



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS HÍDRICAS (FICH-UNL)
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS
EFLUENTES LÍQUIDOS DEL FRIGORÍFICO ALBERDI S.A
EN LA CIUDAD DE ORO VERDE, ENTRE RÍOS,
ARGENTINA**

Bioing. Francisco Javier Fernández

Trabajo Final remitido al Comité Académico de la Maestría
como parte de los requisitos para la obtención
del grado de
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL
de la
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS HÍDRICAS (FICH-UNL)
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS
EFLUENTES LÍQUIDOS DEL FRIGORÍFICO ALBERDI S.A
EN LA CIUDAD DE ORO VERDE, ENTRE RÍOS,
ARGENTINA**

Bioing. Francisco Javier Fernández

Director:

Ing. Químico Rubén Eduardo Molinelli

Co-director:

Dr. Carlos Alberto Martin

FICH-UNL

Jurado Evaluador:

Ing. Eduardo Santiago Groppelli

FIQ-UNL

Dr. Cesar Iván González

UNER

Dra. Diana Lía Vullo

CONICET

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Santa Fe, 03 de Diciembre de 2021.

Como miembros del Jurado Evaluador del Trabajo Final de Maestría titulado ***“Propuestas para la Gestión Integral de los efluentes líquidos del Frigorífico Alberdi S.A en la Ciudad de Oro Verde, Entre Ríos, Argentina”***, desarrollado por el Bioing. Francisco Javier FERNÁNDEZ, certificamos que hemos evaluado el Trabajo Final y recomendamos que sea aceptada como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental. La aprobación final de esta disertación está condicionada a la presentación de dos copias encuadernadas de la versión final del Trabajo Final ante el Comité Académico de la Maestría en Gestión Ambiental.

Ing. Eduardo Groppelli

Dr. César González

Dra. Diana Vullo

Santa Fe, 03 de Diciembre de 2021.

Certifico haber leído este Trabajo Final preparado bajo mi dirección y recomiendo que sea aceptado como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental.

Dr. Carlos Alberto Martín
Codirector de Tesis

Ing. Químico Rubén Molinelli
Director de Tesis



[Signature]
Dr. JOSÉ LUIS MACCÓ
SECRETARIO DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería y Cs. Hídricas

Universidad Nacional del Litoral
Facultad de Ingeniería y
Ciencias Hídricas

Secretaría de Posgrado

Ciudad Universitaria
C.C. 217
Ruta Nacional N° 168 - Km. 472,4
(3000) Santa Fe
Tel: (54) (0342) 4575 229
Fax: (54) (0342) 4575 224
E-mail: posgrado@fich.unl.edu.ar

DECLARACIÓN DEL AUTOR

Este Proyecto Final ha sido remitido como parte de los requisitos para la obtención del grado académico de Magíster en Gestión Ambiental ante la Universidad Nacional del Litoral y ha sido depositada en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas para que esté a disposición de sus lectores bajo las condiciones estipuladas por el reglamento de la mencionada Biblioteca.

Citaciones breves de este Proyecto son permitidas sin la necesidad de un permiso especial, en la suposición de que la fuente sea correctamente citada. Solicitudes de permiso para la citación extendida o para la reproducción parcial o total de ese manuscrito serán concebidos por el portador legal del derecho de propiedad intelectual de la obra.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Director Ing. Rubén Molinelli y Codirector Dr. Carlos Martín, por su plena disposición y colaboración, que me permitieron desarrollar y concluir este proyecto.

A mi esposa Mariela por su paciencia y apoyo incondicional, a mi hija Mora por ser mi principal motivación, a mis padres y hermanos por estar siempre apoyando mis decisiones.

A la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER) por la beca de formación otorgada, que me permitió cursar y concluir esta Maestría de Gestión Ambiental.

Al Frigorífico Alberdi S.A. que me abrió las puertas para poder realizar este proyecto en su planta de producción.

INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Justificación de la propuesta	4
Capítulo 2: Objetivos	5
Capítulo 3: Área de estudio	5
3.1 Descripción de la empresa	6
3.2 Generalidades de la actividad	7
3.3 Aspectos Ambientales locales.....	8
3.3.1 Clima	8
3.3.2 Suelo.....	10
3.3.3 Geomorfología regional	10
3.3.4 Divisoria de aguas en el ejido urbano	10
3.3.5 Hidrología subterránea	11
Capítulo 4: Marco Teórico – Estado del Arte.....	11
4.1 Definiciones y Terminologías.....	11
4.2 Etapas del proceso productivo	13
4.3 La gestión de los efluentes líquidos industriales.....	13
4.3.1 Enfoque piramidal en el manejo de efluentes	15
4.3.2 Beneficios de la implementación de sistemas de PML.....	15
4.3.3 Mejores Tecnologías Disponibles	16
4.4 Aspectos Ambientales de la industria frigorífica.....	16
4.5 Tipos de tratamientos de los efluentes	17
4.5.1 Aspectos a tener en cuenta	18
4.5.2 Tratamientos con tecnologías convencionales	19
4.5.3 Tratamientos con Humedales	33
4.6 Plan de muestreo	37
4.6.1 Toma de Muestras	38
4.6.2 Tipos de muestreos y puntos de extracción.....	38
4.6.3 Selección de parámetros.....	39
4.7 Análisis Costo-Efectividad (ACE).....	40
4.7.1 La Evaluación Ambiental (EA) y el análisis económico	41

4.7.2	Proceso del análisis costo-efectividad.....	41
4.8	Plan de Gestión Ambiental (PGA).....	41
4.8.1	La Gestión Ambiental en la industria frigorífica	42
4.8.2	Buenas Prácticas Ambientales	43
4.8.3	Alcance del PGA.....	43
4.9	Marco Legal	44
4.9.1	Constitución Nacional	44
4.9.2	Legislación Nacional.....	45
4.9.3	Legislación Provincial.....	47
4.9.4	Legislación Municipal.....	48
Capítulo 5:	Diseño Metodológico.....	49
5.1	Recolección y análisis de información en entidades pertinentes	49
5.2	Diagnóstico del sistema de tratamiento actual.....	49
5.3	Propuesta de mejora y optimización	50
5.4	Alternativas de tratamientos	50
5.5	Propuesta de un Plan de Gestión Ambiental.....	50
5.6	Recomendaciones y conclusiones.....	50
Capítulo 6:	Resultados.....	51
6.1	Análisis de la información recolectada	51
6.1.1	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	51
6.1.2	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	51
6.1.3	Potencial hidrógeno (pH)	52
6.1.4	Sólidos sedimentables en 10 minutos	52
6.1.5	Sólidos sedimentables en 2 horas.....	52
6.1.6	Sustancias Solubles en Éter Etílico	53
6.2	Relevamiento del sistema actual	53
6.2.1	Descripción general del efluente líquido.....	53
6.2.2	Volúmenes generados	56
6.2.3	Tratamientos y localización de los mismos	57
6.3	Toma de muestras y análisis de datos	60
6.3.1	Selección del tipo de muestreo.....	61
6.3.2	Selección de puntos de extracción y parámetros.....	61
6.3.3	Resultados de los análisis fisicoquímicos	64

6.3.4 Conclusiones de los análisis fisicoquímicos	66
6.4 Identificación de mejoras y optimización del sistema actual.....	66
6.4.1 Deficiencias y corrección al sistema	66
6.4.2 Acciones a desarrollar en la mejora	67
6.4.3 Descripción general y tratamiento propuesto.....	68
6.4.4 Verificación del dimensionamiento de las lagunas existentes	73
6.5 Propuestas de tratamientos.....	77
6.5.1 Tratamiento con Reactores Anaeróbicos	77
6.5.2 Tratamiento con equipos de Flotación	85
6.5.3 Tratamiento con Humedales	89
6.6 Análisis económico del proyecto	91
6.6.1 Alternativa 1: Mejoras y optimización del sistema actual	91
6.6.2 Alternativa 2: Tratamiento con Reactores Anaeróbicos	92
6.6.3 Alternativa 3: Tratamientos con Flotación utilizando coagulantes/floculantes	94
6.6.4 Alternativa 4: Tratamiento con Humedales	95
6.6.5 Comparación de costos de las diferentes alternativas	96
6.7 Evaluación de las propuestas	96
6.7.1 Estimación de la eficiencia en los diseños	96
6.7.2 Discusión y conclusiones sobre las alternativas propuestas	97
6.8 Plan de Gestión Ambiental (PGA).....	98
6.8.1 Plan del manejo del recurso agua.....	99
6.8.2 Plan de gestión de efluentes	100
6.8.3 Plan de monitoreo ambiental.....	102
6.8.4 Plan de contingencias	105
6.8.5 Plan de Comunicación Social.....	108
6.8.6 Plan de Educación Ambiental	108
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones.....	110
Bibliografía.....	116
ANEXOS	121
Anexo I: Decreto reglamentario de la Ley Provincial N° 6260. Norma complementaria sobre efluentes líquidos.....	122
Anexo II: Criterios de diseño para el sistema de rejas de desbaste propuesto.....	124

Anexo III: Criterios de diseño en el sedimentador y separador de grasa para el tratamiento con reactores anaeróbicos propuesto	127
Anexo IV: Criterios de diseño del clarificador para el tratamiento con reactores anaeróbicos propuesto.....	130
Anexo V: Especificaciones técnicas del equipo de flotación por cavitación de aire. Modelo CAF 180.....	131
Anexo VI: Cálculos de las dimensiones del humedal artificial basado en la carga orgánica (DBO ₅).....	134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción de faena Kosher y tradicional en el FASA. Año 2019 y 2020	8
Tabla 2: Métodos de eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales	18
Tabla 3: Procesos que contribuyen a la depuración de las aguas residuales	35
Tabla 4: Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático	37
Tabla 5: Parámetros y límites permitidos para vuelcos de los efluentes líquidos Industriales	40
Tabla 6: Valores de entrada, salida y eficiencia de DQO.....	51
Tabla 7: Valores entrada, salida y eficiencia de DBO ₅	51
Tabla 8: Valores entrada y salida del pH.....	52
Tabla 9: Valores entrada, salida y eficiencia de Sólidos Sedimentables en 10 min.	52
Tabla 10: Valores entrada, salida y eficiencia de Sólidos Sedimentables en 2 horas.	53
Tabla 11: Valores entrada, salida y eficiencia de Sustancia solubles en Éter Etílico.....	53
Tabla 12: Procedencia de las muestras	61
Tabla 13: Mediciones in situ diciembre 2019	63
Tabla 14: Mediciones in situ abril 2020	63
Tabla 15: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260.....	64
Tabla 16: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Diciembre de 2019	65
Tabla 17: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Abril de 2020..	65
Tabla 18: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260.....	65
Tabla 19: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Diciembre de 2019	65
Tabla 20: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Abril de 2020..	66
Tabla 21: Estimaciones medias del afluente utilizadas para el diseño	68
Tabla 22: Características del afluente a tratar	77
Tabla 23: Detalles técnicos de la unidad CAF 180	88
Tabla 24: Plantas acuáticas emergentes utilizadas en tratamiento de aguas residuales	90
Tabla 25: Costos para la mejora y optimización del sistema actual.....	92

Tabla 26: Costos para el tratamiento con reactores anaeróbicos.....	93
Tabla 27: Costos del equipo de flotación por cavitación de aire.....	94
Tabla 28: Costos del tratamiento con flotación por cavitación de aire (CAF)	95
Tabla 29: Costo del tratamiento con humedales artificiales.....	96
Tabla 30: Costos de las diferentes alternativas propuestas.....	96
Tabla 31: Eficiencias en los procesos de las diferentes alternativas	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tratamiento lagunar del frigorífico	4
Figura 2: Ubicación de la Ciudad de Oro Verde, Provincia de Entre Ríos, Argentina.	6
Figura 3: Frigorífico Alberdi S.A – P. Industrial - Ruta 11 Km 9,5, Oro Verde, Entre Ríos.....	7
Figura 4: Climograma de Oro Verde. Año 2019.	9
Figura 5: Ubicación del Municipio de Oro Verde en relación a sus municipios vecinos y principales cursos de agua que lo surcan.....	11
Figura 6: Control integrado de las descargas para la calidad del agua residual de las plantas de tratamientos	14
Figura 7: Enfoque piramidal en el manejo de efluentes	15
Figura 8: Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)	21
Figura 9: Sistema de flotación por aire inducido (IAF).....	22
Figura 10: Esquema de un equipo de flotación por aire de cavitación (CAF)	22
Figura 11: Proceso de tratamiento aeróbico	26
Figura 12: Proceso de tratamiento anaeróbico	27
Figura 13: Esquema de la ruta de degradación anaerobia	28
Figura 14: Valores de kt respecto al % remanente de DBO para diversos factores de dispersión.....	31
Figura 15: Esquema de un sistema de lodos activado	32
Figura 16: Ubicación del sistema de tratamiento primario y secundario	57
Figura 17: Sistema de rejillas de desbaste de limpieza manual	69
Figura 18: Esquema, diseño y detalle del equipo DAF	86
Figura 19: Esquema y diseño de un equipo CAF	87

INDICE DE CROQUIS

Croquis 1: Sistema de canal y rejas de desbaste de limpieza manual	70
Croquis 2: Equipo sedimentador – desgrasador	72
Croquis 3: Sistema de canal y rejas de desbaste.....	78
Croquis 4: Equipo sedimentador y separador de grasa.....	80
Croquis 5: Equipo de clarificadores	82
Croquis 6: Diagrama de flujo de la planta de sedimentación del afluente, celda de humedales artificiales y laguna del efluente	90

INDICE DE FOTOS

Foto 1: Captación y acumulación de sangre de primera.....	54
Foto 2: Captación y acumulación de sangre de segunda	55
Foto 3: Captación y circulación de efluentes de lavado en zona de faena	55
Foto 4: Generación de efluentes en corrales y lavado de camiones jaulas.....	56
Foto 5: Canal de ingreso y reja de pre-tratamiento	58
Foto 6: Pozo ecualizador, bomba de elevación y zaranda estática.....	59
Foto 7: Ingreso al tratamiento primario, primera etapa de sedimentación.	59
Foto 8: Segunda etapa de sedimentación, salida del tratamiento primario.	60
Foto 9: Lagunas anaeróbicas y lecho percolador.....	60
Foto 10: Sitios de muestreo, coordenadas de ubicación.....	62
Foto 11: Equipo de medición in situ y recipientes.	63

RESUMEN

El incremento de la exportación de carne vacuna por parte del Frigorífico Alberdi S.A (FASA) ha llevado a que el mismo aumente más de 100 % la cantidad de ganados faenados en los últimos años. Esta proyección ocasiona un incremento de 120 % el volumen del efluente a tratar por día. Sumado a esto, la desactualización actual del sistema de tratamiento produce una saturación en los procesos de los efluentes líquidos del frigorífico.

El objetivo de este proyecto es evaluar propuestas para la gestión integral de los efluentes líquidos del FASA, con la capacidad de procesar (cumpliendo con las normativas vigentes) los efluentes generados durante la faena kosher y/o tradicional de 800 a 1.000 cabezas por día. Si bien en la actualidad dicho frigorífico cuenta con un sistema de tratamiento, este no cumple con las normativas ambientales de vuelco; por lo que en el corto plazo deberá actualizar y/o modificar algunos procesos de su sistema de tratamiento.

Para ello, a través del trabajo de campo y el análisis de la información brindada por la Secretaria de Ambiente Provincial y el Municipio de Oro Verde se realizó el diagnóstico del sistema de tratamiento de los efluentes líquidos del FASA. Se identificaron las diferentes corrientes de los efluentes generados, los problemas en las captaciones de sangre y otros subproductos que no deberían ingresar en el circuito de los efluentes líquidos. Los análisis fisicoquímicos previos indican valores elevados de DBO_5 como indicador indirecto de carga orgánica o nutrientes biodegradables.

Debido a los cambios en el caudal y en las características del efluente en función de la producción, del tipo de faena y el tiempo de la misma, se decidió realizar un muestreo compuesto o compensado con faenado en modo kosher y otro muestreo con faena tradicional. Para los muestreos, se eligieron los puntos de entrada y salida de todos los procesos involucrados en el sistema actual del tratamiento de los efluentes líquidos.

Los valores de DBO_5 hallados para ambos muestreos en el sitio de descarga son muy diferentes y están por encima del valor permitido (50 mg de O_2/L). Durante el muestreo en faena “tipo kosher” y tradicional el DBO_5 fue de 1.056 mg de O_2/L y 130 mg de O_2/L respectivamente. Los valores para ambos muestreos en el sitio de descarga de los sólidos sedimentales en 10 minutos y 2 horas, el pH y la conductividad eléctrica se hallaron dentro de las referencias permitidas.

Entre las alternativas de tratamientos propuestas se evaluaron las mejoras y optimización del sistema actual, el tratamiento con reactores anaeróbicos de alta carga, los tratamientos con equipos de flotación (DAF, IAF y CAF) y el tratamiento con humedales artificiales. Se identificaron las ventajas e inconvenientes de las diferentes alternativas a través de análisis técnicos, económicos y de eficiencia.

Se diseñó un plan de gestión ambiental (PGA) para los efluentes líquidos de la planta del FASA, que incluyen programas del manejo del recurso agua, de la gestión de efluentes, de monitoreo ambiental, de contingencias, de comunicación social y de educación ambiental.

Palabras Claves: Industria frigorífica, vertidos líquidos, monitoreo, tratamientos apropiados.

ABSTRACT

The increase in beef exports by Frigorífico Alberdi S.A (FASA) has led to a more than 100% increase in the number of cattle slaughtered in recent years. This projection causes an increase of 120% in the volume of effluent to be treated per day. Added to this, the outdated effluent treatment system produces a saturation in the system that currently processes the liquid effluents from the slaughter plant.

The objective of this project is to evaluate proposals for the integral management of FASA's liquid effluents, with the capacity to process (complying with current regulations) the effluents generated by kosher and/or traditional slaughter from 800 to 1,000 heads per day. Although at present said slaughter plant has a treatment system, this does not comply with the environmental regulations for overturning; Therefore, in the short term, you will have to update and / or modify some processes of your treatment system.

To do this, through field work and the analysis of the information provided by the Provincial Secretary of the Environment and the Municipality of Oro Verde, the diagnosis of the FASA liquid effluent treatment system was carried out. The different streams of the generated effluents, the problems in the uptake of blood and other by-products that should not enter the liquid effluent circuit were identified. Previous physicochemical analyzes indicate high BOD₅ values as an indirect indicator of organic load or biodegradable nutrients.

Due to the changes in the flow and in the characteristics of the effluent depending on the production, the type of slaughter and the time of the same, it was decided to carry out a composite or compensated sampling with slaughter in kosher mode and another sampling with traditional slaughter. For the samplings, the entry and exit points of all the processes involved in the current system for the treatment of liquid effluents were chosen.

The BOD₅ values found for both samples at the discharge site are very different and are above the allowed value (50 mg O₂ / L). During the “kosher” and traditional slaughter sampling, the OBD₅ was 1,056 mg of O₂/L and 130 mg of O₂/L respectively. The values for both samplings at the discharge site of the sedimentary solids in 10 minutes and 2 hours, the pH and the electrical conductivity were within the allowed references.

Among the proposed treatment alternatives, the improvements and optimization of the current system, the treatment with high load anaerobic reactors, the treatments with flotation equipment (FAD, FAI and FAC) and the treatment with artificial wetlands were evaluated. The advantages and disadvantages of the different alternatives were identified through technical, economic and efficiency analyzes.

An environmental management plan (EMP) was designed for the liquid effluents of the FASA plant, which includes water resource management, effluent management, environmental monitoring, contingencies, social communication and environmental education plans.

Key words: Slaughter industries, liquid discharges, monitoring, appropriate treatments.

Capítulo 1: Introducción

La producción de carne y su industrialización posterior constituyen una parte importante de la industria alimentaria del mundo. En su conjunto, esta actividad económica incluye la crianza de animales y su posterior procesamiento industrial, que comprende la faena, el desposte para la producción de diferentes cortes de carne, el almacenamiento y el posterior tratamiento de subproductos y desechos para su reaprovechamiento. Este sector productivo puede presentar altos impactos ambientales si no se gestiona correctamente el destino de sus subproductos, efluentes, desechos, etc.

La Provincia de Entre Ríos es una de las cinco principales provincias ganaderas. Existen en Entre Ríos más de cuatro millones de cabezas de ganado vacuno, concentrado especialmente en las tierras del norte y del sur de la provincia, cuyas condiciones naturales para la crianza y engorde de los mismos son excepcionales para las razas más cotizadas en el mercado (Ministerio de Economía -E.Ríos-, 2015).

El residuo industrial es cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como subproducto de un proceso industrial o una actividad de servicio. La gestión integral de los residuos provenientes de las industrias y actividades de servicios comprenden las etapas de generación, manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento y/o disposición final de los mismos (Ley N° 25.612 Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, 2002).

El término efluente se utiliza para denominar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias (CONICET, 2015). Estos efluentes líquidos municipales están compuestos por los efluentes líquidos industriales -tratados o no tratados-, los efluentes líquidos domésticos (aguas servidas) y por los provenientes del alcantarillado urbano. Los efluentes industriales líquidos -también denominados residuos industriales líquidos o "Riles"-, son descargas residuales provenientes de las actividades industriales, propias del proceso de transformación que ocurre dentro del establecimiento, y que se vierten al medio ambiente con o sin tratamiento.

Los productos tóxicos presentes en los efluentes son muy variados en tipo y cantidad, de modo que su composición, concentración y caudal varían de acuerdo con el tipo de industria y el proceso productivo que se lleva a cabo. Es por ello que, además del origen, se debe atender a las propiedades del efluente, considerando que éstas determinan esencialmente el sistema de tratamiento a aplicar antes de su vertido o reutilización.

Las descargas de los establecimientos industriales se producen a cursos de agua superficiales o a la red de alcantarillado urbano, es decir, que llegan a los cursos de agua de manera directa o indirecta, con o sin tratamiento previo de acuerdo con las regulaciones vigentes en cada jurisdicción y el mayor o menor compromiso de los industriales con el ambiente en general, y con el respeto del marco regulatorio en particular.

Se reconoce que las corrientes de agua pueden asimilar cierta cantidad de residuos antes de estar contaminadas. En líneas generales, cuanto más caudalosos, rápidos y más aislados estén los cursos de agua, más capaces son de tolerar una mayor cantidad de aguas residuales (Dasgupta & Nemerow, 1998), pero una cantidad excesiva de cualquier tipo de contaminante

produce severos perjuicios en el equilibrio ecosistémicos de los cuerpos receptores, más aún cuando se trata de arroyos o lagos interiores.

La contaminación tiene lugar cuando las descargas no se producen dentro de los parámetros normados, pudiendo producir alteraciones en el suelo, el agua y el aire, con efectos visibles -los menos tolerados por la población, como coloraciones, espumas y olores- como invisibles. Niveles de toxicidad elevados pueden atentar seriamente contra la vida acuática, inutilizar el agua para usos recreativos, para el consumo humano y para los propios usos industriales.

Frers (2004) sostiene que el deterioro de los cursos de agua y su contaminación es uno de los principales problemas ambientales que sufre la Argentina, puesto que cada año, los ríos, los arroyos, las lagunas y el mar reciben millones de litros de sustancias contaminantes. Muchas de estas sustancias son de origen humano y otras, si bien existen en la naturaleza, aumentan sus concentraciones en el ambiente como consecuencia de la actividad humana. Esto es particularmente grave si se considera que, en nuestro país, casi toda el agua que se consume, proviene de los mismos cuerpos de agua en los que son evacuados los residuos cloacales e industriales.

En este contexto, aunque la solución no se agota en el tratamiento de los vertidos -debiendo gestionarse integralmente con miras a reducir la carga contaminante y a optimizar los procesos industriales en su utilización de recursos- sí constituye uno de sus componentes centrales, por lo que la exposición sintética sobre tipos de efluentes industriales y la comparación de las diferentes alternativas/sistemas de tratamiento constituye un aporte valioso para la clara identificación de las tecnologías más idóneas e inferir sus combinaciones más eficientes.

Las normativas ambientales vigentes regulan la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales; promoviendo el uso racional y sustentable de los recursos naturales, previniendo los efectos negativos que sobre el ambiente pueden producir las actividades antrópicas (Ley N° 25.675 Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, 2002).

Con la Gestión Integral de los residuos industriales y actividades de servicios, se debe garantizar la preservación ambiental, la protección de los recursos naturales, la calidad de vida de la población, la conservación de la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas. Así también, se exige a las industrias reducir la cantidad de los residuos que generan, promover la utilización de tecnologías limpias adecuadas para la preservación ambiental y la cesación de los vertidos riesgosos para el ambiente (Ley N° 25.612 Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, 2002).

El análisis Costo – Beneficio (ACB), como una forma racional de tomar decisiones económicas, permite comparar los costos y beneficios de diferentes alternativas. La idea de dicha técnica es determinar los costes beneficios del proyecto. Se trata de sumar costes y beneficios (actualizados), y de comparar ambos, nos permitirá saber si el proyecto implica o no una mejora; y si el beneficio neto total es o no positivo (Martínez Alier, 2013).

Los programas de gestión ambiental (PGA) o administración del ambiente son el conjunto de actuaciones y disposiciones necesarias para lograr el mantenimiento de un capital ambiental suficiente para que la calidad de vida de las personas y el patrimonio natural sean lo más elevado posible, todo ello dentro del complejo sistema de relaciones económicas y sociales (Ortega & Rodríguez, 1994).

La gestión del medio ambiente se traduce en un conjunto de actividades, medios y técnicas tendentes a conservar los elementos de los ecosistemas y las relaciones ecológicas entre ellos, en especial cuando se producen alteraciones debidas a la acción del hombre (Conesa Fernández - Vítora, 2009).

Para desarrollar las tareas profesionales necesarias para mejorar el tratamiento de los efluentes líquidos generados en la planta frigorífica Alberdi S.A, fue necesario realizar un diagnóstico de las condiciones actuales del sistema; identificando los potenciales desvíos en el mismo y las capacidades productivas del tratamiento futuro. Luego del análisis del sistema actual, se plantearon alternativas sustentables basadas no solo en la incorporación de tecnología, sino que además cumpla con las exigencias ambientales que se requieren en la Provincia de Entre Ríos, normadas por la Ley Provincial N° 6260 y su Decretos Reglamentarios 5837/91, y concordantes.

1.1 Descripción del problema

El proceso productivo de la industria frigorífica genera una gran cantidad de desperdicios con impactos negativos sobre el medio ambiente. El vertido de efluentes con alto contenido de sólidos totales y suspendidos, contenidos de aceites, grasas y materia orgánica en los cursos de agua, generan significativos problemas de contaminación (Díaz & Solarte, 2017). Existiendo en la actualidad diversos métodos de tratamiento de los efluentes para la industria, resulta esencial, que dicho sector industrial adopte las técnicas que mejor se adapten a las dimensiones de su establecimiento (Unidad de Medio Ambiente, 2009).

El incremento de la exportación de carne vacuna por parte del Frigorífico Alberdi S.A (FASA) de la ciudad de Oro Verde ha llevado a que el mismo aumente la cantidad de ganados faenados a un promedio de 480 animales/día; con expectativas en el corto plazo de faenar 660 animales/día contra, 250 a 300 animales diarios en años anteriores. Esta proyección produce un aumento de 450 m³ a 990 m³ diarios en el volumen del efluente a tratar. Sumado a esto, la complejidad y la desactualización del sistema de tratamiento de los efluentes, producen una saturación en el sistema que procesa los efluentes líquidos del frigorífico (FASA, 2019).

Esta problemática se agrava con el crecimiento territorial acelerado de la ciudad hacia el área industrial, dado por el incremento de la población de Oro Verde (duplicada en los últimos 10 años). Como se observa en la Figura 1, la zona urbana se encuentra a 80 metros donde se ubican actualmente las lagunas de tratamiento del frigorífico; provocando inconvenientes con la proliferación de roedores, malos olores y contaminación visual.



