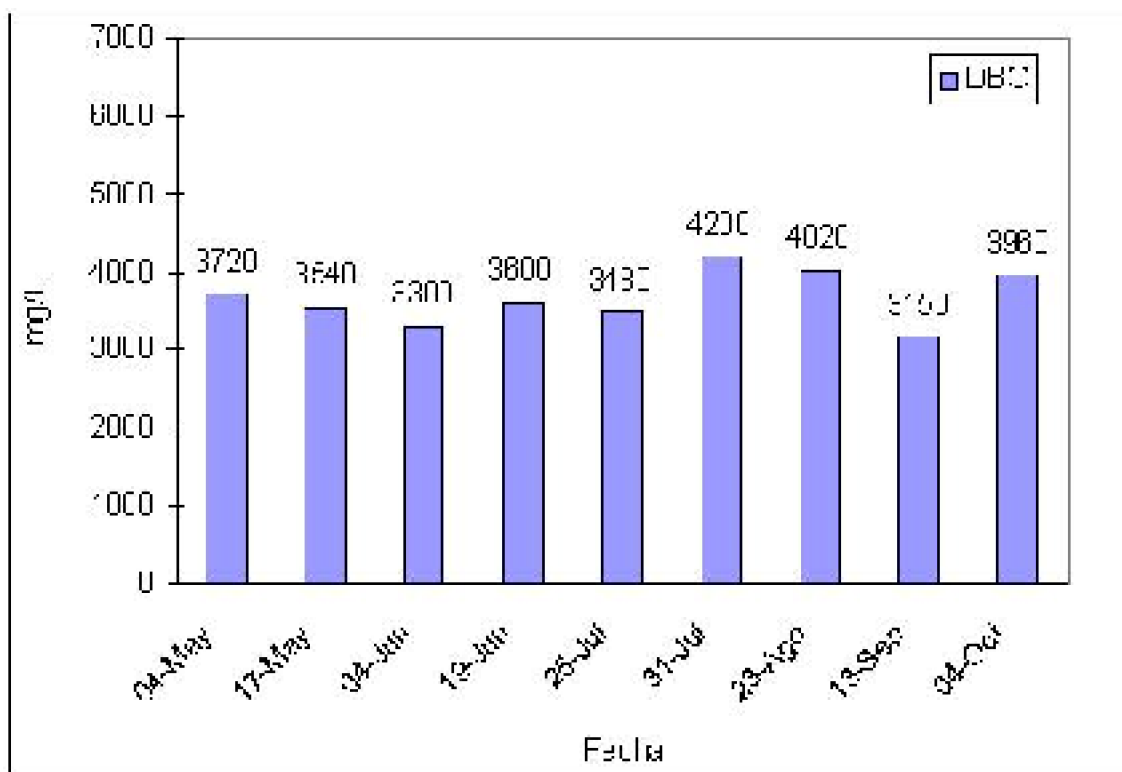


FIGURA 7. Comportamiento de la DBO₅ del Ril que abandona la planta durante el tiempo de estudio.

