

***"Propuesta Técnica para la Construcción de una Planta de
Tratamiento de Efluentes para la Fabricación de
Cerveza Artesanal"***

Ingeniera Civil M. Victoria Fedeli

**Trabajo final integrador para optar al título de:
"Especialista en Tratamiento de Efluentes y Residuos
Orgánicos"**

Tutora: Ing. Beatriz Vernière

2018



INDICE

1 - RESUMEN	1
SUMMARY	2
2 - INTRODUCCIÓN	3
3 - OBJETIVOS.....	3
4 - ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION.....	3
<i>TIPOS DE TRATAMIENTO PARA EFLUENTES CERVECEROS EN EL MUNDO</i>	4
<i>EXIGENCIAS DEL DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS (DPA)</i>	6
5.1 - DESARROLLO. SISTEMA DE TRATAMIENTO	8
<i>INTRODUCCION</i>	8
<i>CARACTERISTICAS DEL ESTABLECIMIENTO</i>	11
<i>PRODUCCION DE CERVEZA Y PUNTOS DE GENERACION DE EFLUENTES</i>	11
<i>CARACTERIZACION DEL EFLUENTE</i>	13
<i>CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO</i>	17
<i>DIAGRAMA DE FLUJO</i>	19
5.2 – PRE TRATAMIENTO	20
<i>EFLUENTES</i>	20
Cámara de bombeo 1 (CB1).....	20
Tamiz estático tipo tobogán (TE)	20
Compactador de tornillo (CT)	21
Cámara homogeneizadora de caudales (CHC)	22
Funcionamiento de la cámara equalizadora - Bombeo:.....	23
Corrección de pH.....	23
<i>SOLIDOS Y SEMISOLIDOS DEL PRE TRATAMIENTO</i>	24
5.3 - TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	25
<i>FILTRO ANAEROBICO CON MATERIAL SOPORTE. (FAMS)</i>	26
Dimensiones del volumen efectivo del reactor	26
Relación DQO/Sulfatos:	27
Estimación de la producción potencial de la cantidad de biogás:	27
<i>REACTOR DE BARROS ACTIVADOS. (RBA)</i>	28
Dimensiones del volumen del reactor	29
Caudal de purga y recirculación:.....	29
Requerimiento de aire.....	30
Sedimentador Secundario.....	31
Área Superficial de sedimentador:.....	32
Inoculación.....	32
<i>SOLIDOS Y SEMISOLIDOS</i>	32
Mecanismo de extracción.....	33
Contención y drenaje	33
Extracción desde el sistema de contención y drenaje	34
5.4 - TRATAMIENTO DE AFINAMIENTO O PULIDO FINAL	34
<i>PLANTA DE OZONO</i>	35
5.5 - DISPOSICION DEL EFLUENTE TRATADO – Infiltración y/o reúso	36
<i>SUPERFICIE DE INFILTRACION PARA EL EFLUENTE TRATADO</i>	37

<i>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA</i>	38
5.6 - EFICIENCIAS DEL SISTEMA.....	38
5.7 - CASO PARTICULAR: RESTOS DE LEVADURA DE LA FABRICACION.....	39
<i>ANTECEDENTES</i>	39
<i>SECADO POR ATOMIZACION - EQUIPOS DE SECADO SPRAY</i>	39
<i>EQUIPOS DE ESPESADO POR DESHIDRATAACION TERMICA EN PLACAS</i>	40
<i>RECOMENDACIONES FINALES</i>	42
6 - CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	42
7 - BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEB CONSULTADAS	43

1 - RESUMEN

En los procesos de fabricación de cerveza artesanal, como el malteado, molienda y maceración, la cantidad de agua en la mezcla con los granos de cereal es el ingrediente mayoritario, alcanzando aproximadamente el 90% del producto.

Luego de producirse la cocción, fermentación y maduración del producto, las otras actividades dentro del proceso productivo con un elevado consumo de agua son los procesos de limpieza de los equipos utilizados, filtrado y envasado. El efluente generado de la fabricación de la cerveza tiene un alto contenido de materia orgánica, de sólidos en suspensión y variaciones de pH.

En la ciudad de San Carlos de Bariloche el desarrollo del mercado de la cerveza artesanal se encuentra en expansión. A consecuencia de ello es importante considerar el impacto ambiental que ejerce la instalación de pequeños y medianos productores de cerveza en la región y particularmente en la ciudad. El Ente Regulador en Rio Negro, como a otras industrias, exige a los productores cerveceros el cumplimiento de las reglamentaciones para controlar: la calidad, cantidad, tratamiento y puntos de vuelco de los efluentes que producen. En este trabajo el objetivo es plantear las consideraciones técnicas adecuadas, que deberían afrontar en la gestión de los efluentes y residuos sólidos los emprendimientos cerveceros de la ciudad.

Las características de los efluentes generados requieren de procesos físicos y biológicos de tratamiento de alta eficiencia de remoción por los elevados contenidos de materia orgánicos, que pueden variar desde 4.600 mg/L hasta 11.300 mg/L de DBO₅. Una combinación de tratamiento anaeróbico con un posterior aeróbico se encuentra dentro de las alternativas tecnologías que predominan a nivel mundial.

La propuesta elaborada cuenta con una etapa de Tratamiento Primario, Secundario y Terciario y las condiciones más exigentes que debían considerarse para su elaboración fueron: Lograr la mayor eficiencia en la reducción de los altos contenidos de materia orgánica de este tipo de efluentes, la imposibilidad de descargar los efluentes tratados a la red cloacal de la ciudad y el reducido espacio físico disponible dentro del predio para el montaje de las diferentes etapas de tratamiento y para infiltrar sub-superficialmente los efluentes tratados.

Con tratamiento primario de tamizado, un posterior tratamiento biológico a través de filtro anaerobio con material soporte y un reactor aeróbico de barros activados, y un tratamiento de afinamiento mediante inyección de ozono es posible realizar un tratamiento eficiente de los efluentes y cumplimentar las reglamentaciones vigentes que exige el Ente Regulador de la provincia.

SUMMARY

In the processes of manufacturing craft beer, such as malting, grinding and maceration, the amount of water in the mixture with cereal grains is the main ingredient, reaching approximately 90% of the product.

After the cooking, fermentation and maturation of the product, the other activities within the production process with a high-water consumption are the cleaning processes of the equipment used, filtering and packaging. The effluent generated from the manufacture of beer has a high content of organic matter, suspended solids and pH variations.

In the city of San Carlos de Bariloche, the development of the craft beer market is expanding. As a result, it is important to consider the environmental impact of the installation of small and medium beer producers in the region and particularly in the city. The Regulatory Entity in Rio Negro, like other industries, requires beer producers to comply with the regulations to control: the quality, quantity, treatment and tipping points of the effluents they produce. In this work the objective is to raise the appropriate technical considerations, which should be addressed in the management of effluents and solid waste the breweries of the city.

The characteristics of the effluents generated require physical and biological treatment processes of high removal efficiency due to the high organic matter contents, which can vary from 4,600 mg / L to 11,300 mg / L of BOD₅. A combination of anaerobic treatment with a later aerobic is among the alternative technologies that prevail worldwide.

The elaborated proposal has a stage of Primary, Secondary and Tertiary Treatment and the most demanding conditions that had to be considered for its elaboration were: To achieve the highest efficiency in the reduction of the high contents of organic matter of this type of effluents, the impossibility of to discharge the treated effluents to the sewer network of the city and the limited physical space available within the premises for the assembly of the different stages of treatment and to sub-superficially infiltrate the treated effluents.

With primary sieving treatment, a subsequent biological treatment through anaerobic filter with support material and an activated sludge aerobic reactor, and a refining treatment by means of ozone injection, it is possible to efficiently treat the effluents and comply with the regulations in force demands the Regulatory Entity of the province.

2 - INTRODUCCIÓN

La actividad cervecera representa en la región una importante fuerza económica y de desarrollo que posee un crecimiento entre el 25-30% anual, y que impacta en casi todo el territorio nacional (existen al menos 450 micro-cervecerías en todo el país), generando múltiples puestos de trabajo y dinamizando notablemente las economías regionales. (Declaración N° 2157-CM-17)

El entramado productivo local de cervezas artesanales se encuentra en una etapa de expansión y dinamismo (en número de productores, volumen producido, variedades y sabores). (Civitaresi et al., 2017)

El Departamento Provincial de Aguas (DPA) de la Provincia de Río Negro, exige que el tratamiento de los efluentes generados previo a su disposición final, alcance los parámetros de vuelco reglamentarios. Para esto el Ente Regulador solicita el proyecto y ejecución de una planta de tratamiento para los efluentes de la industria, para el visado y control, y posterior entrega del Certificado de Habilitación que corresponda.

El siguiente trabajo presenta una propuesta técnica de un proyecto de una planta de tratamiento de efluentes de la producción de cerveza artesanal encargado por un emprendimiento cervecero de la ciudad de Bariloche, que será usado como guía.

Se plantea el diseño de una planta con capacidad para tratar los efluentes generados con la producción actual y la proyección de crecimiento para los próximos 7 años, según los requerimientos de la empresa.

3 - OBJETIVOS

- 1) Relevamiento y antecedentes de las alternativas tecnológicas disponibles
- 2) Realizar la revisión del tipo de efluente generado en la fabricación de cerveza artesanal y en consecuencia una propuesta para su tratamiento
- 3) Realizar una revisión del tipo de residuos sólidos que se generan en la fabricación de cerveza artesanal y posibles propuestas de tratamiento y disposición final
- 4) Confeccionar esquemas del predio ocupado por el establecimiento y la ubicación de las distintas etapas de tratamiento, ubicación de las conducciones, obras principales y puntos de vuelco.

4 - ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

La fabricación de cerveza consiste de tres procesos: preparación del mosto de cerveza, fermentación y envasado. (Tejerina et al., 2004)

El proceso de elaboración de cerveza incluye materias primas naturales de origen vegetal, productos del agro. Por dicha razón pertenece a la rama de los agro-

alimentos. El Código Alimentario Argentino establece la definición de cerveza como "...la bebida que se obtiene por fermentación alcohólica de un mosto elaborado con cebada germinada sola o en mezcla con otros cereales (malteados o no), sustancias amiláceas o transformadas, lúpulo, levadura y agua potable" (Constanzo P. et al., 2017)

En la industria cervecera se generan grandes volúmenes de aguas residuales, especialmente en las operaciones de limpieza y envasado. El volumen de efluentes corresponde al total de agua consumida menos el incorporado al producto final, el que se evapora en las operaciones de producción y la que queda absorbida en la matriz sólida de los residuos generados. Las aguas residuales de cervecería provienen, tanto de la fabricación de malta y cerveza, como de los lavados y limpieza de equipos, instalaciones y envases.

Estos efluentes presentan una alta carga orgánica fácilmente biodegradable, sólidos en suspensión y variaciones del pH ocasionadas por el uso de productos para la limpieza de los equipos (soda cáustica, ácido fosfórico, ácido nítrico). Los contenidos de nitrógeno y fósforo son variables de acuerdo al manejo de residuos (Simate et al, 2011). La fabricación de cerveza genera también residuos sólidos de carácter orgánico (bagazos, levaduras y barros producidos durante el tratamiento), valorizados por otras actividades productivas como la ganadería para alimentación animal o uso agrícola como enmienda (AINIA, España)

En términos muy generales la producción de efluentes en la industria cervecera varía entre 4 - 20 L de efluente/L de producto (Zepeda et al.), otras fuentes definen valores entre 2,50 y 7,20 L de efluente/L de cerveza

TIPOS DE TRATAMIENTO PARA EFLUENTES CERVECEROS EN EL MUNDO

Teniendo en cuenta las altas cargas orgánicas de los efluentes y los niveles de eficiencia de los tratamientos planteados, es necesario realizar más de un tratamiento secuenciado para lograr alcanzar los parámetros de vuelco exigidos (Simate et al., 2011).

Los tratamientos anaeróbicos han demostrado eficiencias razonables para el tratamiento de efluentes de cervecerías (Tejerina et al., 2004), teniendo como principales ventajas: la facilidad para la puesta en marcha, bajo Tiempo de Residencia Hidráulica (TRH), adaptabilidad a diferentes tipos de efluentes, soporta variaciones en la DBO y baja ocupación de superficie. Entre las desventajas podemos destacar, el elevado costo del relleno, la necesidad de manejar el pH en rangos de la neutralidad, el proceso es sensible a efluentes ricos en Ca, temperaturas óptimas de trabajo entre 30 - 35°C (Ahmed Hamza et al., 2016), estas últimas cobran mayor importancia considerando el promedio de temperaturas de la localidad.

En la Tabla N° 1 se puede ver que dentro de los tratamientos anaeróbicos existe una amplia variación de posibilidades de diseños que tienen variantes respecto del TRH, presencia de material soporte, biomasa suspendida, entre los que se ha optado por un sistema de filtro anaeróbico con material soporte (FAMS).

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

INTERNACIONAL

Región/Pais	Tecnología	Referencia
Canadá	Reactor anaeróbico con lecho fluidificado (1970)	(Bello et al., 2016)
Kuala Lumpur, Malaysia y Tailandia, India	Digestión anaerobia de alta tasa; F.A., AFBR Y UASB Biorreactores de membrana Reactores aerobios-anaerobios combinados Sistemas granular anaerobico-aerobico integrado	(Hamza et al., 2016)
Valencia, España	Reactor de lecho fluidificado de flujo inverso	(Toldra F., et al., 1986)
Johannesburg South África TX, Usa Magdalena, Colombia	Biorreactores de membrana convencionales, sistemas alta tasa y biorreactores combinados Nanotubos de carbono: Nanoabsorbentes y nanofiltros Métodos electroquímicos Celdas de combustible microbianas Carbón	(Simate et al., 2011)
España	UASB. Sistema de recirculación interna (BIOPAQ-IC).	(****)
España	Sistemas combinados de tratamiento anaerobio y aerobio	(AINIA y Cerveceros de España)
Venezuela	circulación interna y lodos activados con aireación prolongada.	(Yabroudi et al., 2009)
British Columbia	UASB	(Cronin et al., 1991)
México	Reactores anaerobios inversos de lecho fluidificado	(Lassman et al., 2007)
México	Biorreactor de lotes secuenciados: SBR	(Zepeda et al.)
Australia	Reactor anaerobio GWE Anubix-B. Reactor de lecho fluidificado de flujo inverso	(Water and Wastewater: Treatment/Volume Reduction Manual. Brewers Association)
California, Usa	Biorreactores de membrana	
Colima, México	Reactor anaerobio de flujo ascendente y Reactor aerobio	(China Lopez C. A. et al., 2016)
Valdivia, Chile	Sistemas combinados de tratamiento anaerobio y aerobio	(Castro Aravena F. M. et al., 2003)
Venezuela	Reactor IC	

NACIONAL

Salta, Argentina	UASB	(Tejerina et al., 2004)
Santa Fe, Argentina	UASB	(Seluy et al., 2015)

FA: Filtro anaerobico RAF: Reactor anaerobico de lecho fluificado UASB: Filtro anaerobico de flujo ascendente **** (Los vertidos de las industrias cerveceras – Máster profesional en Ing. y Gestión Medio Ambiental) AINIA: instituto Tecnológico de la Industria Agroalimentaria
--

Tabla N° 1: Algunos tipos de tecnologías disponibles para el tratamiento de efluentes de la fabricación de cerveza.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Estos filtros emplean un material de relleno a través del cual circula el fluido que se pretende depurar. En los filtros coexisten dos tipos de mecanismos de retención de la biomasa activa: i) formación de biopelículas y ii) retención de biomasa suspendida. Sobre el material de relleno se fijan microorganismos, además en el espacio que queda en forma de huecos entre las partículas de soporte queda retenida biomasa.