Figura 1: Tratamiento lagunar del frigorífico

1.2 Justificación de la propuesta

Se vienen llevando adelante distintas conversaciones entre los funcionarios municipales y las autoridades del Frigorífico Alberdi S.A (FASA) para reubicar las lagunas de tratamiento de Efluentes Industriales del Frigorífico.

El Municipio de Oro Verde en el año 2006 ha adquirido la propiedad de un predio rural de más de 50 ha distante aproximadamente 2500 metros de la zona urbana, para la realización del traslado de las lagunas de tratamiento de los efluentes cloacales municipales. Dado el crecimiento que ha tenido el frigorífico FASA, es que se ha propuesto llevar adelante los estudios de prefactibilidad para la radicación de una nueva planta de tratamiento de los efluentes líquidos, lo que se ha consolidado en el marco de un convenio y se ha elevado a la conformación de una Ordenanza Municipal (Ordenanza N°35-MOV, 2006).

Cumplidos los plazos previstos, las autoridades del frigorífico deberán suscribir convenios con el Municipio, con antecedentes y sustentos en la Ordenanza N° 35 MOV/06 y un acuerdo respectivo de dicho año. Mediante el cual se obligará a trasladar la planta de tratamiento de efluentes, conforme a las normas medioambientales vigentes.

Esta reubicación de la planta de tratamiento del frigorífico, permitirá alejarse de la planta urbana y con ello evitar problemas sociales, ambientales y de salud que pudieran producirse; y así lograr una mejor calidad de vida de la comunidad de Oro Verde.

Por todo esto, se propone en este proyecto realizar un diagnóstico de las condiciones actuales del sistema y evaluar las capacidades productivas del futuro tratamiento; identificando los potenciales desvíos en el mismo. También, formalizar alternativas sustentables basadas no solo en la incorporación de tecnología, sino que además cumpla con las exigencias legales vigentes, y así evitar conflictos socio-ambientales. Además, es objetivo de este proyecto elaborar un plan de gestión ambiental para los efluentes líquidos de la planta, que incluya

nuevas herramientas de monitoreo y control en la gestión integral de los efluentes líquidos del frigorífico.

Capítulo 2: Objetivos

Objetivo general:

- ✓ Evaluar alternativas de tratamientos para la gestión ambiental de los efluentes líquidos de la planta del Frigorífico Alberdi S.A ubicada en la ciudad de Oro Verde, Provincia de Entre Ríos.

Objetivos específicos:

- ✓ Elaborar un diagnóstico del sistema de tratamiento de los efluentes líquidos de la planta de faena del Frigorífico Alberdi S.A (FASA).
- ✓ Verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, del vertido de los efluentes líquidos de la planta de faena del FASA; en caso contrario proponer alternativas para la optimización del proceso de tratamiento existente, a fin de minimizar y/o eliminar el problema.
- ✓ Elaborar un plan de gestión ambiental para los efluentes líquidos de la planta de faena del FASA, que incluya nuevas herramientas de monitoreo y control en la gestión integral de los efluentes líquidos del frigorífico.

Capítulo 3: Área de estudio

Oro Verde es un Municipio de 2da categoría del Departamento Paraná, de la Provincia de Entre Ríos. El municipio comprende un 90 % de su superficie una zona rural y es componente de un grupo de localidades aledañas de la ciudad de Paraná conformando el área metropolitana. La localidad de Oro Verde como se puede observar en la Figura 2, se ubica en el oeste de la provincia de Entre Ríos, en el distrito Sauce y al sur del Departamento de Paraná (31° 49' 30" S, 60° 31' 03" O; 80 msnm). Respecto al sistema nacional de ciudades y a la Región Centro a la que pertenece, la localidad de Oro Verde se encuentra alineada a dos de las tres principales aglomeraciones poblacionales de las más importantes del país luego de la Región Metropolitana de Buenos Aires, como lo son el Gran Córdoba y el Gran Rosario, con casi un 1,4 y 1,3 millones de habitantes, respectivamente (INDEC., 2009).

Además, Oro Verde se encuentra próximo a una tercera aglomeración poblacional constituida por la región metropolitana de la ciudad de Santa Fe y Santo Tomé, en la provincia de Santa Fe, y a solo 10 km al sur de la ciudad de Paraná, en Entre Ríos. Esto constituye alrededor de Oro Verde, una red de ciudades equilibradas y casi regularmente distribuidas, donde se destaca también el eje urbano del río Uruguay, compuesto por las ciudades de Concordia, Colon y Concepción del Uruguay con su actividad portuaria; proclive a un modelo de cooperación para la integración transfronteriza (Simesen de Bielke & Crespo, 2017).

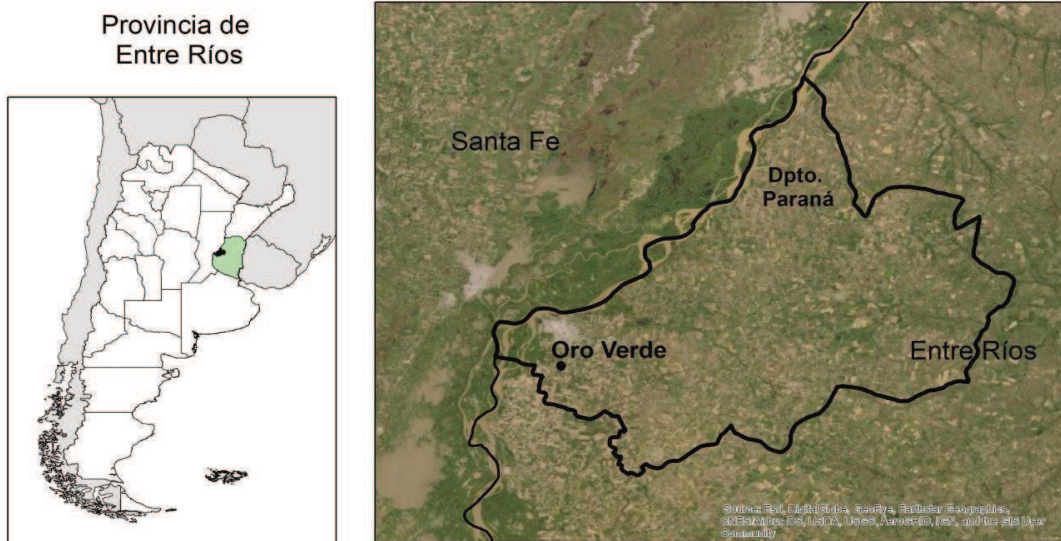


Figura 2: Ubicación de la Ciudad de Oro Verde, Provincia de Entre Ríos, Argentina.

De acuerdo al Censo Nacional del 2001 la tendencia a la urbanización es continua ya que la población rural disminuyó en un 11% entre 1991 y 2001. A inicios del corriente siglo el 82% de la población era urbana y se concentran en los cuatro centros urbanos arriba citados, mientras que el 18% de la población era rural. Los resultados del Censo Nacional del 2010 no hicieron más que reafirmar la tendencia previa (INDEC, 2010).

3.1 Descripción de la empresa

La Planta Industrial del Frigorífico Alberdi SA, como se puede observar en la figura 3 está ubicada en la zona urbana de la Ciudad de Oro Verde, Provincia de Entre Ríos, Argentina; desde el año 1983. La cría del ganado se lleva a cabo fuera del ejido del Oro Verde, en un entorno ideal de pastos naturales con condiciones óptimas de bienestar y saneamiento.

La planta tiene una capacidad de producción de 600 cabezas bovinas por día de trabajo y presenta un sistema de tratamiento de sus efluentes líquidos desactualizado. Las autoridades de la empresa requieren gestionar adecuadamente sus efluentes para cumplimentar legalmente con el vertido del mismo; y al mismo tiempo satisfacer las exigencias ambientales.



Figura 3: Frigorífico Alberdi S.A - Planta Industrial - Ruta 11 Km 9,5, Oro Verde, Entre Ríos.

3.2 Generalidades de la actividad

La actividad productiva del FASA, son la faena de animales bovinos, para la obtención de medias res, cortes internacionales, envasado al vacío y venta de cortes al circuito interno, carne salada para la comunidad judía, y la obtención de conservas principalmente para exportación. Se especializa en la producción de cortes cárnicos enfriados y congelados con habilitación para exportar a 40 países, entre los cuales los principales son Alemania, Brasil, Chile, Israel, Holanda y Rusia.

A partir de junio de 2018 el FASA exporta a Israel cumpliendo con los sistemas de contención de bovinos para la faena Kosher. En este tipo de faena se prioriza el bienestar del animal cumpliendo con los preceptos religiosos. En este caso el sistema de contención de bovinos es un box rotativo que inmoviliza el animal y, al girar 180 grados, lo coloca en una posición ideal para ser faenado en modo Kosher, minimizando el estrés para el animal y garantizando una operación segura a las personas que se desempeñan en la faena (FASA, 2019).

Para destacar una diferencia importante entre la faena Kosher y la tradicional, es que en el primero la recuperación de sangre de primera y segunda es menor, por lo que la sangre que no se puede acumular ingresa directamente al sistema de tratamiento de los efluentes líquidos, incrementando de esta manera la carga orgánica del mismo.

Los datos de faena, ofrecido por parte de la producción, tomando como base estadístico del año 2011, son de 41.597 cabezas (144 diarias). Sin embargo, las proyecciones para este año, pretendían llegar a superar las 600 cabezas diarias. En la tabla 1 se puede observar la cantidad de animales faenados, discriminado por mes y en promedio por día en el año 2019 y en los primeros siete meses del 2020, marcando los periodos con faena Kosher y tradicional (FASA., 2020).

Tabla 1: Producción de faena Kosher y tradicional en el FASA. Año 2019 y 2020.
Fuente: (FASA., 2020).

Mes/Año	Tipo de faena	Cantidad de faena	kg faenados
Enero/19	Tradicional	7.848 (374)	2.024.825
Febrero/19		6.410 (338)	1.668.770
Marzo/19		7.105 (374)	1.881.083
Abril/19	Kosher	6.233 (297)	1.764.726
Mayo/19	Tradicional	6.754 (307)	1.859.377
Junio/19	Kosher	5.865 (345)	1.650.789
Julio/19		6.716 (336)	1.853.498
Agosto/19		6.724 (320)	1.882.188
Septiembre/19	Tradicional	7.660 (365)	2.166.435
Octubre/19		8.298 (361)	2.322.120
Noviembre/19	Kosher	7.352 (367)	2.090.995
Diciembre/19		6.245 (328)	1.764.992
Enero/20		7.144 (325)	2.090.442
Febrero/20		5.719 (336)	1.699.846
Marzo/20	Tradicional	5.451 (321)	1.563.160
Abril/20		5.780 (321)	1.430.355
Mayo/20		7.555 (398)	1.771.863
Junio/20	Kosher	7.850 (392)	2.038.076
Julio/20		7.276 (346)	2.125.653

3.3 Aspectos Ambientales locales

3.3.1 Clima

El municipio de Oro Verde, en el Departamento Paraná, y el Departamento lindante al sur, Diamante, se encuentran dentro de la región climática templada húmeda de llanura (Paparotti & Gvozdenovich, 2007). El área se caracteriza por su condición de planicie abierta sin restricciones a la influencia de los vientos húmedos del noreste, secos y refrigerantes del suroeste (causantes de los cambios repentinos en el estado del tiempo) y de los vientos fríos y saturado de humedad del sudeste, que determinan tiempos prolongados de cielo cubierto, lluvias y temperaturas estables (Tasi, 2009).

En Oro Verde, los veranos son cálidos, húmedos y mayormente despejados y los inviernos son cortos, fríos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 7 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 35 °C.

3.3.1.1 Temperatura

La temporada calurosa dura 3,5 meses, desde fines de noviembre a principios de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 28 °C. El día más caluroso del año fue el 12 de enero del 2019, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y una temperatura mínima promedio de 20 °C.

La temporada fresca dura 2,9 meses, desde fines de mayo a mediados de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 19 °C. El día más frío del año fue el 19 de julio del 2019, con una temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima promedio de 16 °C.

3.3.1.2 Precipitación

Las precipitaciones medias anuales en Oro Verde son de alrededor de 1100 mm, pero es conocida la variabilidad interanual de las precipitaciones en el área en cuestión. Las heladas meteorológicas son un fenómeno presente en pequeñas áreas en forma de microclimas influenciadas principalmente por los cursos de agua (PROSAP, 2009).

La temporada más lluviosa dura 7 meses, de octubre a mayo, con una probabilidad de más del 21 % de que cierto día será un día con lluvia. La temporada más seca dura 5 meses, desde mayo a octubre.

El mes más seco es julio, con una acumulación promedio de 32 mm. La mayor cantidad de precipitación ocurre en marzo, con un promedio de 144 mm. Estos datos junto con las variaciones de temperaturas durante el año 2019 se pueden observar en la Figura 4.

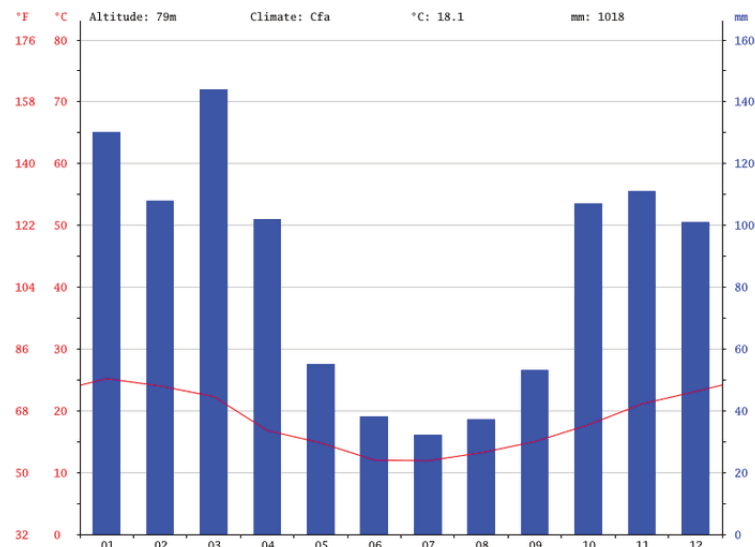


Figura 4: Climograma de Oro Verde. Año 2019.

3.3.1.3 Viento

De acuerdo a Tasi (2009), el extremo este de los departamentos Paraná y Diamante es el área provincial donde se registran los mayores vientos con una velocidad promedio anual mayor a 14 km/h.

La velocidad promedio del viento por hora en Oro Verde tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 4,3 meses, desde fines de julio a principios de diciembre, con velocidades promedio del viento de más de 15,1 kilómetros por hora. El día más ventoso del año fue el 13 de septiembre, con una velocidad promedio del viento de 16,9 kilómetros por hora.

La época menos ventosa del año dura 7,7 meses, desde diciembre a fines de julio. El día menos ventoso del año fue el 7 de marzo, con una velocidad promedio del viento de 13,4 kilómetros por hora.

La dirección predominante promedio del viento en Oro Verde varía durante el año.

El viento con más frecuencia viene del norte durante 3,2 meses, desde mediados de abril a fines de julio, con un porcentaje máximo del 37 % el 30 de mayo de 2019. El viento con más frecuencia viene del sur durante 1,1 meses, desde fines de julio a fines de agosto, con un porcentaje máximo del 35 % el 12 de agosto de 2019. El viento con más frecuencia viene del este durante 7,7 meses, desde fines de agosto a mediados de abril, con un porcentaje máximo del 44 % el 1 de enero de 2019.

3.3.2 Suelo

La región a la que pertenece Oro Verde (sureste del Departamento Paraná en el límite con el Departamento Diamante) se extienden sobre una planicie ondulada a suavemente ondulada, donde predominan los suelos molisoles casi en su totalidad, muy fértiles en contenido de materia orgánica y aptos para la agricultura. No obstante, presenta un gradiente de pendientes que varía entre leves (0,5-1%), moderadas (2 a 4%) a localmente pronunciadas (8-10%) con una alta susceptibilidad a la erosión hídrica, que es actualmente severa a moderada (Paparotti & Gvozdenovich, 2007).

3.3.3 Geomorfología regional

En un radio de 3 kilómetros de Oro Verde existen solamente variaciones modestas de altitud, con un cambio máximo de altitud de 85 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 77 metros. En un radio de 16 kilómetros también se presentan solo variaciones modestas de altitud (135 metros). Por último, en un radio de 80 kilómetros sucede lo mismo (137 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de Oro Verde está cubierta de tierra de cultivo (79 %) y árboles (11 %), en un radio de 16 kilómetros de tierra de cultivo (56 %) y agua (12 %) y en un radio de 80 kilómetros de tierra de cultivo (53 %) y arbustos (13 %).

3.3.4 Divisoria de aguas en el ejido urbano

El espacio recorre 7,5 km de la Ruta Provincial N° 11, entre el km 5,5 de la ciudad de Paraná hasta el km 13, donde exactamente se encuentra instalado la Estación Experimental Agropecuaria del INTA. La mayoría de sus límites coinciden con arroyos (Figura 5), al norte el Arroyo Los Berros, al Sur el INTA y tanto al este como oeste por los Arroyos Los Sauces y Cruz, respectivamente, ubicándose cerca de la zona anegadiza de Los Sauces el río Paraná como referente principal de los ríos que dan forma a la provincia.

Existe presencia de las Formaciones Ituzaingó y Paraná, las que son abundantemente explotadas por los proveedores de Agua Potable, así como por numerosas instituciones y por el frigorífico local con perforaciones propias.

Se observa, asimismo, que la topografía del lugar se encuentra estructurada a partir de las vías del ferrocarril, las que operan como divisoria de aguas. Las pendientes hacia ambos lados del trazado ferroviario y de la Planta Urbana dejan a esta última sobre una altura media de aproximadamente 80 msnm., ascendiendo significativamente hacia el Norte, en el B° El Triangular. Hacia el Oeste, el escurrimiento está influenciado por la presencia del Río Paraná y hacia el Este por un conjunto de arroyos (Larramendi, Saucecito y otros) que alimentan el arroyo Las Conchas.

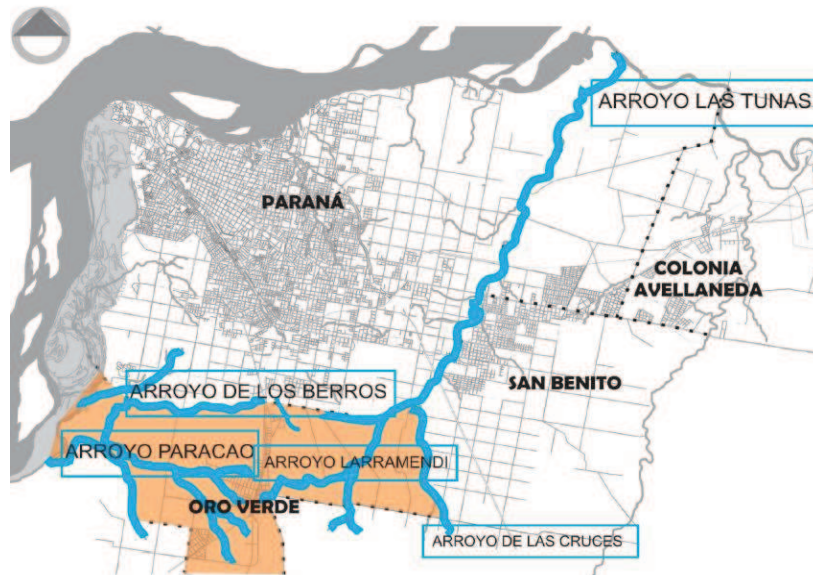


Figura 5: Ubicación del Municipio de Oro Verde en relación a sus municipios vecinos y principales cursos de agua que lo surcan. Fuente: Elaboración propia a partir de foto aportada por el Municipio de Oro Verde.

3.3.5 Hidrología subterránea

De acuerdo a las características del subsuelo, la casi totalidad del departamento Paraná puede considerarse dentro de acuíferos en formación Ituzaingó o dominio fluvial. Esta condición se revierte a la altura de la ciudad de Paraná, a partir de la cual, hacia el sur-suroeste y extendiéndose por todo el departamento Diamante, excepto el sector Islas, se ingresa a acuíferos de formación Paraná o dominio marino. De acuerdo a estudios geoquímicos, en el ámbito de la ciudad de Paraná se produce una interfaz o “zona de mezcla”, donde coexisten ambos ambientes, verificándose conexiones hidráulicas entre ambos, e interdigitaciones de sus niveles arenosos acuíferos.

Los acuíferos subterráneos potencialmente podrían sostener el riego artificial de cultivos extensivos e intensivos. Asimismo, por sus cursos de agua superficiales como potencialmente son la base de la Industria Turística y de las radicaciones industriales que los necesitan como recurso productivo y lugar donde liberar sus efluentes.

Capítulo 4: Marco Teórico – Estado del Arte

4.1 Definiciones y Terminologías

De acuerdo a la Ley Nacional N° 25612/02 del Congreso de la Nación Argentina deberá entenderse por:

- Proceso industrial: a toda actividad, procedimiento, desarrollo u operación de conservación, reparación o transformación en su forma, esencia, calidad o cantidad de una materia prima o material para la obtención de un producto final mediante la utilización de métodos industriales.
- Actividad de servicio: a toda actividad que complementa a la industrial o que por las características de los residuos que genera sea asimilable a la anterior, en base a los niveles de riesgo que determina la presente.

- Establecimiento industrial: todo aquel destinado a la transformación física, química y/o físico-química, en su forma y esencia, de materias primas o materiales de nuevos productos, a través de un proceso industrial, mediante la aplicación de técnicas de producción uniformes, la utilización de maquinarias y equipos, la repetición o no de operaciones o procesos unitarios.
- Residuo industrial: cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo.
- Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio: conjunto de actividades interdependientes y complementarias entre sí, que comprenden las etapas de generación, manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento o disposición final de los mismos, y que reducen o eliminan los niveles de riesgo en cuanto a su peligrosidad, toxicidad o nocividad, según lo establezca la reglamentación, para garantizar la preservación ambiental y la calidad de vida de la población.
- Generador: toda persona física o jurídica, pública o privada, que genere residuos industriales y/o de actividades de servicio.
- Planta de tratamiento: aquellos sitios en los que se modifican las características físicas, la composición química o la actividad biológica de cualquier tipo de residuo industrial y de actividades de servicio, de modo tal, que se eliminen o reduzcan sus propiedades nocivas, peligrosas o tóxicas, o se recupere energía y recursos materiales, o se obtenga un residuo de niveles de riesgo menor, o se lo haga susceptible de recuperación o valorización, o más seguro para su transporte o disposición final, bajo normas de higiene y seguridad ambientales que no pongan en riesgo ni afecten la calidad de vida de la población, en forma significativa.
- Planta de disposición final: los sitios especialmente construidos para el depósito permanente de residuos industriales y de actividades de servicio, que reúnan condiciones tales que se garantice la inalterabilidad de la cantidad y calidad de los recursos naturales, bajo normas de higiene y seguridad ambientales que no pongan en riesgo ni afecten la calidad de vida de la población, en forma significativa (Ley N°25.612, 2002).

De acuerdo al Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA); la Producción Más Limpia (PML) se define como “la aplicación continua a los procesos, productos y servicios, de una estrategia integrada y preventiva, con el fin de incrementar la eficiencia en todos los campos, y reducir los riesgos sobre los seres humanos y el medio ambiente” (PNUMA, 2002).

En el Plan de Acción de Tecnologías Ambientales de la Comisión Europea se definen las Tecnologías Ambientales como: “todas las tecnologías cuyo uso causa menos daño en el medio ambiente que las alternativas”. Incluyen tecnologías para controlar la contaminación, productos y servicios menos contaminantes y formas para gestionar de una manera eficiente los recursos (Menéndez Sosa, 2011).

Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD o BAT, sigla en inglés) son definidas por la Directiva 96/61/CE de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, como la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente.

La Comisión Interempresarial del Municipio de Rosario describe a las Buenas Prácticas Ambientales (BPA) en las industrias cárnicas como un conjunto de medidas y acciones sencillas, muy eficaces, que actúan tanto en forma preventiva, así como también sobre la organización y el tratamiento de los aspectos involucrados en el proceso productivo (consumos, emisiones, residuos, uso de los recursos naturales, etc.) para la mejora ambiental de una empresa (CIMPAR, 2013).

4.2 Etapas del proceso productivo

El proceso productivo de la industria frigorífica cubre una amplia gama de posibilidades, una es realizar la matanza del animal y la obtención del primer gran subproducto (la media res) y la otra es la preparación de productos secundarios que se destinan a otros usos, como el cuero, la sangre, la bilis, etc. Luego estos, son trasladados hacia otro lugar donde se realiza el despostado y fraccionamiento a nivel minorista (Ministerio de Industria y Turismo de la Nación, 2009).

De acuerdo a la legislación provincial, la industria puede ser clasificada según la actividad que desarrolla en planta de ciclo I, ciclo II y de ciclo completo. Las de ciclo I deben contar con instalaciones para la faena y la cámara de frío, en donde se mata al animal y se lo divide en dos medias reses. Las de ciclo II, comienzan con la actividad de medias reses, producidas en el ciclo I y a partir de allí despostan y continúan con el proceso posterior de industrialización realizando el cuarteo del animal (se lo divide en cuatro trozos) para luego obtener cortes anatómicos del mismo. Las plantas de ciclo completo realizan tanto las actividades de matanza como las del posterior despostado e incluso otros procesos industriales (Menendez, 2002).

4.3 La gestión de los efluentes líquidos industriales

La gestión de los efluentes industriales fue cambiando su concepto a medida que evolucionó la conciencia ambiental. Surgida de los esfuerzos para enfrentar y controlar la contaminación generada por las industrias, en un comienzo, alrededor de los años 70/80, aparecen los métodos “end of pipe” donde los residuos generados en los procesos de producción son tratados al final, previo a su vertido, con el fin de disminuir la contaminación y sin que intervengan mejoras de procesos y de producto. En la misma época, se incrementan las regulaciones y controles por parte del Estado y se empiezan a consolidar las ONG, coadyuvando a que la presión pública sea cada vez mayor sobre el control de la calidad del agua, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otras problemáticas de corte ambiental.

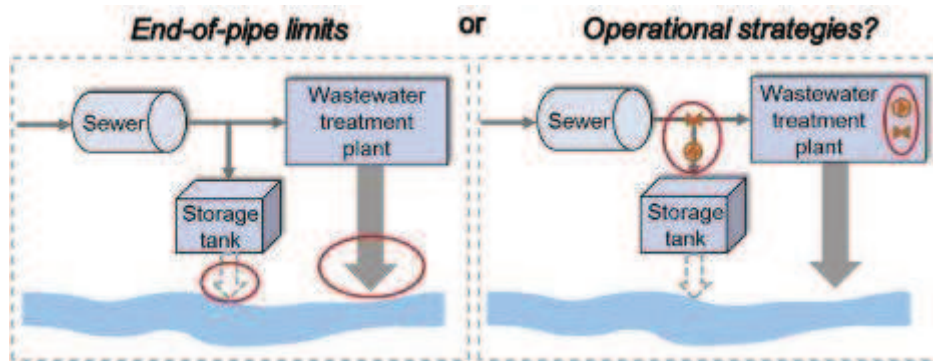


Figura 6: Control integrado de las descargas para la calidad del agua residual de las plantas de tratamientos. Fuente: Meng, Fu y Butler (2016)

A partir de la década del 90, empieza a darse un cambio hacia las estrategias preventivas, que aplican la filosofía del desarrollo sostenible, en el que producir eficientemente, implica ahorros y retornos económicos a las inversiones como resultado de un mejor uso de los recursos (Pérez & Rojas, 2008). Se descubre así que se podían reducir los costos productivos con un análisis sistemático de las fuentes. Esto es conocido como ir “encima del tubo” (over of pipe), en contraposición a los tratamientos al “final del tubo” (MAyEP, 2009). La constante evolución de la gestión de efluentes llevó a empezar a trabajar con el concepto de prevención y surgen las técnicas de “producción más limpia” (PML).