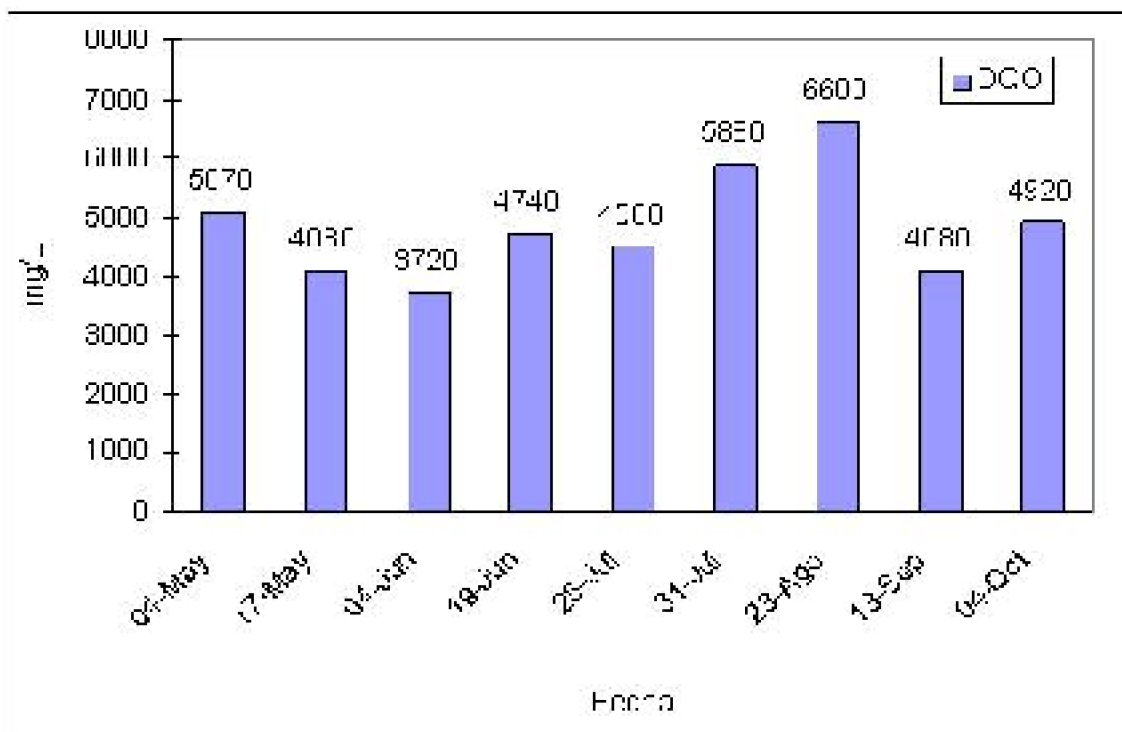


FIGURA 8. Comportamiento de la DQO del RIL que abandona la planta durante el tiempo de estudio.

4.4. Jerarquización de residuos

La jerarquización de residuos se llevó a cabo considerando los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Sólidos totales (ST) como indicadores de contaminación de cada vertido generado por el proceso productivo. Esta jerarquización permitió conocer cuales son aquellas descargas o vertidos que presentan mayores problemas de contaminación, para establecer las áreas de interés donde se generarán alternativas o recomendaciones para la minimización de estos residuos contaminantes.

La jerarquización definitiva de los vertidos producidos quedó establecida en el CUADRO 25.

CUADRO 25. Principales descargas según la jerarquización de vertidos generados en el proceso de elaboración de cerveza.

Jerarquía	Carga contaminante (kg/día)	Descarga realizada
1	18,40	Aguas terminada la filtración
2	14,55	Aguas del "lavado diario" de la caldera de cocción-maceración.
3	9,30	Escape producido durante fermentación
4	3,75	Lavado químico estanques UT (Fermentación)
5	3,00	Lavado químico estanques DT (Cerveza Filtrada)
6	2,05	Aguas del "Lavado diario" de la cuba-filtro (<i>Lauter tun</i>)
7	1,88	Aguas lavado químico línea envasado
8	1,30	Aguas del "Lavado diario" del <i>Whirpool</i> (decantador):

4.5. Evaluación de los vertidos

4.5.1. Vertidos generados en la elaboración de cerveza

Según la jerarquización de los vertidos, las aguas descargadas terminada la filtración presenta mayor problema en cuanto a la contaminación que produce, con 18,40 kg/día.

Este aporte está dado por la alta demanda química y bioquímica que presenta el vertido (24980 y 17200 mg/L respectivamente) y por la presencia de sólidos provenientes de la tierra filtrante ocupadas en el equipo (filtro Padovan) acompañados también de cerveza y restos de levadura que son eliminados al desagüe central de la planta durante la limpieza del equipo.

La descarga de las aguas del "lavado diario" de la caldera de cocción-maceración es la que ocupa el segundo lugar en cuanto a los niveles de contaminación producidos con 14,55 kg/día según la jerarquización. Esta carga se debe en gran medida al contenido de sólidos totales (13,20 mg/L) y sedimentables (49,20 mL/L 1 h) que contiene este vertido, producto del lavado diario y del enjuague del equipo durante su funcionamiento.

El tercer lugar lo ocupa el escape producido durante la fermentación (9,30 kg/día); este escape se produce en algunos estanques donde se produce la fermentación, debido principalmente a problemas de diseño, por lo que al estar produciéndose la fermentación del mosto se produce un pequeño escape por el tubo de limpieza (CIP) del estanque. Este escape es recibido en un pequeño recipiente destinado a la solubilización del CO₂ producido durante la fermentación. Aunque este escape es poco en cuanto a su volumen, su demanda química es muy alta 63200 mg/L debido a que el contenido es cerveza en pleno estado fermentativo (con alto contenido de células de levadura).

El lavado químico de estanques UT (de fermentación) produce 3,754 kg/día sólo en el primer enjuague, el agua proviene del "agua de ambientación", que se realiza antes de iniciar el lavado con soda cáustica, con el objetivo de arrastrar los sólidos de levadura con agua a 65 °C. Otra descarga similar son las aguas del lavado químico de estanques DT (de cerveza filtrada) con 3,00 kg/día. Las aguas del segundo enjuague en estos estanques, (enjuague del ácido fosfórico al 1,5 %) y las aguas del tercer enjuague (enjuague del lavado con Cloro a 100 ppm), no representan niveles de contaminación considerables por lo que incluso pueden recuperarse.

La descarga de las aguas del "lavado diario" de la cuba-filtro (*Lauter tun*) también presentan niveles de contaminación considerables con 2,05 kg/día debido principalmente a la presencia de sólidos del mosto (131,87 mL/L 1 h) los cuales son descargados al desagüe central de la planta.

Si bien ninguno de estos vertidos cumple con la normativa legal vigente, existen oportunidades para la minimización de los elementos contaminantes.

4.5.2. Vertido final que abandona la planta

Dada la complejidad existente en las diversas etapas de producción de la cerveza y la naturaleza de las materias primas utilizadas, la composición química y microbiológica del efluente final de una cervecería es muy variada.