Como relleno se utilizan materiales plásticos comerciales, en sus variantes de rellenos ordenados y desordenados, también son ampliamente utilizados materiales inorgánicos con diferentes granulometrías.

Dadas las altas concentraciones de materia orgánica fácilmente biodegradable que tienen los efluentes de la industria cervecera es recomendable el empleo de un sistema anaerobio, previo a un tratamiento aerobio, ya que estos suelen tener una serie de beneficios para el mejor funcionamiento de los reactores aerobios. Entre estas ventajas podemos mencionar: i) no se sobrecarga el sistema aerobio dado que el anaerobio elimina entre un 60 - 70% de la materia orgánica, ii) la mayor parte de la materia orgánica fácilmente biodegradable ha sido reducida por lo que se reducen los fenómenos de bulking, iii) los parámetros de operación como F/M, SSVLM, OD requieren menores controles (EOI, 2008).

Los sistemas de tratamiento por barros activados son muy utilizados en el mundo como segundo tratamiento para los efluentes de este tipo de industrias.

Las tecnologías aplicadas en distintos países para el tratamiento de efluentes provenientes de la fabricación de cerveza. Las tecnologías expuestas son referidas solo a los tratamientos biológicos o secundarios, para los procesos primarios y terciarios o de afinamiento las tecnologías disponibles son comunes a otros tratamientos industriales.

Los avances tecnológicos en los mecanismos de generación de ozono, han permitido ser económicamente competitivo este mecanismo como tratamiento de afinamiento para la remoción de materia orgánica refractaria o resistente a los tratamientos tradicionales (Asano et al., 2007).

EXIGENCIAS DEL DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS (DPA)

El área de Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos (Co.Ca.P.R.Hi) perteneciente al DPA, es el ente específico que tiene como función principal fiscalizar el proceso de protección y conservación de los recursos hídricos.

Los cuerpos receptores en la Provincia de Río Negro están reglamentados a través del Artículo 169 del Libro Tercero Ley N°2.952, que aprobó el Código de Aguas para la Provincia.

A través del ANEXO V de la Resolución 885 IG – del Libro Tercero del Código de Aguas Decreto 1093-15 se establecen los parámetros de vuelco para “infiltración subsuperficial”, único destino posible en la actualidad para los efluentes tratados.

Los parámetros mínimos a monitorear para la actividad "Elaboración de cerveza, malta o bebidas malteadas" del Tipo I: Industrias Alimenticias son:
DBO₅, DQO, S.S., Sulfuros, Grasas y Aceites, Fenoles, N. Total y P. Total

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Los valores límite de estos parámetros se informan a continuación en la Tabla N° 2

B-DESCARGA DE EFLUENTES EN COLECTORES E INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL

Parámetros	Unidades	Colectores de drenaje y pluviales	Colectora Cloacal	Infiltración Subsuperficial
Generales				
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	45	45	45
Conductividad	µS/cm	2500 *	2.000	-
Sólidos sedimentables en 10'	mL/L	-	0,5	-
Sólidos sedimentables en 2 hs	mL/L	1	1	5
Grasas y Aceites	mg/L	50	50	50
Fenoles	mg/L	0,5	2	0,5
Detergentes	mg/L	4	5	1
DBO, 5 días 20° **	mg/L	50	200	100
DQO **	mg/L	250	500	500
Hidrocarburos Totales	mg/L	2	10	10
Iones				
Cianuros	mg/L	0,2	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	500	500	200
Fluoruros	mg/L	5	10	10
Sulfatos	mg/L	500	500	500
Sulfuros	mg/L	1	1	5
Metales y Metaloides				
Aluminio	mg/L	2	3	2
Arsénico	mg/L	0,1	0,1	0,1
Bario	mg/L	1	2,0	1
Boro	mg/L	1	1	2
Cadmio total	mg/L	0,01	0,1	0,01
Calcio	mg/L	200	500	500
Cobalto	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cobre	mg/L	1	1	2
Cromo Hexavalente	mg/L	0,1	0,2	ausente
Estaño	mg/L	1	2	2
Hierro	mg/L	3	5	-
Manganeso	mg/L	2	3	2
Molibdeno	mg/L	0,5	0,5	0,5
Selenio	mg/L	0,1	0,2	0,2
Sodio	mg/L	250	-	140
Mercurio Total	mg/L	0,001	0,002	0,001
Níquel	mg/L	0,5	1,5	0,5
Plata	mg/L	0,1	0,5	0,1
Plomo	mg/L	0,2	0,2	ausente
zinc	mg/L	0,5	1	0,5
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1

Tabla N° 2: Valores límites de descarga. DPA (1era parte)

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Parámetros	Unidades	Colectores de drenaje y pluviales	Colectora Cloacal	Infiltración Subsuperficial
Nutrientes				
Fosforo total	mg/L	5,0	5,0	5,0
Compuestos de Nitrógeno				
Nitratos	mg/L	20,0	50,0	20,0
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	5,0	75	10,0
Nitrógeno Total	mg/L	30,0	100,0	30,0
Fitosanitarios				
Fitosanitarios Organoclorados	mg/L	0,0005	0,005	0,0005
Fitosanitarios Organofosforados	mg/L	0,1	1,0	0,1
Otros				
Coliformes Fecales	NMP/ 100 mL	2x10 ³	10 ⁶	-
Cloro Libre	mg/L	1	-	-

* En el caso de captación de agua subterránea, no superior al 10 % de la conductividad de la fuente de agua

** En el caso de lagunas de estabilización, la muestra debe ser filtrada mediante membrana de fibra de vidrio sin ligante, tamaño de poro de 0,7 µm

Tabla N° 2: Valores límites de descarga. DPA (2da parte)

5.1 - DESARROLLO. SISTEMA DE TRATAMIENTO

INTRODUCCION

El emprendimiento se encuentra ubicado 468 m al Este del Arroyo Goye sobre la ruta 79.

La ubicación de la fábrica cerveza artesanal es en la Ruta provincial complementaria N° 79 al 11.341, intersección calle Saxon 19 en la localidad de Colonia Suiza (Figuras N° 1 y 2).

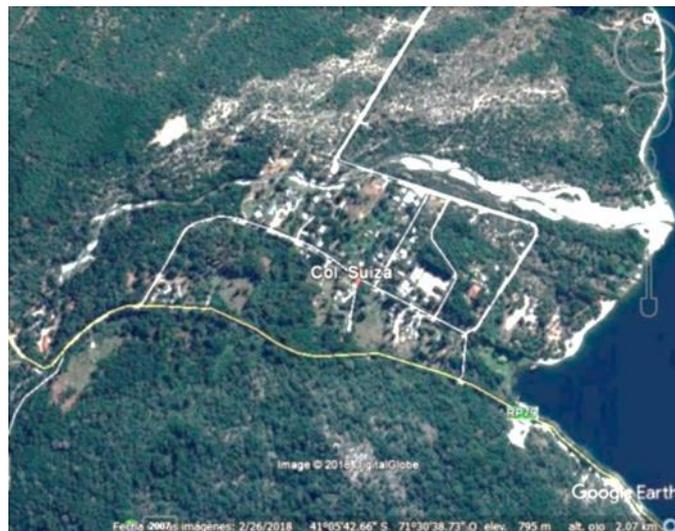


Figura N° 1: Ubicación geográfica del emprendimiento en Colonia Suiza.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"



Figura N° 2: Ubicación del predio sobre Ruta 79 y calle Saxon

Al momento de inicio del presente trabajo, los productores de cerveza artesanal del emprendimiento que guiará esta presentación se encontraban llevando adelante un plan de expansión y aumento de la producción de litros de cerveza. La consecuencia más evidente es que se necesitaba un nuevo planteo sobre el tratamiento de los residuos que producían, tanto líquidos, sólidos y semisólidos. Paralelamente a esto, cumplir con la exigencia del Ente Regulador, que para habilitar este tipo de industrias requiere de un proyecto y ejecución de una planta de tratamiento de los residuos que esta genera.

Luego de la construcción, y puesta en funcionamiento de la planta el Ente Regulador realiza monitoreos periódicos para verificar que los valores de descarga estén por debajo de los límites permitidos.

La Cuenca del arroyo Goye drena el área este los cerros López, Bailey Willis, Negro y Navidad y el flanco occidental del filo que une este último con el cerro Bella Vista. Recibe en sus nacientes las aguas del arroyo Navidad y más procedentes de la laguna Negra. En sus tramos superiores posee altas pendientes, para luego discurrir con menos gradiente hasta las cercanías de Colonia Suiza. Allí, tras superar el fuerte desnivel que provocan las morenas laterales del gran glaciar Nahuel Huapi, cae con fuerte pendiente y numerosos resaltos en la zona de Colonia Suiza, conformando un importante abanico aluvial en su desembocadura en el lago Moreno Este, sector en el cual se asienta la mayor cantidad de población del área. Su recorrido supera los 20 kilómetros. Es fuente de provisión de aguas para uso domiciliario y agrícola. El área de apoyo corresponde a un acuífero poroso discontinuo en depósitos morénicos de granulometría muy heterogénea. Presenta sectores con mayor proporción de material fino (ej. morenas de fondo). Se incluyen también los depósitos glacialacustres y los fluviales que se encuentran sobre basamento cristalino. Las propiedades hidráulicas del perfil presentan drenaje libre, con zona no saturada muy permeable. Presenta permeabilidades teóricas entre 1 y 102 m/día (media a media - alta) en los sectores de materiales gruesos (Figura N°3). En los sectores de materiales finos, la permeabilidad disminuye considerablemente, lo que puede dar origen a acuíferos colgados (Pereyra et al., 2005)

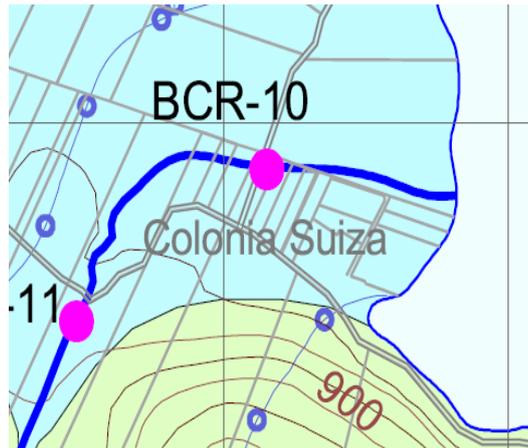


Figura N°3: hidrología superficial. En celeste, área de depósitos morénicos de granulometría heterogénea (fuente Pereyra et al., 2005)

Respecto a la susceptibilidad al anegamiento, el emprendimiento se encuentra ubicado en el margen oriental del área de influencia del arroyo Goye, presentando una peligrosidad de anegamiento entre moderada y baja, tal como se observa en la Figura N° 4.

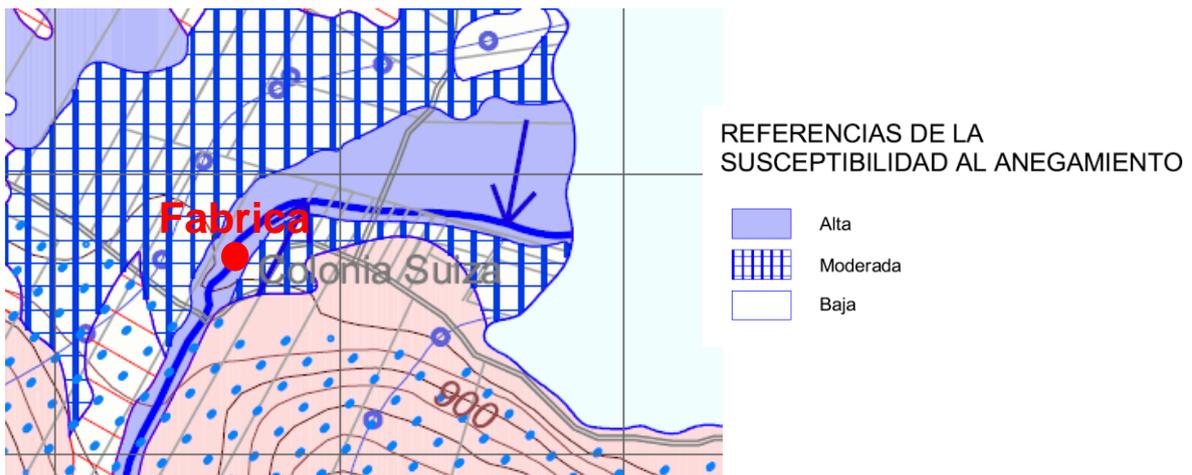


Figura N° 4: Susceptibilidad al anegamiento (fuente Pereyra et al., 2005).

Respecto a la dinámica de los acuíferos locales, el emprendimiento se encuentra en el área de contacto entre la zona de carga y de descarga del acuífero libre subsuperficial. La profundidad del nivel libre oscila alrededor de los 17 m de profundidad, esto se documentó con el nivel estático de la perforación existente en el emprendimiento.

Los suelos del área de referencia corresponden al orden de los Andisoles típicos o Hapludandes típicos (descritos en Pereyra et al., 2005). Este orden corresponde a suelos profundos, de alta porosidad y capacidad de retención de agua, la densidad aparente varía entre 0,7 y 0,8 Ton/m³, se caracterizan por la presencia de materiales alofánicos derivados de cenizas volcánicas edafizadas, los que poseen alta capacidad de fijar fosfatos en los materiales minerales, minimizando el posible lavado de estos aniones fosfato y sulfato al acuífero libre. Asimismo, presentan alta capacidad de fijar

contaminantes orgánicos, por la presencia de arcillas con alta capacidad de Intercambio de iones.

Los registros térmicos considerados corresponden al aeropuerto de la ciudad de San Carlos de Bariloche, distante a 31 km en línea recta (distancias medidas en Google Earth) por lo que se estiman diferencias importantes entre estos datos presentados y los registrados en la localidad de Colonia Suiza.

Las temperaturas medias mensuales fluctúan entre 14°C para enero y 2,5°C para julio, siendo los registros mínimos promedio de julio -1,4°C y los máximos promedio de febrero 21,8°C.

Los datos relativos a las precipitaciones en la localidad de Colonia Suiza no se encuentran disponibles en la información publicada por organismos oficiales. Los datos obtenidos corresponden a la localidad de Bariloche, aeropuerto de Bariloche e INTA. La misma se presenta en la Tabla N° 3, observándose un incremento de 200 mm entre el centro de la ciudad y las instalaciones del INTA (Bustos, 2007).