Con la aplicación de la PML se busca promover el manejo eficiente de las materias primas, la energía y los insumos necesarios (PNUMA, 2002). La declaración internacional sobre PML reconoce que la consecución del desarrollo sostenible es una responsabilidad colectiva y que las actividades encaminadas a proteger el medio ambiente han de contemplar la adopción de prácticas de producción y consumo sostenibles. Considera, además, que la PML y otras estrategias preventivas como la eco-eficiencia, la productividad ecológica y la prevención de la contaminación, son las opciones adecuadas para estos fines (Álvarez & Arias, 2009). De acuerdo con la declaración, estas estrategias se fundamentan en la misma idea de incorporar la reducción de la contaminación al proceso de producción e inclusive a las etapas concernientes a la planificación y diseño del producto, recurriendo a la revisión y modificación de los procesos (Varsavsky, 2002). Medidas por las cuales, no solo baja el costo de producción, sino que se disminuyen los desechos finales.

La ventaja de aplicar prácticas de PML está en que promueve el uso eficiente de materias primas, agua y energía, entre otros insumos, a fin de eliminar o reducir en las fuentes de origen la cantidad de residuos no deseados que se generan durante los procesos de producción. De esta manera, se reducen los requerimientos para el tratamiento final de desechos, y por ende, se reduce el costo de adquisición de una planta de tratamiento y de sus consecuentes costos de operación y mantenimiento (Paredes Concepción, 2014).

Los tratamientos de efluentes líquidos deben estar incluidos dentro de un programa de gestión ambiental, en donde estarán definidas las políticas ambientales de la empresa. Para ello, deberá contar con un programa auditable, donde las organizaciones hacen una descripción de los recursos ambientales del área de influencia del establecimiento y una descripción de los procesos y actividades desarrolladas con verificación del encuadre legal ambiental de residuos generados (Portillo, 2014).

La Comisión Interempresarial del Municipio de Rosario (2013) elaboró un manual sobre las Buenas Prácticas Ambientales (BPA) en las industrias cárnicas. Las mismas se basan en la realización de una serie de acciones, reduciendo las pérdidas sistemáticas o accidentales de materiales, en sus distintas formas de contaminantes (residuos, emisiones o vertidos).

4.3.1 Enfoque piramidal en el manejo de efluentes

En enfoque piramidal para el manejo de efluentes, como se muestra en la Figura 7, consiste en agotar las soluciones basadas en prácticas de producción más limpia, antes de intentar el manejo de flujos de residuos como desechos al final del proceso de producción (CPTS, 2005).

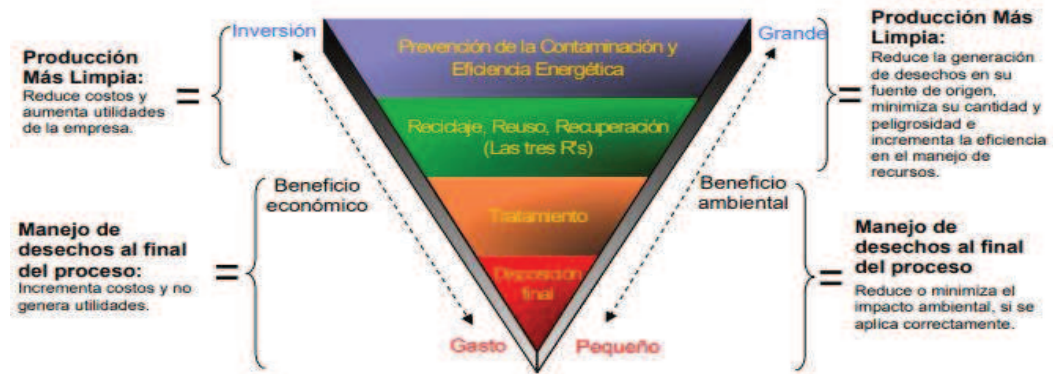


Figura 7: Enfoque piramidal en el manejo de efluentes. Fuente: ISO, Sistemas de Gestión medioambiental, UNEEN ISO 14001:1996 (1996).

4.3.2 Beneficios de la implementación de sistemas de PML

Según Leal (2005), son diversos los beneficios que trae consigo la implementación de sistemas o herramientas de PML, los cuales definió basándose en estudios al interior de las empresas que han introducido el enfoque de eco-eficiencia, donde se han encontrado importantes beneficios financieros, mejor competitividad y otras ventajas como mejora de la productividad, ahorro de energía y materias primas, reducción de residuos y materiales tóxicos, disminución de riesgos y ahorro en procesos de manejo de la contaminación (Leal, 2005).

Dentro de los beneficios asociados a la implementación de la PML, cabe mencionar que, en las organizaciones donde se acoge esta filosofía, disminuye la necesidad de equipos de tratamiento de la contaminación al final del tubo, ya que al generarse menor cantidad de residuos se disminuyen los costos para prevenir, mitigar o eliminar la contaminación en la fuente, por ende, dicha organización tendrá un margen de utilidad mayor y potenciará de una u otra manera su economía (Álvarez & Arias, 2009).

La PML es una estrategia que puede contribuir en la disminución del impacto ambiental negativo generado por los diferentes sistemas productivos; requiriendo actividades que permitan impulsar su difusión y conocimiento por parte de los diferentes actores involucrados, así como resaltar los beneficios sociales, ambientales y económicos que su aplicación podría generar.

La sustitución total de tecnologías de tratamiento al “final del tubo” no es ciertamente posible, por lo que es fundamental que se promueva la identificación de estrategias de PML que

integren y mejoren los resultados del tratamiento al final del proceso, un imperativo ante los desafíos actuales en búsqueda de la sostenibilidad ambiental (Bernal, 2016).

4.3.3 Mejores Tecnologías Disponibles

Las mencionadas hasta aquí, contextualizadas en el momento en que se implementaron, se encuentran comprendidas en las denominadas Tecnologías Ambientales; no obstante, en la actualidad su concepto obliga a contemplar otra clasificación de estas tecnologías que tiene que ver con su disponibilidad en conjunción con la capacidad de ser implementada.

Las Tecnologías Ambientales comprenden procesos nuevos o modificados, técnicas, prácticas, sistemas y productos cuyo uso ayuda a reducir el daño ambiental si se compara con otras alternativas pertinentes, teniendo en cuenta las diferentes fases de la cadena de producción-consumo, desde la extracción de recursos al servicio final (Menéndez Sosa, 2011).

Las mejores tecnologías disponibles (Best Available Techniques-BAT-) son herramientas de obligado cumplimiento a través de las cuales se persigue conseguir un balance sostenible entre el desarrollo de una actividad y la protección del medio ambiente.

Mejores tecnologías; hace referencia a las técnicas más eficaces y óptimas para proteger el medio ambiente. Las técnicas; refiere a la tecnología que se usa, unido a como se usa, a como se diseña, construye, mantiene, explota y paraliza/finaliza la actividad. Disponibles: entendiendo aplicables, se refiere a que las tecnologías se puedan poner en práctica realmente, según el contexto del sector industrial de que se trate, y considerando que sean viables, tanto técnica como económicamente (Ministerio de Agricultura, 2017).

En los países con regulaciones ambientales rigurosas se utiliza el concepto de las "mejores tecnologías disponibles" (BAT) para identificar a las industrias con mejor funcionamiento ambiental, y tomarlas como base de comparación. El término "mejor técnica disponible" se tomó para identificar a la última etapa de desarrollo disponible de las instalaciones, los procesos, o los métodos de operación, que indican la adecuación práctica de un proceso u operación particular, para limitar las descargas. Se consideran también la viabilidad económica de los métodos del control de la contaminación, los tiempos límites de aplicación y la naturaleza y los volúmenes de las descargas involucradas (Area, 2006).

Las BAT en las industrias implican tener la oportunidad de mejorar sus instalaciones, para que sean más sostenibles a nivel ambiental: (Ministerio de Agricultura, 2017)

- Aprovechar estas mejoras para reducir consumos y costes (de consumo de materias primas, de generación de residuos, etc.).
- Aprovecharlo para mejorar la imagen verde de la organización, lo cual cada vez es más valorado por la sociedad en general: consumidores, clientes, etc.

4.4 Aspectos Ambientales de la industria frigorífica

Las industrias radicadas o por radicarse en la Provincia de Entre Ríos, deberán tener en cuenta la Ley N° 6260 de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Este instrumento normativo tiene como objeto establecer criterios y exigencias sobre los valores límites de sus contaminantes, la localización, construcción, instalación, equipamiento y funcionamiento que deben cumplir los mismos para prevenir la contaminación del medio ambiente, garantizando la preservación del mismo y el control por parte del Estado.

La industria frigorífica es clasificada de tercera categoría, ya que está incluida en aquellos establecimientos que se consideran peligrosos. El funcionamiento de estas industrias implica un alto impacto, constituyendo un riesgo para la seguridad, salubridad e higiene de la población u ocasiona daños graves a los bienes y al medio ambiente (Ley N° 6260 Ministerio de Gobierno, 1991).

Cabe destacar que la industria frigorífica es una de las industrias que más poder contaminante posee si no se tratan sus efluentes de manera efectiva (Galotti & Santalla, 2009). Sin embargo, en general todos sus efluentes pueden llegar a ser reutilizados, siendo la inversión requerida para dichos tratamientos rápidamente recuperable (Ministerio de Industria y Turismo de la Nación, 2009).

La industria frigorífica contribuye a la contaminación de aguas con índices que podrían llegar hasta un 30 % de la contaminación total (Galotti & Santalla, 2009). Los efluentes producidos por la industria frigorífica pueden ser clasificados en tres tipos de acuerdo a la naturaleza del contaminante: a) los denominados línea verde, compuestos principalmente por orín y estiércol de los animales estabulados; provenientes de los corrales y mangas de descarga del ganado; b) los que contienen sangre, procedentes de la playa de faena y sus anexos, comúnmente llamados línea roja y c) los efluentes grasos, originados en la playa de faena y sus anexos, y otros sectores del proceso productivo. Estos subproductos; según procedencia; se destinan a la producción de grasa comestible o alimento animal (Chau, Rojas, & Bolaños, 2009).

Debido a que la generación de efluentes en el proceso es el aspecto ambiental de mayor importancia, es necesario analizar y describir los posibles tratamientos de los efluentes en la industria frigorífica (CIMPAR, 2013). Si bien, todos los tratamientos a desarrollar por la industria son necesarios; en algunos casos la recuperación de los productos residuales pueden llegar a amortizar las inversiones; en otros la inversión debe afrontarse para evitar llegar a niveles incompatibles con la vida vegetal, animal o humana (Portillo, 2014).

Las aguas residuales de mataderos bovinos presentan concentraciones significativas de materia orgánica (DQO ~ 2500 mgO₂ dm⁻³) y nitrógeno (NKT ~ 250 mgN dm⁻³) (Portillo, 2014). La fracción de sólidos suspendidos, constituida principalmente por grasas y proteínas, representa entre un 30 y un 60% del contenido total en materia orgánica y ocasiona problemas en los tratamientos biológicos (Díaz & Solarte, 2017).

4.5 Tipos de tratamientos de los efluentes

Existen diferentes alternativas en los tratamientos de los efluentes líquidos en la industria frigorífica, pero todas ellas constan de 3 etapas en la que se destacan básicamente, los procesos físicos o pretratamiento, la etapa de tratamiento químico o tratamiento primario y por último la etapa biológica o de tratamientos secundarios (Portillo, 2014). Algunos autores clasifican los procesos en primarios (cribado, sedimentación, equalización, ajuste de pH), secundarios (microbiológicos) y terciarios (desinfección, acondicionamiento de pH, nitrificación/desnitrificación, filtrado) antes del volcamiento (Lozano-Rivas, 2012).

4.5.1 Aspectos a tener en cuenta

Diversos autores comparten la importancia de caracterizar los efluentes, tanto para el diseño de una nueva instalación como para la ampliación de la existente. También el monitoreo periódico de las descargas contribuye a la eficiencia del programa de gestión ambiental de cada empresa (Portillo, 2014). Las mediciones necesarias se pueden lograr mediante el empleo de soluciones simples, hasta el uso de modernos equipos de muestreo totalmente automatizados. Esto se complementa con los análisis físico – químicos más comunes, como la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), los sólidos sedimentables, la demanda química de oxígeno (DQO), la concentración de iones de hidrógenos (pH) y la conductividad eléctrica (CE), lo cual permite realizar un inventario actualizado de las distintas descargas a depurar (Peruyera Fernandez, 2008).

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes líquidos tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente o para garantizar las condiciones mínimas del proceso en el caso de reutilización o recirculación de la corriente para uso interno (Rodríguez, 2006).

El nivel máximo admisible de contaminante puede conseguirse mediante la utilización de diversos procesos tanto destructivos como no destructivos, como se puede ver en la Tabla 2.

En el contexto del tratamiento de contaminantes en efluentes acuosos, la aplicación de una técnica no destructiva se entiende como una etapa previa de concentración antes de abordar su destrucción química. El carácter oxidable de la materia orgánica hace que la transformación en compuestos no tóxicos consista, en último extremo, aunque no necesariamente, en la mineralización o conversión a dióxido de carbono y agua. En muchos casos, el objetivo de los procesos de oxidación no es la mineralización completa, con conversión del carbono orgánico a dióxido de carbono, sino la transformación de los contaminantes en sustancias biodegradables que no originen problemas de inhibición de biomasa en tratamientos biológicos convencionales o que permitan la descarga sin originar problemas de eco-toxicidad.

Tabla 2: Métodos de eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales.

Fuente: (Rodríguez, 2006).

Métodos no destructivos

Adsorción (carbón activo y otros adsorbentes)

Desorción (Stripping)

Extracción en fase líquida con disolventes

Tecnología de membranas (Ultrafiltración, nanofiltración)

Métodos destructivos

Tratamiento biológico (aeróbico y anaeróbico)

Oxidación química

La aplicación de un método u otro depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal del efluente. Determinadas técnicas, como la incineración y algunos tratamientos de oxidación, son utilizables sólo cuando la concentración de compuestos orgánicos es elevada, mientras que otras, como la adsorción y los procesos de oxidación avanzada, son útiles en efluentes con baja concentración de contaminante (Andreozzi, 1999).

4.5.2 Tratamientos con tecnologías convencionales

El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde hace mucho tiempo, actualmente resulta algo fundamental para mantener la calidad de vida humana y el equilibrio de los ecosistemas. Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición, que el avance del conocimiento y los nuevos diseños han ido mejorando paulatinamente a lo largo de los años. No por eso han dejado de ser técnicas imprescindibles a la hora de tratar efluentes industriales.

A la hora de revisar los tratamientos unitarios más convencionales no resulta fácil establecer una clasificación universal. Una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del tipo de tratamiento (químico, físico o biológico). Una manera de intentar asociar ambas formas de clasificación puede ser considerar que los contaminantes en el agua pueden estar como materia en suspensión, materia coloidal o materia disuelta (Khemis, 2005).

De la caracterización inicial de los efluentes se determina el tipo de tratamiento al que debe someterse; el parámetro más significativo para seleccionar el tipo de tratamiento al que se someterá es el DQO. Si la DQO de entrada a la planta es menor a 150 ppm solo se utilizará un tratamiento primario, para DQO mayores es necesaria la instalación de plantas de tratamiento más complejas que incluyen tratamientos primario, secundario y hasta tratamiento terciario, de ser necesario (Clariant International, 2000).

4.5.2.1 Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión

Es la primera operación (pre-tratamiento) a la que se someten los efluentes líquidos. Consiste en retener los sólidos que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las plantas de tratamiento (Andrades Balao, 2008). Este proceso tiene como objetivo evitar atascos y deterioros en las bombas de impulsión, disminuir la generación de olores desagradables, evitar el desbalance en la operación del sistema de tratamiento, y lograr un uso óptimo de los productos químicos. Los que más se utilizan son el desbaste, sedimentación y flotación (CIMPAR, 2013).

La materia en suspensión puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas (normalmente inorgánicas), hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros (normalmente de naturaleza orgánica). También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar como en el agua una vez tratada, juega un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente.

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento.

La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en muchos casos, y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos, denominándose en este caso tratamiento físico-químico.

A continuación, se describen las operaciones unitarias más habituales. La utilización de una u otra es función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) así como de la concentración de las mismas (Nolasco, 2010).

4.5.2.1.1 Desbaste

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran los afluentes. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de los tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro.

El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica.

4.5.2.1.2 Sedimentación

Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación.

En aguas industriales, lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo una coagulación-floculación previa, que como se explicará más adelante, consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas.

La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.). Estas estructuras o sedimentadores pueden ser circulares (flujo de agua radial desde el centro hacia el exterior), rectangulares (velocidad de desplazamiento horizontal del agua constante) o lamelares (tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas -lamelas- o tubos inclinados respecto a la base).

4.5.2.1.3 Filtración

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión.

El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de

Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa.

4.5.2.1.4 Flotación

Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asocian a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmisible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua.

En el tratamiento de aguas residuales con equipos de flotación se utiliza aire como agente de flotación. En función de cómo se introduzca este aire en el líquido, se tienen tres sistemas de flotación:

- Flotación por aire disuelto (DAF): Los sistemas de flotación por aire disuelto remueven eficazmente los sólidos en suspensión (SST), los aceites y grasas (FOG), y otros contaminantes de aguas residuales. En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de 3 a 4 bar por encima de la presión del líquido. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire (Figura 8) (Trusted Wastewater Solutions™, 2018).

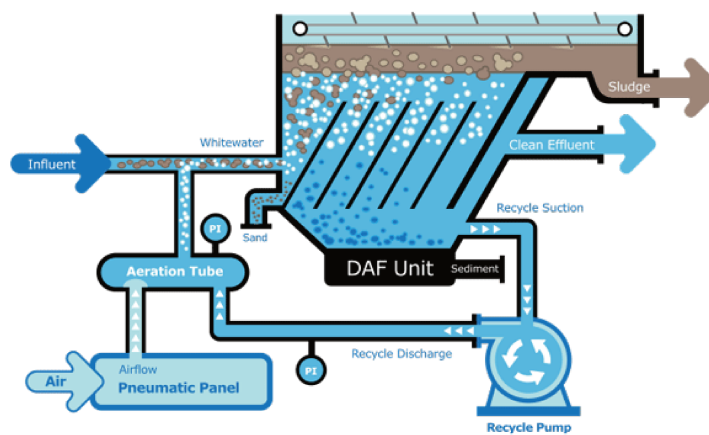


Figura 8: Sistema de flotación por aire disuelto (DAF).
Fuente: Trusted Wastewater Solutions™. FRC (2018).

- Flotación por aire inducido (IAF): Los sistemas de flotación por aire inducido permiten remover grasas, aceites y sólidos en suspensión con elevada tasa de remoción (superiores a 90%) y simplicidad constructiva y operativa. En este sistema, la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. La inclusión del aire en la corriente líquida se produce gracias al empleo de una bomba con características especiales, que toma del área de ingreso del equipo un caudal de efluente y lo reinyecta a lo largo del equipo con

el aire incorporado, al reingresar este volumen de efluente libera las micro burbujas de aire que permiten la flotación de los sólidos suspendidos y grasas (Figura 9).

Los flotantes, son separados en forma continua gracias a un barredor de superficie y los barros suspendidos pueden ser extraídos por medio de tornillo sin fin o tolva, según el modelo elegido (Novarsa, 2018).

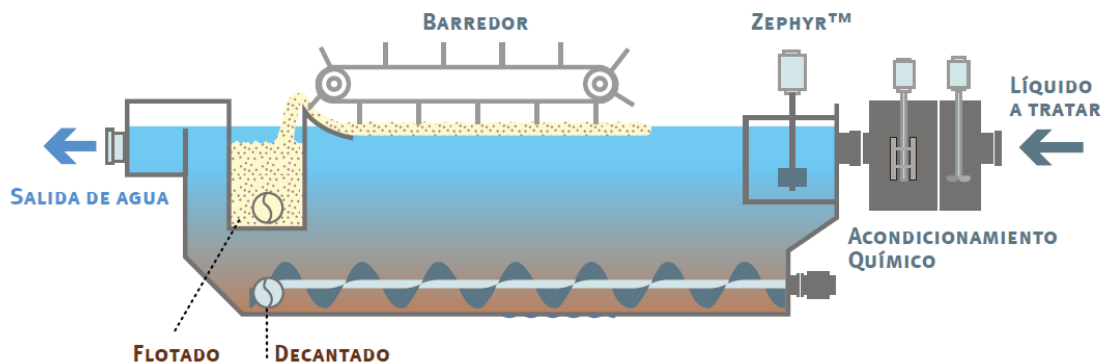


Figura 9: Sistema de flotación por aire inducido (IAF). Fuente: Novarsa - Línea IAF (2018).

- La tercera opción es el sistema de Flotación por Aire de Cavitación (CAF). El sistema CAF es un equipo que sirve para separar aceites, grasas, coloides y sólidos en suspensión de agua residual en los procesos industriales. El mismo inyecta microburbujas de aire directamente en el flujo de agua residual sin tener que disolverlo. Este sistema no requiere compresores de aire, bombas, ni tanques de presión (Figura 10).

Las unidades CAF consisten en un tanque rectangular dividido en cuatro partes: la sección de aeración donde se encuentra el aireador que funciona por cavitación; la sección de flotación (clarificación), el canal de descarga de sólidos con un tornillo sin fin, y el canal de descarga del agua clarificada con vertedero ajustable (Refrin, 2006).

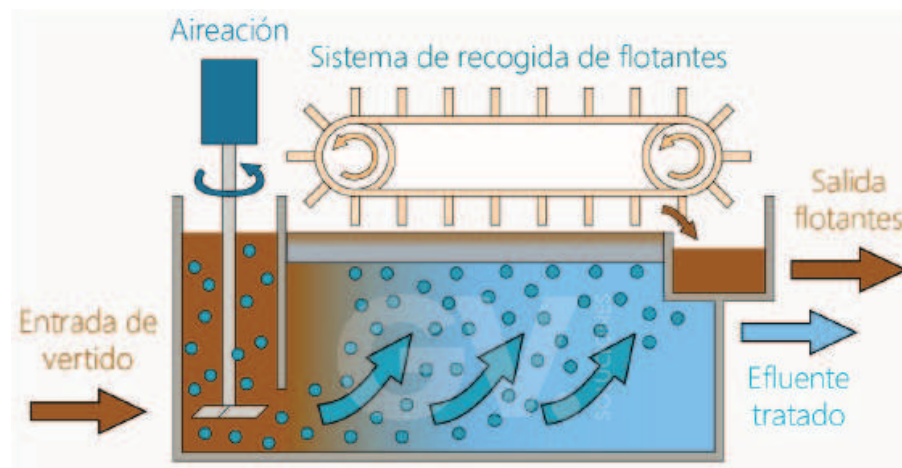


Figura 10: Esquema de un equipo de flotación por aire de cavitación (CAF). Fuente: (Soluciones, 2006).

4.5.2.1.5 Coagulación-Floculación

En muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño ($10^{-6} - 10^{-9}$ m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones

eléctricas entre las partículas. Por tanto, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc.)

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe_3+ , Al_3+) junto con polielectrolitos (Allegre, 2005).

4.5.2.2 Tratamientos para la eliminación de materia disuelta

Al igual que en el caso de la materia en suspensión, la materia disuelta puede tener características y concentraciones muy diversas: desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas (salmueras), orgánicas (materia orgánica biodegradable en industria de alimentación) hasta extremadamente pequeñas cantidades de inorgánicos (metales pesados) y orgánicos (pesticidas) pero necesaria su eliminación dado su carácter peligroso.

Algunos de estos tratamientos están siendo desplazados por otros más avanzados y emergentes, como son los procesos de oxidación avanzada y las operaciones con membrana, y especialmente en el caso de las aguas industriales (Rodríguez, 2006).

4.5.2.2.1 Precipitación

Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión.

El término precipitación se utiliza más para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ion en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble.

Un reactivo de muy frecuente uso en este tipo de operaciones es el Ca_2^+ , dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo, es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además, posee cierta capacidad coagulante, lo que hace su uso masivo en aguas residuales urbanas y muchas industriales de características parecidas.

4.5.2.2.2 Procesos Electroquímicos

Están basados en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por tanto, se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo, como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada.

En el ánodo se puede producir la oxidación de los compuestos a eliminar, tanto orgánicos como inorgánicos. Esta oxidación se puede producir directamente por una transferencia de electrones en la superficie del ánodo o bien por la generación de un agente oxidante in-situ. Entre las aplicaciones de la oxidación directa cabe destacar el tratamiento de cianuros, colorantes, compuestos orgánicos tóxicos (en algunas ocasiones haciéndolos más biodegradables), incluso la oxidación de Cr(III) a Cr(VI), más tóxico pero que de esta forma puede ser reutilizado.

La reducción en cátodo se aplica para la reducción de metales tóxicos. Se ha utilizado en situaciones, no poco frecuentes, de reducción de metales catiónicos desde varios miles de ppm de concentración hasta valores incluso por debajo de la ppm. Existe una primera etapa de deposición del metal sobre la superficie del cátodo que continúa con la remoción del mismo. Esto se puede hacer por raspado, disolución en otra fase, etc. (Chen, 2004).

4.5.2.2.3 Intercambio Iónico

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

La aplicación habitual de estos sistemas es, por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar.

Las propiedades que rigen el proceso de intercambio iónico y que a la vez determinan sus características principales son las siguientes: (Khemis, 2005)

- Las resinas actúan selectivamente, de forma que pueden preferir un ion sobre otro con valores relativos de afinidad de 15 o más.
- La reacción de intercambio iónico es reversible, es decir, puede avanzar en los dos sentidos.
- En la reacción se mantiene la electroneutralidad.

4.5.2.2.4 Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo.

Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizadas en diferentes aplicaciones: (Trawczynski, 2003)

- Carbón activado granular (GAC): se suele utilizar una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua entra por la parte inferior y asciende hacia la superior. El tamaño de partícula en este caso es mayor que en el otro. Se suele utilizar para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua, y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Son elementos que, a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua.
- Carbón activo en polvo (CAP): este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos. También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo.

4.5.2.2.5 Desinfección

La desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causarnos enfermedades, dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos y algunos otros. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua.

Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos tratamientos: tratamiento físico (calor, radiación), ácidos o bases, etc. pero fundamentalmente se utilizan agentes oxidantes, entre los que cabe destacar el clásico Cl_2 y algunos de sus derivados, o bien procesos de oxidación avanzada (O_3 , fotocátalisis heterogénea).

4.5.2.3 Tratamientos biológico o secundario

El propósito de un tratamiento secundario o biológico es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en los residuos líquidos. Consiste en la oxidación biológica de los sólidos suspendidos remanentes y de los sólidos orgánicos disueltos, medida como una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del efluente (Andrades Balao, 2008).

Los procesos de tratamiento biológico de agua residuales tienen como objetivo reproducir de manera confinada y controlada los mecanismos naturales, por los cuales diversos microorganismos degradan la materia orgánica convirtiéndola en productos minerales inertes. Para que estos procesos puedan ser eficientemente aplicados a la depuración de aguas residuales generadas por una industria, deben lograrse tasas de degradación significativamente mayores a las alcanzadas en la naturaleza. Esto se logra por medio del control de las condiciones físico-químicas en reactores diseñados y operados para cumplir objetivos de efluente predefinidos. De esta forma, se obtienen concentraciones de biomasa muchos mayores que las encontradas en un cuerpo de agua natural, y la velocidad de degradación aumenta proporcionalmente, logrando así la reducción de contaminación deseada en espacios y tiempos considerablemente menores (Nolasco, 2010).

Para crecer y reproducirse, los microorganismos necesitan:

- Energía para sustentar sus funciones metabólicas; y,

- Carbono y nutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, etc.) para generar nuevo material celular.