En la cervecería, durante el estudio del efluente, se pudo constatar que contiene granos de cebada en suspensión y de sólidos sedimentables (13,98 mg/L y 2,32 mL/L 1 h, en promedio), provenientes de las impurezas de la materia prima producidas principalmente en la elaboración del mosto en la caldera de cocción-maceración y en la cuba-filtro, y de tierra filtrante proveniente de las operaciones de filtración de la cerveza.

Posee un color bastante intenso (grisáceo) debido a los sólidos disueltos presentes (925,85 mg/L) y un pH que varía entre 3,68 a 4,52. La temperatura del efluente varió entre los 17 °C y los 29,5 °C. También presenta un olor fuerte, debido a la presencia de restos de levadura y microorganismos que descomponen la materia orgánica presente.

Este efluente también presenta flujos variados a diferentes horas del día variando entre los 0,43 m³/h y 12,95 m³/h como máximo.

También se estimó la carga orgánica del efluente que abandona la planta después de pasar por el decantador de sólidos que posee la planta. La medida de la carga orgánica se llevó a cabo en un día típico de producción tomándose una muestra cada dos horas de efluente que abandona la planta. Las cargas orgánicas obtenidas varían a lo largo del día debido a la producción y a las operaciones realizadas durante el turno. La demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅) del efluente varió entre los 3600 mg/L y los 4800 mg/L produciéndose una carga aproximada que varía entre 3,1 kg/día y 9,5 kg/día. Esta carga obtenida, en términos de Población Equivalente, sería del orden de una población de 317 personas para la carga más alta y de 103 personas para la carga más baja.

Durante el estudio también se tomaron muestras regularmente del efluente que abandona la planta, los cuales sirvieron como medida de control, con la cual, a las muestras obtenidas se les midió la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) variaron entre 3150 mg/L el día 13 de septiembre y 4200 mg/L el 31 de julio. Los valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) variaron entre 3720 mg/L el día 4 de junio y 6600 mg/L producidos el día 23 de agosto.

4.5.3. Determinación del índice de biodegradabilidad (IBDR) del efluente que abandona la planta

El índice de biodegradabilidad (IBDR) de un efluente es la relación que existe entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es decir:

$$IBDR = \frac{DBO}{DQO}$$

La importancia de este índice es fundamental, ya que permite decidir en un momento dado, el criterio de diseño de una planta de tratamiento de riles. En efecto:

Si la IBDR > 0,4 el RIL es *principalmente biodegradable*, en tal caso se puede diseñar un sistema de tratamiento principalmente biológico, como un sistema de lodos activados.

Si 0,2 < IBDR < 0,4 el RIL es *biodegradable*, en tal caso se recomienda aplicar un diseño a base de lechos bacterianos y por el contrario, si el IBDR < 0,2 el RIL es *no biodegradable*, situación por la cual, se deberá aplicar un diseño a base de procesos

principalmente químicos.

En nuestro caso de estudio, el índice de biodegradabilidad del efluente que abandona la planta es de IDBR = 0,63 por lo que es un efluente altamente biodegradable, por lo que se requiere un tratamiento del tipo biológico como lodos activados, filtros biológicos o lagunas de proceso aerobio o anaerobio.

4.5.4. Alternativa de tratamiento

Los residuos industriales de las cerveceras suelen reducirse fundamentalmente con el manejo adecuado de los residuos líquidos que constituyen el aspecto más crítico en la gestión ambiental de la industria cervecera.

El principal problema se centra en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de las aguas residuales lo cual va de la mano con la reducción de la carga orgánica, y la concentración de elementos sólidos orgánicos. Esta oportunidad de manejo permite obtener subproductos de la recolección de materiales sólidos como insumo para suplemento de ganado y ó bien disponerlos adecuadamente con terceros.

Desde el punto de vista tecnológico el problema principal de las cerveceras se centra en el manejo adecuado de los residuos industriales líquidos y más específicamente en la reducción de la DBO de las descargas líquidas.

Un sistema del tipo Biotecnológico que está basado en la utilización de bacterias que actúan como reductores biológicos, las cuales se activan en contacto con el agua residual y producen la degradación directa e inmediata de la materia orgánica logrando reducciones de DBO desde valores de 5000 mg/L hasta 3 mg/L dependiendo de la cantidad de bacterias utilizadas y del tiempo de residencia que debe calcularse para cada caso. Si se opta por este sistema de tratamiento de aguas, generalmente, este tipo de sistemas requieren de la construcción de pozas del tipo geo-membranas, que reducen notablemente los tiempos, costos de tratamiento y operación significativamente.

Desde un punto de vista estrictamente tecnológico, las bacterias son una solución muy sencilla y fácil de aplicar a la realidad local, sin embargo debe tenerse en cuenta la dependencia del material bacteriano de reposición lo cual obligaría, para ser rentable, a la adquisición de material biológico en grandes cantidades por período anual. Desde el punto de vista de operación el rendimiento es muy alto ya que permite reducciones en la DBO de hasta 99% y no genera subproductos indeseados ni requiere tratamientos adicionales.