Período	Lugar	Altura (msnm)	Temperatura media (°C)	Precipitación anual (mm)
1901-1950	S.M.N. Bariloche	825	8,4	1096
1951-1980	S.M.N. Aeropuerto Bariloche	836	8,0	800
1982-2004	INTA Bariloche	780	8,5	826

Tabla N° 3: Registros de precipitaciones según sitio de registro en el ejido de la Ciudad de San Carlos de Bariloche (Bustos, 2007)

CARACTERISTICAS DEL ESTABLECIMIENTO

El emprendimiento productor de cerveza artesanal se encuentra establecido en la ciudad de San Carlos de Bariloche desde el año 2005. En la actualidad cuenta con un local de expendio de bebidas con venta directa y un local de fabricación, objeto del presente trabajo.

En el año 2008 se puso en funcionamiento la actual la fábrica de cerveza artesanal con diferentes etapas de crecimiento de la producción y de las instalaciones.

Los niveles de producción a fines del año 2016 y principios del 2017 de cerveza eran del orden de 400 HL mensual con una proyección de crecimiento para los próximos 7 años de un 100% de aumento de la producción.

PRODUCCION DE CERVEZA Y PUNTOS DE GENERACION DE EFLUENTES

El diagrama general del proceso productivo es el siguiente (Figura N° 5)

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

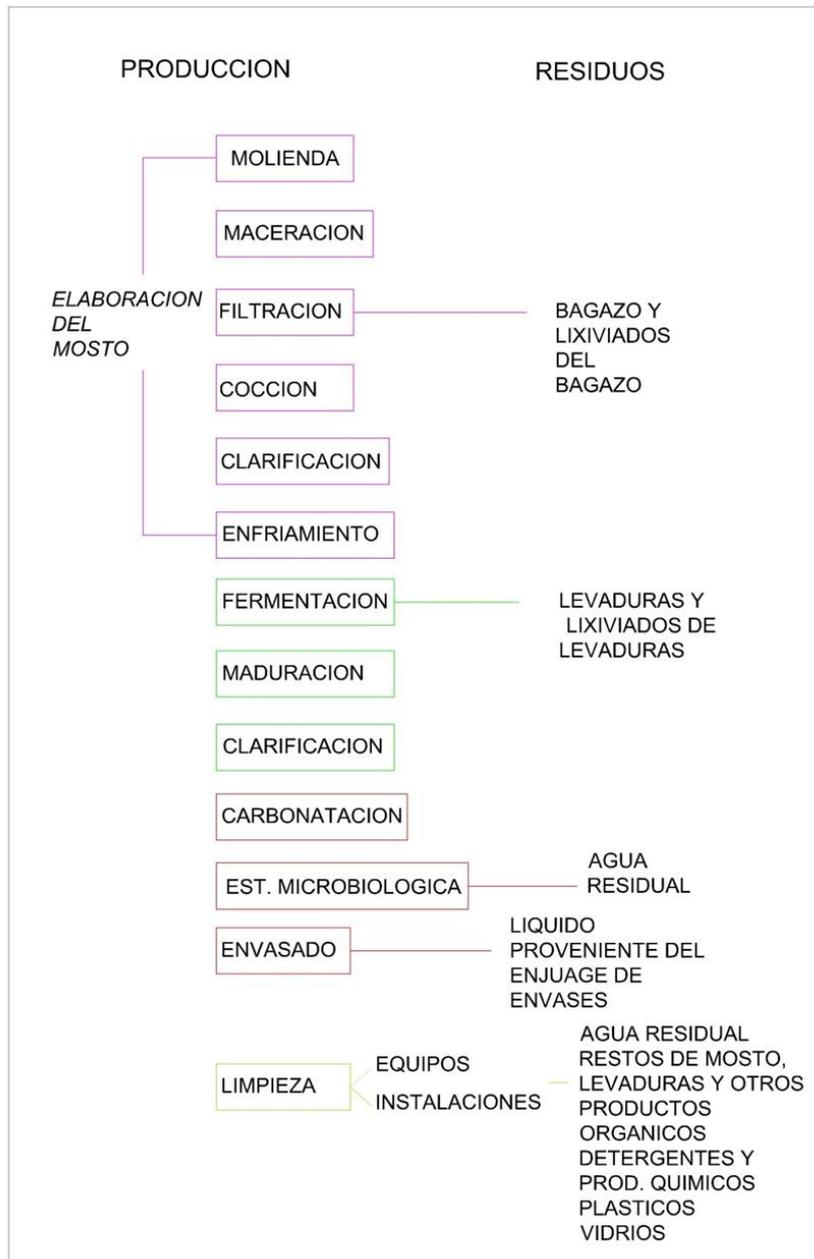


Figura N° 5: Proceso productivo y puntos de generación de residuos

El agua de la cervecería para fabricación se obtiene de un pozo ubicado en el mismo predio. La empresa cuenta con permiso de uso de esa agua que otorga el Departamento Provincial de Aguas (DPA).

La calidad de la misma es la adecuada para consumo humano, los parámetros físico/químicos y microbiológicos analizados a través de laboratorio están por debajo de los límites tolerables según referencia al Código Alimentario Argentino.

Se distinguen diferentes calidades de residuos líquidos y sólidos.

Los *residuos líquidos* generados tienen tres orígenes principales.

- Levaduras de purga de fermentadores y provenientes del lavado de equipos de cocción y maceración,
- Limpieza de pisos de fábrica, lavado de barriles y filtro de cerveza.

- Lavado de fermentadores.

Los *residuos sólidos y semisólidos* generados en diferentes etapas de la producción son:

- Bagazo de cebada o malta.
- Levaduras de purga de fermentadores
- Rechazo de tamices y sedimentadores.

CARACTERIZACION DEL EFLUENTE

Si se tiene el objetivo de caracterizar el efluente producido por un proceso determinado, para estudiar las necesidades de su tratamiento, deben entonces estudiarse las variables del proceso a través del tiempo y todas sus descargas, determinando un programa de muestreo y haciendo una composición proporcional del aporte de cada una de ellas en el efluente final. (AIDIS – Arg.)

Estos efluentes concentran los residuos resultantes del macerado de la cebada, ricos en carbohidratos solubles y restos de cebada, la cocción del mosto rico en carbohidratos solubles, proteínas solubles, restos de grano particulado durante el proceso de cocción, restos de lúpulos incorporados en la cocción. Esta fracción aporta la mayor cantidad de sólidos (SST) al efluente líquido

Registros Previos

Los registros existentes en la empresa previos a la preparación de este trabajo se detallan en la tabla N° 4. Los mismos muestran una alta variabilidad, en función de la etapa del proceso de fabricación desarrollado en el momento que se han extraído las muestras y la técnica de muestreo utilizada.

	Ingreso al filtro placas	Salida del filtro placas	Ingreso al tanque de bombeo	Lavado de Barriles	Ingreso al filtro placas	Salida del biodigestor
pH	5,1	5,3	4,4	5,6	5,2	5,2
SS 10' mL/L	4	□0,1	□0,1	0,5	0,1	35
SS 120' mL/L	14	7.5	0.2	1.5	1	25
DBO 5 (mg/L)	9600	11300	8700	2800	8500	2300
DQO (mg/L)	10400	12800	10700	6200	42600	7640
	Muy turbio	Turbio	Turbio			
Fecha de muestreo	4-5-16	4-5-16	4-5-16	3-8 16	3-8-16	3-8-16
Laboratorio	CRUB	CRUB	Beha	Beha	Beha	Beha

Tabla N° 4: Muestréos realizados antes del mes de diciembre de 2016

A continuación, se presentan en la Tabla N° 5 los resultados de análisis de laboratorio de la primera muestra extraída a partir de mi contacto con la empresa, con la intención de tener conocimiento previo sobre la caracterización del efluente generado por la fábrica.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

	Filtrado	Sin filtrado	Salida del biodigestor
SS 10'(mL/L)	0.7	46	2.5
SS 120'(mL/L)	7.5	54	8
DQO (mg/L)	12360	-	16120
DBO 5 (mg/L)	4670	-	13500
pH	4.8	-	4.4
CE (uS/cm)	760	-	648
Sólidos Disueltos totales (mg/L)		13120	

Tabla N° 5: Muestreo realizado el día 6/12/16

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo un día típico de producción y considerando que las cargas orgánicas varían a lo largo del día de producción y operaciones realizadas. Y el sitio del mismo fue en el punto final de recolección de todos los efluentes generados en la planta.

Con el fin de caracterizar la calidad del efluente a tratar se procedió a realizar 2 tipos de muestreos. Uno para poder determinar los parámetros en la fracción líquida del efluente, y el segundo para determinar los parámetros en el efluente sin filtración previa. Este muestreo se llevó a cabo un día típico de producción.

La muestra N 1 proviene de una sola cámara que unifica calidades y caudales sobre el efluente filtrado y sobrenadante posterior a la sedimentación. Se fueron recolectando 2 L de efluente cada aproximadamente 30 minutos. (Ver Tabla N° 6).

La muestra N 2 proviene del efluente de limpieza de cocción sin filtrar (Tabla N° 7).

Parámetros	Metodología	Unidad	Muestra 1 (Compensada)
Sólidos Sedimentables en 10m	SM 2540G	ml/l	15
Sólidos Sedimentables en 2h	SM 2540G	ml/l	28
DQO	SM 5220D	mg/l	12300
DBO5	SM 5210 D	mg/l	8570
pH	SM 4500	-	4
Conductividad	SM 2510 B	μS/cm	685
Nitrógeno Total	SM 4500 N - C	mg/l	1
Fósforo Total	SM 4500 P - H	mg/l	1,4
Aspecto visual	SM 2110	-	Turbio

(*) Res. 885 Dec. 1093-15. Anexo V – COCAPRHI.

Tabla N° 6: Resultados análisis Muestra 1 (enero 2017).

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Parámetros	Metodología	Unidad	Muestra 2 (DBO y DQO en sobrenadante de SS 2h)
Sólidos Sedimentables en 10m	SM 2540G	ml/l	25
Sólidos Sedimentables en 2h	SM 2540G	ml/l	250
DQO	SM 5220D	mg/l	51800
DBO5	SM 5210 D	mg/l	9910
Aspecto visual	SM 2110	-	turbio

(*) Res. 885 Dec. 1093-15. Anexo V – COCAPRHI.

Tabla N° 7: Resultados análisis Muestra 2 (enero 2017).



Figura N° 6: Material retenido en filtro de tela que utilizaba el productor

Los residuos sólidos se mantienen separados según su origen y se caracterizan en cuanto al contenido de Sólidos Totales, Carbono Total, NKj y Fósforo total. Ver la Tabla N°8

Muestra	MO	Cenizas	C. Total	P. Total	N Kjedadhl
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Descarte tamiz, mayo 2017	93,9	6,1	46,9	0,35	3,05
Descarte bagazo cebada, mayo 2017	96,1	3,9	48,1	0,19	2,47
Levadura, mayo 2017	93,1	6,9	46,6	0,60	7,12

Tabla N° 8: Análisis de laboratorio muestreo realizado el día 06/06/17

De acuerdo a los resultados obtenidos y el análisis de los procesos de producción activos en el momento de la toma de muestras se adoptan a los fines del cálculo los valores expresados en la Tabla N° 9. Estos valores se basan en los resultados de la tabla N° 6 y son aquellos donde la muestra fue procesada al momento de la preparación de este proyecto.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

	Valor adoptado
pH	4 - 4,5
DQO (mg/L)	13.000
DBO ₅ (mg/L)	8500

Tabla N° 9: Valores adoptados para el cálculo de la planta de tratamiento

Caudales

La producción de efluentes se cuantificó utilizando un aforador instalado a la salida de la actual cámara de tamizado y sedimentación. Se diseñó y construyó un aforador tipo vertedero Triangular o de Thompson con ángulo de 40° en la escotadura. Se utilizó la fórmula:

$$Q = 8/15 * Cd * \sqrt{(2 * g)} * (tang \alpha/2 * h^{5/2})$$

Se registró la evolución a lo largo de la jornada laboral de la generación de efluentes durante nueve días no consecutivos. Se obtuvieron caudales mínimos y máximos diarios. El efluente producido, presenta flujos muy variados, a los largo de las horas del día, e incluso entre los distintos días de producción, variando entre 0,59 m³/d hasta 12,41 m³/d. Se publican en la Tabla N°10, los volúmenes diarios de efluentes producidos.

Día	Hs.	Cocciones	Vol. m3
1	8.30	1	5,28
2	3.15	0	3,29
3	2.50	0	0,59
4	7.30	1	4,04
5	6.00	0	3,72
6	10.20	3	10,81
7	7.20	1	4,72
8	7.20	2	8,48
9	11.30	3	12,41

Tabla N°10: Días registrados y volúmenes de efluente

De los 9 días registrados se muestra el pico máximo de erogación de efluente. (Ver Figura N° 7). Lo mismo ocurrió para el pico mínimo de caudal de efluentes, valor que se publica en la Tabla N° 11.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

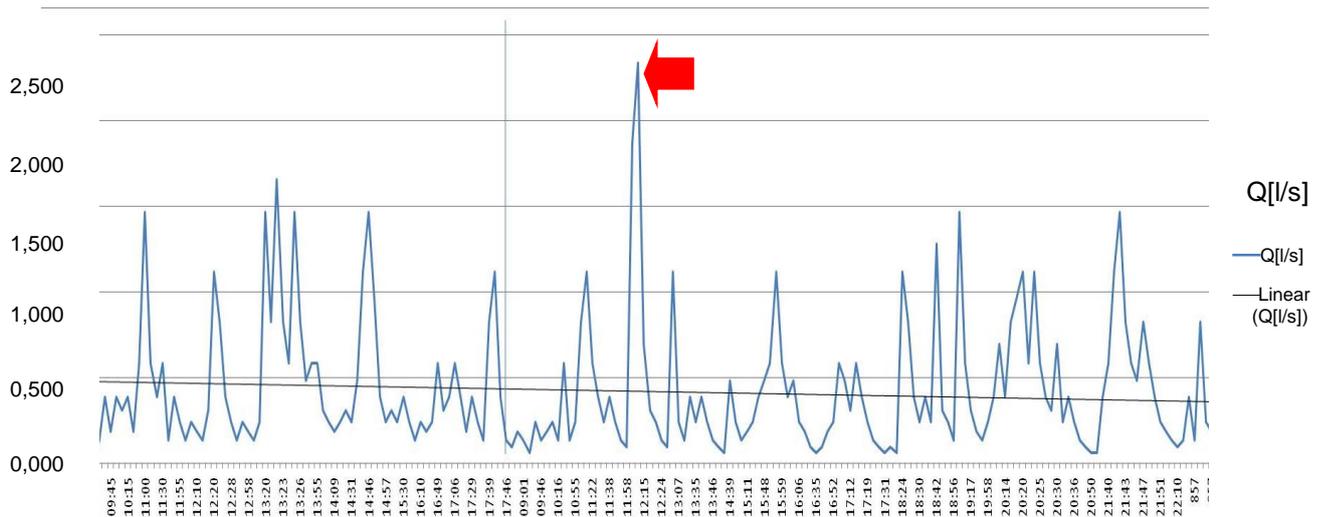


Figura N° 7: Producción de efluentes diaria, del día del pico máximo de efluente: 2,33 L/s

Habiendo tomado la variación de los registros diarios de cada uno de los 9 días e integrando cada curva diaria y ponderando el caudal por el tiempo entre mediciones, se obtuvieron los caudales medios diarios representativos. Los valores obtenidos se resumen en la Tabla N° 11

	Q [L/s]	Q [m3/día]	Q [L/L]
Caudal pico	2,33		
Caudal mínimo registrado	0,06		
Caudal promedio diario ponderado mínimo		3,59	
Caudal promedio diario ponderado máximo		16,8	
Caudal promedio diario		7,90	
Prod. efluente/ prod. cerveza			3,95

Tabla N° 11: Caudales promedio y promedio ponderados. (n=9)

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO

Bibliografía consultada. Antecedentes.