Todo esto lo obtienen de la materia contenida en el efluente, del medioambiente o de aportes del sistema de tratamiento. En general, existen tres tipos de microorganismos según sus condiciones de respiración: (Von Sperling, 2007)

- Organismos aeróbicos: utilizan oxígeno disuelto para respirar. El carbono orgánico es oxidado, obteniendo como productos finales de estas reacciones químicas dióxido de carbono (CO₂) y agua.
- Organismos aerobios facultativos: utilizan oxígeno disuelto cuando éste se encuentra disponible. Cuando no hay oxígeno disuelto utilizan el oxígeno ligado al nitrito (NO₂) o nitrato (NO₃), etc.
- Organismos anaeróbicos: utilizan reacciones endógenas dado que no pueden obtener energía mediante respiración aeróbica. Los principales productos finales son el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄, la forma más reducida del carbono).

La elección del sistema de tratamiento secundario, dependerá de un gran número de factores, entre los que podemos mencionar: requerimientos del efluente (estándares de descarga), sistema de pre-tratamiento escogido, la disponibilidad del terreno, regulaciones ambientales locales y viabilidad económica de una planta de proceso. El tratamiento biológico puede ser realizado para que trabaje de manera anaeróbica, aeróbica o facultativo (Ministerio de Industria y Turismo de la Nación, 2009).

4.5.2.3.1 Procesos Aeróbicos

En un proceso de tratamiento aeróbico, la materia orgánica que ingresa al sistema es utilizada como fuente de energía, otra parte se transforma en biomasa (lodos) y un pequeño porcentaje sale con el efluente (Von Sperling, 2007). En estos métodos, como se observa en la Figura 11, la síntesis del material orgánico es llevada a cabo en presencia de microorganismos que utilizan el oxígeno disuelto para su metabolismo. Dependiendo de la tecnología a emplear se pueden encontrar distintos tratamientos aeróbicos: sistemas de barros activados, lagunas aeróbicas de mezcla completa, lagunas facultativas y lagunas de maduración, entre otros.

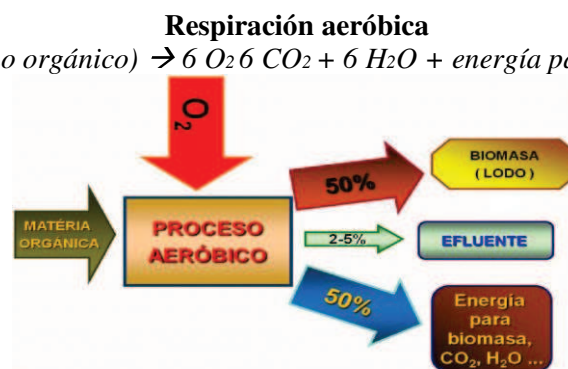


Figura 11: Proceso de tratamiento aeróbico. Fuente: (Von Sperling, 2007).

4.5.2.3.2 Procesos Anaeróbicos

En estos procesos, los efluentes se ponen en contacto con los microorganismos que utilizan el carbono presente, produciendo Dióxido de Carbono (CO₂) y Metano (CH₄). Como se observa en la Figura 12, el proceso es llevado a cabo en ausencia de oxígeno (por

consiguiente, su consumo energético es mucho menor), genera una cantidad de lodos considerablemente menor, y como producto de la degradación de la materia orgánica se obtiene metano, que puede ser utilizado con fines energéticos (Von Sperling, 2007). Se pueden utilizar varios sistemas, por ejemplo, digestores anaeróbicos tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), digestores clásicos, y lagunas anaeróbicas (CIMPAR, 2013).

Respiración anaeróbica

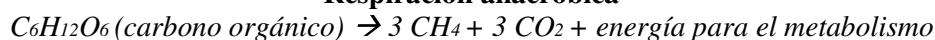


Figura 12: Proceso de tratamiento anaeróbico. Fuente: (Von Sperling, 2007).

El proceso anaeróbico es complejo y en él intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas. A través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Cada etapa del proceso, que se describen a continuación, la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio (Rodríguez, 2006).

Hidrólisis: La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente.

Formación de ácidos (acidogénesis) y acetato (acetogénesis): Los productos finales de la hidrólisis son transformados en ácidos orgánicos de cadena corta, otros compuestos de bajo peso molecular, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias son altamente resistentes a variaciones en las condiciones ambientales. Por ejemplo, aunque el pH óptimo para el desarrollo de su actividad metabólica es 5-6, los procesos anaerobios generalmente son conducidos a pH 7, y aún en estas condiciones su actividad metabólica no decae.

Metanogénesis: La formación de metano (siendo este el último producto de la digestión anaerobia) y dióxido de carbono, se produce a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético. Las bacterias que consumen el ácido acético se denominan bacterias acetoclastas. Algunas bacterias metanogénicas son también capaces de usar el hidrógeno para reducir el dióxido de carbono a metano (metanogénicas hidrogenoclastas).

La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que la llevan a cabo, y por ser la más lenta de todo el proceso. En buena medida, la digestión anaerobia se ha de llevar a cabo en las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de estas bacterias metanogénicas.

Actualmente está ampliamente aceptado que la degradación de la materia orgánica sigue una distribución como la detallada, y que se muestra resumida en la Figura 13:

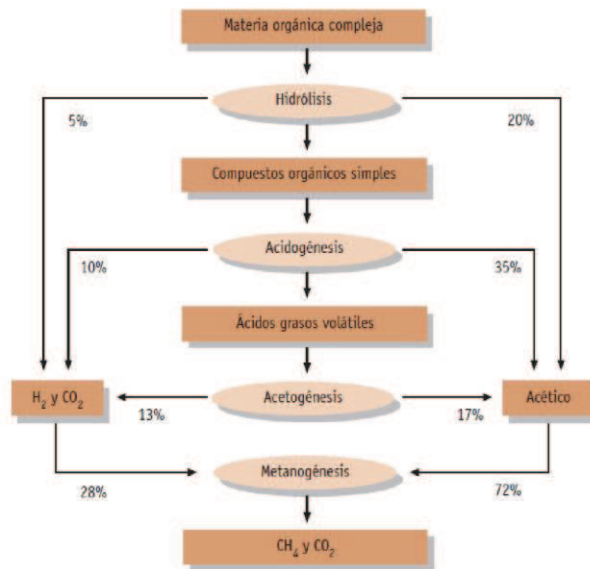


Figura 13: Esquema de la ruta de degradación anaerobia. Fuente: Rodríguez, 2006.

4.5.2.3.3 Procesos Facultativos

Cuando las lagunas aeróbicas sin sistema de aireación adicional superan una determinada profundidad (factor que depende de la eficacia de los procesos naturales de aireación), se forma una zona inferior (que incluye el manto de lodos sedimentados) que carece de oxígeno disuelto y donde, por lo tanto, la descomposición es anaeróbica, y una superior donde el oxígeno disuelto es suficiente para mantener los procesos aeróbicos (Nolasco, 2010).

4.5.2.4 Características en los procesos de tratamiento más comunes

A continuación, se describen las características principales de las unidades de tratamiento más comunes en relación con su capacidad de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y consumo; y generación de energía.

4.5.2.4.1 Lagunas de tratamiento

Las lagunas de tratamiento son cuerpos de agua diseñados para recibir y tratar el agua servida a lo largo de tiempos de retención hidráulicos prolongados (varios días) en comparación con otros sistemas biológicos (p. ej., lodos activados). Cuando es necesario, éstas cuentan con un fondo cubierto de material impermeable (p. ej. arcilla, membrana plástica) que evita que el agua residual se infiltre y contamine el agua subterránea.

El tratamiento con lagunas es utilizado cuando no hay limitaciones de terreno, ya que requieren de una superficie mucho mayor que otros tipos de tratamientos. Por otro lado, el mantenimiento y operación requeridos por las lagunas de tratamiento (y los costos asociados) son notablemente inferiores a los de otros sistemas, como lodos activados o reactores anaeróbicos.

Con respecto a la transferencia de oxígeno, en lagunas de tratamiento cobran importancia otros mecanismos, además de los de aireación forzada (mecánica o por difusores sumergidos), estos son: (Nolasco, 2010)

- Acción de los organismos fotosintéticos que captan la luz solar y el CO₂ disuelto liberando O₂ al medio; y

- Transferencia de oxígeno por superficie (este mecanismo ocurre debido a la diferencia entre la presión parcial del oxígeno en el aire y en el agua, y se ve intensificado por acción del viento).

A continuación, se describen los distintos tipos de lagunas de tratamiento:

Lagunas anaeróbicas

Como su nombre lo indica, estas lagunas tienen la propiedad de operar en ausencia de oxígeno disuelto; habitualmente se diseñan con una profundidad de entre 2 y 5 metros. Gracias a esto, la proporción del líquido que recibe luz solar es escasa, restringiendo la producción de oxígeno por fotosíntesis.

El rendimiento de depuración de este tipo de lagunas es del orden del 40% hasta el 50%, con un tiempo de residencia hidráulico de diseño entre los 20 y 150 días, dependiendo del nivel de tratamiento requerido y la carga orgánica recibida (Groppelli, 2001).

Los niveles de tratamiento requerido, las altas concentraciones de material orgánico y la disponibilidad de terreno hacen que las lagunas anaeróbicas sean muy utilizadas para el tratamiento de desechos animales (p. ej. en granjas y tambos).

Una desventaja de las lagunas anaeróbicas es que sin un mantenimiento adecuado pueden presentar problemas de olores.

El biogás capturado puede utilizarse para generar electricidad o calor y así cubrir parte del requerimiento energético del establecimiento que dio origen al efluente, o exportarse a la red.

Lagunas aeróbicas

Las lagunas aeróbicas pueden utilizar sistemas de aireación de superficie o por difusores sumergidos o estar diseñadas con el fin de aumentar al máximo la eficiencia de los procesos de aireación naturales. En el primer caso su eficiencia es mayor, lo cual reduce tiempo de retención hidráulico necesario y, por consiguiente, el área requerida (Nolasco, 2010).

La energía consumida por el sistema de aireación es un factor importante que se debe contemplar en el momento de evaluación del proyecto.

Si se quiere evitar la necesidad de un sistema de aireación, la laguna debe estar diseñada en función de la dirección predominante del viento y debe contar con la superficie requerida para suplir la necesidad de oxígeno. Al depender exclusivamente de los mecanismos fotosintéticos y de transferencia por superficie, su profundidad debe ser escasa (menor a 2 metros) para que la luz solar alcance la totalidad del líquido. Esta condición hace que este tipo de lagunas aireadas naturalmente sean las que requieren mayor superficie.

El rendimiento de depuración de este tipo de laguna es del orden del 50% al 60%. Esto se debe a la condición de mezcla que existe en el medio, determinando que el efluente de esta laguna contenga sólidos en suspensión biodegradables, lo que disminuye su rendimiento de depuración (Groppelli, 2001).

La generación de metano en lagunas aeróbicas es despreciable, pero cuando poseen un sistema de aireación, consumen una cantidad de energía relativamente importante dependiendo del grado de aireación.

Las lagunas aeróbicas son utilizadas principalmente en lugares donde minimizar los problemas de olor es un factor importante.

Lagunas facultativas

Cuando las lagunas sin sistema de aireación adicional superan una determinada profundidad (factor que depende de la eficacia de los procesos naturales de aireación), se forma una zona inferior (que incluye el manto de lodos sedimentados) que carece de oxígeno disuelto y donde, por lo tanto, la descomposición es anaeróbica, y una superior donde el oxígeno disuelto es suficiente para mantener los procesos aeróbicos (Nolasco, 2010).

Este tipo de laguna puede utilizarse como única etapa de depuración, diseñada de tal manera que permita que el oxígeno del aire se disuelva en el agua a tratar o también como laguna de afinamiento del efluente ya tratado en pasos anteriores (laguna anaeróbica y/o laguna aireada). Se proyectan con un tiempo de retención hidráulico de 10 a 12 días, una profundidad estimada entre 1,5 m a 1,8 m. Operando con una eficiencia del orden del 70% al 80% (Groppelli, 2001).

En estas lagunas facultativas, la producción de metano suele ser menor a la mitad de la de una laguna anaeróbica con generación máxima (BO) y su consumo de energía nulo.

Calculo del dimensionamiento de las lagunas

Las principales consideraciones que se deben tener en cuenta para diseñar o evaluar el dimensionamiento de las lagunas se describen a continuación:

- La carga orgánica del efluente **DBO₅**;
- El caudal medio de diseño **Q_m**;
- La constante global de eliminación de la **DBO₅ K**;
- La temperatura del agua del mes más frío **T**;
- El tiempo de retención hidráulica **t_r**;
- El factor de dispersión de la laguna **d**;
- El área de las lagunas;
- El volumen y profundidad de operación

Las lagunas anaeróbicas y facultativas pueden generar problemas con malos olores debido a que su objetivo es la remoción de DBO. Por tal motivo es importante dimensionar correctamente las lagunas para que no se presenten estos problemas.

Las formas de las lagunas deben ser lo más regular posible, evitando por un lado formas angulares donde pueden generarse zonas muertas con sedimentaciones preferenciales, y por otro lado la formación de caminos preferenciales.

Las superficies de las lagunas varían entre 0,2 a 0,8 ha en las lagunas anaeróbicas y de 0,8 a 4 ha para las lagunas facultativas y aerobias. Las profundidades oscilan entre 0,9 a 1,5 metros en las lagunas aerobias, 1,2 a 2,4 en las facultativas y de 2,4 a 9 m para las lagunas anaeróbicas (Metcalf & Eddy, 1996).

Las mejoras en las lagunas pueden hacerse por excavación, por terraplenado o mixta. En cualquier caso, debe garantizarse los aspectos resistentes y de impermeabilización. Para

garantizar la estabilidad de los terraplenes deben garantizarse pendientes de $1,5/1 \leq L/H \leq 2/1$ en el parámetro exterior, y $2/1 \leq L/H \leq 3/1$ en el parámetro en contacto con las aguas (Muñoz, Lehmann, & Martínez, 1996).

El dimensionamiento de las lagunas puede hacerse a partir del tiempo de retención hidráulico. Para determinar este tiempo se utiliza la siguiente fórmula:

$$K_T \times t_r = kt$$

Donde:

El valor de kt se obtiene mediante la gráfica de Thirumurthi (Figura 14) y representa la relación entre el porcentaje remanente de la DBO₅ después del tratamiento y el factor de dispersión de la laguna (Metcalf & Eddy, 1996).

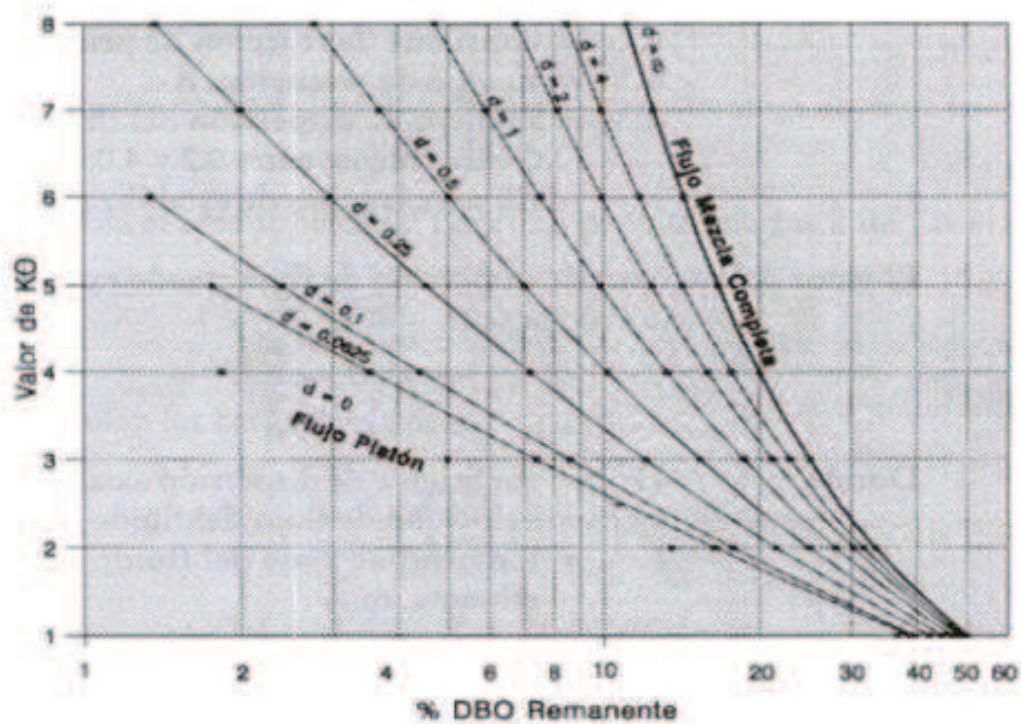


Figura 14: Valores de kt respecto al % remanente de DBO para diversos factores de dispersión Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996).

4.5.2.4.2 Lodos activados

Un sistema de lodo activado está constituido por un reactor aireado donde se desarrollan los microorganismos que degradan la materia orgánica, un sedimentador que separa la fase líquida de la sólida (biomasa) y un sistema que recircula la biomasa nuevamente hacia el reactor. Una fracción considerablemente menor a la biomasa recirculada es purgada del sistema como compensación por el crecimiento de microorganismos. Al separar la biomasa y retener gran parte de la misma dentro del sistema, esta configuración reduce notablemente el tamaño necesario del reactor en comparación con sistemas de lagunas (Nolasco, 2010).

La aireación del reactor se realiza por medio de difusores sumergidos o por aireadores superficiales mecánicos.

Al ser un sistema aeróbico, cuando es operado correctamente no genera metano. Este tipo de sistemas presenta un consumo de energía intensivo debido al mecanismo de aireación. Por este motivo, a pesar de no generar emisiones directas de GEI, los sistemas de lodos activados indirectamente emiten una importante cantidad durante la generación de energía eléctrica.

Se puede recuperar parte de la energía utilizada en el sistema de aireación cuando las plantas de lodos activados cuentan con un sistema de digestión anaeróbica para el tratamiento de los lodos purgados del lodo activado, por medio de la recuperación y utilización del biogás del digester. De esta manera, se pueden reducir los costos de operación de la planta.

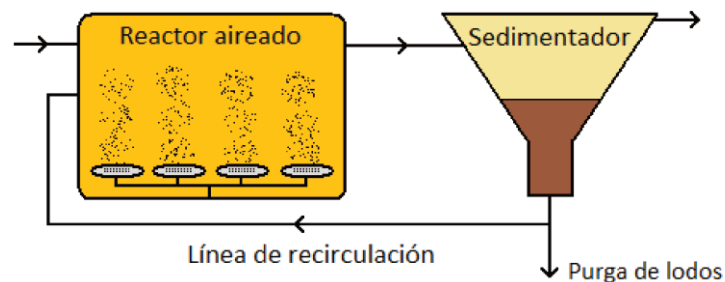


Figura 15: Esquema de un sistema de lodos activado. Fuente: Nolasco, 2010.

4.5.2.4.3 Reactores anaeróbicos

Un reactor anaeróbico es un tanque cerrado, no aireado, que puede o no contar con un mecanismo de mezcla para mejorar el contacto entre los microorganismos y el material orgánico a degradar. El medio se encuentra libre de oxígeno disuelto y las distintas variables ambientales (p. ej. temperatura, pH, carga orgánica, presencia de inhibidores) pueden controlarse para lograr una tasa metabólica alta. Si la tasa metabólica se optimiza, la producción de metano se acercará a la máxima posible (Groppelli, 2001).

Las bacterias que intervienen en la degradación anaeróbica de la materia orgánica se dividen en tres tipos según sea su rango térmico óptimo: psicrófilas, mesófilas y termófilas. Las dos últimas son, por lo general, preponderantes en digestores anaeróbicos, siendo las mesófilas las más comunes, ya que los reactores termófilos son mucho más sensibles a la variación de temperatura y carga orgánica recibida y precisan de sistemas de calentamiento y mezcla más sofisticados.

Características de los reactores anaeróbicos (Groppelli E. , 2001):

- Consisten en un tanque cerrado, libre de oxígeno disuelto.
- Son más eficientes en el rango de los 30 – 40 °C, en climas fríos pueden requerir de un sistema de calefacción.
- El efluente puede necesitar un tratamiento adicional.
- Máxima generación de metano: posibilidad de aprovechamiento energético.

Las bacterias mesófilas tienen su rango óptimo de temperatura entre 30 °C y 40 °C, por lo que en climas templados o fríos requieren de un sistema de calefacción que la mantenga dentro de dicho rango. Esto se logra haciendo recircular parte de la mezcla a través de un intercambiador de calor. Generalmente, el biogás capturado es utilizado para generar este calor.

Al igual que para las lagunas anaeróbicas, para lograr la calidad de efluente final requerida para descargar, los reactores anaeróbicos pueden necesitar de un tratamiento aeróbico adicional. Estos reactores son utilizados tanto para tratar agua residual como para digerir lodos generados en otras unidades de tratamiento.

Reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket): En este tipo de reactores se concentra la actividad bacteriana para acelerar la degradación de la materia orgánica. El líquido se introduce en el reactor lentamente desde su parte más baja. Su diseño produce la formación de partículas de lodo de peso específico mayor al del agua, los cuales quedan suspendidos en el digestor formando una capa concentrada de partículas en suspensión. Los microorganismos anaeróbicos se sitúan en dicha capa y degradan la materia orgánica a medida que ésta fluye lentamente. El biogás se produce en esta capa y burbujea hacia la parte superior del reactor. El uso de este tipo de reactor es común cuando el espacio es limitado y el líquido a tratar posee fundamentalmente materia orgánica soluble (Groppelli E. , 2001).

4.5.3 Tratamientos con Humedales

Se define humedal como una zona inundada o saturada, bien sea por aguas superficiales o aguas subterráneas y con frecuencia, duración y profundidad suficientes para mantener especies de plantas predominantemente adaptadas a crecer en suelos saturados. Éstos, ya se utilizaban en la antigüedad, no para depurarlas, sino simplemente para deshacerse de las aguas de residuo.

Los humedales han demostrado que son efectivos en la reducción de la materia orgánica, para transformar, asimilar nutrientes y retener y/o eliminar sustancias tóxicas que, de otra manera, serían vertidas al medio ambiente (Arias & Brix, 2003).

Además de la depuración de aguas residuales, ofrecen beneficios ambientales agregados tales como crear o restaurar nichos ecológicos, mejora paisajística, generación de zonas de amortiguación de crecidas de ríos, reservorios de agua para riego y otras actividades (lúdicas y económicas).

4.5.3.1 Clasificación y diseños

En función de la especie vegetal predominante, los humedales se pueden clasificar en:

- Macrófitas flotantes: *Eishhomia rassiper*, *Lemna minor*
- Macrófitas hojas flotantes: *Nymphaea alba*, *Potamogeton graminens*
- Macrófitas sumergidas: *Littorella uniflora*, *Potamogeton crispus*
- Macrófitas emergentes: *Thypha lactifolia*, *Phragmites australis*

El diseño de los humedales se realiza frecuentemente con ecuaciones de primer orden, regresiones estadísticas por base de datos o empleo de modelos numéricos empíricos. Las dimensiones así obtenidas generan áreas mínimas de tratamiento que dependen de distintos factores (tipo de contaminante, concentración original, concentración final esperada, ubicación geográfica, condiciones climáticas). Posteriormente, el área debe ajustarse a recomendaciones tales como área específica de tratamiento mínimo por P.E., relación larga/ancho, profundidad, pendiente. Además, se debe evaluar materiales constructivos y estructuras de distribución, que incluyen canales y tuberías perforadas.

Para el cálculo del dimensionamiento por métodos analíticos del sistema de humedales se tiene en consideración que estos sistemas artificiales pueden ser reactores biológicos y su funcionamiento se puede aproximar al de un reactor de flujo a pistón con cinética química de eliminación de contaminantes de primer orden (Reed, Miledlebrooks, & Crites, 1995):

$$\frac{dC}{dt} = -kt * C \quad (1.1)$$

Dónde:

C: concentración del contaminante (mg O₂/L)

K_t: contante de cinética de primer orden (d⁻¹)

Si integramos la ecuación (1.1) entre la concentración inicial del contaminante o afluente (C_o para t=0) y la final o efluente (C_i para t=t, siendo este último el tiempo de retención, en días) se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{C_i}{C_o} = \exp(-kt * t) \quad (1.2)$$

Por otro lado el tiempo de retención hidráulico¹ resulta de la siguiente expresión:

$$t = \frac{V}{Q_{med}} = \frac{L * W * (D_m + D_w)}{Q_{med}} \quad (1.3)$$

Dónde:

t: tiempo de retención hidráulico (días)

V: volumen del humedal (m³)

Q_{med}: Caudal medio diario a tratar (m³/día)

L: longitud del humedal (m)

W: ancho del humedal (m)

D_m: la profundidad del sustrato (m)

D_w: profundidad de la lámina de agua (m)

Combinando las ecuaciones (1.2) y (1.3) se obtiene la ecuación que permite conocer la superficie necesaria para la eliminación de un determinado contaminante (1.4):

$$S = L * W = \frac{Q_{med} * (\ln C_e - \ln C_s)}{K_t * (D_m + D_w)} \quad (1.4)$$

Dónde:

S: superficie del humedal (m²)

L: longitud del humedal (m)

W: ancho del humedal (m)

Q_{med}: Caudal medio diario a tratar (m³/día)

C_s: concentración del contaminante en el agua del efluente (mg O₂/L)

C_e: concentración del contaminante en el agua del afluente (mg O₂/L)

K_t: constante de reacción (d⁻¹)

D_m: profundidad del sustrato (m)

D_w: profundidad de la lámina de agua por encima del sustrato (m)

La constante de cinética K_t depende del contaminante que se quiere eliminar y de la temperatura, pudiendo determinarse utilizando la siguiente fórmula:

¹Tiempo de retención hidráulico: tiempo que la molécula de agua permanece en el sistema, desde que entra hasta que sale de este.

$$kt = k_{20} * \theta^{T-Tr} \quad (1.5)$$

Dónde:

K_{20} : constante de velocidad (d^{-1})

Θ : coeficiente de temperatura

T: temperatura media ($^{\circ} C$)

T_r : temperatura de referencia ($^{\circ} C$)

En la Tabla 3 se presentan los procesos que contribuyen a la depuración de las aguas residuales.

Tabla 3: Procesos que contribuyen a la depuración de las aguas residuales.

Fuente: Arias y brix, 2003

Contaminante	SPA ⁽¹⁾	HFS ⁽²⁾	HFSS ⁽³⁾	HFV ⁽⁴⁾
Materia orgánica	Conversión biológica por bacterias adheridas a superficies	Reducción DBO soluble por conversión biológica bacteriana que crecen en superficie. La DBO particulada se elimina por absorción, filtración, sedimentación	Conversión biológica por bacterias adheridas a plantas y detritus de relleno del humedal	Conversión biológica por bacterias adheridas a plantas y detritus de relleno del humedal
Materia en suspensión	sedimentación	Filtración y sedimentación	Filtración y sedimentación	Filtración
Nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación	Nitrificación/desnitrificación por Plantas y volatilización	Nitrificación/desnitrificación por Plantas y volatilización	Nitrificación/desnitrificación por Plantas y volatilización
Fósforo	Precipitación y asimilación de plantas microorganismos	Precipitación y asimilación de plantas y microorganismos	Filtración, precipitación y asimilación de plantas y microorganismos	Filtración, precipitación y asimilación de plantas
Metales pesados	Sedimentación y absorción por plantas	Sedimentación y absorción por plantas y detritus	Sedimentación y absorción por plantas y detritus	Sedimentación y absorción por plantas y detritus
Trazas de Contaminantes orgánicos	Volatilización, absorción y biodegradación	Volatilización, absorción y biodegradación	Absorción y biodegradación	Volatilización, absorción y biodegradación
Patógenos	Radiación UV. depredación	Radiación UV. Depredación ATB raíces de plantas	Depredación ATB raíces de plantas	Depredación ATB raíces de plantas

SPA (1) Sistema de Plantas Acuáticas; HFS (2) Humedal de flujo superficial; HFSS (3) Humedal de Flujo Subsuperficial; HFV (4) Humedales de flujo vertical adaptado de Crites & Tchobanoglous, 1998.