En este contexto, se inició un ensayo o tratamiento de los RILes de la planta con un producto comercial destinado a la digestión o reducción de la DBO, a la limpieza y eliminación de olores, a las aguas residuales de la planta.

Para llevar a cabo este estudio, se procedió como se muestra en el CUADRO 26, según lo dispuesto por la empresa elaboradora del producto:

CUADRO 26. Metodología seguida para el ensayo con producto comercial.

Día	Acción
1	35 L de efluente más 1L del producto
2	32 L de efluente
3	32 L de efluente más 150 cm ³ del producto
4	32 L de efluente
5	32 L de efluente más 150 cm ³ del producto
6	32 L de efluente
8	100 cm ³ del producto

El tratamiento continuó con la adición de 100 cm³ cada una semana, hasta completar un mes.

El recipiente fue ubicado en la sala de la caldera, con el objetivo de imitar las condiciones atmosféricas típicas del verano en la ciudad.

El muestreo realizado, consistió en un análisis de pH con un potenciómetro, un análisis cualitativo (a través de la observación) del agua tratada observando olor y color y un análisis de la demanda bioquímica del agua (DBO₅).

Los resultados del ensayo se pueden observar en el CUADRO 27.

CUADRO 27. Resultado del ensayo efectuado con el producto comercial.

Nº Muestra	Fecha	pH	DBO ₅ (mg/l)
1	16- julio	4,31	5200
2	19- julio	4,54	4900
3	31-julio	4,88	3980
4	16-agosto	5,01	1200
5	6-septiembre	5,25	800
6	26-septiembre	5,30	450

El análisis de los resultados del muestreo, mostraron una disminución considerable de la intensidad del color y el olor, pasando de un color grisáceo opaco a uno casi incoloro y a la disminución notable del olor, pasando de un olor intenso y fuerte a casi desaparecer por completo.

Respecto a los valores obtenidos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se observo una disminución considerable de estos valores. Los muestreos se realizaron al tiempo cero, a los tres, quince, treinta, cincuenta y 70 días. Los valores fueron de 5200 a 450 mg/L produciéndose una eficiencia del tratamiento de alrededor del 91,3 %.

El valor de pH varió de relativamente ácido a uno más básico, debido a la descomposición de la materia orgánica y a los subproductos que neutralizan el efluente haciéndolo más alcalino y menos dañino al medio ambiente.

Por lo tanto, este sistema de tratamiento es efectivo en cuanto a la eficiencia en la reducción de la demanda bioquímica del agua, pero al mismo tiempo presenta la desventaja de la dependencia del material bacteriano, el costo del tratamiento y el tiempo de residencia para que el producto actúe

4.6. Recomendaciones y oportunidades de producción limpia

El consumo de agua como materia prima es el factor más importante para la industria elaboradora de cerveza y su consumo depende de los métodos de operación practicados, la antigüedad de la tecnología de cada planta y el tipo de equipos utilizados en la fabricación de cerveza.

Sin embargo, el consumo de agua global involucra múltiples etapas en el proceso de fabricación de la cerveza. Los procesos internos que generan importantes consumos de agua son los siguientes:

- Enfriamiento (Compresor)
- Pasteurización de líneas y equipos
- Limpieza de equipos de proceso.
- Limpieza de pisos
- Limpieza de máquina envasadora y pisos en área de envasado

De lo anterior, el consumo de agua constituye un factor importante al momento de diseñar o dimensionar un sistema de tratamiento, ya que a mayor caudal menor concentración, esto implica, equipos de mayor volumen y por ende de mayor costo, pudiendo afectar su funcionamiento o eficiencia de forma adecuada, lo que trae consigo problemas tanto para la empresa como para el medio ambiente. A continuación se dan algunas **recomendaciones a las diferentes secciones de la planta.**

4.6.1. Sección 1: "Sala de Cocimiento"

Las recomendaciones para la sección 1 son las siguientes:

4.6.1.1. Recuperación de calor en la elaboración de cerveza

La recuperación del calor durante el proceso cervecero, puede lograrse fácilmente con la instalación de un intercambiador de calor en la chimenea de escape de la caldera de cocción-maceración, con el fin de recuperar calor del proceso de cocción y utilizarlo en el calentamiento del agua. El producto obtenido (agua caliente) puede ser utilizado para pre-calentar agua para la elaboración de cerveza reduciendo la cantidad de vapor requerida para el calentamiento y, por lo tanto, la cantidad de energía necesaria para producir vapor. Debe revisarse el aislamiento térmico de todos los sistemas que lo requieran.

4.6.1.2. Procedimientos para la limpieza de los recipientes de elaboración de

cerveza

Los estanques tales como la caldera de cocción- maceración, la cuba-filtro, estanques de fermentación y estanques de maduración de cerveza, se puede aprovechar la última agua de enjuague, ya que no presenta cargas orgánicas significantes, y pueden ser ocupadas como la primera agua de enjuague para el subsiguiente lavado, para lo cual puede adaptarse un estanque de almacenamiento de aguas grises (de muy bajo grado de contaminación) donde se puede acumular el agua para su uso posterior.