El tratamiento de los efluentes que predomina en las industrias que elaboran cerveza es el tratamiento biológico combinado entre un sistema anaeróbico y uno aeróbico. Es bastante común que la secuencia de tratamiento se desarrolle primero con el sistema de tratamiento anaeróbico y a posterior el aeróbico.

Los reactores anaeróbicos pueden recibir efluentes con valores de DQO muy superiores al que admite el reactor aeróbico.

Los valores de eficiencia: Sistema anaeróbico entre 70 y 85 %

Sistema aeróbico entre 85 y 95 %

PARAMETROS DE DISEÑO

Caudal actual y futuro

En el año 2022 la empresa espera duplicar la producción actual de 40000 L mensuales. Los valores proyectados de producción de cerveza han sido proporcionados por la dirección de la fábrica, y estos forman parte del plan de expansión que piensan llevar a cabo. El abastecimiento de agua para ampliar la cervecería ha sido considerado y se encuentra asegurado.

El caudal de diseño se obtiene entonces de proyectar al año 2022 la producción de efluente en relación con la producción de cerveza. Estos valores figuran en la Tabla N° 12.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Crecimiento de la producción (%)		28	46	63	80	98
Promedio mensual (L)	40000	51200	58400	65200	72000	79200
Promedio mensual de efluentes estimado (L)	158000	202240	230680	257540	284400	312840
Producción de efluentes diaria promedio para cada año (L)	7900	10112	11534	12877	14220	15642
Crecimiento de la producción de efluentes según valores máximos	16800	21504	21817	22173	22572	23008

Tabla N°12: proyección de producción planificada por la empresa.

A continuación se presentan agrupados en la Tabla N° 12, los valores de pH, DQO y DBO5, que son los resultados de análisis de laboratorio de la Muestra 1. El caudal máximo para producción actual (m3/día), que fue obtenido a través del análisis de los 9 días de registro y mencionado anteriormente en la Tabla N° 10). Y el caudal de diseño para la producción proyectada (m3/día) que surge a partir del caudal anterior (16,8 m3/día) y con la relación $I_{\text{efluente/d}} \text{ vs } I_{\text{cerveza/d}} = 3,95$ proyectándolo a la producción esperada de litros de cerveza en el año 2022 (Tabla N°13)

	Valor adoptado
pH	4 - 4,5
DQO (mg/L)	13000
DBO ₅ (mg/L)	8500
Caudal máximo para producción actual (m ³ /día)	16,8
Caudal de diseño para la producción proyectada (m ³ /día)	23,00

Tabla N° 13: Parámetros de diseño.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Espacio físico

El espacio disponible para la implantación de la planta de tratamiento está comprendido por dos áreas bien diferenciadas. La primera corresponde al espacio actualmente utilizado para el filtrado parcial del efluente, en ella se plantea la readecuación y rediseño del espacio para implementar las operaciones de desbaste, sedimentación primaria, ecualización de caudales y neutralización de pH. La segunda área corresponde a un espacio lindero al galpón de almacenamiento de insumos y productos en el que se plantea la implantación de los equipos para las operaciones de tratamiento secundario, sedimentación y afinamiento.

El área de implantación disponible para el tratamiento es reducida. Esto ha derivado en la adopción de equipamiento del trabajo de alta carga, tanto para el reactor anaeróbico como para los barros activados, logrando menores espacios ocupados e incremento de las eficiencias.

Eficiencia

Lograr la mayor eficiencia en la remoción de los altos contenidos de materia orgánica de este tipo de efluentes. Esto deriva en la adopción de equipamiento de alto rendimiento o alta tasa.

Automatización

La intención de la empresa de automatizar los procesos

DIAGRAMA DE FLUJO

En la Figura N° 8 se presenta el diagrama de flujo del proyecto, en él se especifican como son las etapas primaria y secundaria del tratamiento y las operaciones unitarias de las mismas.

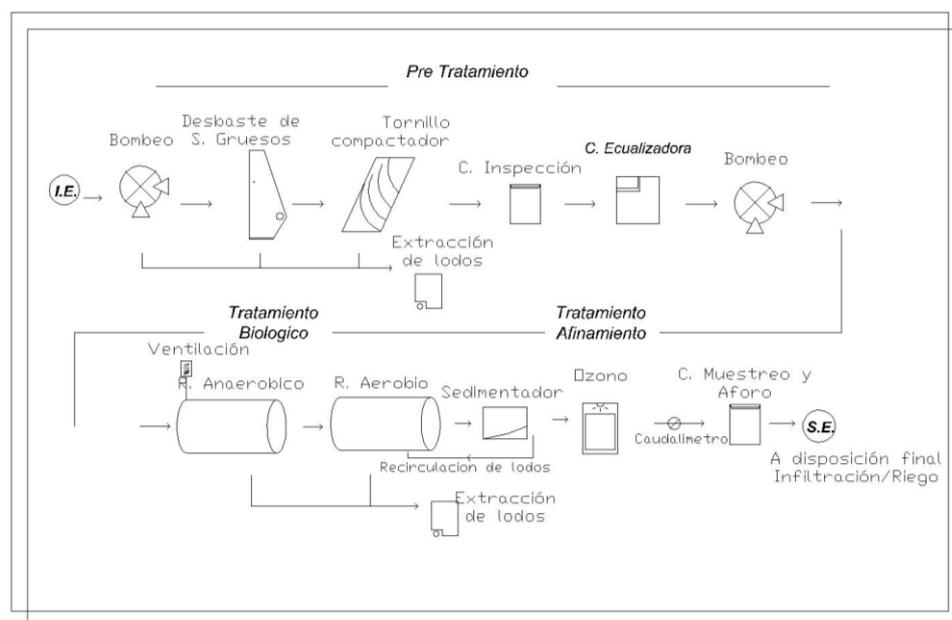


Figura N° 8: Detalle del diagrama de flujo del proyecto.

5.2 – PRE TRATAMIENTO

Esta etapa del tratamiento tiene como objetivo la reducción de la carga orgánica, mediante la remoción de sólidos gruesos y finos. La operación de desbaste y cribado, se prevé realizarla a partir de 2 operaciones, tamizado y deshidratación. La primera para los sólidos gruesos, que corresponden a un alto porcentaje de los SS_{2h} que serán retenidos en tamiz de 0,50 mm y la segunda operación eliminará los finos sedimentables menores de 0,50 mm.

EFLUENTES

Cámara de bombeo 1 (CB1)

Se instalará una cámara que recibe desde tres cañerías que colectan desde distintas partes de la fábrica la descarga de efluentes:

- dos provenientes de la planta de fabricación, que reciben líquidos de la limpieza de los equipos de maceración y cocción como así también del sector de envasado, filtrado y lavado de barriles.
- el tercero, proveniente de la playa de fermentadores y de descarga de bagazo.

Esta cámara contará con un equipo de bombeo que elevará el efluente sin filtrar al tamiz estático y que posteriormente seguirá por gravedad al sedimentador laminar.

Las dimensiones de la cámara, ver Tabla N° 14, se definieron en función del caudal máximo de ingreso registrado y las características de la bomba: H (m) = 4,5 m y Q (L/min) = 75 L/min

Sección (m ²)	0,40
Profundidad (m)	1,00
Volúmen (m³)	0,40

Tabla N° 14: Dimensiones de la CB1

Tamiz estático tipo tobogán (TE)

Los tamices estáticos auto limpiantes consisten en una malla curva ranurada con barras de perfiles trapezoidales de aberturas que van de 0,25 a 3 mm. El tamiz posee una curvatura tal que permite que el fluido pase por las ranuras, y que los sólidos se deslicen y descarguen por la parte inferior. Estos equipos son utilizados cuando las partículas a remover son fácilmente separables de la fase líquida, y se caracterizan por ser simples y de bajo mantenimiento. El efluente entra a la cámara de distribución donde los sólidos se mantienen en suspensión. El flujo es distribuido homogéneamente a lo ancho del tamiz (1,20 m) que posee una curvatura tal que permite al líquido pasar a través de las aberturas, mientras los sólidos son retenidos y desplazados por la cara superior de la malla filtrante al labio de descarga inferior. Ver Figura N° 9.

Este equipamiento está destinado al pre-tratamiento de los efluentes, proyectado para la eliminación de sólidos gruesos por interrupción. Se proyecta la instalación con una malla de acero inoxidable de 0,50 mm construida en acero inoxidable 304 ó 316. Una vez efectuada la operación de desbaste y cribado del residuo de la fabricación de cerveza en la fábrica, obteniendo por un lado el líquido y por otro el residuo sólido o semisólido, el proceso aplicado a la fracción líquida del residuo continúa con el control de pH y la ecualización de caudales que se consideran operaciones de tratamiento primario. En este caso se proyecta una cámara ecualizadora con el objetivo de homogeneizar los caudales y la calidad. En ella se realizará también la operación de neutralización de pH, considerando que esta es una característica particular de la calidad de los efluentes de este tipo de industrias.



Figura N° 9: Tamiz estático. Serie SFS. (www.shueiz.com)

Durante la puesta a punto del equipo, posterior a su instalación, se verificará si fuera necesario incorporar también un aditivo floculante. El aditivo sería incorporado mediante un dosificador automático dentro de la cámara de bombeo 1 (CB1).

El efluente filtrado pasará a la cámara homogeneizadora de caudales y los residuos sólidos se volcarán a un dispositivo compactador de tornillo.

Compactador de tornillo (CT)

Este equipamiento está destinado a recibir los sólidos provenientes del tamiz estático instalado previamente para reducir su contenido de humedad y facilitar su manipulación y acopio. Ver Figura N° 10.

El funcionamiento del equipo hace que los sólidos húmedos que ingresan al primer compartimiento del equipo sean forzados a ingresar a la zona de presión por el tornillo.

Los líquidos serán dirigidos nuevamente a la cámara de bombeo 1 ubicada al inicio del tratamiento primario y los sólidos volcados a una batea móvil que los transportara hacia el lugar de acopio del bagazo.



Figura N° 10: Compactador de tornillo. Serie PPS. (www.shueiz.com)

Cámara homogeneizadora de caudales (CHC)

La función de esta cámara es el de amortiguar las variaciones de caudal que ingresan al sistema como así también constituye un lugar adecuado para homogeneizar las calidades de los efluentes antes del ingreso al tratamiento biológico. Esta cámara es un reservorio adecuadamente dimensionado en función de los picos de caudal que se registran durante los procesos de fabricación y que cuenta además con un mecanismo de mezclado a través de un agitador mecánico industrial provisto de 2 paletas.

A partir de las variaciones de caudal que se han registrado manualmente (fecha: enero 2017) se construye una Curva de Evolución Diaria de Caudales de acuerdo a la técnica expresada en Metcalf & Eddy (Edic. 1994 pags. 204 - 205) y que se muestra en la Figura N° 9.

Los caudales registrados son:

- $Q_{\text{máx.}} = 4,50 \text{ m}^3/\text{h}$,
- $Q_{\text{min.}} = 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$,
- $Q_{\text{prom.}} = 0,98 \text{ m}^3/\text{h} \square 1 \text{ m}^3/\text{h} = Q_b = \text{Caudal de la bomba}$

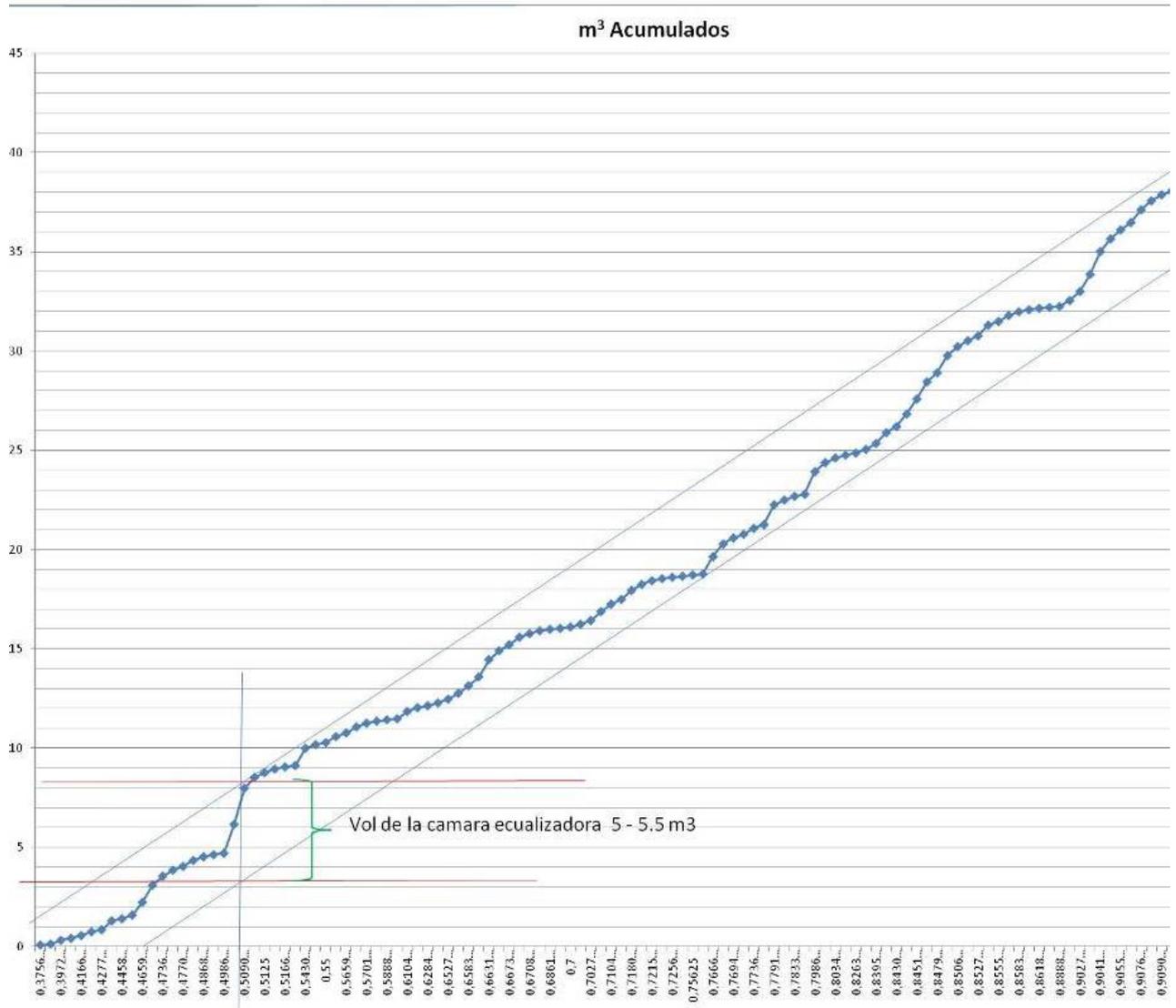


Figura N° 11: Gráfico para la definición del volumen del tanque homogeneizador de acuerdo a Metcalf & Eddy, 1994

De acuerdo a la metodología gráfica utilizada y de acuerdo a lo expresado en la figura N° 11, el volumen de la cámara ecualizadora resulta ser de: 5,50 m³.