Los humedales son una alternativa siempre y cuando se ajusten a las características del agua residual. Hay experiencias documentadas que demuestran la capacidad de depuración de distintos tipos de contaminación, tales como mineralización de fangos provenientes de plantas de tratamientos convencionales y efluentes con altas cargas orgánicas. Añadido a esto, como ventaja tiene la sencillez en el diseño, operación y mantenimiento.

Los primeros trabajos con humedales fueron realizados por Käthe Siedel a principios de 1950 en el Instituto Max Planck (Alemania), para el tratamiento de aguas residuales lácteas, de ganado y fenol⁺. Trabajó con humedales subsuperficiales de flujo horizontal y vertical (por sus siglas inglés HF-CWs y VF CWs), pero el primer humedal construido fue de agua libre en superficie (FWs) en Holanda en el año 1967. Si bien no se extendió mucho su uso en principio, en los años 80 y 90 se construyeron principalmente de flujo subsuperficial.

4.5.3.2 Tipos y principales características

Los humedales de agua libre superficial se basan en volumen o área. Los que se basan en volumen utilizan un tiempo de retención hidráulica para evaluar la remoción de

contaminantes, mientras que los que se basan en áreas evalúan la reducción del contaminante utilizando la zona general del humedal.

4.5.3.2.1 Humedales de agua libre en superficie (por sus siglas inglés FWS):

Es el más típico de los humedales; cuenta con macrófitas emergentes en una cuenca poco profunda sellada (o secuencia de cuencas) de 20-30 cm de enraizamiento y una profundidad de agua de 20-40 cm. La vegetación emergente densa cubre una fracción significativa de la superficie (+50%). Las plantas generalmente no se cosechan, la hojarasca proporciona carbono orgánico para la desnitrificación que ocurre en los bolsones anaeróbicos que se forman en la misma hojarasca.

Este tipo de humedales, son eficientes en la remoción de materia orgánica a través de la degradación microbiana y la sedimentación de partículas coloidales. Los sólidos suspendidos se eliminan por sedimentación y filtración a través de la densa vegetación. El nitrógeno se elimina por la nitrificación (en la columna de agua) y desnitrificación (en la hojarasca) y la volatilización del amoníaco por el aumento del pH por fotosíntesis de algas. La retención de fósforo es baja por el bajo contacto con la tierra que es la que adsorbe y/o precipita el fósforo, la absorción por la planta es temporal, ya que se libera cuando la planta muere.

4.5.3.2.2 Humedales subsuperficiales de flujo horizontal (por sus siglas en inglés HS-CWs):

Consisten en una cama de grava o roca sellada por una capa impermeable por abajo y sembrado con macrófitas en el medio. En estas camas de filtración la contaminación se elimina por degradación microbiana y procesos físicos-químicos y una red de zonas anaeróbicas y áreas aeróbicas restringidas próximas a las raíces.

Los compuestos orgánicos se degradan por procesos anaeróbicos/microaerófilos. Los sólidos en suspensión se retienen por filtración y sedimentación. La eliminación de amoníaco es limitada (por la saturación permanente del agua). El fósforo se elimina por reacciones de intercambio donde el fosfato desplaza los hidroxilos de superficie de hierro u óxido de aluminio (cuando se usan estos materiales en la cama); de lo contrario, la eliminación es baja.

La función más importante de las plantas en estos humedales es el suministro de sustrato (raíces y rizomas) para el crecimiento de bacterias adheridas (biofilms), pérdida de oxígeno radial (difusión de oxígeno de las raíces a rizosfera), la absorción de nutrientes y el aislamiento de la superficie de la cama en las regiones frías y templadas. Durante mucho tiempo se han diseñado los Humedales subsuperficiales de flujo horizontal con la “regla de oro” de 5 m²/PE para lograr una DBO₅ y concentración de TSS de 30 mg/L.

4.5.3.2.3 Humedales subsuperficiales de flujo vertical (por sus siglas en inglés VF-CWs):

Fueron introducidos por Seidel al oxigenar efluentes anaeróbicos en tanques sépticos. No se extendió tan rápido como los subsuperficiales de flujo horizontal, ya que los requisitos de operación y mantenimiento son más altos, al tener que bombear aguas residuales en forma intermitente a la superficie. Básicamente, se trata de bombear agua de un pozo séptico, hacerlo pasar por la cama vegetal y filtrarlo por arena, para luego recién liberarla. Es más oxigenado por lo cual permite la desnitrificación, eliminación de compuestos orgánicos y sólidos en suspensión. La eliminación de fósforo es baja, a menos que se utilicen materiales con alta capacidad de absorción. Requiere menos superficie (1-3 m²/PE); generalmente se usa para efluentes domésticos.

Algunos con flujo vertical ascendente, donde el efluente se introduce por la parte inferior, se percola el agua hacia arriba hasta la superficie del humedal. Este sistema de llenado y vaciado en “marea”, una vez que se inunda, se detiene la carga, y luego de un tiempo dado, se drena hacia abajo completamente hasta el escurrimiento completo con entrada de aire.

4.5.3.2.4 Humedales híbridos:

Es una combinación de humedales subsuperficiales de flujo vertical y horizontal; se utilizan cuando quiere eliminarse amoníaco y nitrógeno total. Se han construido para lixiviados de vertederos, compost, mataderos, acuicultura, etc.

4.5.3.3 Plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de plantas acuáticas están en los estanques poco profundos como plantas acuáticas flotantes o sumergidas. Los sistemas más estudiados son aquellos que usan el hacinto de agua o lenteja de agua. Estos sistemas incluyen dos tipos basado en tipos de plantas dominantes, las flotantes y las sumergidas. El primer tipo usa plantas flotantes y se distingue por la habilidad de estas plantas para derivar el dióxido carbono y las necesidades de oxígenos de la atmósfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua. El segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas, se distingue por la habilidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua.

En la tabla 4 se muestran las funciones de las plantas en los sistemas de tratamientos acuáticos.

Tabla 4: Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.

Fuente: Chafloque & Gómez, 2006

Raíces y/o tallos en la columnas de agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Superficies sobre la cual la bacteria crece. 2. Medio de filtración y adsorción de sólidos.
Tallos y/o hojas sobre la superficie del agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atenúan la luz del sol y así previenen el crecimiento de algas. 2. Reducen los efectos del viento en el agua. Es decir, transferencia de gases entre la atmósfera y el agua. 3. Importante en la transferencia de gases para y desde las partes sumergidas de la planta.

4.6 Plan de muestreo

Se entiende por plan de muestreo al instrumento que permite ordenar el trabajo de campo, esto es las actividades de observación, tomas de muestras, medición y análisis.

El objetivo del plan de muestreo es establecer los procedimientos para la selección de los puntos de muestreo, toma de muestras en cuerpos de agua y efluentes, asegurando la calidad de datos y custodia de las muestras con la finalidad de determinar la calidad y composición de las mismas.

Como parte del plan de muestreo; se seleccionará el tipo de muestreo, los puntos de extracción, los parámetros a examinar, que permitan a través de los análisis fisicoquímicos determinar las características en la calidad del efluente en los diferentes procesos del sistema.

4.6.1 Toma de Muestras

La metodología de muestreo utilizada será la recomendada en el manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales publicado por la APHA-AWWA-WPCF3, 17° edición, 1992 (Association American Public Health, 1992).

Los muestreos se llevarán a cabo en las correspondientes cámaras de toma-muestra y de aforo que la empresa dispone para tal fin, según se requieren en la Provincia de Entre Ríos, normadas por la Ley Provincial N° 6260 y su Decreto Reglamentario 5837/91.

La toma de muestra debe estar acompañada de un protocolo de muestreo, donde esté especificado los siguientes puntos:

- Cadena de custodia: identificación de las personas que han estado en contacto con la muestra (desde la toma, análisis y eliminación).
- Identificación y Rotulado: etiquetas adhesivas con identificación, sitio de extracción, fecha y hora, firma del personal que autorizo y presencio la toma. La etiqueta se debe colocar en el sitio de muestreo y debe utilizarse tinta indeleble, en caso de conservarse en hielo.
- Recipientes: deberán ser seleccionados en base a las recomendaciones del laboratorio.
- Conservación: en el caso de efluentes líquidos los frascos rotulados deben conservarse en heladeras portátiles (a 4°C sin congelar) y realizar los análisis lo antes posible, a fin de evitar alteraciones en la muestra, ya que es inevitable que se produzcan cambios químicos y biológicos.
- Documental de la toma de muestra: descripción del sitio que incluya toda la documentación existente (plano, croquis) a los fines de fijar los puntos de muestreo, detectar lugares no permitidos o indocumentados, para esto último es sumamente útil individualizar los puntos con sistema GPS.

4.6.2 Tipos de muestreos y puntos de extracción

Previo al trabajo de campo y como parte del plan de muestreo se deberá determinar el tipo, los puntos de muestreo y los parámetros a analizar.

4.6.2.1 Tipos de muestreos

El tipo de muestreo puede ser simple, compuesto o integrado: (Portillo, 2014)

- a) Muestreo simple: es aquel, donde la muestra es tomada en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual. Cuando existan varios puntos de vertido, se entenderá por muestra simple la integrada por cantidades proporcionales al caudal de cada punto. Esta muestra representa la composición del agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación.
- b) Muestreo compuesto: este tipo de muestreo será el realizado para todas las muestras residuales cuando el caudal y las características del efluente en función del tipo de faena

varía significativamente a lo largo del tiempo. En la mayoría de los casos, el término “muestra compuesta” se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio.

- c) Muestreo integrado: esta técnica permite muestras obtenidas por muestras simples recogidas al mismo tiempo, pero en puntos diferentes.

Para la elección del tipo de muestreo en una industria frigorífica es importante identificar la variación en el caudal, la composición y las características del efluente según la época del año (variaciones en la producción); y el día y horario (variaciones en la faena) de la toma de muestra.

4.6.2.2 Puntos de extracción

Para la elección de los sitios de muestreos, se deben elegir los puntos de entrada y salida de todos los procesos involucrados en el sistema de tratamiento de los efluentes líquidos de la industria. Conociendo los parámetros en el ingreso y egreso de los procesos, nos permite determinar los rendimientos en cada etapa del sistema.

4.6.3 Selección de parámetros

En la Provincia de Entre Ríos, los valores máximos de los distintos parámetros de contaminación que se admiten en los efluentes líquidos de establecimientos industriales, esta normada a través del decreto reglamentario N° 5837 de la Ley N° 6260 de Prevención y Control de la Contaminación por parte de la Industria.

Para el análisis de la planta de tratamiento de agua residual es fundamental tener en cuenta parámetros físico-químicos de la calidad del efluente, dentro de los principales que se analizarán son la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites, pH, temperatura y conductividad eléctrica:

- DQO: la demanda química de oxígeno se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇). Este proceso oxida casi todos los procesos orgánicos en gas carbónico y agua. La ventaja es que las mediciones de DQO se obtienen rápidamente, pero tienen la desventaja que no dan información de la proporción del agua residual que puede ser oxidada por las bacterias (Rolim, 2000).
- DBO₅: la Demanda Bioquímica de oxígeno es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica consume oxígeno por la descomposición bacteriana. La DBO₅ es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo (Tamayo, 2004).

La DBO₅ se determina con la relación en la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un período de incubación generalmente de 5 días a 20° C (Metcalf & Eddy, 1996).

- SST: los sólidos suspendidos totales es la fracción de sólidos totales retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico, medido después que ha sido secado a una temperatura específica (103 a 105°C). El filtro más usado para a determinación es el filtro de Whatman, de fibra de vidrio (Tchobanoglous, 1995).
- Potencial hidrógeno pH: la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia en aguas residuales. El agua residual con concentraciones inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos (Metcalf & Eddy, 1996).
- Temperatura: la temperatura de las aguas residuales son mayores que las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica, las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura (Metcalf & Eddy, 1996).

La temperatura del agua residual es un líquido caliente que vuelca a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de reacciones químicas, en la vida de la flora y la fauna acuática. Asimismo puede incrementarse la acción bacteriana en altas temperaturas, lo que también produce una acelerada disminución de los recursos de oxígeno en el cuerpo receptor (Nemerow & Dasgupta, 1998).

A continuación, en la Tabla 5, se presentan los parámetros y sus valores límites permitidos por el reglamento N° 5837 de la Ley N° 6260 de Entre Ríos:

Tabla 5: Parámetros y límites permitidos para vuelcos de los efluentes líquidos Industriales.

Fuente: Ley N° 6260 Ministerio de Gobierno de E. Ríos, 1991

Parámetros	Límites Permitidos	
	A colectoras cloacal	A curso de agua
1. pH	5,5 a 10	5,5 a 10
2. Sustancia soluble en éter etílico	<100 mg/lit	<100 mg/lit
3. Aceites Minerales	<10 mg/lit	<10 mg/lit
4. Sulfuro	<1 mg/lit	<1 mg/lit
5. Sólido sedimentable en 10 min.	<5,0 ml/lit	<5,0 ml/lit
6. Sólido sedimentable en 2 hs.	(1)	(2)
7. Sólido flotante	(3)	No debe contener
8. Temperatura	<45°C	<45°C
9. Demanda bioquímica de oxígeno	(4)	(5)
10. Oxígeno consumido	(6)	(7)
11. Demanda de Cloro	(8)	(8)
12. Cianuro	<0,1 mg/lit	<0,1 mg/lit
13. Cromo hexavalente	<0,2 mg/lit	<0,2 mg/lit
14. Cromo trivalente	<2 mg/lit	<2 mg/lit
15. Sustancia reactivas al azul de metileno	<2 mg/lit	<2 mg/lit
16. Cadmio	<0,1 mg/lit	<0,1 mg/lit
17. Plomo	<0,5 mg/lit	<0,5mg/lit
18. Mercurio	<0,005 mg/lit	<0,005 mg/lit
19. Arsénico	<0,5 mg/lit	<0,5 mg/lit
20. Sustancias Fenólicas	<0,5 mg/lit	<0,5 mg/lit

4.7 Análisis Costo-Efectividad (ACE)

Para valorar monetariamente los impactos ambientales o, lo que es lo mismo visto a la inversa, los beneficios monetarios de la conservación ambiental; los economistas suelen aplicar la perspectiva del análisis costo-efectividad (ACE) que exige cuantificar solo los costos en términos monetarios, sin considerar los beneficios económicos del proyecto. El ACE pretende

lograr un objetivo determinado de calidad ambiental de la manera más económica o, en forma equivalente, de lograr el máximo mejoramiento de cierto objetivo ambiental para un gasto determinado de recursos (Martínez Alier & Roca Jusmet, 2013).

4.7.1 La Evaluación Ambiental (EA) y el análisis económico

La EA es un proceso de recolección de información y de análisis que ayuda a evitar desarrollos no amigables ambientalmente. Se enfoca en las externalidades ambientales: efectos adversos no intencionados de proyectos de desarrollo en el ambiente. La EA busca identificar y evaluar estos efectos ambientales en términos cualitativos y cuantificarlos cuando sea posible.

El análisis económico ambiental puede jugar un rol importante en tres grandes etapas: (i) en la evaluación de los impactos de un proyecto propuesto y sus varias alternativas; (ii) en el análisis de opciones de prevención y mitigación; y (iii) en la evaluación del proyecto, una vez que una alternativa específica ha sido seleccionada. Tanto en el caso del análisis económico como de la evaluación ambiental, la distinción importante es entre que habría ocurrido con el proyecto y sin el proyecto, y no otros cambios que podrían ocurrir con el tiempo. Este punto a veces se pierde, en la medida que puede haber importantes tendencias de largo plazo que ocurren independiente del proyecto en sí (Dixon & Pagiola, 1998).

4.7.2 Proceso del análisis costo-efectividad

El objetivo de cualquier análisis C/E es contar con estimaciones de los costos y de la efectividad que sean creíbles para todas las posibles intervenciones. Los pasos sugeridos para desarrollar este análisis son:

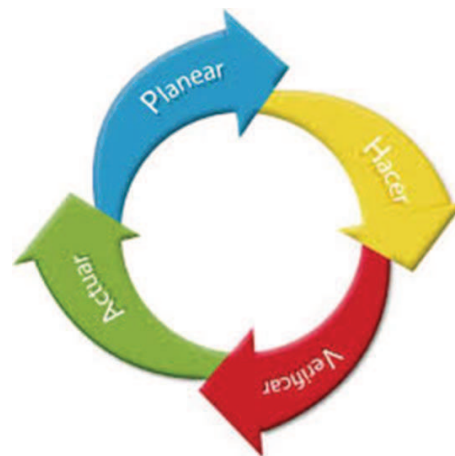
- Identificar todas las alternativas posibles
- Identificar estimativos para intervenciones similares
- Asegurar comparabilidad entre estimativos de efectividad (unidades de medida)
- Identificar los costos incrementales de las alternativas
- Asegurar comparabilidad de valoraciones de los costos

4.8 Plan de Gestión Ambiental (PGA)

Los sistemas de gestión ambiental proveen una forma sistemática e integradora de revisar y mejorar las actividades u operaciones de una empresa o institución, para optimizar su desempeño ambiental. Puede ayudar a estas instituciones públicas o privadas a cumplir sus obligaciones legales, favoreciendo el uso más eficiente de recursos materiales y energéticos; reduciendo así los costos operativos y mejorar su competitividad.

Dentro de estas herramientas, aparecen las normas ISO 14001 que facilitan los medios técnicos para la integración de aspectos ambientales que hacen más efectiva la reducción de impactos ambientales negativos. Para su implementación, la ISO propone el principio de mejora continua del desempeño global de la organización a través de las siguientes etapas: (ISO 14000, 2004)

- ✓ **PLANIFICAR:** Establecer los objetivos ambientales y los procesos necesarios para generar y proporcionar resultados de acuerdo con la política ambiental de la organización.
- ✓ **HACER:** implementar los procesos según lo planificado.
- ✓ **VERIFICAR:** hacer el seguimiento y medir los procesos respecto a la política ambiental, incluidos sus compromisos, objetivos ambientales y criterios operacionales, e informar de sus resultados.
- ✓ **ACTUAR:** emprender acciones para mejorar continuamente.



4.8.1 La Gestión Ambiental en la industria frigorífica

Un actor importante en la materia son las empresas detrás de las industrias, las cuales deben tener incorporadas en su gestión, la responsabilidad en el cuidado del medio ambiente.

Los tratamientos de efluentes líquidos deben estar incluidos dentro de un Plan de Gestión Ambiental (PGA), en donde estarán definidas las políticas ambientales de la empresa. El mayor nivel de la gerencia definirá la política que sea apropiada para la naturaleza, escala, y los impactos ambientales de sus actividades, productos y servicios. Para ello, deberá contar con un programa auditable, donde la organización hacen una descripción de los recursos ambientales del área de influencia del establecimiento y una descripción de los procesos y actividades desarrolladas con verificación del encuadre legal ambiental de residuos sólidos y semisólidos, efluentes líquidos, emisiones gaseosas, etc. generados (Portillo, 2014).

Como así también, deberá haber una planificación que hará hincapié en los requerimientos legales. Por último, tenemos la implementación y operación, para lo cual es importante el compromiso de todos los empleados de la organización, lo cual involucra capacitación y entrenamiento relacionados. Todo personal cuyo trabajo puede originar un impacto significativo sobre el medio ambiente debe recibir un entrenamiento adecuado (entrenamiento, conciencia y competencia), instruyéndolos acerca de los impactos ambientales significativos, reales o potenciales, derivados de sus actividades laborales, y los beneficios ambientales surgidos de una mejora de su desempeño personal.

Dentro de lo que es un proceso productivo con mejoramiento continuo, debe destacarse el rol de las comunicaciones, tanto internas como externas, estas últimas dirigidas a la comunidad circundante, así como de clientes y proveedores. En lo que respecta a las comunicaciones internas, es fundamental que los empleados de la industria sean informados sobre la política definida por la gerencia (ISO 14001, 2015).

La organización deberá contar con un manual de gestión ambiental, que contendrá los objetivos y las metas ambientales perseguidas, las posibles condiciones de operaciones ambientales, incidentes, accidentes y las situaciones de emergencia potenciales, con las correspondientes instrucciones de procedimientos y los planes de emergencias establecidos. En síntesis, la historia ambiental de la organización abarcando desde la política de la misma,

pasando por la planificación e implementación, hasta la ocurrencia de emergencias y acciones correctivas (Secretaría de Agricultura, 2002).

Estos parámetros forman parte de las reglamentaciones a cumplir y por otra parte se asemejan en mucho a los parámetros de la norma ISO 14000 que están incluidos en la gestión ambiental en la industria cárnica de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (2002). Si bien las normas ISO son de aplicación voluntaria, los gobiernos pueden definir acciones para que su implementación sea obligatoria. De todas maneras, la implementación de la norma no asegura por sí misma resultados ambientales óptimos.

4.8.2 Buenas Prácticas Ambientales

Las Buenas Prácticas Ambientales (BPA) consisten en un conjunto de medidas y acciones muy eficaces, que actúan tanto en forma preventiva, así como también sobre la organización y el tratamiento de los aspectos involucrados en el proceso productivo (consumos, emisiones, residuos, uso de los recursos naturales, etc.) para la mejora ambiental de una empresa. Se basan en la realización de una serie de acciones, reduciendo las pérdidas sistemáticas o accidentales de materiales, en sus distintas formas de contaminantes (residuos, emisiones o vertidos). De esta manera, gestionando los aspectos ambientales se reducen las “externalidades negativas” y se disminuyen los costos del proceso productivo, sin comprometer la calidad del producto (CIMPAR, 2013).

4.8.2.1 Objetivos de las BPA

Los objetivos de las buenas prácticas ambientales son mejorar el desempeño ambiental de la empresa a través de la:

- Reducción del consumo de recursos naturales: agua, energía eléctrica y gas.
- Reducción de las emisiones a la atmósfera, al suelo y a los cursos de agua.
- Reutilización y reciclado de materiales.

4.8.2.2 Beneficios de la BPA

Entre los beneficios de las buenas prácticas ambientales, se destacan:

- Minimizan la afectación al entorno.
- Favorecen el cumplimiento legal.
- Mejoran las condiciones de seguridad personal y con el entorno.
- Mejoran la imagen ambiental de la empresa frente a la población.
- Reducen los costos.

4.8.3 Alcance del PGA

Los alcances del plan de gestión ambiental son: asegurar el cumplimiento de las medidas de mitigación y monitoreo, garantizar el cumplimiento de las disposiciones legales, recomendar medidas correctivas para situaciones imprevistas y garantizar el suministro de información de autoridades competentes.

4.9 Marco Legal

En este apartado se trata el marco legal relativo al Ambiente en general y a la Gestión integral de residuos industriales y actividades de servicios, partiendo desde el ámbito constitucional nacional y abarcando normativas específicas de jurisdicción nacional, provincial y municipal.

Se citarán también tanto las normas de orden general en cuanto a la cuestión ambiental, así como las específicas sobre los efluentes líquidos industriales y actividades de servicios, y las que actúan como complementarias.

Para cada norma, se ha realizado una transcripción parcial de la misma, explicitando los artículos y anexos de mayor relevancia.

4.9.1 Constitución Nacional

Las reformas del año 1994 al texto de la Constitución Nacional, incorporan, a través del artículo 41, varias disposiciones sobre la cuestión ambiental en una acepción conceptual amplia, ya que refieren al derecho de todo ciudadano a un ambiente sano y apto para el desarrollo humano y las actividades productivas necesarias para la vida humana, sin que se comprometa la calidad del ambiente para las generaciones futuras.

Así, tras dicha reforma, se incorpora en el Capítulo Segundo –“Nuevos derechos y garantías” - de la Primera Parte, el artículo 41 que prevé: "Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambiental. Corresponde a la Nación dictar normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos".

Es decir que la tutela ambiental se establece en el Art. 41 de la Constitución Nacional a partir de la reforma del año 1994, reconociendo como derecho básico a los habitantes el gozar de un ambiente sano y a partir del cual se establece en forma expresa la protección del ambiente. Este artículo también se introduce el importante concepto de “Presupuestos Mínimos de Protección”.

Así, la Constitución Nacional, establece que se debe asegurar un “umbral mínimo” en la calidad del ambiente en todo el territorio nacional, para todos sus habitantes y sin distinción entre regiones y provincias. Las leyes de presupuestos mínimos rigen en todo el territorio y prevalecen ante cualquier norma provincial, municipal y/o resolución de todo órgano administrativo que se oponga a sus principios y disposiciones.

El artículo 43 de la Constitución Nacional dispone que la acción de amparo podrá ser ejercida en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente, por tres categorías de sujetos: los particulares afectados, el defensor del pueblo y las asociaciones constituidas para la defensa

de aquellos derechos, siempre que su organización y registro se adecuen a la legislación reglamentaria.

Asimismo, en el Art. 124 de la Constitución Nacional se reconoce el dominio originario de las Provincias sobre los recursos naturales existentes dentro de su territorio, el cual otorga a las Provincias el “poder de policía” sobre sus recursos naturales.

4.9.2 Legislación Nacional

A partir de los lineamientos establecidos en la Constitución Nacional y en los tratados internacionales ratificados sobre la protección del medioambiente, la Argentina cuenta con leyes nacionales que regulan diversos aspectos relacionados en la temática, entre las que cabe destacar las siguientes:

Ley N° 25.675/02. Ley General del Ambiente

Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. La política ambiental argentina está sujeta al cumplimiento de los siguientes principios: de congruencia, de prevención, precautorio, de equidad intergeneracional, de progresividad, de responsabilidad, de subsidiariedad, de sustentabilidad, de solidaridad y de cooperación. Reglamenta estudios de impacto ambiental (EIA) frente a la realización de obras o actividades que puedan degradar el ambiente o afectar la calidad de vida de la población.

La Ley General del Ambiente constituye la principal norma de presupuestos mínimos a nivel nacional. La misma establece la base o estándar mínimo que deberá ser adoptado por la legislación local, ya sea las provincias o los municipios.

Ley N° 25.612/02. Ley de Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios

Las disposiciones de la presente ley establecen los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional, y sean derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.

Los objetivos de la presente ley son los siguientes:

- a) Garantizar la preservación ambiental, la protección de los recursos naturales, la calidad de vida de la población, la conservación de la biodiversidad, y el equilibrio de los ecosistemas;
- b) Minimizar los riesgos potenciales de los residuos en todas las etapas de la gestión integral;
- c) Reducir la cantidad de los residuos que se generan;
- d) Promover la utilización y transferencia de tecnologías limpias y adecuadas para la preservación ambiental y el desarrollo sustentable;
- e) Promover la cesación de los vertidos riesgosos para el ambiente.

Ley N° 25.688/03. Régimen de Gestión Ambiental de Aguas

Establece los presupuestos mínimos ambientales para: la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional; la utilización de las aguas; las cuencas hídricas superficiales, y los comités de cuencas hídricas.

Ley N° 25.831/04. Régimen de Libre Acceso a la Información Pública Ambiental

Garantiza el derecho de acceso a la información ambiental que se encuentre en poder del Estado, tanto en el ámbito nacional como provincial, municipal y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, como así también de entes autárquicos y empresas prestadoras de servicios públicos, sean públicas, privadas o mixtas.

Se entiende por información ambiental toda aquella información en cualquier forma de expresión o soporte relacionada con el ambiente, los recursos naturales o culturales y el desarrollo sustentable. En particular: a) El estado del ambiente o alguno de sus componentes naturales o culturales, incluidas sus interacciones recíprocas, así como las actividades y obras que los afecten o puedan afectarlos significativamente; b) Las políticas, planes, programas y acciones referidas a la gestión del ambiente. El acceso a la información ambiental será libre y gratuito para toda persona física o jurídica, a excepción de aquellos gastos vinculados con los recursos utilizados para la entrega de la información solicitada. Para acceder a la información ambiental no será necesario acreditar razones ni interés determinado. Sujetos obligados: Las autoridades competentes de los organismos públicos, y los titulares de las empresas prestadoras de servicios públicos, sean públicas, privadas o mixtas, están obligados a facilitar la información ambiental requerida en las condiciones establecidas por la presente ley y su reglamentación.