Esta re-utilización del agua del enjuague reducirá automáticamente el volumen de la descarga final de agua residual.

Para el lavado químico de los equipos se pueden adaptar estanques para la recuperación de sosa cáustica y ácido de los procedimientos de limpieza. Debe considerarse elementos para determinar las concentraciones de las soluciones

4.6.1.3. Procedimientos de enjuague de la cuba-filtro (Lauter tun)

La implementación de un procedimiento adecuado para el enjuague del filtro permitirá recuperar el agua de lavado e ingresarla a la caldera de cocción-maceración, por ejemplo, para aumentar el extracto. Este proceso puede hacerse mucho más eficiente si se optimiza el proceso de separación desechando la máxima cantidad de orujo a los tachos de recolección del grano residual minimizando al máximo la descarga de aguas de enjuague del grano y del filtro. También estas aguas, pueden mezclarse con las aguas de los "enjuagues diarios" de los equipos (caldera de cocción-maceración, decantador), que reciben durante su funcionamiento, lo que permitirá que se disminuya la cantidad de agua a emplear en el próximo cocimiento lo que se convertirá en un ahorro y además se reducirá la gran cantidad de material sólido que se descarga al desagüe central y que incrementará el contenido de la demanda bioquímica de oxígeno en la descarga o efluente final de la planta.

4.6.1.4. Recolección del Trup

La recuperación de los sólidos del *Trup* provenientes del decantador (*Whirpool*) y de la acumulación en tuberías, permitiría disminuir la carga de material orgánico que pueda elevar la DBO_5 en la descarga final y a la vez obtener un producto que pueda servir tanto para incrementar el extracto de la cerveza como para mezclarse con el orujo y disponerse a la venta como suplemento de alimentación para la ganadería.

4.6.1.5. Construcción de Tamices

Para eliminar todos los sólidos posibles; se recomienda la instalación de una reja o tamiz, ubicado en el desagüe central de la planta, ubicado uno a la salida de esta sección, y otro al final de la sección 2, así se podrían recuperar y eliminar la mayoría de los sólidos provenientes de las operaciones tales como enjuague de los equipos (caldera de cocción-maceración, cuba-filtro, filtro Padovan), de tal forma que al finalizar las operaciones respectivas o el turno productivo, puedan ser desmontados, limpiados, y vueltos a re-utilizar.

4.6.1.6. Mejoramiento de los procesos de lavados

Como primera medida se deben instalar pistones de corte automático en todas las mangueras de la planta, además de diseñar e implementar programas de lavado estrictos, como una etapa previa a la implementación de sistemas automáticos de lavado (CIP).

4.6.2. Sección 2: "Sala de Fermentación, maduración y reposo"

Cuando la cerveza que fermenta, es del tipo Toro Bayo Ale y a veces también del tipo Bock, se produce un escape por el tubo CIP del estanque (debido a problemas de diseño y a la fermentación tumultuosa), produciéndose un rebalce del agua encargada de solubilizar el CO₂ y este escape produce una descarga que posee una muy elevada demanda química, lo que aumenta en forma significativa la carga de los efluentes finales de la planta, por lo que se recomienda que el recipiente encargado de recibir este escape debe ser de mayor tamaño, para evitar el rebalse y que la descarga llegue al desagüe central para posteriormente, cada cierto tiempo eliminar este residuo en forma manual conduciéndolo al exterior de la planta.

También se debe hacer una revisión periódica para mantener los equipos en buenas condiciones, revisando constantemente válvulas y juntas para evitar posibles fugas que puedan aumentar la carga contaminante de los efluentes.

4.6.2.1. Recolección de levadura

En la recolección o eliminación de la levadura de los estanques, deben evitarse al máximo los derrames de levadura, para lo cual deben taparse bien los tachos cada vez que se transporte la levadura. También procurar eliminar el exceso de las mangueras en los mismos tachos, para evitar el goteo y formar charcos de levadura, que luego son arrastrados con agua y que aumentan la carga de los efluentes.

La levadura desechada puede destinarse a incrementar el valor de los granos residuales o complementar los productos obtenidos como suplemento animal para la ganadería.

4.6.2.2. Reciclaje de residuos sólidos del filtrado de cerveza

La recuperación de los materiales sólidos de todas las etapas del proceso permitiría la reducción drástica de la carga orgánica hacia los cursos de agua en las descargas reduciendo la DBO₅ y el volumen de la descarga. Para el caso de los sólidos del filtrado kieselguhr (cerveza más tierra diatomásea) descargados cuando concluye la filtración, se puede utilizar un estanque de contención que permita sedimentar los sólidos, y talvez venderlos como relleno para carreteras, acondicionamiento de suelos, para la regeneración de suelos contaminados, elaboración de ladrillos o reciclarlas y el sobre-nadante podría ser reprocesado.