Dimensiones: $h_u = 1,40$ m (altura útil)
 $L_a = L_b = 2$ m

Volumen del tanque de homogenización es de 5,60 m³

Este tanque es el punto donde se homogenizan los caudales y la calidad, se controla el pH y se inocula en el caso de ser necesario.

Funcionamiento de la cámara ecualizadora - Bombeo:

El caudal de ingreso puede variar de acuerdo al proceso de fabricación de cada momento entre $Q_{\min.} = 0,15$ m³/h, y $Q_{\max.} = 4,50$ m³/h, la función de esta cámara es generar un flujo regular a la salida, y hacia los reactores biológicos. Para esto se instalara un equipo de bombeo dentro de la cámara que se enciende cuando el nivel del efluente en la cámara está a 2/3 del máximo y erogara el caudal promedio:

$$Q_b = Q_{\text{prom.}} = 1 \text{ m}^3/\text{h}$$

El funcionamiento será de manera que a través de un mecanismo arranque y apagado por nivel:

- Cuando el caudal de ingreso es menor que Q_b , la cámara se vacía lentamente, hasta un nivel mínimo en el que se detiene la bomba y la cámara comienza a llenarse nuevamente, hasta llegar al nivel 2/3 del máximo, en el que la bomba arranca nuevamente.
- Cuando el caudal de ingreso es mayor que el caudal de trabajo de la bomba, la cámara se llena lentamente y el nivel de efluente sube en proporción a la diferencia entre el Q de ingreso y el Q de la bomba. El caudal pico de diseño es 4,50 m³/h que en los registros obtenidos se mantuvo solo durante 3 minutos.
- Se establece un mecanismo de seguridad para casos excepcionales en los que el caudal de ingreso pico se sostenga durante más de 25 minutos. En este caso se detiene automáticamente la B1 instalada en la CB1 y ésta comienza a llenarse como un volumen adicional de ecualización y al mismo tiempo se desencadena un mecanismo de alarma en la planta que da aviso para la detención de los equipos de lavado.

Corrección de pH

Los efluentes de la industria cervecera muestran fluctuaciones en el pH, dependiendo de los productos de limpieza y desinfección de los equipos utilizados en las diferentes etapas de producción. Los valores promedio obtenidos en los análisis realizados durante los últimos 12 meses (4,5 - 5,5) confirman que es imprescindible la incorporación de un mecanismo de neutralización, que cuente con sensor y su correspondiente dosificador.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Mediante pruebas y ensayos a escala de laboratorio se determinó la curva de comportamiento del pH respecto de las dosis crecientes del producto seleccionado como alcalinizante. El pH considerado y necesario para el sistema anaeróbico es de 6,8 - 7,5, aunque el proceso puede desarrollarse eficazmente entre 6 y 8 (Cronin C. 1996), (Fernández-Polanco et al., 2015). Los volúmenes del producto alcalinizante a utilizar se calibrarán de acuerdo al pH del efluente registrado en cada proceso y se estima a priori un consumo de 60 a 84 L/día.

Como producto alcalinizante se seleccionaron "PERWAY Flote 20 Li" a base de sodio u otro "PERWAY Flote 200K" a base de Potasio. La empresa ya tiene incorporado al fabricante de Perway como proveedor de sus productos químicos para los procesos de fabricación de cerveza.

Se instalará un equipo dosificador de fluidos marca Ares DX con módulo de control PK-EHG. El consumo del producto se estima en función del efluente, con una proyección de consumo máximo de 60 L/día. Estos datos se verificarán en el proceso de tratamiento y se modificarán las dosis en función de las respuestas obtenidas. (Figura N° 12)

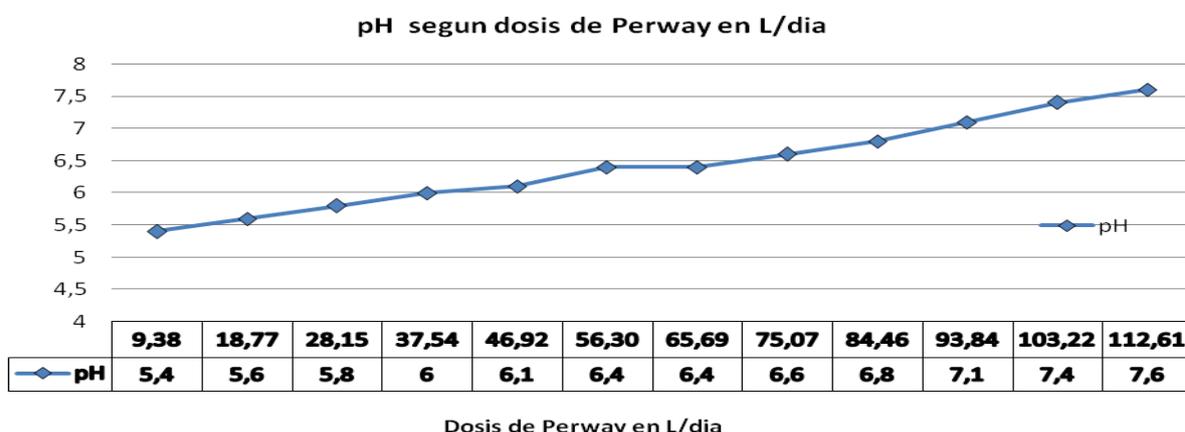


Figura N° 12: Curva de neutralización de pH con Perway

SOLIDOS Y SEMISOLIDOS DEL PRE TRATAMIENTO

Se obtendrán tres tipos diferentes de residuos sólidos y semisólidos: Residuos de malta (bagazo), sólidos gruesos y finos descartados en el tamiz estático y el tornillo deshidratador.

El bagazo, conforme su composición, tiene un importante valor nutritivo debido a sus altos contenido de proteínas y fibra (FEDNA, 2004; Mussatto et al., 2004; Afshar et al., 2008), lo que le confiere atributos para ser utilizado en rumiantes además de una buena aceptación por lo animales luego de un corto periodo de acostumbramiento (AIANER, 2010)

Actualmente la descarga de bagazo ocurre desde una carretilla que recolecta en el sitio de producción en la limpieza del módulo de cocción de la fábrica, y luego se descarga en unos recipientes de aprox. 1m³ que luego un sampi vuelca en la caja del camión del productor.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

El procedimiento anterior se mejorara a partir de la descarga desde la carretilla directamente a un carro de acopio y transporte de bagazo y rechazo de tamices. Se puede ver en la Figura N° 13 un croquis del mismo.

Corresponde a una estructura de chapa de hierro soldada en todos sus lados, que evitara el desborde de lixiviados durante el acopio y transporte. Se trata de un equipo que cuenta con barra de tiro para poder ser tirado por tractor o camión.

Para evitar la pérdida de líquidos lixiviados que puede ser de alrededor de 200 L., durante la carga se diseñó un fondo con pendiente que permita la acumulación de líquidos en la parte opuesta al sector de ingreso de la carga. Para la descarga en destino se propone al productor un playón con pendiente inversa a la que presenta el carro para facilitar el ingreso del bagazo a los comederos.

El bagazo se acopiará en contenedores especiales a la espera del retiro diario por un productor ganadero local.

Se propone la construcción de dos carros iguales, que se rotaran para el acopio y retiro

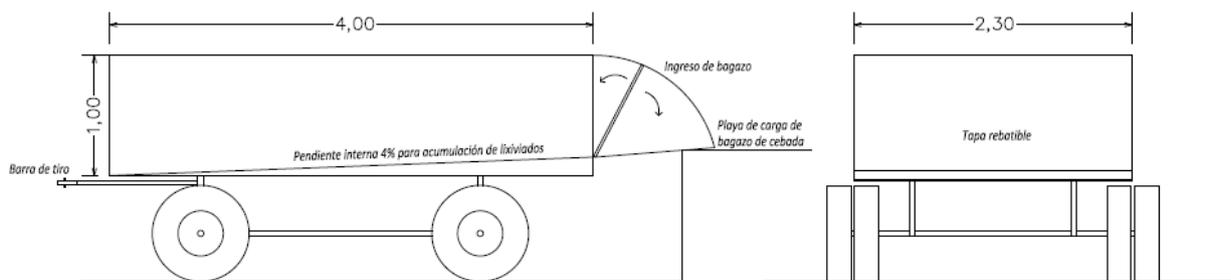


Figura N° 13: Esquema del contenedor especial- Retiro de bagazo

La maniobra de descarga ocurre a través de la inclinación de la batea en un terraplén con pendiente. El bagazo así directamente cae sobre los comederos de los animales.

El destino de los sólidos gruesos provenientes del tornillo deshidratador (que previamente han pasado por el tamiz estático) será disponerlos como enmienda orgánica o residuo sólido urbano.

5.3 - TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Con el objetivo de maximizar la remoción de carga orgánica mediante sistemas biológicos se propone la instalación de un Filtro Anaeróbico con Material Soporte (FAMS), seguido de un Reactor de Barros Activados (RBA).

Es esperable, igualmente que la DBO final del tratamiento de barros activados sea superior a los límites exigidos, considerando las eficiencias esperadas en cada etapa de tratamiento. En el caso de ser necesario se optará por un tratamiento de afinamiento con un equipo de ozonización.

El valor de carga orgánica adoptada como parámetro de diseño es DQO (mg/L) 13000, y DBO (mg/L) 8500.

FILTRO ANAEROBICO CON MATERIAL SOPORTE. (FAMS)

Los parámetros básicos de diseño utilizados para el cálculo son:

- *Carga Orgánica Volumétrica: COV (kg DQO/m³día) = 15 kg DQO/m³día*
Se adopta este valor considerando los datos de referencia de la bibliografía para reactores de este tipo correspondiente al grupo de reactores anaeróbicos de alta carga. (Márquez V. M. et al., 2011), (Fernández-Polanco et al., 2015), y Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENHOSa)
- *DQO (mg/L) = 13000 mg/L*
- *Q (m³/día) = 23 m³/día*

El Tiempo de Residencia Hidráulico (TRH) es el tiempo que el efluente permanece dentro del filtro y debe ser suficiente para asegurar la reducción de la DQO.

$$\text{TRH} = V/Q$$

Dónde:

V = volumen m³

Q = Caudal m³/d

Por otro lado:

$$\text{COV (kgDQO/m}^3 \text{ día)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/día)} * \text{DQO (kg/m}^3\text{)}}{V \text{ (m}^3\text{)}}$$

Por lo tanto:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/día)} * \text{DQO (kg/m}^3\text{)}}{\text{COV (kgDQO/m}^3 \text{ día)}}$$

Reemplazando:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = 20 \text{ m}^3$$

A partir del cálculo del volumen verificamos que los TRH se encuentren dentro de los recomendados, para este tipo de reactores se usa como valor de referencia TRH \square 6 h (ENHOSa), se consideran 10 horas de trabajo por lo que el caudal de 23 m³/día corresponde a 2,30 m³/h

$$\text{TRH (hs)} = \frac{20 \text{ m}^3}{2,30 \text{ m}^3\text{/h}} = 8,70 \text{ h}$$

$$\text{TRH} = 8,70 \text{ h}$$

Dimensiones del volumen efectivo del reactor

Adoptando un área de base del filtro de

$$\text{Área (m}^2\text{)} = 5 \text{ m}^2$$

Y despejando, resulta una altura de

$$\text{H (m)} = 4 \text{ m}$$

De estos datos se desprende el cálculo de la velocidad ascensional:

$$\text{Vel. Ascensional} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/h)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} = 0,46 \text{ m/h}$$

Estas velocidades ascensionales corresponden a velocidades de flujo laminar, por lo tanto, no turbulento. Un flujo turbulento en este reactor generaría desprendimiento de las biopelículas, pérdida de biomasa activa e incremento de la DBO de ingreso al Reactor de barros activados (Fernández-Polanco F. et al., 2015).

Se prevé la instalación del reactor con una cobertura externa de espuma poliuretánica como mecanismo de aislación térmica y una resistencia eléctrica para mantener dentro del reactor a una temperatura no menor de 20 - 18 °C. y no mayor de 35 °C.

El cable resistivo se colocará recubriendo el tanque anaeróbico dentro de manera de facilitar el contacto y la transmisibilidad del calor al efluente.

En función de esta propuesta se podría estimar una eficiencia de trabajo mayor, pero a los fines del cálculo se adopta un 77 %. En otro capítulo se propondrán cálculos comparativos según otras eficiencias.

Estimación de reducción de carga orgánica en el FAMS

$$DQO_i \text{ (mg/L)} = 13000 \text{ mg/L}$$

$$DQO_s = 3000 \text{ mg/l}$$

<i>Eficiencia de remoción de DQO ≈ 77 %</i>

La definición de la eficiencia se determinó considerando los valores más conservadores obtenidos en la revisión bibliográfica, 65 a 85 % para Fernández-Polanco F. et al., 2015 y 90 a 95 % para Márquez V. M. et al., 2011.

Relación DQO/Sulfatos:

La relación DQO: sulfato es un importante parámetro de control en el tratamiento anaerobio de aguas residuales. Tradicionalmente, se ha operado en relaciones mayores de 50, aunque se considera viable con valores por encima de 10. Se ha descrito que con valores inferiores, puede comenzar a fallar la metanogénesis. (Mendez, 1997).

En la operación de la planta el análisis de los valores de sulfato en el tratamiento será un parámetro a monitorear.

Estimación de la producción potencial de la cantidad de biogás:

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

La productividad de cualquier sustancia orgánica queda establecida como 350 litros de metano medidos en condiciones normales por kg de DQO eliminada en el proceso anaeróbico.

$$1 \text{ g DQO} = 0,35 \text{ NL CH}_4 / \text{g DQO}_{\text{ELIMINADA}}$$

Considerando una $\text{DQO}_{\text{ELIMINADA}} = 10000 \text{ mg/l} = 0,01 \text{ kg/l}$

Se prevé una **producción de biogás de 0,06 m³/d** con un contenido supuesto de metano de alrededor de 75%.

No se prevé la reutilización del biogás generado.

Se colocara una antorcha especial para incinerar en forma controlada y segura, el biogás producido.