Ley N° 24.051/92. Residuos peligrosos – Decreto reglamentario 831/93

Establece el control de la descarga de sustancias peligrosas a los recursos hídricos y al aire, estableciendo niveles máximos de concentración admitidas de diversos contaminantes.

Decreto N° 674/89 (reglamentación Ley 13.577, OSN). Recursos Hídricos

Establece un régimen general de protección de las aguas, incluyendo el concepto de calidad. Solo comprende establecimientos de tipos industriales y especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos o barros originados por la depuración de aquellos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua. Es importante destacar que la norma define establecimientos especiales como aquellos que, en sus operaciones de fraccionamiento, manipuleo o limpieza de artículos y materiales, no produciendo ningún tipo de transformación en su esencia, evacuen vertidos.

Resolución N° 097/01- Efluentes Líquidos. Manejo sustentable de barros generados

Reglamento del Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente para el manejo sustentable de barros generados en plantas de tratamiento de efluentes líquidos. Su ámbito de aplicación está restringido a las áreas de prestación de servicios de agua y cloacas concesionadas por el gobierno nacional.

Establece el uso de barros “como abonos o enmiendas en cultivos extensivos e intensivos y en pasturas naturales y cultivadas”.

Aplica el concepto de “dosis anual completa de barro a añadir para cada uno de los contaminantes” (procedimiento básico para el cálculo de dosis de enmienda).

4.9.3 Legislación Provincial

Constitución de la Provincia de Entre Ríos

La Constitución de Entre Ríos en su artículo 22 establece que “todos los habitantes gozan del derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado, apto para el desarrollo humano, donde las actividades sean compatibles con el desarrollo sustentable, para mejorar la calidad de vida y satisfacer las necesidades presentes, sin comprometer la de las generaciones futuras. Tienen el deber de preservarlo y mejorarlo, como patrimonio común.

En su artículo 83, el Estado fija la política ambiental y garantiza la aplicación de los principios de sustentabilidad, precaución, equidad intergeneracional, prevención, utilización racional, progresividad y responsabilidad. El poder de policía en la materia será de competencia concurrente entre la Provincia, municipios y comunas.

En el artículo 240 dispone que los municipios de la Provincia tienen la competencia de ejercer el “poder de policía y funciones” respecto a la protección del ambiente, del equilibrio ecológico y la estética paisajística. Podrán ejercer acciones de protección ambiental más allá de sus límites territoriales, en tanto se estén afectando o puedan afectarse los intereses locales.

Ley N° 6260/91. Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por parte de las Industrias

La Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, a tomar en cuenta por parte de las industrias radicadas o a radicarse en el Provincia de Entre Ríos, tiene como objeto establecer criterios y exigencias sobre la localización, construcción, instalación, equipamiento y funcionamiento a reunir por los establecimientos industriales para prevenir la contaminación del medio ambiente, garantizando la preservación del mismo y el control por parte del Estado. Es de cumplimiento **obligatorio** por parte de las industrias radicadas o a radicarse en el territorio provincial.

Decreto Reglamentario N° 5837/91 MBSCE

El presente decreto reglamentario establece, de acuerdo a los lineamientos de la ley 6260, las disposiciones comunes, tanto en lo que hace a obligaciones como a procedimientos a que deberán adecuarse todos los establecimientos industriales a instalarse y los ya instalados en la Provincia de Entre Ríos, con el fin de prevenir y controlar la contaminación ambiental.

La norma complementaria sobre efluentes líquidos (Anexo I) detalla, de acuerdo a lo estipulado en el artículo 20° de la Ley 6260, los valores máximos de los distintos parámetros de contaminación que se admitirán en los efluentes líquidos de establecimientos industriales.

Decreto N° 4977/09. Ley General del Ambiente. Evaluación de impacto ambiental

En el artículo 2, establece que ningún emprendimiento o actividad que requiera de un Estudio de Impacto Ambiental (ESIA) podrá iniciarse hasta tener el mismo aprobado, por la Autoridad de Aplicación.

Establece la necesidad de efectuar Estudios de Impacto Ambiental para las actividades antrópicas, a los efectos de predecir razonablemente los impactos adversos que se generen sobre el medio ambiente. Define como autoridad de aplicación a la Secretaría de Ambiente de Entre

Ríos, la cual procederá a la categorización de los emprendimientos o actividades, estableciendo distintos requerimientos en función de la categoría asignada.

Decreto N° 3498/16. Modificación del Decreto 4977/09

En virtud de la autonomía reconocida constitucionalmente a los municipios en la provincia en el artículo 83 de la Constitución Provincial, concordante con el artículo 41 CN., conlleva a que los mismos ejerzan sus atribuciones en pos del desarrollo local sostenible y la mejora de la calidad de vida de su población, con independencia de todo otro poder.

A los fines de evitar superposición de trámites administrativos donde se evalúan parámetros y conceptos ambientales semejantes, se evidencia la necesidad de que sea el estado municipal el que evalúe los impactos ambientales y otorgue las habilitaciones de cada actividad y/o emprendimientos que se realicen dentro de sus jurisdicciones.

En el artículo 1 establece, que la Provincia y las municipalidades emitirán el Certificado de Aptitud Ambiental en sus respectivas jurisdicciones, debiéndose iniciar el trámite correspondiente ante la Secretaría de Ambiente en las condiciones establecidas en el Decreto N°4977/09 GOB y sus modificatorias.

4.9.4 Legislación Municipal

Ordenanza municipal N° 0028/2000 – Ordenanza General del Ambiente de Oro Verde

Esta Ordenanza procura dotar a los ciudadanos y al Estado Municipal de los instrumentos necesarios para conseguir un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. El Estado Municipal, mediante su aplicación pretende defender y preservar ese derecho, en busca de un mayor bienestar para todos los habitantes de Oro Verde.

El objeto de esta ordenanza es la de brindar herramientas para proteger y mejorar el ambiente; fomentar la participación activa y organizada de los ciudadanos de Oro Verde en la toma de decisiones y acciones tendientes al cuidado y mejoras del medio ambiente. Además, garantizar la educación e investigación ambiental, con la inclusión permanente de la variable ambiental en los procesos educativos, formales y no formales de todos los niveles.

Desde el punto de vista del ordenamiento territorial sostenible, pretende ubicar en forma óptima las actividades productivas, los asentamientos humanos, las zonas de uso público y recreativo, las áreas silvestres y otras obras vitales de infraestructura, como unidades energéticas y zonas de riesgo y avenamiento.

Ordenanza N° 35/06. Convenio Municipio de Oro Verde – Frigorífico Alberdi S.A

Esta ordenanza Municipal autoriza al Presidente Municipal a suscribir el convenio con el Frigorífico Alberdi S.A para iniciar los estudios y trámites para el traslado de las Lagunas de tratamientos de sus efluentes industriales a un predio rural municipal.

Resolución N° 78/18. Intimación a la empresa Frigorífico Alberdi S.A

A través de esta resolución, el presidente Municipal de Oro Verde, intimó a la firma Frigorífico Alberdi S.A a cumplir con las tareas de mantenimiento en los sistemas de los efluentes y sistema general, hasta tanto sea reemplazado por el que oportunamente se apruebe para el tratamiento definitivo de los mismos.

Resolución N° 45/19. Postergación del Certificado de Aptitud Ambiental al Frigorífico Alberdi S.A

A través de esta resolución, el presidente Municipal de Oro Verde, postergó la emisión del Certificado de Aptitud Ambiental al Frigorífico Alberdi S.A, hasta tanto la firma efectúe las tareas de mantenimiento que disminuyas a la mínima expresión el impacto medioambiental negativo y, a la par presente una propuesta integral, específica y adecuada que permita evaluarse y/o complementarse con las proposiciones que pudieran efectuar las áreas de incumbencias del Municipio al momento de aceptar o no la misma.

Resolución N° 80/19. Otorgamiento del Certificado de Aptitud Ambiental al Frigorífico Alberdi S.A

En el artículo 1 de esta resolución, el presidente Municipal de Oro Verde, otorga el Certificado de Aptitud Ambiental al establecimiento industrial de la firma Frigorífico Alberdi S.A, por el periodo octubre 2019/octubre 2020.

Capítulo 5: Diseño Metodológico

5.1 Recolección y análisis de información en entidades pertinentes

En esta fase se recolectaron todos los datos necesarios sobre las características del efluente líquido a la entrada y a la salida de la planta de tratamiento de los efluentes del Frigorífico Alberdi, con ayuda de entidades públicas como la Secretaría de Ambiente Provincial y el Municipio de Oro Verde. Como así también se recolectó toda la información y datos sobre los procesos y los análisis físicos-químicos que disponía el Frigorífico.

Con todos los datos aportados, se realizó el análisis de la información, comparando los resultados de vertido con la legislación vigente y analizando si cada proceso estaba funcionando como corresponde.

5.2 Diagnóstico del sistema de tratamiento actual

Se realizaron varias visitas de campo al Frigorífico Alberdi, donde se obtuvo la información sobre las condiciones actuales y características físicas de las estructuras correspondientes al sistema de tratamiento de los efluentes líquidos. Para el diagnóstico se identificó el actual manejo de aguas residuales provenientes del faenado, la descripción de los efluentes, los volúmenes generados y los tratamientos empleados, sustentado con análisis físicos-químicos y evidencia fotográfica.

Este diagnóstico está basado en la información primaria recolectada en las visitas de campo, informes y análisis de laboratorio entregados por las entidades públicas y el frigorífico en los últimos años, realizando una comparación con el decreto 5837 de la Ley 6260 para los parámetros y límites permitidos para vuelcos a cuerpos de aguas superficiales.

Como actividad del relevamiento del sistema actual, se seleccionó el tipo de muestreo, la elección de los puntos de extracción y los parámetros a muestrear. Además, se evaluaron los resultados de los análisis físico-químicos.

5.3 Propuesta de mejora y optimización

Según los resultados obtenidos en el diagnóstico de la planta de tratamientos de los efluentes líquidos del FASA, se identificaron las mejoras y optimización del sistema, ya sea manteniendo las mismas estructuras o modificando parte de los procesos en el tratamiento del agua residual de la producción del frigorífico.

5.4 Alternativas de tratamientos

Se propusieron y evaluaron diferentes alternativas de tratamientos, donde se tuvo en cuenta las estructuras que se deben cambiar o en tal caso la modificación de las ya existentes, según se decida, con el fin de cumplir con los parámetros de diseño establecidos por las normativas vigentes y así mismo los valores límites permitidos para el vertido según el decreto 5837.

Entre las propuestas se analizaron el tratamiento con reactores anaeróbicos, los tratamientos con equipos de flotación (DAF, IAF y CAF) y el tratamiento con humedales artificiales. Además, se detectaron las ventajas e inconvenientes de las diferentes alternativas a través de análisis técnicos, económicos y de eficiencia.

5.5 Propuesta de un Plan de Gestión Ambiental

A través de lo observado en el diagnóstico, se diseñó un plan de gestión ambiental (PGA) para los efluentes líquidos de la planta de faena del FASA, que incluya herramientas de monitoreo y control en la gestión integral de los efluentes líquidos del frigorífico. El PGA incluye guías de buenas prácticas ambientales (BPA), programas sobre aspectos específicos de la industria, detección de potenciales impactos, medidas de mitigación, remediación y/o compensación.

5.6 Recomendaciones y conclusiones

Por último, se plantean algunas conclusiones y recomendaciones a partir de la información adquirida y los resultados obtenidos, donde se describen y comparan las posibles propuestas para la gestión integral de los efluentes líquidos del FASA; y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Capítulo 6: Resultados

6.1 Análisis de la información recolectada

Para analizar la actual planta de tratamiento de los efluentes, es fundamental tener en cuenta los parámetros físico-químicos de la calidad del efluente, para esto se analizaron la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites, pH, temperatura y conductividad eléctrica. La información fue suministrada por la Secretaria de Ambiente Provincial, el Municipio de Oro Verde y el frigorífico, correspondiente a los años donde se hayan presentado informes técnicos y valores de los análisis de entrada y salida del sistema de tratamiento.

En la Provincia de Entre Ríos, los valores máximos de los distintos parámetros de contaminación que se admiten en los efluentes líquidos de establecimientos industriales, esta normada a través del decreto reglamentario N° 5837 de la Ley N° 6260 de Prevención y Control de la Contaminación por parte de la Industria (Anexo I).

6.1.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la tabla 6, se presentan los valores de entrada y salida de DQO (método SM 5220 B), entre los años 2015 y 2020. Según la reglamentación correspondiente y valores aplicados al frigorífico, la demanda química de oxígeno a la salida del sistema (previo al vuelco) debe ser menor a 250 mg de O₂/L.

Tabla 6: Valores de entrada, salida y eficiencia de DQO.
Fuente: Municipio de Oro Verde. Exp: 167/16.

DQO (mg de O ₂ /L)			
Mes/Año	Entrada	Salida	% Eficiencia
Junio/15	3.000	800	73,33
Junio/16	No presenta	No presenta	No verificable
Septiembre/18	4.000	2.200	45,00
Diciembre/19	4.608	500	89,14
Abril/20	5.930	310	94,77

Si bien en algunos casos se observa una importante reducción de la carga de contaminantes expresada en los valores de DQO y sus eficiencias, en todos los casos no se cumplimenta con la normativa vigente que exige valores inferiores a 250 mg de O₂/L.

6.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En la tabla 7, se presentan los valores de entrada y salida de DBO₅ (método SM 5210 B), entre los años 2015 y 2020. Según la reglamentación correspondiente y valores aplicados al frigorífico, la demanda biológica de oxígeno a la salida del sistema (previo al vuelco) debe ser menor a 50 mg de O₂/L.

Tabla 7: Valores entrada, salida y eficiencia de DBO₅.
Fuente: Municipio de Oro Verde. Exp: 167/16.

DBO ₅ (mg de O ₂ /L)			
Mes/Año	Entrada	Salida	% Eficiencia
Junio/15	1.800	780	56,66
Junio/16	1.100	400	63,63
Septiembre/18	1.430	265	81,46
Diciembre/19	3.310	1.056	68,09

Abril/20	2.700	130	95,18
----------	-------	-----	-------

Si bien en algunos casos se observa una importante reducción de la carga de contaminantes expresada en los valores de DBO₅ y sus eficiencias, en todos los casos no se cumplimenta con la normativa vigente que exige valores inferiores a 50 mg de O₂/L.

6.1.3 Potencial hidrógeno (pH)

En la tabla 8, se presentan los valores de entrada y salida del pH (método SM 4500), entre los años 2015 y 2020. Según la reglamentación correspondiente y valores aplicados al frigorífico, el pH a la salida del sistema (previo al vuelco) debe estar entre 5,5 y 10.

Tabla 8: Valores entrada y salida del pH.
Fuente: Municipio de Oro Verde. Exp: 167/16.

PH		
Mes/Año	Entrada	Salida
Junio/15	7,00	6,93
Junio/16	7,97	7,60
Septiembre/18	7,20	7,08
Diciembre/19	7,70	7,80
Abril/20	7,05	7,68

El pH se mantuvo estable durante todos los periodos analizados, cumplimentando con la normativa vigente.

6.1.4 Sólidos sedimentables en 10 minutos

En la tabla 9, se presentan los valores de entrada y salida de los Sólidos Sedimentables en 10 minutos (método SM 2540 F), entre los años 2015 y 2020. Según la reglamentación correspondiente y valores aplicados al frigorífico, los Sólidos Sedimentables en 10 minutos a la salida del sistema (previo al vuelco) debe ser menor a 5,0 ml/l.

Tabla 9: Valores entrada, salida y eficiencia de Sólidos Sedimentables en 10 min.
Fuente: Municipio de Oro Verde. Exp: 167/16.

Sólidos Sedimentables en 10 min. (ml/l)			
Mes/Año	Entrada	Salida	% Eficiencia
Junio/15	>100	1	> 99
Junio/16	13	0,05	99,61
Septiembre/18	70	7(*)	90,00
Diciembre/19	21	0,1	99,52
Abril/20	80	0,1	99,87

Los Sólidos Sedimentables en 10 minutos se mantuvieron dentro de los valores permitidos por la normativa vigente excepto en el periodo de septiembre de 2018, que supero en 2 puntos el valor permitido (*).

6.1.5 Sólidos sedimentables en 2 horas

En la tabla 10, se presentan los valores de entrada y salida de los Sólidos Sedimentables en 2 horas (método SM 2540 F), entre los años 2015 y 2020. Según la reglamentación correspondiente y valores aplicados al frigorífico, los Sólidos Sedimentables en 2 horas a la salida del sistema (previo al vuelco) debe ser menor a 30,0 ml/l.

Tabla 10: Valores entrada, salida y eficiencia de Sólidos Sedimentables en 2 horas.
Fuente: Municipio de Oro Verde. Exp: 167/16.

Sólidos Sedimentables en 2 horas (ml/l)			
Mes/Año	Entrada	Salida	% Eficiencia
Junio/15	>100	3	> 97
Junio/16	15	0,05	99,66
Septiembre/18	60	14	76,66
Diciembre/19	27	0,1	99,62
Abril/20	80	1,5	98,12

Los Sólidos Sedimentables en 2 horas se mantuvieron dentro de los valores permitidos por la normativa vigente durante todo el periodo analizado.

6.1.6 Sustancias Solubles en Éter Etílico

En la tabla 11, se presentan los valores de entrada y salida de las sustancias solubles en éter etílico (método SM 5520 B), entre los años 2015 y 2020. Según la reglamentación correspondiente y valores aplicados al frigorífico, la sustancia soluble en éter a la salida del sistema (previo al vuelco) debe ser menor a 100,0 mg/l.

Tabla 11: Valores entrada, salida y eficiencia de Sustancia solubles en Éter Etílico.
Fuente: Municipio de Oro Verde. Exp: 167/16.

Sustancias solubles en Éter Etílico (mg/l)			
Mes/Año	Entrada	Salida	% Eficiencia
Junio/15	>7.000	516	> 92,62
Junio/16	412	10	97,57
Septiembre/18	456	130	71,49
Diciembre/19	No presenta	No presenta	No verificable
Abril/20	600	60	90,00

6.2 Relevamiento del sistema actual

6.2.1 Descripción general del efluente líquido

6.2.1.1 Suministro de agua

Según la información suministrada por la empresa, el agua que se utiliza en todos los procesos productivos de la planta tiene su origen en estratos acuíferos a los cuales se accede por medio de 2 perforaciones (pozos), que se encuentran distribuidos dentro del perímetro de la fábrica. Estos pozos tienen una profundidad de 120 metros y una capacidad de extracción de 100.000 l/h cada uno. Esto permite aportar 200.000 l/h, de ser necesario y destinado a las necesidades varias de la planta.

Para la distribución del agua desde las capas profundas de donde es captada, hasta las instalaciones de distribución en la planta se utilizan electrobombas sumergibles blindadas, cañerías de acero galvanizado y de PVC, tanques cerrados, tratando de preservar la pureza inicial del fluido extraído.

6.2.1.2 Efluentes cloacales

Los líquidos sanitarios o efluentes sanitarios, generados por el desenvolvimiento normal de los operarios en baños y vestuarios, son conducidos en líneas de PVC sanitario y derivados al sistema final de tratamiento cloacal municipal.

6.2.1.3 Efluentes líquidos de producción

Caracterización del efluente líquido a generar

El efluente crudo presenta una coloración rojiza, turbio y con sólidos en suspensión. Los constituyentes del efluente líquido crudo, son principalmente orgánicos, su mayor constituyente es el agua de lavado. Entre sus componentes más comunes se encuentran restos de sangre, grasa de diferentes características, restos de tejido muscular (carne), resto de bosta y orina provenientes del lavado de los corrales y las jaulas de los camiones, entre otros.

Como se pudo observar con la información recolectada, los análisis fisicoquímicos previos indican valores elevados de DBO₅ (como indicador indirecto de carga orgánica o nutrientes biodegradables), y además muy variables dependiendo en gran medida de la adecuada tarea de recolección de sangre en el proceso de degollado. Además, se pueden obtener altos valores de sustancias solubles en éter etílico (SSEE) comúnmente llamadas grasas/aceites, los valores de concentración de iones de hidrógenos (pH) varían según el momento de la faena, pero se acercan a la neutralidad, aunque dependen de los productos utilizados para desinfección y limpieza y del caudal del agua utilizado (efecto dilución).

Dentro de la planta se generan tres corrientes líquidas con características diferentes, una es la denominada “línea roja” formada por los efluentes generados en la zona de sacrificio y playa de faena, otra es la denominada “línea verde” del lavado de corrales y la “verde” de faena, los que son conducidos por ductos independientes.

Efluentes líquidos de la línea roja

Estos efluentes contienen sangre, procedentes principalmente de la playa de faena y sus anexos. La primera acción determinante para la cantidad y calidad final del afluente a tratar es la adecuada captación de la sangre, a fin de disminuir los valores de DBO del efluente final y además obtener un subproducto, buscado en el mercado. Sobre este punto la empresa trabaja en dos captaciones, la que se realiza en una batea de acero inoxidable denominada “sangre de primera” y que es la de mayor volumen y generada en el momento del degüello, la que es derivada con agregados de anticoagulantes hacia un tanque de acero inoxidable y comercializada como subproducto para uso industrial (Foto 1).



Foto 1: Captación y acumulación de sangre de primera

Además, se tiene sangre denominada de segunda, que es la recogida durante el proceso de desangrado continuo fuera de la batea de degüello. Como se puede observar en la Foto 2, esta es captada por medio de una canaleta de colocación manual durante el tiempo de degollado, derivada a un pozo de acumulación y es recolectada por terceros como sangre para uso industrial

(no se comercializa). Luego, en el periodo de lavado de la batea y limpieza del lugar, la canaleta es retirada y el efluente generado es conducido hacia el sistema de tratamiento.



Foto 2: Captación y acumulación de sangre de segunda

El efluente de la línea roja que ingresa al sistema de tratamiento, proviene de la limpieza de la zona de matanza, lavado de las tolvas de captación y lavado de las playas de faena donde se pueden observar doble rejillas de retención de grasas (Foto 3).



Foto 3: Captación y circulación de efluentes de lavado en zona de faena

Efluentes líquidos de la línea verde

Estos efluentes son generados por dos corrientes líquidas, la denominada “línea verde” provenientes de los corrales, mangas de descarga del ganado, calles de circulación del mismo, lavado de las jaulas de los camiones, compuesto principalmente por orín y estiércol de los animales estabulados; y los efluentes “verdes de faena” provenientes del rumen, los que son recolectados por canaletas y ductos independiente y se distribuyen por gravedad hasta llegar al sistema de pre-tratamiento.



Foto 4: Generación de efluentes en corrales y lavado de camiones jaulas

Detergentes y productos de desinfección

Los distintos productos de limpieza y desinfección que se utilizan en las tareas diarias, son autorizados por SENASA. Los insumos necesarios y consumos estimados son los siguientes:

- Cloro: 15 l/día
- Divosan (Ácido Peracético): 3 l/mes
- Detergente en polvo: 10 kg/día
- Detergente en espuma: 5 kg/día
- Floorclean: 6 l/día
- Baun-n (roldanas): solución preparada que se renueva 1 vez al mes

6.2.2 Volúmenes generados

A fin de iniciar la justificación y relevamiento del sistema de tratamiento de los efluentes líquidos, se toma como base los efluentes generados por la faena promedio de 600 animales diarios. El consumo de agua asumido, para el proceso de faena es de $1,5 \text{ m}^3/\text{animal}$. Por lo que, el consumo diario de agua para faena, se estima entre 900 y $1.000 \text{ m}^3/\text{día}$.

Una estimación del caudal del efluente líquido, considerando que entre el 5% - 10% del agua utilizada, se pierde en el proceso productivo (humedad de paredes, pisos, elementos, evaporación y demás), y no derivan al sistema de tratamiento. Adoptando una pérdida de 6,7% nos lleva a un caudal medio diario final de efluente de $752 \text{ m}^3/\text{d}$, lo que representa para 8 horas de trabajo, un caudal medio de $94 \text{ m}^3/\text{h}$ (este valor puede ser fluctuante y dependiente del plan de faena).

El destino de los efluentes líquidos tratados en la actualidad, como puede observarse en la figura 16, es el Arroyo Paracao.



Figura 16: Ubicación del sistema de tratamiento primario y secundario

6.2.3 Tratamientos y localización de los mismos

Como se dijo anteriormente, la primera acción para determinar la calidad final del afluente a tratar es la adecuada captación de la sangre de primera y segunda, a fin de disminuir los valores de DBO del efluente final. Por lo tanto, la sangre denominada de primera y segunda calidad no ingresan al sistema de tratamiento de los efluentes que se analizan en este proyecto.

Por otra parte, el efluente líquido generado por la limpieza de bateas, de los puestos de trabajo y las herramientas utilizadas en el área de faena (línea roja); y las corrientes de la “línea verde” y “verde de faena”, son conducidos por ductos independientes por gravedad hasta el pozo ecualizador (sistema de pre-tratamiento).

6.2.3.1 Sistema de Pre-tratamiento

Reja de desbaste:

Es el primer proceso al que se someten los residuos líquidos. El efluente de las corrientes rojas y verdes, previo al ingreso en el pozo ecualizador pasa en forma conjunta en un sistema de reja de desbaste, el cual consiste en un canal de 0,40 m de ancho y 0,70 m de profundidad.

La reja propiamente dicha tiene un espesor de 0,003 m y una separación de 0,035 m, con una pendiente de 45°. A través de la misma, se retienen (retirados manualmente) los sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las etapas futuras del tratamiento. Este proceso tiene como objetivo evitar atascos y deterioros en la bomba de impulsión, disminuir la generación de olores desagradables y evitar el desbalance en la operación del sistema de tratamiento.



Foto 5: Canal de ingreso y reja de pre-tratamiento

Pozo ecualizador y bomba:

Al pasar la reja, el efluente ingresa al pozo ecualizador, el que posee un diámetro de 2,6 metros y un volumen de 13,3 m³. Una vez en el pozo ecualizador, el efluente es elevado mediante bombeo a una zaranda estática de entrada doble.

El sistema dispone de una bomba de succión/elevación autocebante, GRUNDFOS modelo NK para un caudal máximo de 205 m³/h, accionada por un motor eléctrico de 8 HP a 1.500 rpm, con cañería de aspiración de 0,06 m y cañería doble de impulsión de 0,06 m de diámetro cada una. El sistema automatizado está dotado de controlador de nivel, que controlan el accionamiento de la bomba.

Tamiz o zaranda estática separador de estiércol:

El efluente del pozo de bombeo es conducido a una plataforma elevada sobre la que está instalada una zaranda o tamiz estática tipo NAHUELCO para separación del estiércol, descargando el mismo sobre un contenedor para su disposición fuera del establecimiento.

El tamiz estático de 1,9 m de ancho por 2,3 m de alto, está construido con una malla de acero inoxidable 304, con una forma curva dado por una parábola, que permite retardar la caída del residuo líquido. La geometría de sus varillas, rechaza las partículas, dejando pasar el agua a través de las aberturas de la malla, separando así lo sólidos, que cae por sobre la malla hasta un contenedor ubicado en la parte inferior del equipo.

El líquido percolado, es conducido a través de una cañería de PVC cerrada de 0,3 m de diámetro de descarga por gravedad hasta el sistema de separación de grasas y sólidos

sedimentables (sistema de tratamiento primario), ubicado en un predio a unos 900-950 metros de la planta.