4.6.2.3. Toma de muestras de CO₂

La toma de muestras del estanque para medir el CO₂ de la cerveza, produce que una pequeña cantidad de cerveza llegue al desagüe central de la planta, para evitarlo, sería conveniente conectar una manguera al medidor de presión y que a su vez conduzca a un recipiente que pueda contener la cerveza desechada. Esta podría ser reutilizada o mezclada en el estanque que contiene los sólidos del filtrado o eliminada junto con la levadura.

4.6.3. Sección 3: "Sala de envasado"

La recolección de la cerveza derramada del área de llenado de botellas permite obtener un producto que puede ser destinado a la elaboración de melaza, o a su reciclaje en otra etapa del proceso de fabricación, reduciendo la DBO₅ de las descargas finales y el volumen de las aguas residuales de la planta. También debe mantenerse en buenas condiciones la máquina envasadora, ya que de ella se origina la cerveza que llega al desagüe de esta sección. Se recomienda diseñar programas de mantenimiento continuo, bien programados para evitar demoras de producción.

4.6.3.1. Reciclaje del agua del lavador de botellas

El agua utilizada en el lavador de botellas puede utilizarse como parte del agua utilizada en el pasteurizador de botellas o reutilizarse en cualquier etapa de enjuague en la planta ya que son aguas de baja contaminación (grises), reduciendo el consumo global de agua en la planta y en consecuencia el volumen de las aguas residuales.

4.6.3.2. Buenas prácticas medioambientales

Como siempre es "mejor prevenir que curar", procurar utilizar manuales de Buenas Prácticas Medioambientales, algunas de ellas, por ejemplo:

- Se debe considerar que el agua, aunque pareciera no tener costo alguno, resulta innecesario reducir su consumo. Sin embargo esto deja de ser válido al momento de existir leyes que regulan la protección al medio ambiente y medidas de control para reducir su consumo, que a la larga se transforman en ahorro de dinero y recursos.

- Optimizar la gestión interna del agua, a través de la implantación de medidas de minimización en el consumo y generación de aguas residuales.

- Utilización de sistemas de centrifugación-decantación para recuperar el mosto contenido en el trup o bagazo.

- Utilización de filtros de tierra ecológicos o centrífugas, para evitar vertido de tierras al alcantarillado.

- No eliminar el vertido de levaduras a la red, ya que aportan alta carga orgánica.

- La minimización en el consumo de agua implica optimizar los consumos de energía,

ya que cerca del 40% de la energía se utiliza para calentamiento de agua y producción de vapor

- **Contar con procedimientos para reducir el consumo de agua, reciclando las aguas que presenten muy baja contaminación (aguas grises) y/o reciclando las aguas para la calefacción, riego u otras operaciones que necesiten agua.**

- **Utilizar listas de chequeo para ordenar la información adquirida en terreno para emplear mejor los recursos disponibles para el análisis de la información.**

- Implementar medidas de ahorro energético como sería el aprovechamiento del calor de los vapores generados durante la cocción del mosto para calentar el mismo o para calentar agua.

- Optimizar la gestión integral de los residuos, ya sea segregando las diferentes corrientes en función del tipo y destino y la gestión de los residuos asimilables a urbanos a través de los servicios de recogida municipal o de empresas especializadas.

- Utilización de combustibles limpios, control y mejora del proceso de combustión.

- Implantar las medidas necesarias para cumplir con la legislación vigente en materia de ruido.

- Utilización de sistemas para evitar la emisión de malos olores.

5. CONCLUSIONES

- De la investigación y resultados presentados se puede concluir que:
- A través del estudio de los residuos industriales líquidos (RILes) al interior de la industria Cervecera Valdivia, se pudo determinar los niveles de contaminación producidos por el proceso productivo.
- El consumo de agua en un mes normal de producción es de 3934 m³, produciendo un Consumo Promedio Diario de 127 m³, de los cuales la sección 4, el “Area de servicios”, en la que se comprueba el mayor consumo de agua se produce (3000 m³) representando un 76,25% del total del agua que ingresa a la industria, debido principalmente al sistema de enfriamiento utilizado por ésta.
- Dada la caracterización de los vertidos producidos por el proceso productivo se determinó que la mayoría de los vertidos sobrepasan los límites permitidos por la Norma Chilena sobre las descargas de Riles a Cuerpos Hídricos, para los parámetros como DBO₅, Sólidos totales y Sólidos sedimentables.
- Dentro de los vertidos generados por el proceso productivo, la limpieza del filtro Padovan, una vez terminada la filtración, es el vertido que presenta mayor carga contaminante, llegando a 18,40 kg/día.
- El estudio arrojó un consumo de 30,28 m³ de agua/m³ de cerveza, incluyendo el sistema térmico de la planta. Este factor se ve altamente disminuido sin considerar este último sistema, a 7,19 m³/m³ de cerveza.

