

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

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

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 .

Profesor Informante . .

RESUMEN .

1. INTRODUCCION .

2. REVISION BIBLIOGRAFICA . .	1
2.1. Antecedentes generales .	1
2.2. Caracterización de las aguas residuales . .	4
2.2.1. Caracterización física .	5
2.2.2. Caracterización química .	6
2.3. Normativa ambiental .	7
2.4. Normativa sobre la descarga de residuos industriales líquidos . .	7
2.5. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales .	8
2.5.1. Tratamiento primario . .	9
2.5.2. Tratamiento secundario .	9
2.5.3. Tratamiento terciario . .	10
2.6. Antecedentes del proceso productivo . .	10
2.7. La cerveza . .	11
2.7.1. Obtención de la malta .	11
2.7.2. Elaboración .	11
2.7.3. Origen de las aguas residuales de la fabricación de cerveza . .	13

3. MATERIAL Y METODO . .

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS . .

5. CONCLUSIONES . .

BIBLIOGRAFIA .

ANEXOS .

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.

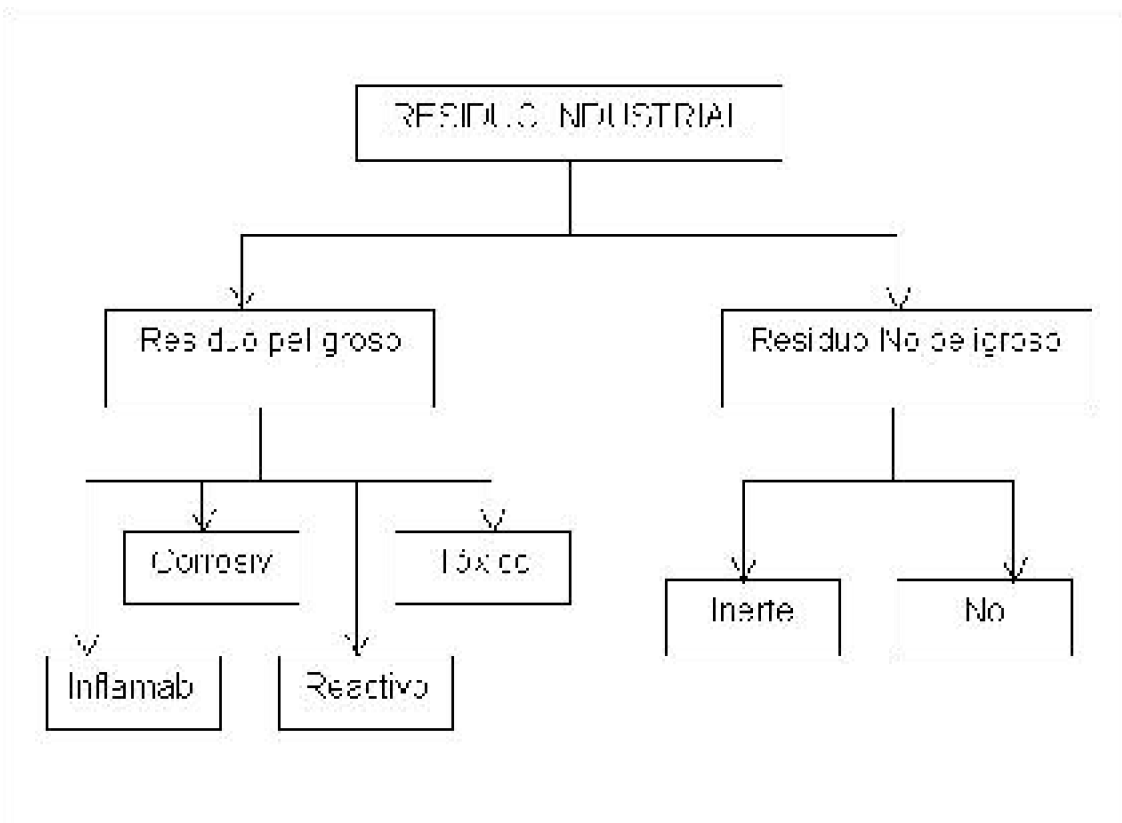


FIGURA 1. Clasificación de los residuos industriales.

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	Constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al efluente como consecuencia del uso del agua y es posible que deban eliminarse si se reutiliza el agua residual.
Metales Pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual

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 DBO_5 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)