Foto 6: Pozo ecualizador, bomba de elevación y zaranda estática

6.2.3.2 Sistema de tratamiento primario

Sedimentador y separador de grasa:

Consiste en un sistema de dos etapas de sedimentación (piletas de hormigón); la primera de 2,25 m de ancho, 23,22 m de largo y 1,5 m de profundidad, y la segunda de 4,1 m de ancho, 12,1 m de largo y 1,5 m de profundidad, donde se separan una cantidad importante de los sólidos suspendidos, contenidos en las aguas residuales (Fotos 7 y 8). Estos sólidos suspendidos son retirados en forma manual como barro o dispuestos para su secado. El objetivo en este sistema es separar las partículas que aún quedan en suspensión coloidal en el efluente, formando agregados de mayor volumen y peso, que favorecen la separación de los mismos.

Una vez retirados los sólidos grasos en forma manual, el líquido ingresa al sistema de lagunas (tratamiento secundario).



Foto 7: Ingreso al tratamiento primario, primera etapa de sedimentación.



Foto 8: Segunda etapa de sedimentación, salida del tratamiento primario.

6.2.3.3 Sistema de tratamiento secundario

Procesos en lagunas:

Luego de la separación de los sólidos grasos suspendidos, el efluente ingresa en paralelo a dos lagunas anaeróbicas, para luego pasar a dos más en serie que, si bien fueron diseñadas inicialmente para ser facultativas, la carga y el caudal que reciben no lo hacen posible.

El propósito de este tratamiento secundario o biológico es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en los residuos líquidos. Consiste en la oxidación biológica de los sólidos suspendidos remanentes y de los sólidos orgánicos disueltos, medida como una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del efluente.

Una vez realizado el tratamiento por lagunas el efluente pasaba por un lecho percolador, que en la actualidad está sin funcionar y mediante un by pass, se vuelca al Arroyo Paracao.



Foto 9: Lagunas anaeróbicas y lecho percolador.

6.3 Toma de muestras y análisis de datos

El plan de muestreo es el instrumento que permite ordenar el trabajo de campo, esto es las actividades de observación, tomas de muestras, medición y análisis.

El objetivo del plan de muestreo es establecer los procedimientos para la selección de los puntos de muestreo, toma de muestras en cuerpos de agua y efluentes, asegurando la calidad

de datos y custodia de las muestras con la finalidad de determinar la calidad y composición de las mismas.

En esta fase se seleccionó el tipo de muestreo, los puntos de extracción, los parámetros a examinar, que permitan a través de los análisis fisicoquímicos determinar las características en la calidad del efluente en los diferentes procesos del sistema.

6.3.1 Selección del tipo de muestreo

Debido a los cambios en el caudal y en las características del efluente en función del tipo de faena y el tiempo de la misma, es que se decidió por el tipo de muestreo compuesto o compensado con respecto al tiempo. Para este tipo de muestreo, se tomaron en el transcurso de 3 horas, tres sub-muestras de igual proporción (2/3 litros), con periodos de 1 hora de diferencia entre cada toma de muestra.

6.3.2 Selección de puntos de extracción y parámetros

6.3.2.1 Puntos de muestreos

Para la elección de los sitios de muestreos, se eligieron los puntos de entrada y salida de todos los procesos involucrados en el sistema actual del tratamiento de los efluentes líquidos. Poder analizar los parámetros en el ingreso y egreso de los procesos, nos permite determinar los rendimientos en el funcionamiento de cada etapa del sistema.

Para la toma de muestra se tuvo en cuenta el protocolo de muestreo, donde se identificó la cadena de custodia, determinado las personas que iban a estar en contacto con las muestras (desde la toma, análisis y eliminación); la identificación y rotulado, con etiquetas adhesivas de identificación, sitio de extracción, fecha y hora. El recipiente fue seleccionado en base a las recomendaciones del laboratorio; la conservación de las muestras se realizó con una conservadora portátil, a fin de evitar alteraciones en las muestras.

Las muestras se obtuvieron de cuatro (4) sitios correspondientes al ingreso al sistema de pre-tratamiento (M1), salida del sistema de pre-tratamiento/ingreso al tratamiento primario (M2), salida del sistema de tratamiento primario/ingreso tratamiento secundario (M3) y salida del sistema de tratamiento secundario (lagunas)/descarga en el arroyo(M4) (Tabla 12).

Tabla 12: Procedencia de las muestras

Sitios	Muestras
M1	Ingreso al sistema de pre-tratamiento
M2	Salida del sistema de pre-tratamiento/Ingreso al tratamiento primario
M3	Salida del sistema de tratamiento primario/Ingreso tratamiento secundario (lagunas)
M4	Salida del sistema de tratamiento secundario (lagunas)/descarga en el arroyo

Las coordenadas de ubicación se encuentran referenciadas en la foto 10.



Sitio 1 (M1): Ingreso al sistema de pre-tratamiento
Coord. S 31°49'44", W 60°31'10"



Sitio 2 (M2): Ingreso al tratamiento primario
Coord. S 31°49'28", W 60°31'38"



Sitio 3 (M3): Salida del sistema de tratamiento primario
Coord. S 31°49'27", W 60°31'39"



Sitio 4 (M4): Descarga en el arroyo
Coord. S 31°49'25", W 60°31'42"

Foto 10: Sitios de muestreo, coordenadas de ubicación.

Los muestreos se realizaron los días 10/12/2019 y 23/04/2020, utilizándose recipientes (balde, embudo y botellas) plásticos. El Líquido recolectado en cada sitio se trasvasó mediante el uso de un embudo plástico, a botellas plásticas de 2 L de capacidad, rotulados y trasladados inmediatamente al laboratorio.

In situ se tomaron medidas de temperatura y pH con un medidor portátil pHmetro Waterproof Tester, marca HANNA (Foto 11).



Foto 11: Equipo de medición in situ y recipientes.

Las muestras se conservaron en una heladera portátil, hasta su traslado al laboratorio para su análisis.

En la tabla 13 se muestran los valores de las mediciones compensadas in situ en los distintos sitios de muestreos. Es relevante aclarar que cuando se realizó la medición el 10 de diciembre de 2019, el frigorífico transcurría en el periodo de faenado en modo Kosher.

Tabla 13: Mediciones in situ diciembre 2019

Muestras Compuestas y Compensadas – Frigorífico Alberdi S.A (10/12/2019)					
Punto de muestreo	Hora	pH	Temperatura de la muestra[°C]	Temperatura Ambiente[°C]	Observaciones
M1.1 (2/3 Lts)	9.45	7,50	30,0	29,0	-
M1.2 (2/3 Lts)	10.45	7,54	31,9	29,0	-
M1.3 (2/3 Lts)	11.45	7,28	32,2	32,0	-
M2.1 (2/3 Lts)	10.00	7,25	30,3	29,0	-
M2.2 (2/3 Lts)	11.00	7,24	30,7	29,0	-
M2.3 (2/3 Lts)	12.00	7,15	30,8	32,0	-
M3.1 (2/3 Lts)	10.15	6,41	29,8	29,0	-
M3.2 (2/3 Lts)	11.15	6,50	30,5	29,0	-
M3.3 (2/3 Lts)	12.15	6,50	30,4	32,0	-
M4.1 (2/3 Lts)	10.30	7,44	27,0	29,0	-
M4.2 (2/3 Lts)	11.30	7,54	27,3	29,0	-
M4.3 (2/3 Lts)	12.30	7,50	28,0	32,0	-

M1: Ingreso al sistema de pre-tratamiento

M2: Salida del sistema de pre-tratamiento/Ingreso al tratamiento primario

M3: Salida del sistema de tratamiento primario/Ingreso tratamiento secundario (lagunas)

M4: Salida del sistema de tratamiento secundario (lagunas)/Ingreso a descarga

En la tabla 14 se muestran los valores de las mediciones compensadas in situ en los distintos sitios de muestreos realizas el 23 de abril de 2020. En este caso, el frigorífico transcurría en el periodo de faenado en modo tradicional.

Tabla 14: Mediciones in situ abril 2020

Muestras Compuestas y Compensadas – Frigorífico Alberdi S.A (23/04/2020)					
Punto de muestreo	Hora	pH	Temperatura de la muestra[°C]	Temperatura Ambiente[°C]	Observaciones
M1.1 (2/3 Lts)	8:15	7,44	26,7	16,0	-
M1.2 (2/3 Lts)	9:15	7,42	27,8	16,0	-
M1.3 (2/3 Lts)	10:15	7,66	26,6	18,0	-

M2.1 (2/3 Lts)	8:30	7,71	25,8	16,0	-
M2.2 (2/3 Lts)	9:30	7,72	25,8	16,0	-
M2.3 (2/3 Lts)	10:30	7,63	27,6	19,0	-
M3.1 (2/3 Lts)	8:45	7,15	26,1	16,0	-
M3.2 (2/3 Lts)	9:45	7,35	25,9	17,0	-
M3.3 (2/3 Lts)	10:45	7,28	26,8	21,0	-
M4.1 (2/3 Lts)	9:00	7,62	20,4	16,0	-
M4.2 (2/3 Lts)	10:00	7,60	20,7	17,0	-
M4.3 (2/3 Lts)	11:00	7,54	21,9	21,0	-

M1: Ingreso al sistema de pre-tratamiento

M2: Salida del sistema de pre-tratamiento/Ingreso al tratamiento primario

M3: Salida del sistema de tratamiento primario/Ingreso tratamiento secundario (lagunas)

M4: Salida del sistema de tratamiento secundario (lagunas)/Ingreso a descarga

6.3.2.2 Parámetros a analizar

A continuación, se nombran los parámetros que fueron extraídos y medidos a través de análisis fisicoquímicos (la ley 6260/92 en la Provincia de Entre Ríos establece los valores máximos de contaminación):

1. Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)
2. Sólidos sedimentables a 10 minutos
3. Sólidos sedimentables a 2 horas
4. La demanda química de oxígeno (DQO)
5. Concentración de iones de hidrógenos (pH)
6. Conductividad eléctrica (CE)

6.3.3 Resultados de los análisis fisicoquímicos

6.3.3.1 Determinación de la DBO₅

La Demanda Bioquímica de oxígeno es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica consume oxígeno por la descomposición bacteriana. Con el fin de chequear el funcionamiento de la función lineal de estimación del DBO₅ se corrió sobre la misma muestra la determinación de esta variable utilizando el equipo de medición de DBO₅ OXITOP. En la tabla 15 se observan los valores de DBO₅ de los muestreos realizados en diciembre de 2019 y abril de 2020.

Tabla 15: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260.

DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno (mg de O₂/l de muestra).

Muestra	DBO ₅ (mg de O ₂ /L) Dic/2019		DBO ₅ (mg de O ₂ /L) Abr/2020	
	Resultado	Límite permitido	Resultado	Límite permitido
M1	3.310	-	2.700	-
M2	3.342	-	1.970	-
M3	3.568	-	1.500	-
M4	1.056	< 50	130	< 50

6.3.3.2 Determinación de sólidos sedimentables a 10 minutos y a 2 horas

Para la determinación se utilizó la técnica del método estándar para sólidos sedimentables en Cono Inhoff a 10 minutos y a 2 horas. En las tablas 16 y 17 se muestran los valores obtenidos en los muestreos de diciembre de 2019 y abril de 2020 respectivamente.

Tabla 16: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Diciembre de 2019.

Sólidos sedimentables a 10 minutos (ml/l); Sólidos sedimentables a 2 horas (ml/l).

Muestra	Sólidos sedimentables a 10 minutos (ml/l)		Sólidos sedimentables a 2 horas (ml/l)	
	Resultado	Límites permitidos	Resultado	Límites permitido
M1	21	-	27	-
M2	19	-	24	-
M3	27	-	28	-
M4	0,1	< 5,0	0,1	< 30

Tabla 17: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Abril de 2020

Sólidos sedimentables a 10 minutos (ml/l); Sólidos sedimentables a 2 horas (ml/l).

Muestra	Sólidos sedimentables a 10 minutos (ml/l)		Sólidos sedimentables a 2 horas (ml/l)	
	Resultado	Límites permitidos	Resultado	Límites permitido
M1	80	-	80	-
M2	60	-	47	-
M3	19	-	20	-
M4	0,1	< 5,0	1,5	< 30

6.3.3.3 Determinación de la DQO

La Demanda Química de Oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en la muestra líquida. La DQO fue determinada por medio de un espectrofotómetro Excellence para UV/VIS. En la tabla 18 se observan los valores de DQO de los muestreos realizados en diciembre de 2019 y abril de 2020.

Tabla 18: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260.

DQO: Demanda Química de Oxígeno (mgO₂/L)

Muestra	DQO (mgO ₂ /L) Dic/2019	DQO (mgO ₂ /L) Abr/2020
M1	4.608	5.930
M2	3.139	4.930
M3	2.947	2.880
M4	500	310

6.3.3.4 Determinación de pH y Conductividad

La tabla 19 y 20 muestran los valores del pH y conductividad, que fueron determinados con un equipo Pasco PS2009A en los muestreos de diciembre de 2019 y abril de 2020 respectivamente.

Tabla 19: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Diciembre de 2019.

pH: Concentración de iones de hidrógenos; CE: Conductividad eléctrica (μS/cm).

Muestra	pH		Conductividad (μS/cm)	
	Resultado	Límites permitidos	Resultado	Límites permitidos
M1	7,7	5,5 a 10	1379	-
M2	7,1	5,5 a 10	1179	-
M3	6,9	5,5 a 10	1658	-
M4	7,8	5,5 a 10	1600	< 2000

Tabla 20: Valores de las variables físico-químicas hallados en los efluentes líquidos del FASA y límites permitidos en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 6260. Abril de 2020
pH: Concentración de iones de hidrógenos; CE: Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Muestra	pH		Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	Resultado	Límites permitidos	Resultado	Límites permitidos
M1	7,05	5,5 a 10	S/D	-
M2	6,98	5,5 a 10	S/D	-
M3	6,88	5,5 a 10	S/D	-
M4	7,68	5,5 a 10	S/D	< 2000

6.3.4 Conclusiones de los análisis fisicoquímicos

El Gobierno de Entre Ríos mediante Decreto Reglamentario N° 5837 MBSCE de la Ley 6260 en el Anexo I (Norma Complementaria sobre Efluentes Líquidos) establece los valores máximos de los distintos parámetros de contaminación que se admiten para efluentes líquidos de establecimientos industriales que se viertan a cursos de agua. En este sentido el valor máximo de DBO permitido para descarga al arroyo **debe ser menor a 50 mg O₂/L**.

Los valores de DBO₅ hallados para ambos muestreos en el sitio de descarga al arroyo (muestra 4) se hallan por encima del valor permitido. Si bien se puede observar (Tabla 15), que es muy marcada la diferencia entre los valores, lo cual se puede asociar al tipo de faena que se estaba realizando en cada momento. Recordando que, durante el muestreo de diciembre de 2019, se estaba faenando con faena “tipo Koher” (DBO₅ = 1.056 mg de O₂/L), y el muestreo de abril de 2020 se estaba faenando de modo tradicional (DBO₅ = 130 mg de O₂/L).

Se midieron los sólidos sedimentales en 10 minutos y de la misma variable a las 2 horas. Según la normativa vigente, los valores permitidos para sólidos sedimentales en 10 minutos es <0,5 mg.L⁻¹, y <30 mg.L⁻¹ a las 2 horas. Los valores hallados para ambos muestreos en el sitio de descarga (Tabla 16 y 17) se encuentran dentro de las pautas de calidad que establece la normativa.

Los valores permitidos para pH oscilan entre 5,5 a 10, para la conductividad eléctrica <2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores hallados en ambos muestreos (Tabla 19 y 20) se encuentran dentro de las referencias permitidas.

6.4 Identificación de mejoras y optimización del sistema actual

Como primera alternativa de diseño, se propone la mejora y optimización del sistema actual, donde se tendrán en cuenta los desvíos observados en el relevamiento de las condiciones actuales del sistema, y de este modo, formalizar una propuesta sustentable, basada no solo en la tecnología posible, sino que además cumpla con las exigencias ambientales.

6.4.1 Deficiencias y corrección al sistema

La alerta la dieron los resultados de los análisis realizados en el primer muestreo (diciembre de 2019) al efluente, al ingreso del sistema primario (sistema sedimentador/separador de grasas) y a su salida (ingreso al sistema de lagunas). Mientras que se esperaba valores que rondaran los 1.500 a 2.000 mg O₂/l de DBO₅, el valor hallado fue de 3.342 mg O₂/l (ver tabla 15), lo que representa una diferencia que no puede atribuirse a errores en la faena, o a prácticas equivocadas, teniendo en cuenta que como se observó en análisis anteriores, los valores se encontraban dentro de los parámetros indicados.

De las observaciones realizadas en el relevamiento, y de las experiencias transmitidas por el personal de la planta, se determinó pérdidas en la captación de sangre de segunda, la cual es captada por medio de una canaleta de colocación manual durante el tiempo de degollado, donde es derivada a un pozo de acumulación y es recolectada por terceros para uso industrial. Estas pérdidas incrementan la carga orgánica del efluente que ingresa al sistema de tratamiento.

Del mismo modo, se observó un incremento en el volumen del tanque de acumulación de sangre, que al aumentar la faena no daba abasto, y derramaba antes de que se pasara a retirar por la empresa autorizada. Este derrame de sangre iba al sistema de tratamiento, aumentando considerablemente el valor del DBO₅.

También, por comentarios de los empleados encargados del mantenimiento del sistema, luego de días de lluvias intensas, se producen desbordes en el sistema sedimentador/separador de grasa existente, con el consecuente ingreso de agua pluvial al sistema de tratamiento. Se determinó, como consecuencia de las tareas de limpieza de este equipo, que el sistema manual existente era insostenible a futuro, por lo que la nueva propuesta debía considerar el retiro automático del material graso en este proceso.

Además, de la evaluación del material retirado en el equipo antes citado, y de la observación del pozo ecualizador, sumado a las charlas con el personal encargado de monitorear y controlar este sector, se determinó que el sistema de rejas existente es insuficiente, ya que en la misma el efluente a tratar sobrepasa la reja y permite el ingreso de sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de la etapa siguiente (atascos y deterioros en la bomba de impulsión), por lo que se hace necesario su rediseño.

Como así también, la existencia de una sola bomba era un riesgo de parada o vuelco fuera del sistema, ya que la misma al no expulsar el efluente del pozo ecualizador de manera adecuada, sobrepasa el nivel en el mismo y el efluente es enviado directamente al sistema primario, sin pasar por el tamiz estático separador de estiércol. Esto puede ser solucionado mediante la incorporación de una segunda bomba de impulsión en el pozo ecualizador.

6.4.2 Acciones a desarrollar en la mejora

Para esta primera propuesta de mejora, se definió que el número medio de animales diarios a faenar de lunes a viernes será de aproximadamente unos 660 animales/día (caudal medio diario de 990 m³/d). Esto tiene como partida, la faena de 66 animales/hora máxima en turno (99 m³/h), como límite en la faena y el efluente final.

La propuesta a realizar, consta de las siguientes acciones a desarrollar:

- a) Retiro de los pluviales del sistema de tratamiento, re-direccionando al desagüe correspondiente.
- b) Rediseño del sistema de rejas existente, con la incorporación de dobles rejas gruesas y finas, depósito de gruesos retirados, y playa de trabajo que evite el ingreso de agua pluvial y permita un trabajo seguro y mantenga la zona limpia.
- c) Incorporación de una segunda bomba en el pozo ecualizador y todos los sistemas eléctricos y ductos necesarios.
- d) Incorporación de un segundo tamiz estático tipo NAHUELCO donde se separa el estiércol.

- e) Cálculo de dimensionamiento de un equipo sedimentador/separador de grasa estándar (con la posibilidad de agregarle aireación fija por aire comprimido), con retiro de flotantes automatizado a depósito para su retiro diario, con una velocidad de 1 m/min.
- f) Tareas de limpieza y mantenimiento de lagunas existentes. En el caso de las lagunas anaeróbicas se puede evaluar la comunidad microbiana presente y asegurar su persistencia, y así aumentar la eficiencia del sistema.
- g) Reparación y mantenimiento del lecho o filtro percolador existente.

6.4.3 Descripción general y tratamiento propuesto

Como se expresó anteriormente, para esta propuesta se considera una faena promedio de 660 animales/día, con un consumo de agua exigido por SENASA de 1.500 litros/animal. Esto implica un caudal máximo diaria para los días de faena de 990 m³/día (para 10 horas de trabajo el caudal medio esperado será de 99 m³/h). Se espera que el efluente crudo ingrese a tratamiento con una carga de 1.800 mg/l (1,8 kg/m³), debido a las mejoras a introducir en el área de faena.

Se adopta para el ingreso al sistema de tratamiento las siguientes características:

Tabla 21: Estimaciones medias del afluente utilizadas para el diseño

Variables	Valor medio estimado
Faena diaria esperada (10 horas de trabajo)	660 cabezas/día
Caudal total por cabeza	1,5 m ³ /cabeza
Caudal diario máximo esperado	990 m ³ /día
Caudal medio horario (regulado por bomba)	100 m ³ /hora
Caudal punta considerado (m ³ /hora)	140 m ³ /hora
Caudal máximo en m ³ /segundo	0,038889 m ³ /s
Sólidos en suspensión totales (SST)	200 mg/l
Solubles en éter etílico (grasas y aceites)	600 ppm
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	2.700 mg O ₂ /l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	1.800 mg O ₂ /l
pH	6,8 - 7,5
Materias inhibidoras	< 10 Equitox/m ³

A. Retiro de los pluviales del sistema de tratamiento, re-direccionando al desagüe correspondiente.

Esta acción debe desarrollarse una vez realizadas las mediciones de los niveles del terreno correspondiente, pues también deben incluirse algunas obras a fin de evitar el ingreso

de agua de lluvias al equalizador (pozo de bombeo). Los trabajos deben permitir principalmente la modificación de la escorrentía superficial en el entorno cercano al sistema de pretratamiento.

Con estas acciones, y alguna pequeña obra de canalización que pudiera surgir luego de la toma de niveles, se espera solucionar el ingreso de agua pluvial al sistema de tratamiento.

B. Diseño del sistema de rejas de desbaste de limpieza manual

Como se expresó anteriormente, uno de los inconvenientes detectados en el sistema de pre-tratamiento, es la ineficiencia en el sistema de rejas existente. Por ello se propone una mejora en esta tapa, desarrollando una ampliación del sistema de rejas actual.

La alternativa propuesta, consiste en un sistema de rejas de limpieza manual, con canasto de escurrimiento in situ, formado por dos canales, uno nuevo de 0,60 m de ancho, con 0,80 m de profundidad, y el canal actual de 0,40 m de ancho y 0,60 m de profundidad útil, donde se encuentra instalada una reja para sólidos gruesos. Este diseño, se ajusta a los parámetros de diseño para el caudal pico y para el caudal medio, pero con poco margen para futuras ampliaciones, por lo que de plantearse por parte de la empresa la ampliación de la faena superior a 1.000 cabezas/día, se deberá construir un nuevo sistema de rejas paralelo al actual con dos canales de 0,60 m de ancho y 0,80 m de profundidad cada uno.

En el diagnóstico del sistema actual, este fue uno de los puntos críticos detectado, por esta razón, se propone un rediseño de esta etapa del sistema (sin detener la producción de la empresa), instalando un sistema de rejas, donde se puede retener los sólidos gruesos y finos, paralelo al sistema actual (que se mantendrá).

Según la bibliografía consultada, las rejas de desbaste para materiales sólidos gruesos, poseen un espesor de planchuela entre 12 y 25 mm, y una separación entre 50 a 100 mm (típicamente de 20 a 60 mm), mientras que, para los sólidos finos, las rejas se caracterizan por tener un espesor de 6 a 12 mm, con una separación de 10 a 25 mm (típicamente de 6 a 12 mm).

En la figura 17 se presenta un sistema de rejas de desbaste de limpieza manual.

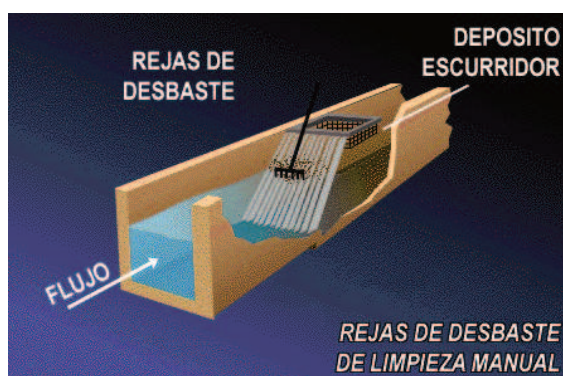
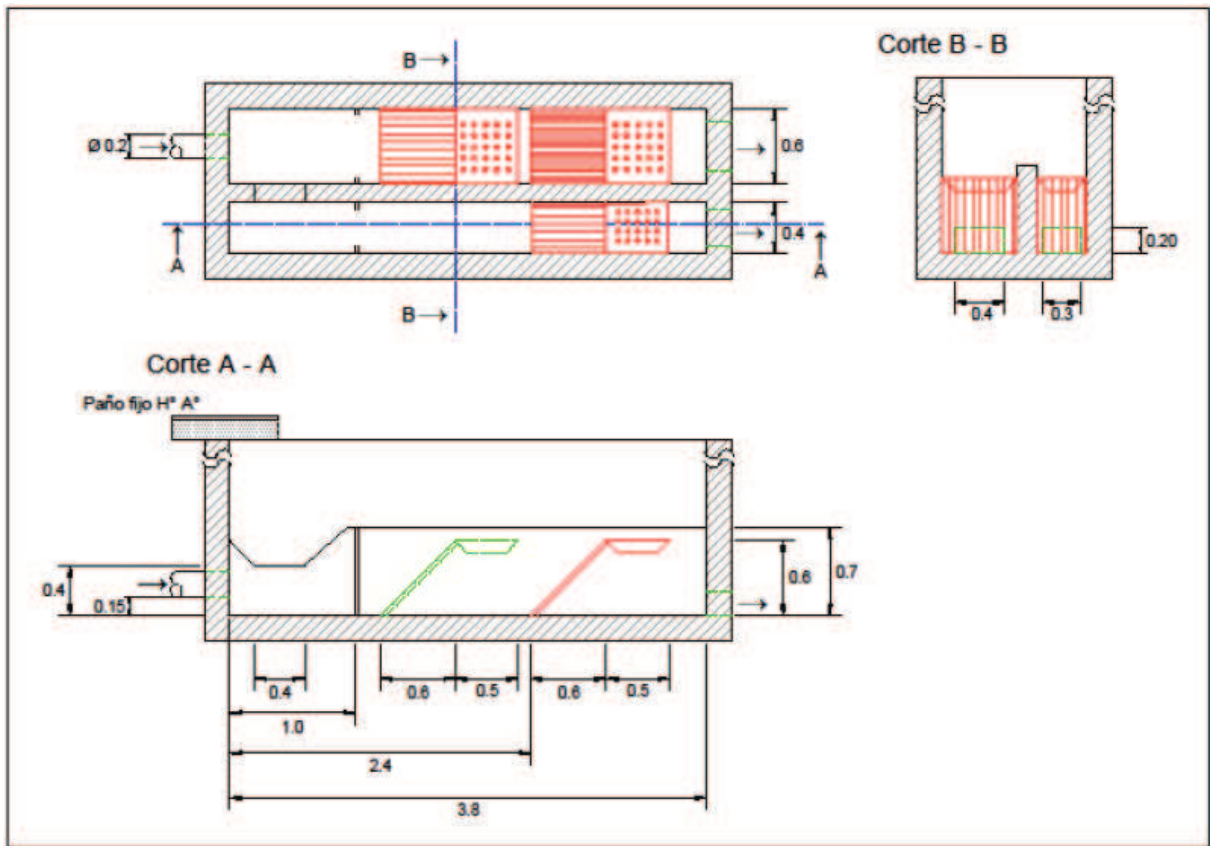


Figura 17: Sistema de rejas de desbaste de limpieza manual

Las planchuelas de hierro de 5 mm de espesor separadas entre sí por espacios de 12 mm deben ser de acero inoxidable 304, reteniendo los sólidos gruesos que serán retirados manualmente, y depositados en un canasto escurridor, para luego ser recolectados y trasladados fuera de la empresa con los demás residuos orgánicos.