- El efluente que abandona la planta posee flujos variados, a lo largo del día, variando entre $0,43 \text{ m}^3/\text{h}$ y $12,95 \text{ m}^3/\text{h}$ como máximo y presenta una DBO_5 que varía entre 3600 mg/L y 4800 mg/L produciéndose una carga aproximada que varía entre $3,1 \text{ kg/día}$ y $9,5 \text{ kg/día}$.
- El efluente que abandona la planta también sobrepasa los límites permitidos por la Norma Chilena sobre las descargas de Riles a Cuerpos Hídricos, para el parámetro de DBO_5 , no así para los parámetros de temperatura y sólidos sedimentables.
- El índice de biodegradabilidad del efluente que abandona la planta es de $\text{IDBR} = 0,63$ por lo que es un efluente altamente biodegradable, por lo que se requiere un tratamiento del tipo biológico, como sería un tratamiento de lodos activados, filtros biológicos o lagunas de proceso aerobio o anaerobio.

El sistema de tratamiento ensayado con el producto comercial destinado a la reducción de la DBO_5 , es un sistema efectivo en cuanto a la eficiencia en la reducción de la demanda bioquímica del agua, pero al mismo tiempo presenta la desventaja de la dependencia del material bacteriano, el costo del tratamiento y el tiempo de residencia para que el producto actúe.

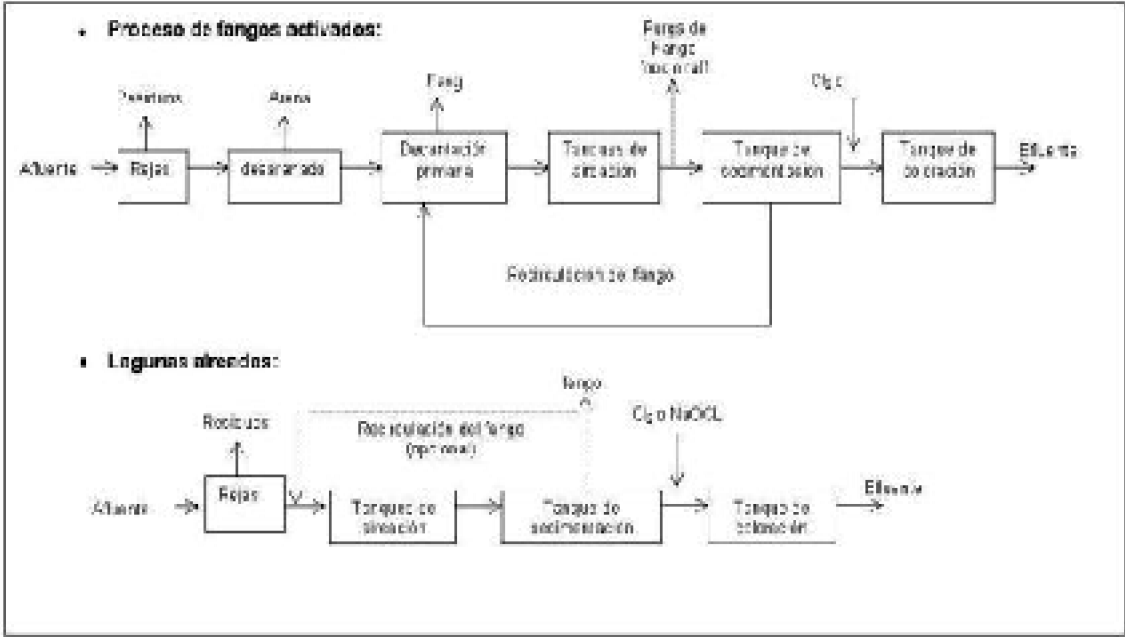
BIBLIOGRAFIA

- BELITZ, H.D. y GROSCH, W. 1997. Química de los alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 1087p.
- COORS, J. 1978. Operaciones en Bodega. El Cervecerero En La Practica. Ed. Graficas Sur, S.R.L.. Venezuela. 267 p.
- CORTEZ, P. 2001. Manual Proceso Cervecerero. Cervecera Valdivia. 124p.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1999. Ley de Descarga de RILes. Nch 2280.
- CHILE, COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE.1998. Manual de Auditoria en Producción Limpia. Santiago. Chile. 175p.
- CHILE, MINISTERIO DE SALUD. 2000. Dirección de Salud, Llanquihue Chiloe Palena, Depto Programa sobre el Ambiente. Taller de residuos industriales líquidos. Pto Montt. Chile. 57p.
- HERNAN, M. 1997. Manual de tratamiento de aguas. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Albany. Estados Unidos. 205p.
- INDUAMBIENTE.2000. El agua y las leyes. Directorio Induambiente. Guía de descontaminación industrial y recursos energéticos 99/2000.
- KOSS, J. 1997. Evaluación de Instalaciones de Planta (II). Beverage World en Español. Volumen IV: 5:60-61p.
- LAGREGA, M. 1996. Gestión de residuos tóxicos. Volumen II. Editorial McGraw-Hill.