REACTOR DE BARROS ACTIVADOS. (RBA)

Los parámetros básicos de diseño utilizados para el cálculo para un RBA de mezcla completa son:

- $F/M = \text{Kg DBO} / \text{Kg SSVLM día} = 0,40-1,50 \text{ Kg DBO} / \text{Kg SSVLM día}$ (Metcalf, 1993)
- $\theta_c \text{ (d)} = 3 \text{ a } 10 \text{ d}$ (ENOHSa)
- $\text{COV Kg DBO/m}^3\text{día} = 1,60 - 6 \text{ Kg DBO/m}^3\text{día}$ (ENOHSa)
- $X = \text{SSVLM mg/L} = 4000 - 10000 \text{ mg/L}$ (Metcalf, 1993)
- $Q_r/Q = 0,25-1$ se adopta 0,50 (ENOHSa & Metcalf, 1993)
- $E_f \% = 85 \text{ y } 95 \%$ (Metcalf, 1993)
- $\text{Req. Aire m}^3/\text{m}^3_{\text{ef}} = 62 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{ef}}$ (Charpentier J. 2014)
- $\gamma \text{ (kg SSV/Kg DBO}_5\text{)} = 0,60$ (Tabla 9.7, Metcalf, 1994)
- $\text{TRH} = 3 - 5 \text{ h.}$ (Valdez & Velázquez, 2003)
- Fango digerido, el 10% de Sólidos Secos Totales (ST) (Tabla 11.4, Metcalf, 1994)

Caracterización del efluente a la entrada del RBA y estimación de valores de salida, teniendo en cuenta que

S_o : Concentración de DBO en el líquido a tratar (mg/L)

S_f : Concentración de DBO esperable en el líquido tratado (mg/L)

$$\rightarrow Q \text{ (m}^3\text{/d)} = 23 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

$$\rightarrow S_o \text{ (mg/L)} = 2.000 \text{ mg/L}$$

Y considerando una eficiencia de remoción del 90%, entonces:

$$\rightarrow S_f \text{ (mg/L)} = 180 \text{ mg/L}$$

Como primer paso se utilizó la fórmula para el cálculo de volumen de la cámara de aireación (V_r):

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

El volumen del reactor puede determinarse reemplazando el valor de

$$\theta = V_r / Q$$

en la ecuación

$$X = \frac{\theta^{d_c} (S_o - S_f)}{\theta (1 + k_d * \theta^{d_c})}$$

Volumen del Reactor:
$$V_r = \frac{\theta_c * Q * Y (S_o - S_f)}{X (1 + K_d * \theta_c)}$$

$$= \frac{5(d) * 23 (m^3/d) * 0,50 * (KgSSV/KgDBO) * (2000-180) mg/L}{3500(mg/L) * (1+0,06 d^{-1} * 5 d)} =$$

$$V_r = 23 m^3$$

Dimensiones del volumen del reactor

$$\begin{aligned} L (m) &= 6,00 m \\ B (m) &= 2,00 m \\ H \text{ efect.} &= 2,00 m \\ H (m) &= 2,70 m \end{aligned}$$

Caudal de purga y recirculación:

Desde la línea de retornos de fangos el:

$$Q_{wr} = \text{caudal purga de fangos del sistema}$$

$$Q_{wr} = \frac{Vol. * X}{\theta_c * X_r}$$

Donde 0,8 es la relación entre los sólidos suspendidos volátiles del líquido mezcla (SSVLM) y los sólidos suspendidos del líquido mezcla.

La concentración de los fangos de retorno es de 6000 mg/L de solidos suspendidos

Y los sólidos suspendidos volátiles del líquido mezcla (SSVLM) = 3500 mg/L

Entonces:

$$Q_{wr} = \frac{(23,00 m^3) * (3500 mg/L)}{(5 \text{ dia}^{-1}) * (6000 mg/L * 0,8)} = 3,35 m^3/d$$

$$Q_{wr} = 3,35 m^3/d$$

Se extraerán diariamente aproximadamente una cantidad de barro en peso seco, que se obtiene de la siguiente manera

Cant. Barro (p. seco) es el 10% de 3,35 m³/d

Cant. Barro (p. seco) = 0,335 m³/d = 335 L/día

Cuando se trabaje con un caudal 23 m³/día, el sistema de deshidratación de barros deberá vaciarse cada 3 días de operación aproximadamente.

Para estos valores de X_r: r = 0,5. Coeficiente de recirculación adoptado según ENOHSa.

$$r = Q_r/Q \Rightarrow Q_r = r/Q \Rightarrow \mathbf{Q_r = 11,50 m^3/día}$$

Se verifica el valor de la carga orgánica volumétrica COV:

$$COV (Kg DBO/m^3 día) = \frac{Q * S_o}{V_r} = \frac{23 (m^3/d) * 2000(mg/L)}{23 m^3} = \mathbf{2,00kg DBO/m^3 día}$$

✓ valor dentro de los parámetros de diseño adoptado ENOHSa.

Se calcula el TRH:

$$TRH = \frac{V_r}{Q} = \frac{V_r}{Q+Q_r} = \frac{23 (m^3)}{23(m^3/d) + 11,50(m^3/d)} = 0,66 d = \mathbf{15,84 horas}$$

Se verifica F/M

$$F/M = \frac{S_o}{\theta * X} = \frac{2000 (mg/L)}{0,66(d)^{-1} * 3500(mg/L)} = \mathbf{0,86 d^{-1}}$$

Dónde:

S_o = concentración inicial

θ = detención hidráulica = TRH

✓ Se verifica dato dentro de los rangos de diseño (Metcalf, 1993).

Requerimiento de aire

El suministro de aire debe adecuarse a

- 1) La DBO del líquido a tratar
- 2) Satisfacer la respiración de los microorganismos del fango
- 3) Conseguir una mezcla adecuada
- 4) Mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto entre 1 a 2 mg/L en todo el tanque de aireación

Los cálculos para la determinación de requerimientos de oxígeno, han demostrado resultados variables y dependientes de determinaciones experimentales in situ. Es por eso que en general se establece que el sistema de difusores de aire sea capaz de suministrar el 150% de las necesidades normales, las que según la Ten States Standards de USA son de: 62 m³aire/kg DBO₅ (Benjes H., 1970), lo que representa un requerimiento de oxígeno de:

$$\text{Requerimiento de aire} = 62 m^3 \text{ aire/kg DBO}_5 * 46 \text{ kg DBO}_5/d =$$

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Req. Aire. = 2852 m³ aire/d

La relación de aportación de oxígeno/carga orgánica puede variar entre 2,00 y 2,30 kg O₂/kg DBO, se adopta 2,30 kg O₂/kg DBO. (Martín, 2015)

Por otro lado, la capacidad de aporte de oxígeno del equipo deberá ser:

$$\text{Demanda de O}_2 \text{ (kg O}_2\text{/día)} = 2,30 \text{ kgO}_2\text{/día} * 23 \text{ m}^3\text{/día} * 2\text{kg/m}^3 = \mathbf{98,90 \text{ kgO}_2\text{/día}}$$
$$= \mathbf{4,12 \text{ kg O}_2\text{/h}}$$

Considerando el **difusor modelo RG 300 Repiky**, el requerimiento de potencia es 2,5 a 6 kg O₂/KWh.

Resultando una potencia requerida de:

$$N \text{ (KW)} = \frac{4,12 \text{ kg O}_2\text{/h}}{2,5 \text{ kg O}_2\text{/KWh}} = 1,64 \text{ KWh} \text{ ó } 2,20 \text{ HP} \text{ (1KWh} = 0.75 \text{ HP)}$$

Con estos datos, se selecciona el equipo soplador, **REPIKY R200** de Q= 132 m³/h de aporte y 2,40 HP a 2900 RPM, con un ΔP = 300 mbar

Equipos de aireación:

Se han seleccionado para el sistema de aireación del reactor, difusores de burbuja fina. Existen varios proveedores de equipos, entre los que se seleccionó **AIRLIFT REPICKY Modelo RG 300 Repiky**.

El dimensionamiento y disposición de los aireadores se calcula según las especificaciones del fabricante (Tabla N° 15)

V _t de aire (m ³ /día)	Q dif B. fina (N m ³ /h)	□□(Dif/m ²) fina	Q (unidades)	Altura pelo de agua adopt s/sopl (m)
2852	5	4	24	2

Tabla N° 15: Características del equipo de aireación

Sedimentador Secundario

El proyecto de un tanque de sedimentación plantea dos objetivos fundamentales:

- Obtener un líquido clarificado, y
- Obtener un fango concentrado

El diseño de un sedimentador se basa en los conceptos de carga superficial diaria y velocidad ascensional del barro.

El caudal de trabajo del sedimentador es:

$$Q_t = 23 \text{ m}^3 \text{ diarios} / \text{cantidad de horas de trabajo de la fábrica diarias} =$$

Los 23 m³ se desarrollan a lo largo de un día de 8 hs (de jornada laboral)

$$Q_r = 23 \text{ m}^3/\text{día}/8 \text{ h/día} = 2,95 \text{ m}^3/\text{h} \approx 3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se seleccionó para el diseño una velocidad ascensional (V_a) de referencia para sólidos orgánicos coloidales de 0,75 m/h, contando con que se espera que en el reactor biológico se formen flocs que presentan una mayor velocidad de sedimentación.

Área Superficial de sedimentador:

$$\text{Área superficial (m}^2\text{)} = \frac{Q_r \text{ (m}^3/\text{h)}}{V_a \text{ (m/h)}} = \frac{3 \text{ m}^3/\text{h}}{0,75\text{m/h}} = 4 \text{ m}^2$$

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cálculo teórico se adopta para el sedimentador:

Superficie: 6 m²

Ancho: 1,5 m

Largo: 4 m

Altura: 1,5 - 1,8 m

Vol. = 10 m³

Dimensiones que verifican las proporciones ancho/largo generalmente propuestas para sedimentadores 1/4 (Canepa de Vargas, 1980).

Inoculación

El arranque de un reactor anaerobio para aguas residuales industriales con alta concentración de materia orgánica es un proceso delicado que exige amplio conocimiento de los involucrados si se espera que sea exitoso en poco tiempo. Para ello, el uso de un lodo de inóculo adecuado en cantidad razonable es imprescindible, ya que permite reducir sensiblemente el tiempo en el cual el proceso entra en régimen, además de asegurar en todo momento el control de la acidificación del reactor. (López Hernández et al.)

Para la puesta a régimen de los reactores biológicos será necesaria la incorporación de inóculo. Existen dos fuentes posibles para obtener este material, al momento de la puesta en marcha se podrá optar de acuerdo a la disponibilidad por:

- Obtener Barros anaeróbicos de un reactor que procese efluentes de cervecerías. De esta manera las comunidades bacterianas estarán adaptadas a la calidad de sustrato a degradar.
- Inóculos comerciales, que generalmente vienen seleccionados para efluentes cloacales por lo que el tiempo de puesta en régimen puede ser variable o condicionante de la eficiencia del inóculo. La empresa Metertech comercializa inóculos con diferentes composiciones bacteriológicas según el tipo de efluente a tratar. Existen otros proveedores de productos similares en el mercado.

SOLIDOS Y SEMISOLIDOS

Se obtendrán dos tipos de barros secundarios: los producidos en el filtro anaeróbico con material suspendidos y los barros obtenidos en la purga del sedimentador del sistema de Barros Activados RBA. Los barros obtenidos en ambos reactores, son altamente

digeridos por lo que se utilizará un sistema de drenaje y contención de barros para su deshidratación. Se instalará un sistema denominado Geotube®.

Mecanismo de extracción

Los barros del sistema de purga y recirculación del tratamiento aeróbico, son extraídos y movidos mediante una bomba con sistema Vortex instalada en una cabina montada sobre el sedimentador. La bomba para lodos activados, extraerá barros del sistema a un caudal aproximado de 100 L/min durante 2,5 - 3 hs., que serán coincidentes con las horas de trabajo de la fábrica.

El modelo de la bomba es Marca Flygt DOC 7 trifásica con un rendimiento de aproximadamente 100 L/min a una altura manométrica de entre 5 - 6 m.

Se colocará una **válvula de tres vías motorizada** que derivará el barro a la purga o al retorno de barros accionada en tiempos estimados y proporcionales de acuerdo al volumen de recirculación y purga que la bomba debe extraer del sedimentador, lo que se considera como aproximadamente 45 minutos el tiempo en el que la bomba purgará barros.

La recolección de barros en el sistema anaeróbico se produce a través de una cámara que cuenta con una válvula de accionamiento manual. La salida de los barros que serán dirigidos al sitio de contención y drenaje de los mismos, se producirá por peso propio de la columna de efluente del tanque anaeróbico.

Contención y drenaje

Las bolsas Serie V de Geotube® para colgar verticalmente, son de bajo costo y reutilizables. Constituyen un sistema de deshidratación adecuado para usos urbanos, agrícolas o de una variedad de aplicaciones industriales ligeras donde el volumen es moderado y la limitación de espacio es importante. Especialmente un contenedor que puede ser mantenido en posición vertical para que los barros contenidos y deshidratados puedan abandonar el fondo con un mínimo esfuerzo (Figura N°14)

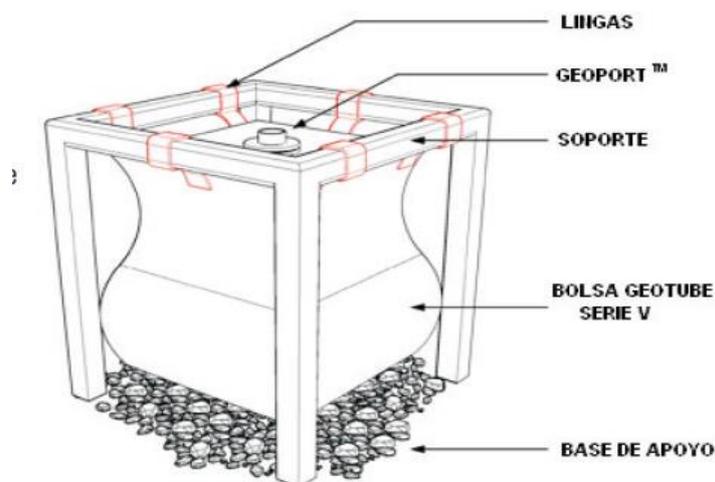


Figura N° 14: Esquema de funcionamiento de las bolsas Geotube®.

Esta tecnología de deshidratación Serie V consiste en un proceso de seis fases: bombeo, desaguado, consolidación, remoción, descarte y repetición del proceso. Permite una separación de la fase sólida de la líquida drenando el líquido del material floculado. El efluente generado en la deshidratación de los barros se incorporará

nuevamente al sistema en el punto del tratamiento de afinamiento mediante ozono. Se adjunta información técnica del producto. (Tabla N° 16)

Bolsa Geotube® Serie V	Rendimiento Total Entregado (m3 de barro deshidratado)	Dimensiones Estimadas Bolsa Llena (Largo x Ancho x Altura)
V1	1	1 metro x 1 metro x 1 metro

Tabla N° 16: Especificaciones que brinda el fabricante

Extracción desde el sistema de contención y drenaje

Se trabajará con una máquina con pala retroexcavadora con rodamientos de sistema de giro inverso y bajo radio de giro o equipo auto elevador sampi con el que cuenta la empresa, que permitirá maniobrar en espacios reducidos. La frecuencia de retiro de barros se estima entre 1 y 5 meses según cálculo presentado del reactor y sistema de purga y recirculación. Se proyectó un techo abatible para facilitar la maniobra de extracción de la bolsa contenedora. (Figura N° 15)

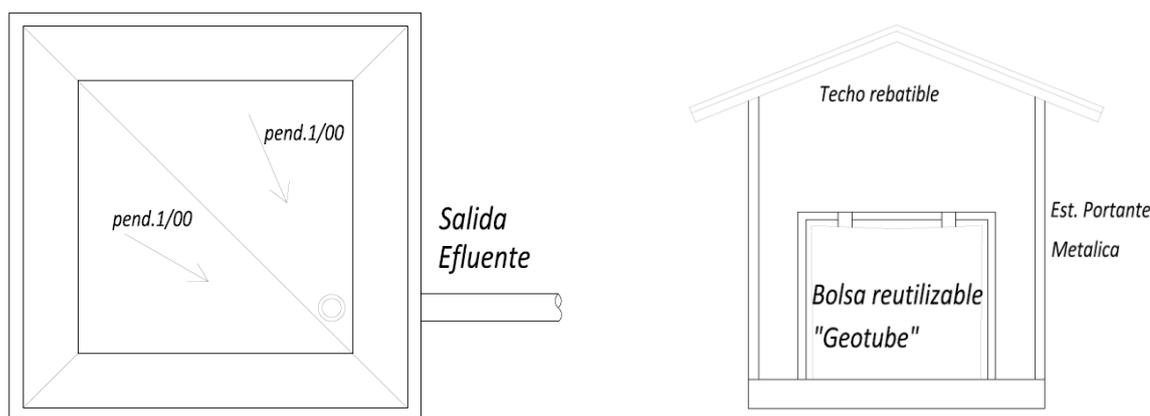


Figura N° 15: Sist. de recolección de lixiviados del sistema de deshidratación de barros

Los sólidos provenientes del sedimentador secundario que previamente han sido deshidratados con el sistema Geotube serán dispuestos como residuos sólidos urbanos

5.4 - TRATAMIENTO DE AFINAMIENTO O PULIDO FINAL

Considerando las eficiencias de cálculo para cada uno de los equipos, la DBO de salida del sedimentador secundario no cumpliría con los parámetros de vuelco para infiltración en terreno. Para completar el tratamiento y alcanzar los valores de DBO aptos para la infiltración, se plantea la posibilidad de instalar un equipo ozonizador.