- Madrid. España. 735p.
- LEVIN, M. 1997. Biotratamineto de residuos tóxicos y peligrosos. Editorial McGraw-Hill. Madrid. España. 334p.
- METCALF y EDDY, 1995. Ingeniería de aguas residuales. Tercera edición. Editorial McGraw-Hill. Madrid. España. 1485 p.
- MILENKO, R. 1999. Ingeniería conceptual y modelación matemática del comportamiento de las descargas de efluentes de una industria de levaduras. Tesis Lic. Ingeniería Civil Agroindustrial. Universidad de la Frontera. Instituto de Agroindustrias. Temuco.
- PERU, MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACION Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES MITINCI. 2001. Informe de sustento para la propuesta de límites máximos permitidos del sub-sector cerveza. Ministerio **de industria, turismo, integración y negociaciones comerciales internacionales. Dirección de Asuntos Ambientales. Perú.**
- SIERRA, J. 1989. La reutilización de las aguas residuales, acondicionamiento y uso. Editorial centro de estudios y experimentación de obras publicas. Madrid. España. 216 p.
- SEOANES, M.1998. Ecología industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa, manual para responsabilidades medioambientales. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. 522p.
- STEWAERT, D. 2001. Wastewater Treatment. The New Brewer. Volumen 18:49-51.
- TRINKS, F. 2000. Apuntes de Tecnología III. Universidad Argentina de la Empresa. N.A.D.E. Argentina.
- ULLMANN, F. 1951. Enciclopedia de Química industrial. Sección VI: Productos agrícolas, alimenticios y medicinales. Tomo 10. Editorial Gustavo Gili. Barcelona. España.
- YOUNG, R. 1978. Operaciones de Envasado y Embotellamiento. El Cervecerero En La Practica. Editorial Graficas Sur, S.R.L.. Venezuela. 267p.
- ZAROR, C. 1993. Conceptos fundamentales de tratamiento de residuos industriales. Departamento Ingeniería química. Universidad de Concepción. Concepción. Chile.147p.

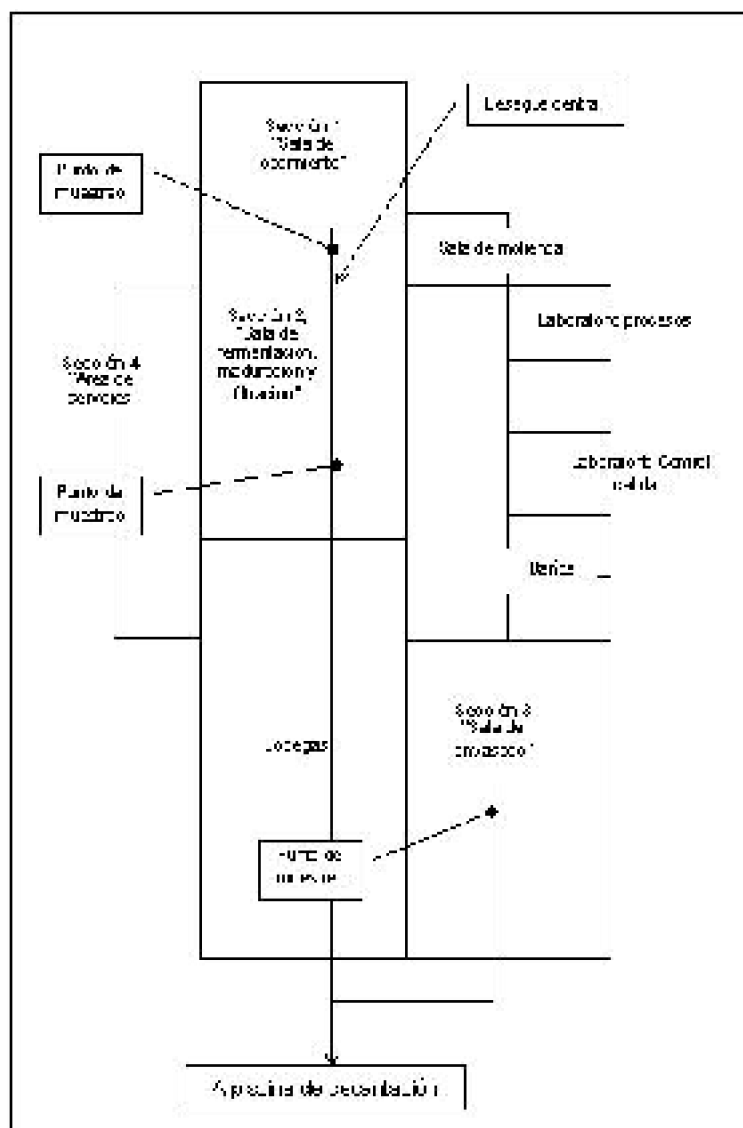
ANEXOS

ANEXO 1. Diagramas simplificados de tratamientos biológicos



FUENTE: METCALF y EDDY (1995)

ANEXO 2. DISTRIBUCION DE LAS SECCIONES DE LA PLANTA Y PUNTOS DE MUESTREO



ANEXO 3. DIAGRAMA GLOBAL DE EFLUENTES Y PUNTO DE MUESTREO