En primera instancia se propone ajustar la puesta a punto del reactor anaeróbico y el de barros activados y verificar los valores de DBO a la salida del sedimentador secundario. La eficiencia considerada para el cálculo del FAMS es del 77 % y la bibliografía consultada presenta valores de entre 65 a 85 % y 90 a 95 %. Si consideramos un aumento de la eficiencia en un 10 % en el FAMS y por otro lado incrementando solo 1%

la eficiencia del RBA llegaríamos a valores de vuelco de 100 mg/L lo que justifica el planteo de prescindir del tratamiento terciario (Tabla N° 17)

La instalación de un **mecanismo de calefacción y de aislación térmica** en el reactor anaeróbico, permite suponer que se alcanzarán los valores máximos de eficiencia planteados para este tipo de reactores.

En el transcurso de la puesta a punto de la planta se podrá evaluar los valores efectivos de vuelco y si estos no se cumplieran, se instalará la planta de ozono que se describe a continuación.

PLANTA DE OZONO

El ozono (O₃) es después del flúor (F) el compuesto más oxidante de la naturaleza, de fácil descomposición, siendo más estable en soluciones acuosas que en el aire. Debido a su poder oxidante comenzó a utilizarse en aplicaciones para el tratamiento de aguas.

Reactor	De calculo		Potencial	
	Eficiencia (%)	DBO ₅ Salida (mg/L)	Eficiencia (%)	DBO ₅ Salida (mg/L)
Anaeróbico	77	2000	87	1200
Aeróbico	91	180	92	100

Tabla N° 17: Porcentajes potenciales de eficiencias y DBO de salida correspondientes

Uno de los principales inconvenientes para el desarrollo de tecnologías de aplicación en tratamientos de efluentes, es que el ozono tiene poca persistencia, por lo que se debe producir dentro del proceso de tratamiento. El método más eficiente para la producción de ozono es mediante descargas eléctricas. El ozono es generado aplicando una descarga eléctrica de alto voltaje al aire u oxígeno puro, cuando estos atraviesan un conducto estrecho. (Figura N° 16)

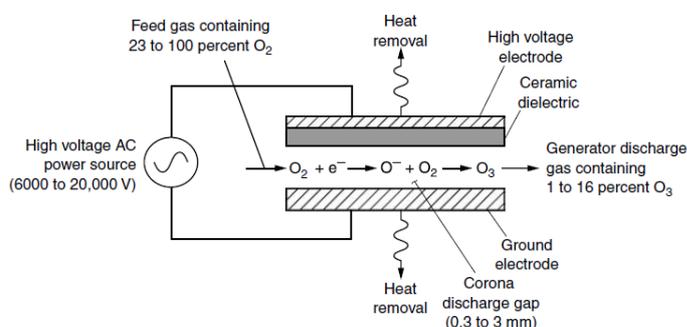


Figura N° 16: Esquema del proceso de generación de ozono (Adaptado de US.EPA.1986)

Las concentraciones logradas en el flujo de aire enriquecido fluctúan entre el 1 al 3% en peso. Teniendo en cuenta que las concentraciones de ozono logradas en el flujo son

bajas, es muy importante maximizar la eficiencia en la transferencia de éste a la fase líquida. En este sentido cada equipamiento cuenta con mecanismo para maximizar la transferencia del ozono. Para el caso de los equipos proyectados se utiliza un mecanismo de Venturi que inyecta el aire enriquecido dentro de las cámaras de la planta. Los requerimientos de ozono para la oxidación completa de los elementos presentes en el efluente, pueden estimarse considerando la DQO inicial, la concentración de ozono lograda por la mezcla de aire-ozono y la eficiencia de ésta en la oxidación (80 - 90%, Asano et al., 2007).

Los proveedores de los equipos de ozonización informan una capacidad de trabajo de un equipo ozonizador de entre 350 - 400 mg de DQO /L por equipo.

Si el efluente a tratar cuenta con $DBO_5=180$ mg/L y con una relación $DBO/DQO= 1/2$ La DQO estimada es de 360 mg/L lo que hace necesaria la instalación de **1 equipo ozonizador**.

En la ciudad de Bariloche, la empresa "mhhidraulica", comercializa equipos ozonizadores para tratamiento de efluentes. El ofrecimiento que han realizado de acuerdo a las especificaciones del efluente, incluye:

- Equipamiento para pulido final y desinfección, para reducción de DBO_5 con una entrada de 200/250 mg/L, mediante sistema de inyección O_3 ECOKIT, dicho equipamiento consta de
- 1 – Cisterna tricapa de Poliestireno de 2750 L
- 1 - Equipo de inyección (Bomba sumergible + venturi)
- 1 – Generador de Ozono Ozhis OZ
- 1 – Tablero de comando y control con temporizador digital

5.5 - DISPOSICION DEL EFLUENTE TRATADO – Infiltración y/o reúso

Dentro de la zona donde la fábrica de cerveza está instalada no hay red de saneamiento a la cual poder realizar el vuelco de los efluentes tratados.

Es por esto que todos los efluentes tratados deben disponerse dentro de los espacios disponibles y a fin dentro del predio de la fábrica.

Las opciones disponibles son disponer el efluente mediante infiltración en el suelo y la posibilidad de reusar el efluente para regar con parte de ese volumen los sectores parquizados del predio, veredas y hasta incluso parte de las calles circundantes al predio.

Una vez puesta en marcha la planta y verificados los niveles de tratamiento que corresponden a este tipo de disposición, se planteará un sistema de riego para el sector parquizado dentro del emprendimiento.

En este trabajo se desarrolla completa y en detalle la opción sobre infiltrar, dejando para otra instancia, ya que depende de las eficiencias logradas en el tratamiento, y es algo que solo podrá constatarse en la fase de operación y ajuste del tratamiento, una vez que la planta esté construida y en funcionamiento.

SUPERFICIE DE INFILTRACION PARA EL EFLUENTE TRATADO

Un 80 % del volumen de litros de efluente tratado ocupara el área verde del predio ubicado al Norte de la fábrica, que coincidentemente tiene muy bajo nivel de ocupación. Estos son aproximadamente 600 m² de infiltraciones, mientras que el 20 % restante se implementará al Este de las instalaciones de la fábrica.

Para la disposición final del efluente tratado se plantea destinar una superficie del lote para infiltrar calculada a partir del caudal y de la capacidad de infiltración del suelo. Se considera la capacidad de infiltrar de acuerdo a un estudio de infiltración proporcionado por la empresa (Figura N° 17), donde se realizaron 3 ensayos en el terreno de la fábrica.

Utilizando para el cálculo de la tasa de infiltración la ecuación propuesta por CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; OPS/CEPIS 03.82))

$$T_i = 315,5 \sqrt{v_{inf}}$$

Velocidad de infiltración (mm s-1)		
Sector 1	Sector 2	Sector 3
0,1750 mm/s	0,0903mm/s	0,1218 mm/s

Figura N° 17: Estudio de infiltración. Ing. Dutrus S. 21 de octubre de 2016

Se considera el valor más desfavorable de la Tasa de Infiltración (Ti)= 94,63 L/m².d, para el cálculo:

Superficie necesaria para infiltrar= Sup. Inf.= Q/Ti = 23000 L/día/ 94,63 L/m²d

Sup. Inf.= 243,05 m² ≈ 243 m²

Considerando un ancho de zanja de 0,6 m: Los metros lineales necesarios de zanja de infiltración son iguales a

243 m² / 0,60 m = 405 m lineales de zanja

Se proyectaran en 3 sitios diferentes del terreno disponible, 12 líneas de 21 m de largo, otras 2 de 25 m y 3 líneas de entre 16 y 30 m, que aportan el total de 405 m lineales requeridos de zanja, con una separación de 1,80 m y un ancho de zanja de 0,60 m. Ver Tabla N° 18

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

Sitios	Cant. de zanjales (m)	Long. de cada zanja (m)	Zanja de infiltración (m)	Sup. de terreno (m ²)
1	12	21	252	466
2	4	30 (3)	90	154,8
		16 (1)	16	
3	2	25	50	60
TOTALES			408	680,8

Tabla N° 18. Distribución de sitios de infiltración y sus características

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

El valor de conductividad eléctrica del efluente es $\mu\text{s/cm} = 685$ (ver Tabla N° 6), y para evaluar eventuales impactos en el sistema suelo agua se puede mencionar que el valor se encuentra por debajo de los límites de restricción de uso. (Ver Tabla N° 19)

	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
	Ninguno	Ligero o moderado	Severo
Problema potencial: SALINIDAD			
C.E.	<0,7	0,7-3,0	<3,0
Problema potencial: INFILTRACIÓN			
RAS entre 0 y 3 y C.E. =	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS entre 3 y 6 y C.E. =	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS entre 6 y 12 y C.E. =	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS entre 12 y 20 y C.E. =	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS entre 20 y 40 y C.E. =	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9

Tabla N° 19.- Clasificación de la calidad del agua para riego según la FAO (Ayers y Westcot, 1985). C.E.: Conductividad eléctrica (en mS/cm ó dS/m).

5.6 - EFICIENCIAS DEL SISTEMA

En la Tabla N° 20 se resumen las eficiencias estimadas para cada equipo, bajo el supuesto de usar el valor más conservador dentro de los rangos propuestos por la bibliografía. Según este cálculo el valor de vuelco cumple con los requerimientos exigibles por el organismo regulador para infiltración en suelo.

Equipo	SST 2'	SST 2Hs	DQO	DBO _e	DBO _s	Ef. DBO	Ef. SS 2Hs
	ml/L	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L		
Tamiz estático	250	28	-	-	-	-	88%
Reactor anaeróbico	-	-	13000	8500	2000	77%	-
R. de barros activados	-	-	-	2000	180	91%	-
Ozono	-	-	-	180	50	72%	-

Tabla N°20: porcentajes de eficiencias del sistema

5.7 - CASO PARTICULAR: RESTOS DE LEVADURA DE LA FABRICACION

ANTECEDENTES

Comúnmente en las industrias cerveceras la levadura que se adiciona a los tanques de fermentación sólo se utiliza de tres a cuatro ciclos, ya que se considera agotada y por lo tanto se desecha arrastrando consigo aproximadamente 1 - 2,5 % de cerveza total rendible de la empresa (Manfred y Jean, 1991). Esta práctica adoptada por la industria cervecera de Nicaragua (I.C.S.A.), no sólo repercute en los costos de producción de la empresa, sino que además incide negativamente en el medio ambiente al ser el desecho cervecero conducido al lago Xolotlán. Todo esto sin mencionar el desaprovechamiento total de la levadura, con alto poder proteínico y vitamínico.

Entre las técnicas disponibles para el tratamiento de este subproducto se pueden mencionar aquellas que se fundamentan en el secado de la misma. El producto obtenido a través de este proceso de deshidratación, servirá para un posterior aprovechamiento como insumo para alimentación animal. Es altamente reconocido que las levaduras representan un material de alta calidad nutricional (Otero et al., 2000).

Las alternativas disponibles para esto son: equipos de Secado Spray, y espesado por deshidratación térmica en placas.

SECADO POR ATOMIZACION - EQUIPOS DE SECADO SPRAY

El secado por atomización es el proceso de pulverizar una solución o suspensión en una corriente de aire caliente que los deshidrata en forma casi instantánea, lo que presenta grandes ventajas en relación a otro tipo de secados (Figura N°18). El Líquido pulverizado choca con el aire caliente, el secado se produce en forma casi instantánea debido al tamaño de la gota. Como parte de ésta es sólido (producto en determinada concentración) cae en forma de polvo en el interior de la Cámara de Secado. Por medio de un ciclón, se separa el polvo del aire y se extrae de esta forma el producto terminado.

La evaporación de agua contenida refrigera la partícula, permitiendo usar altas temperaturas en el aire de secado sin afectar al producto.

Entre las principales ventajas se destacan:

Alto Rendimiento (Proceso rápido, pocos segundos).

La evaporación de agua contenida refrigera la partícula, permitiendo usar altas temperaturas en el aire de secado sin afectar al producto.

Proceso continuo y constantemente controlado.

Homogeneidad de la producción.

Inmejorable presentación del producto.

La instalación es controlada por un solo operador.

Fácil Automatización.

Admite trabajo continuo de 24 horas

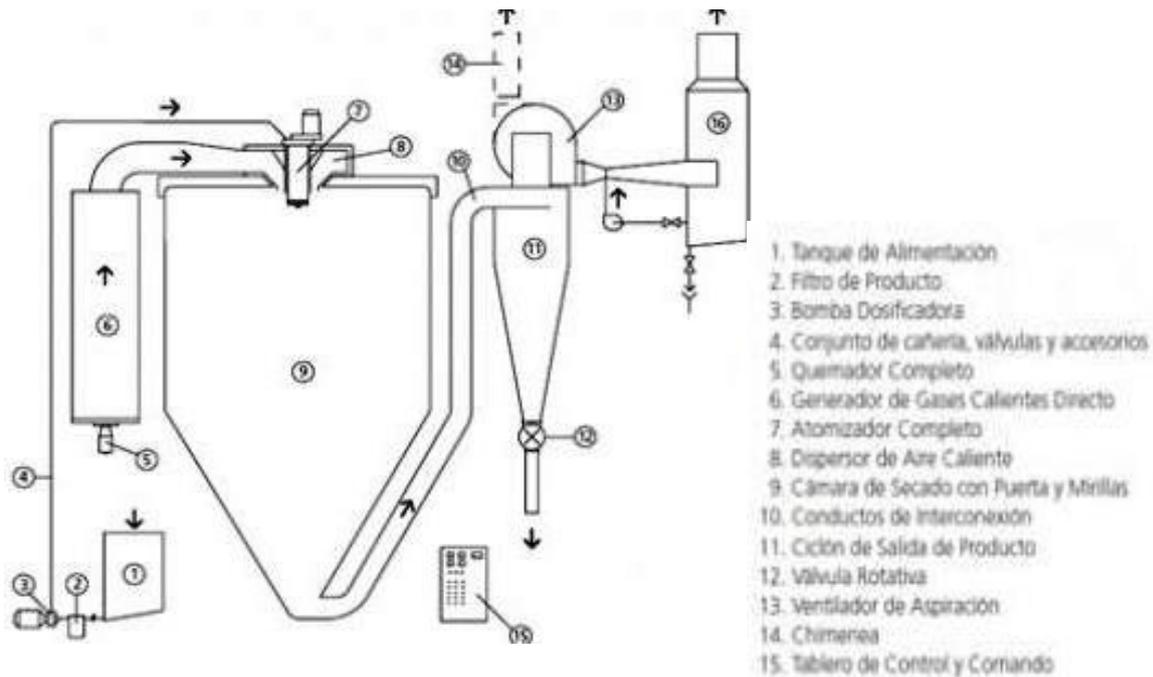


Figura N°18: Esquema simplificado del Sistema de secado spray. (Galaxie Spray)

EQUIPOS DE ESPESADO POR DESHIDRATACION TERMICA EN PLACAS

Las secadoras de tambor o de rodillos son utilizadas en la industria alimenticia para secar una variedad de productos como lácteos, alimentos para bebé, cereales para el desayuno, pulpas de frutas y vegetales, puré de papa, almidones cocidos y levaduras usadas. Es uno de los métodos de secado más eficientes en términos de consumo de energía y es muy efectivo para secar líquidos con una alta viscosidad o alimentos en forma de puré.

En la operación de secado, el material en forma de líquido, solución acuosa o puré es aplicado como una capa ligera sobre la superficie exterior de un par de tambores que se encuentran girando y que están siendo calentados por dentro mediante vapor. Antes de girar una vuelta completa desde el punto desde donde se suministra la solución acuosa, el producto se encuentra ya seco y es removido mediante una cuchilla estática. El producto seco es recolectado y transferido, normalmente de manera neumática, a un molino para reducir el tamaño de su partícula y poder ser empacado.

Considerando que en la fábrica se cuenta con un sistema de generación de vapor que es utilizado durante el proceso de cocción y su uso presenta tiempos ociosos durante parte del día, esta alternativa representa una oportunidad para eficientizar el uso de este equipo (Figura N°19).

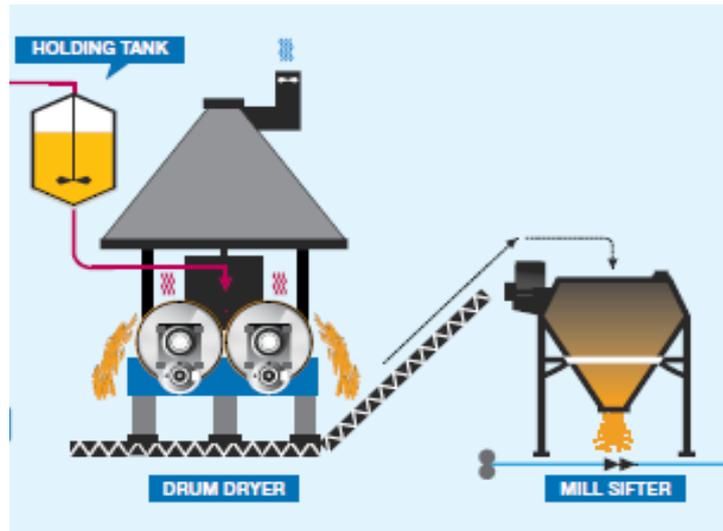


Figura N° 19: Esquema de funcionamiento del equipo de secadora por rodillos (Andritz Gouda drum dryer)

El productor de cerveza en este proyecto como protocolo de producción no realiza reúso de las levaduras, lo que aumentaría el valor nutricional de este residuo.

La recolección de las levaduras se genera por debajo de los tanques de fermentación a través de llaves exclusiva que abren dejando fluir las levaduras en forma semilíquida dentro de tanques de aproximadamente 100 litros de capacidad. Estos cuentan con un sistema de rodamiento para poder transportados:

- i) al carro de acopio de bagazo para ser mezclado en las proporciones de cálculo necesarias para el diseño de una ración compatible con la alimentación del ganado o,
- ii) hasta la cámara de acopio, que a su vez conecta al sistema de rodillos de secado.

El proceso de producción de la empresa, exige un registro visual del material de purgas, y la decisión del volumen purgado es variable y se define en base al aspecto y color del material que el operador observa en el mismo momento en que descarga, por lo tanto, el proceso de purga de fermentadores es totalmente manual.

Opción 1 (i)

La producción de levaduras fluctúa entre 250 L/día y 1000 L/día según el proceso de purgado diario y el tipo de cerveza en proceso. Considerando la calidad proteica del residuo de las levaduras y del bagazo mencionado en el punto 1 y su posibilidad de uso como alimento de ganado, se combinarán ambos productos para generar un suplemento de alimento de ganado en proporciones calculadas de acuerdo a las propiedades de estos subproductos.

Opción 2 (ii)

El proyecto plantea la instalación de un equipo que procese los residuos de las levaduras mediante un sistema de deshidratación. El volumen a considerar para esto sería el que eventualmente excediera de la posterior utilización como suplemento de alimento e incorporación como nutrientes al sistema de tratamiento como se mencionó anteriormente en la opción 1.

La humedad medida sobre el material purgado de los fermentadores es de 85 - 90 % (determinaciones propias).

Este material de alta estabilidad se puede conservar y transportar muy fácilmente y su destino puede ser alimento para ganado entre otros varios mencionados en la bibliografía.

RECOMENDACIONES FINALES

Considerando los volúmenes actuales, futuros excedentes de levaduras, y los costos de construcción y operación de los equipos anteriormente planteados se optará en primera instancia por la opción i, y luego opción ii preferentemente el equipo de espesado por deshidratación térmica en placas.

Un volumen de purga total de entre 250 a 1000 L/día en peso seco, (sin el descuento de volumen para incorporación al bagazo ni como nutrientes al sistema de tratamiento), fluctuará entre 25 - 150 kg/día, dependiendo básicamente del volumen purgado diario y de la calidad de la cerveza que se esté produciendo.

6 - CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

Del proyecto elaborado se puede concluir que, a partir de la caracterización de los efluentes generados por la fábrica, cuyos flujos de los efluentes de la fábrica son variables en calidad y volumen a lo largo de cada jornada de producción, dependiendo de qué fase del proceso se esté desarrollando y del tipo de cerveza que estén ejecutando. Van desde 4.600 mg/L hasta 11.300 mg/L de DBO₅; 6.200 mg/L hasta 16.120 mg/L de DQO; 0,06 L/s hasta 2,33 L/s de Caudal. Que con un tamizado como tratamiento primario y un posterior tratamiento biológico anaerobio seguido por uno aerobio es posible llegar a los parámetros de vuelco que exigen las normas del DPA.

En la elección de la tecnología utilizada, se han dejado atrás otras apropiadas a este tipo de efluentes (y han sido mencionadas en el capítulo 4).

Teniendo en cuenta, no solo las altas cargas orgánicas, sino también el sitio de implantación dentro del predio ocupado por el productor, expectativas en los altos niveles requeridos de eficiencia de remoción, facilidades de manejo de variables operativas fundamentaron el uso de un Filtro Anaerobio con Material Soporte y un Reactor Aeróbico de Barros Activados para este trabajo y de ser necesario un tratamiento terciario con Ozono

Para una mejor operación de la planta, quedaran automatizados son los siguientes procesos:

Registro del pH e inyección de hidróxido de sodio para neutralizar el pH en la cámara homogeneizadora

Salida de efluentes desde la cámara homogeneizadora hacia el reactor anaerobio

Recirculación de lodos entre el reactor aerobio y sedimentador secundario

Salida de barros hacia el sistema de deshidratación "Geotube"

Salida de efluentes hacia el sistema de ozonización

Una vez construida la planta proyectada, y habiendo superado el periodo de puesta en marcha, se procederá a realizar una capacitación al personal que incluirá un Manual de

procedimiento y Operación de la Planta, que incluirá entre otros temas un modelo del proceso, los puntos críticos de control, cuales son las variables de operación, los parámetros para la toma de decisiones, sistemas de alarma y secuencia y responsabilidades en la toma de decisiones de operación.

Se recomienda finalmente implementar las buenas prácticas en el desarrollo productivo de la elaboración de la cerveza, se pueden seguir optimizando los procesos y reduciendo los volúmenes y las cargas orgánicas. Esto podría generar un cierto margen de seguridad para este productor que en su decisión de continuar produciendo en Colonia Suiza deberá estar cada vez más consciente de la vulnerabilidad del espacio y medio ambiente ocupado.

7 - BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEB CONSULTADAS

Ahmed Hamza R, Terna Iorhemen O., Hwa Tay J. 2016. Advances in biological systems for the treatment of high-strength wastewater. Journal of Water Process Engineering. 10-128–142.

AINIA. La industria Cervecera. Mejores técnicas disponibles en el sector cervecero. Proyecto INFO MTD's. España.

Asano T., Burton F., Leverenz H., Tsuchihashi R., Tchobanoglous G. 2007. Water reuse: issues, technologies, and applications, Metcalf & Eddy | AECOM BGR Alemania.

Benjes Henry: Theory of Aereated Lagoons, Second International Symposium for Waste Treatment Lagoons, Kansas City Junio 1970

Bustos C. 2007. Clima de Bariloche.

<http://sipan.inta.gob.ar/productos/ssd/vc/bariloche/ig/clima.htm>

Canepa de Vargas L. 1980. Sedimentadores rectangulares de flujo horizontal.

Castro Aravena, F. M., Estudios de los residuos industriales líquidos y evaluación de las alternativas mejoras para la Industria Cervecera Valdivia. Facultad de Ciencias Agrarias-Escuela de Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile. 2003.

Civitatesi H., Niembro A. y Buhler M. Desafíos para desarrollar una agroindustria local. Hacia una tipología de productores de cerveza artesanal en Bariloche. Revista Pymes, Innovación y Desarrollo. Vol. 5 No. 1, pp. 41-62. 2017.

Cronin C. 1996. Anaerobic treatment of brewery waste water using a UASB reactor seeded with activated sludge. British Columbia Department of bio-resources engineering.

Díaz Báez M. C. Reactores anaeróbicos de alta tasa. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Biólogo. M. Sc Ingeniería e Investigación Volumen 4 - Nº 2 Trimestre 1 de 1987.

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

- Doménech X., Jardim W. F. y Litter M. I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes.
- DPA. Consideraciones para la Presentación de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales en Áreas sin Servicio de Red Cloacal del Departamento Provincial de Aguas, Río Negro.
- ENHOSA, Guías. Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento.
- EOI, Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. 2008.
Contaminación de las aguas. Vertidos de la elaboración y envasado de cervezas.
Escuela Organización Industrial. Sevilla.
- Fernández Boizán M., Rodríguez Pérez S., Terry Brown A. Principios para el diseño y aplicación de reactores anaerobios en el tratamiento de aguas residuales industriales. Centro de Estudio de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente. México. TECNOLOGÍA QUÍMICA. Vol. XXVIII, No. 1, 2008.
- Fernández - Polanco F., Seghezzo L. 2015. Diseño de reactores upflow anaerobic sludge blanket (UASB). Proyecto mejora de las economías regionales y desarrollo local. Cuaderno tecnológico nº 15. Instituto de investigaciones en energía no convencional - Universidad de Valladolid -UNSalta. INTI- UE
- Gutiérrez C., Olmo J. 2007. Procesos para el tratamiento de aguas residuales. Versión electrónica ISBN 978-959-16-0619-8 Editorial Universitaria
- Iturrioz G. E. Reúso de los efluentes industriales de una Planta Separadora de Gas Licuado. Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires UNICEN. Facultad de Ciencias Humanas. Unidad de Gestión de Educación a Distancia. Licenciatura en Gestión Ambiental. Tandil, Argentina Noviembre de 2017
- Lascaray J. O. Muestreo de efluentes líquidos residuales industriales. AIDIS – Argentina.
- Lopez Hernandez J. E., Morgan Sagastume J. M., Noyola Robles A. Arranque de Reactores Anaerobios Industriales: Dos casos de estudio. Instituto de Ingeniería Universitaria Nacional Autónoma de México. Coyoacán, México D.F., México.
- Martín Fernando. 2015. "Ampliación planta de tratamiento de aguas residuales, proceso de lodos activados, sistema canal de oxidación, localidad de El Bolsón". Trabajo final de Especialización en Tratamiento de Efluentes y Residuos Sólidos, UNRN Sede Andina.
- Márquez Vázquez M. y Martínez González S. 2011. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología Centro Tecnológico Aragón Laboratorio de Ingeniería Ambiental.
- Méndez, D., Toxicidad y biodegradación anaerobia de formaldehído, Tesis de doctorado, Universidad de Santiago de Compostela, España. 1997
- Metcalf & Eddy Inc. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de

"Propuesta Técnica para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes de Fabricación de Cerveza Artesanal"

aguas residuales. Tercera edición 1994. Colombia

Metcalf & Eddy Inc. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 3D ed. The McGraw – Hill Companies. New York. 1991

Otero M., Cabello A., Vasallo M., García L. y Lopez J. 2000. Tecnología para la utilización integral de la levadura de cerveza en la industria alimenticia. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. 50 N°4.

Oliás M., J.C. Cerón y I. Fernández. 2005. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). Departamento de Geodinámica y Paleontología. Universidad de Huelva. Campus 'El Carmen'. 21071 Huelva.

Pereyra, F., Albertoni J. y Breard C. 2005. Estudio geocientífico aplicado al ordenamiento territorial de la ciudad de San Carlos de Bariloche, SEGEMAR-IGRM

Picado A., Mendieta R., Porras L. y Martínez J. 2002. Diseño de un sistema para la recuperación de cerveza residual y secado de la levadura sobrante. Universidad Nacional de Ingeniería, facultad de Ingeniería Química, Laboratorio de Secado e Ingeniería de Procesos. Nicaragua.

Simate G.S., Cluett J., Iyuke S.E., Musapatika E. T., Ndlovu S., Walubita L. F., Álvarez A. E. 2011. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. Desalination. 273 - 235–247.

Tejerina¹ W.A., Carmona C.S., Lasci M.J., Seghezzi L. y Cuevas C.M. 2004. Biodegradabilidad anaeróbica de efluentes cerveceros. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, N° 2, UNSalta, Consejo de Investigación-INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales.

Toldra F., Flores A., Lequerica J. L, y Valles S.1987. Fluidized Bed Anaerobic Biodegradation of Food Industry Wastewaters. Biological Wastes 21 (1987) 55-61

Valdez E., Velázquez González A. 2003. Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Aguas Residuales. Fundación ICA

Zepeda A., Gómez J., Rustrian E., Houbon E. Tratamiento de las aguas residuales de la Industria cervecera, en un reactor de lotes secuenciados (SBR). Universidad Autónoma metropolitana-Iztapalapa. Dpto. de Biotecnología.

http://galaxie.com.ar/productos_proceso.php

<http://www.repicky.com.ar/>

www.mhhidraulica.com