Se adjunta a continuación el croquis 1 esquemático del canal de rejas propuesto.



Croquis 1: Sistema de canal y rejas de desbaste de limpieza manual

C. Pozo ecualizador de bombeo

No se propone modificaciones constructivas al pozo ecualizador existente, solo se debe colocar una segunda bomba de succión/elevación de efluente, hacia el tamiz separador, que asegure la extracción del efluente en los caudales picos, y en caso de rotura de la bomba principal (ya existente).

Se propone instalar una bomba autocebante, tipo IMBIL para un caudal de $99 \text{ m}^3/\text{h}$. Accionada por motor eléctrico de 10 HP a 1500 rpm, con cañería de aspiración de 0,1 m e impulsión de 0,15 m de diámetro.

D. Tamiz separador de estiércol

El efluente del pozo ecualizador es bombeado a una plataforma elevada sobre la que se propone la instalación de un segundo tamiz estático tipo NAHUELCO donde se separa el estiércol, descargando el mismo sobre contenedores para su disposición fuera del establecimiento.

El líquido percolado será conducido a través de dos cañerías de descarga a sendas secciones del sedimentador primario.

E. Sedimentador y separador de grasa

Para el diseño del sedimentador (alternativa inicial), se propone un tiempo de residencia o permanencia de 2 horas. Teniendo en cuenta el caudal de bombeo de $99 \text{ m}^3/\text{h}$, el volumen necesario total será de 198 m^3 . Se plantea construir dos unidades rectangulares iguales en paralelo previendo la posibilidad de una limpieza periódica; quedando fuera de servicio

momentáneamente una de las unidades y permitiendo de todos modos el funcionamiento de la unidad restante, de tal modo que cada unidad tendrá un volumen útil de 100 m^3 . Considerando además que el funcionamiento del frigorífico no es continuo, por lo que las tareas de limpieza pueden desarrollarse en otros horarios, cuando el equipo no esté funcionando.

Se fija una velocidad superficial de asentamiento de diseño de $1,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, por los que, la superficie necesaria será:

$$\text{Superficie necesaria por unidad} = \frac{49,5 \text{ m}^3/\text{h}}{1,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2} = 41,25 \text{ m}^2 \quad (1)$$

$$\text{Adoptando para este diseño una relación } L = 2 \cdot A, \text{ la superficie necesaria será } = 2 A^2 \quad (2)$$

Despejando (2) y reemplazando en (1), obtenemos las dimensiones de cada canal (recordar que se adoptó por dos canales paralelos por cada $99 \text{ m}^3/\text{h}$ de efluente):

$$\text{Ancho del canal (A)} = (41,25 \text{ m}^2/2)^{1/2} = \mathbf{4,54 \text{ m}}$$

$$\text{Largo de cada canal (L)} = 2 \cdot A = \mathbf{9,08 \text{ m}}$$

Los sólidos sedimentables serán retenidos en sendas tolvas de fondo, desde donde podrán ser retirados periódicamente, por accionamiento de válvulas de descarga, hasta tanto la empresa proceda a su retiro. Los mismos serán cargados a un camión para su traslado, como semisólido, obteniéndose el correspondiente certificado de gestión.

Las grasas flotarán en el espejo de agua, y para su retiro el diseño propone un sistema de barrido superficial. En el caso de roturas e imprevistos, se cerrará la válvula de salida aumentando el tirante con el ingreso de nuevos caudales de tal modo que pueda guiarse las mismas hacia un vertedero que conectará exteriormente con contenedores para su eliminación y retiro por empresa autorizada.

El líquido clarificado libre de sólidos será tomado por un vertedero longitudinal en el extremo posterior, para ser guiado al tratamiento secundario.

La eficiencia del tratamiento primario descripto, puede estimarse en el orden del 40%, por lo que la DBO_5 remanente a la salida del equipo, se estima en $1.080 \text{ mg O}_2/\text{l}$. De ser necesario este valor puede disminuirse, mediante el agregado de coagulantes y floculantes químicos.

A la salida del sistema separador citado, el efluente clarificado ingresará al tratamiento secundario compuesto por dos lagunas anaeróbicas y dos lagunas facultativas.

Como se ha expresado, en esta etapa se deben evaluar las correcciones propuestas, reparaciones y mejoras en las diferentes corrientes del efluente, a fin de obtener un efluente con parámetros y características que permitan su tratamiento posterior, sin dificultad y aseguren el ingreso del efluente líquido al sistema de tratamiento, con las mejores condiciones posibles, otorgando estabilidad, seguridad y eficiencia al mismo.

Construido y puesto en régimen este diseño, se deben realizar determinaciones de la calidad de salida del efluente líquido, a fin de poder asegurar los parámetros de diseño entregados al sistema de lagunas para su correcto funcionamiento.

Se adjunta a continuación el croquis 2 esquemático del sedimentador - desengrasador propuesto.

G. Reparación y mantenimiento del lecho o filtro percolador existente

Una vez realizado el tratamiento por lagunas, el efluente pasará por un filtro percolador de losa de 95 m^3 (que en la actualidad está sin funcionar), para luego desembocar al Arroyo Paracao.

Este lecho percolador, trabajará como un filtro biológico de lecho fijo que opera bajo condiciones (principalmente) aeróbicas. Se "deja caer" o rocía agua de desecho decantada sobre el filtro. Al migrar el agua por los poros del filtro, la materia orgánica se degrada por la biomasa que cubre el material del filtro.

Es fundamental definir un programa de mantenimiento periódico del filtro, para evitar las obstrucciones, donde se deben eliminar periódicamente los lodos acumulados en el filtro. Se pueden usar altos índices de carga hidráulica para purgar el filtro.

6.4.4 Verificación del dimensionamiento de las lagunas existentes

Para verificar las dimensiones de las lagunas existentes en el tratamiento, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La carga orgánica del efluente
- El caudal diario
- La constante global de eliminación de la DBO_5
- La temperatura del agua del mes más frío
- El tiempo de retención hidráulica
- El factor de dispersión de la laguna
- El área de las lagunas
- El volumen y profundidad de operación

Las lagunas anaeróbicas y facultativas pueden generar problemas con malos olores debido a que su objetivo es la remoción de DBO . Por tal motivo es importante dimensionar correctamente las lagunas para que no se presenten estos problemas. Las formas de las lagunas deben ser lo más regular posible, evitando por un lado formas angulares donde pueden generarse zonas muertas con sedimentaciones preferenciales, y por otro lado la formación de caminos preferenciales.

6.4.4.1 Dimensionamiento de las lagunas anaeróbicas

Las principales consideraciones y base de los cálculos se describen a continuación:

- La DBO_5 de efluente es de $1.080 \text{ mg O}_2/\text{l}$
- La temperatura del efluente del mes más frío es de $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- La constante global de eliminación de la DBO_5 para aguas residuales es $K = 0,25/\text{día}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- El coeficiente que permite convertir la k de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a la temperatura del agua de la laguna es $\theta = 1,06$
- La profundidad útil de la laguna aeróbica que permite un adecuado funcionamiento es de 3 metros.

- El factor de dispersión que expresa el grado de mezcla de las lagunas es $d = 0,5$.
- La eficiencia esperada en la eliminación de la DBO_5 es del 35%
- El caudal diario máximo esperado es de $990 \text{ m}^3/\text{día}$

Calculo del volumen y área de las lagunas anaeróbicas

a) Determinación del parámetro Kt

El término Kt es un valor que se obtiene de la gráfica de Thirumurthi (Metcalf & Eddy, 1996). Representa la relación entre el porcentaje remanente de la DBO_5 después del tratamiento y el factor de dispersión de la laguna.

El parámetro Kt para un 35% de eficiencia de reducción de la DBO_5 y un factor de dispersión $d = 0,5$ es **$Kt=2,7$** .

Dónde:

K es el coeficiente global de eliminación de la DBO_5 en días^{-1} .

t es el tiempo de retención hidráulica.

- b) El coeficiente de temperatura permite transformar la k a 20°C a la temperatura del agua en la laguna: $K_T = K_{20} * \theta^{(T-20)}$

Dónde:

θ es el coeficiente de temperatura: $\theta = 1,06$

K_{20} es el valor del coeficiente global de eliminación de la DBO_5 a los 20°C : $K_{20}=0,25/\text{día}$

T es la temperatura del agua del mes más frío: $T=25^\circ\text{C}$

Por lo que $K_{25} = 0,25/\text{día} * 1,06^{(25-20)}$

$K_{25} = 0,33/\text{día}$

- c) El tiempo de retención hidráulico es el tiempo que debe permanecer el agua en la laguna para que pueda efectuarse la depuración. Para $Kt = 2,7$ el tiempo de retención es:

$$K_{25} * t = 2,7$$

$$t = 2,7 / 0,33 \text{ días}^{-1}$$

$t = 8,18 \text{ días}$

- d) Volumen de las lagunas:

$$V = Q * t$$

Dónde:

V es el volumen total de las lagunas

t es el tiempo de retención (8,18 días)

Q es el caudal del efluente de ingreso = $990 \text{ m}^3/\text{día}$

$$V = 990 \text{ m}^3/\text{día} * 8,18 \text{ días}$$

$V = 8.100 \text{ m}^3$

e) Áreas de las lagunas:

$$A = V/h$$

Dónde:

A es área total útil de las lagunas

V es el volumen total de las lagunas: $V = 8.100 \text{ m}^3$

h es la profundidad de las lagunas = 3 metros

$$A = 8.100 \text{ m}^3 / 3 \text{ m}$$

$$A = 2.700 \text{ m}^2$$

$$A = 0,27 \text{ ha}$$

f) Carga superficial en kg DBO₅/ha día

$$C_s = \frac{Q * mgDBO_5/l}{A}$$
$$C_s = \frac{990 \text{ m}^3/\text{día} * 1,080 \text{ kg DBO}_5/l}{0,27 \text{ ha}}$$

Carga Superficial = 3.960 kg DBO₅/ha día

Como se puede observar la superficie que dispone el frigorífico para sus lagunas anaeróbicas actuales (3.300 m²) **cumplen** con el área obtenida en el cálculo ($\geq 2.700 \text{ m}^2$).

6.4.4.2 Dimensionamiento de las lagunas facultativas

Las principales consideraciones y base de los cálculos se describen a continuación:

- La DBO₅ del afluente considerando que la carga inicial se ha reducido en un 35% es de 702 mg O₂/l
- La temperatura del efluente del mes más frío es de 25 °C
- La constante global de eliminación de la DBO₅ para aguas residuales es K= 0,25/día a 20 °C
- El coeficiente que permite convertir la K de 20 °C a la temperatura del agua de la laguna es $\theta = 1,06$
- La profundidad útil de la laguna facultativa que permite un adecuado funcionamiento es de 2 metros.
- El factor de dispersión que expresa el grado de mezcla de las lagunas es $d = 0,5$.
- La eficiencia esperada en la eliminación de la DBO₅ es del 90%
- El caudal diario máximo esperado es de 990 m³/día

Calculo del volumen y área de las lagunas facultativas

a) Determinación del parámetro Kt

El parámetro Kt para un 90% de eficiencia de reducción de la DBO₅ y un factor de dispersión $d = 0,5$ es **Kt = 4,5** (Metcalf & Eddy, 1996).

Dónde:

K es el coeficiente global de eliminación de la DBO₅ en días⁻¹.

t es el tiempo de retención hidráulica.

b) El coeficiente de temperatura es $K_T = K_{20} * \theta^{(T-20)}$

Dónde:

θ es el coeficiente de temperatura: $\theta = 1,06$

K_{20} es el valor del coeficiente global de eliminación de la DBO₅ a los 20 °C: $K_{20} = 0,25/\text{día}$

T es la temperatura del agua del mes más frío: $T=25$ °C

Por lo que $K_{25} = 0,25/\text{día} * 1,06^{(25-20)}$

$K_{25} = 0,33/\text{día}$

c) El tiempo de retención hidráulico para $Kt = 4,5$ es:

$K_{25} * t = 4,5$

$t = 4,5 / 0,33 \text{días}^{-1}$

$t = 13,63$ días

d) Volumen de las lagunas:

$V = Q * t$

Dónde:

V es el volumen total de las lagunas

t es el tiempo de retención (13,63 días)

Q es el caudal del efluente de ingreso = $990 \text{ m}^3/\text{día}$

$V = 990 \text{ m}^3/\text{día} * 13,63 \text{ días}$

$V = 13.494 \text{ m}^3$

e) Áreas de las lagunas:

$A = V/h$

Dónde:

A es el área total útil de las lagunas;

V es el volumen total de las lagunas: $V = 13.494 \text{ m}^3$;

h es la profundidad de las lagunas = 2 metros

$A = 13.494 \text{ m}^3 / 2 \text{ m}$

$A = 6.747 \text{ m}^2$

$A = 0,67 \text{ ha}$

f) Carga superficial en kg DBO₅/ha día

$$C_s = \frac{Q * \text{mgDBO}_5/\text{l}}{A}$$

$$C_s = \frac{990 \text{ m}^3/\text{día} * 0,702 \text{ kg DBO}_5/\text{l}}{0,67 \text{ ha}}$$

Carga Superficial = 1.037,28 kg DBO₅/ha día

Como se puede observar la superficie que dispone el frigorífico con sus lagunas facultativas actuales (3.750 m²) **no cumplen** con el área obtenida en el cálculo ($\geq 6.747 \text{ m}^2$).

6.5 Propuestas de tratamientos

6.5.1 Tratamiento con Reactores Anaeróbicos

6.5.1.1 Base de cálculo

A fin de continuar con las propuestas en el diseño y los cálculos del sistema de tratamiento posible para los efluentes líquidos del Frigorífico Alberdi S.A, se toma como base de cálculo, los efluentes líquidos generados por la faena promedio de 800 animales/día, con la posibilidad de una faena máxima de 1.000 animales/día en algunos días. El consumo de agua asumido, para el proceso de faena es de 1,5 m³/animal. El consumo diario de agua para faena, se estima en 1.200 m³/d.

Para la estimación del caudal del efluente líquido, se debe considerar que entre un 5% - 10% del agua utilizada, se pierde en el proceso productivo, y no derivan al sistema de tratamiento. Para el cálculo se adopta una pérdida de un 5%, lo que nos lleva a adoptar un caudal medio diario final de efluentes de 1.140 m³/d, lo que representa para 8 h de trabajo, un caudal medio horario de diseño de 142,5 m³/h.

De igual manera se adopta un valor conservador de carga orgánica, tomándose 2.500 mg O₂/l, cuando la bibliografía y los análisis previos evaluados, podrían sugerir valores de carga orgánica medida en DBO₅ inferiores, cercanas a los 1.800 mg O₂/l.

Tabla 22: Características del afluente a tratar

<u>Características del Afluente Crudo a Tratar</u>	
(Base cálculo: 800 cabezas/día – máx 1.000 cabezas/día)	
Caudal medio diario agua consumida	1.200 m ³ /día
Caudal medio diario de diseño adoptado	1.140 m ³ /día – 142,5 m ³ /h (para 8 h/d)
Caudal diario máximo esperado	1.500 m ³ /día
Caudal punta considerado	180 m ³ /hora
Caudal máximo regulado por bomba	200 m ³ /hora
Sustancia solubles en éter etílico (SSEE)	700 mg/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	3.600 mg O ₂ /l
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	2.500 mg O ₂ /l
pH	6,8 - 7,5
Materias Inhibidoras	< 10 Equitox/m ³

A continuación, se presenta el sistema de tratamiento propuesto para la corriente descripta.

6.5.1.2 Sistema de Pretratamiento

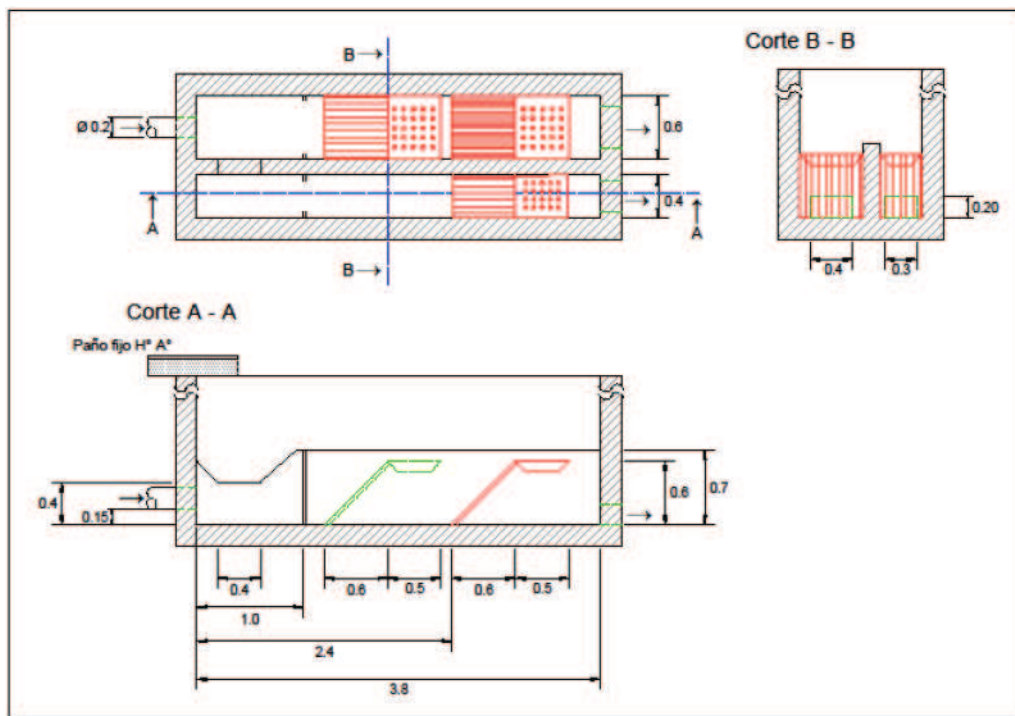
a) Rejas de desbaste

El efluente de las corrientes rojas y verdes, ingresarán en forma conjunta a un sistema de rejas de desbaste de doble canal (doble rejas por canal) con canasta colectora para

escurrimiento de los sólidos retirados. Para esto, se propone un sistema con un canal principal de 0,60 m de ancho y un canal secundario de 0,40 m (utilizado ante caudales picos o rebalse del anterior), y doble rejas medias.

Las primeras rejas propiamente dichas tendrán un espesor de 0,005 m y una separación de 0,012 m, en acero inoxidable, con una pendiente de 45°, mientras que las segundas un espesor de 0,00381 m y una separación de 0,009 m.

La verificación del diseño para las rejas de desbaste (según los criterios de diseño), se detallan en el Anexo II. En el croquis 3 se observa un esquema del canal de rejas propuesto.



Croquis 3: Sistema de canal y rejas de desbaste

b) Pozo ecualizador y zaranda estática

Al salir del sistema de rejas el efluente ingresa al actual pozo ecualizador, el que posee un diámetro de 2,6 metros y un volumen de 13,3 m³.

Pozo ecualizador:

No se realizarán modificaciones físicas al pozo existente, solo se propone colocar una segunda bomba de succión/elevación de efluente, al sistema de zaranda, que asegure la extracción del efluente en los caudales picos horarios.

Se propone instalar una bomba autocebante IMBIL modelo E-4 para un caudal de 99 m³/h. Accionada por motor eléctrico de 10 HP a 1500 rpm, con cañería de aspiración de 0,100 m e impulsión de 0,15 m de diámetro.

La capacidad instalada, será suficiente para el bombeo de los picos de 180 m³/h esperados como máximo.

El sistema será automatizado; y estará dotado de controladores de nivel, que determinarán el funcionamiento adecuado de las bombas instaladas.

Tamiz separador de estiércol:

El efluente del pozo de bombeo es conducido a una plataforma elevada sobre la que está instalada una zaranda o tamiz estático, el que se espera funcione a caudal pico, sin embargo, de ser necesario, se propone la instalación de otro tamiz estático tipo NAHUELCO para separación de estiércol, descargando el mismo sobre un contenedor para su disposición fuera del establecimiento.

El líquido percolado, será conducido a través de dos cañerías de PVC de 0,3 m de diámetro de descarga por gravedad hasta el sistema de separación de grasas y sólidos sedimentables (sistema de tratamiento primario).

6.5.1.3 Sistema de Tratamiento Primario

Sedimentador y separador de grasa

Se propone construir dos unidades de separación/sedimentación, idénticas y en paralelo. Cada una de ellas captará la mitad del caudal máximo de bombeo esperado (200 m³/h). Al construir dos unidades en paralelo, permite ante la rotura o inconvenientes en una de ellas, la restante es capaz de tratar la totalidad del efluente, sin detener la producción y sin causar inconvenientes en el sistema de tratamiento posterior, permitiendo la reparación o acondicionamiento del equipo, ajuste o tarea necesaria.

El diseño de dos unidades en paralelo, permite la posibilidad de que quedando fuera de servicio momentáneo una de las unidades, la unidad restante puede tratar el efluente en forma total, aunque con un menor rendimiento. Sin embargo, esta situación no pondrá en riesgo el funcionamiento del sistema total.

Como se expresó anteriormente, el caudal a tratar por cada una de estas unidades será de 100 m³/h, y se podrán realizar tareas de mantenimiento y limpieza, fuera de los horarios de faena. Ante la necesidad de reparar uno de estos equipos durante la faena, es posible que el equipo restante continúe en funcionamiento, captando el caudal total de la planta, sin necesidad de detener la producción.

Cada sedimentador y separador de grasa tendrán una superficie necesaria de 74,6 m² y un volumen total de cada equipo de 240 m³. La verificación de la superficie, el volumen necesario y sus criterios de diseño se detallan en el Anexo III.

Los sólidos sedimentables deben ser retenidos en sendas tolvas de fondo, desde donde deberán ser retirados por una empresa habilitada. Hasta tanto se inicien las operaciones de la citada firma, los lodos podrán ser retirados periódicamente, por accionamiento de válvulas de descarga y retornados al pozo de bombeo para ser mezclados con el efluente crudo y retenidos en el tamiz estático para su eliminación, o retirados como barros y dispuestos en relleno sanitario.

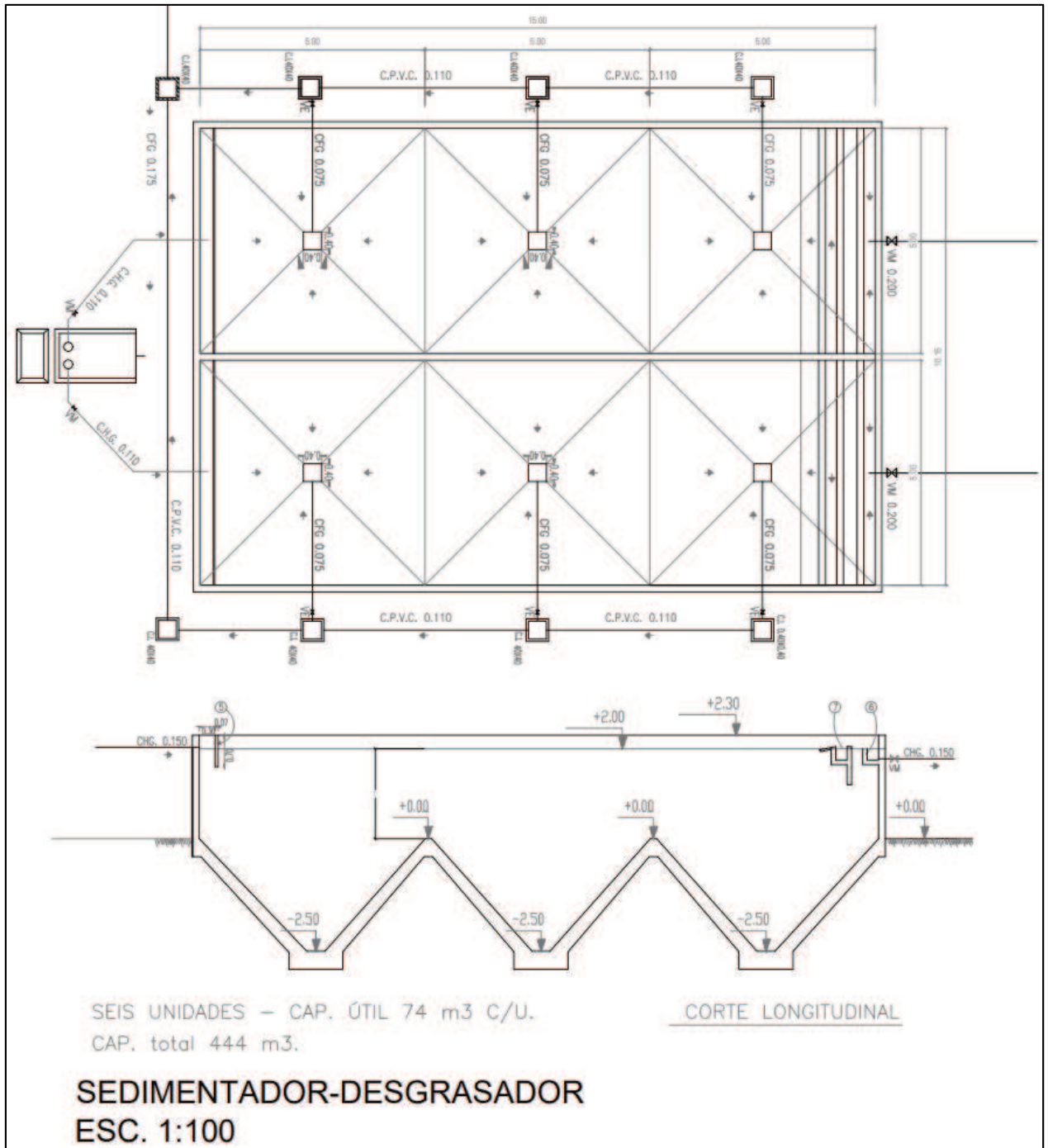
Las grasas flotarán en el espejo de agua. Su retiro se realizará mediante el empleo de barredores de superficie continuos, que trabajando a bajas velocidades “empujan” los sólidos flotantes hasta la descarga superficial que posee el equipo.

A la salida del sistema separador citado, el efluente clarificado ingresará a un pozo de bombeo donde recibirá las corrientes de reciclo de barros activos del clarificador secundario,

para aumentar la masa bacteriana del reactor anaeróbico de mezcla completa, equipo con el cual se continúa el tratamiento.

Si bien la estimación de la disminución de la DBO_5 en el sistema de tratamiento se presentará más adelante, se puede decir que la eficiencia del tratamiento primario descrito puede estimarse en el orden del 35%, por lo que la DBO remanente, 65% de los sólidos en suspensión y 90% en el retiro de grasas.

A continuación, se presenta el croquis 4 del equipo de sedimentación y separador de grasa propuesto (dos unidades).



Croquis 4: Equipo sedimentador y separador de grasa

6.5.1.4 Sistema de Tratamiento Secundario

Reactores Anaeróbicos

Como se expresó anteriormente, el efluente clarificado al que se le retiró grasas y sedimentables, es derivado a un pozo de bombeo donde por medio de sendas bombas de fondo, se regula el caudal de ingreso a los reactores anaeróbicos de contacto y alta carga, pudiendo estos equipos por el lay out propuesto, trabajar en serie o en paralelo, según se lo considere necesario. El diseño propuesto permitirá además que uno de los equipos pueda salir de línea ante inconvenientes, sin afectar el proceso (disminuyendo su rendimiento).

A este pozo de bombeo, se reciclará el efluente de la corriente de reciclo de los barros activos obtenidos del clarificador secundario, ubicado a la salida de los reactores.

Ambos reactores serán idénticos, y con una geometría rectangular de 15 m de ancho por 15 m largo y 5 m de profundidad. Por lo que el volumen útil para digestión será de 1.125 m³.

El tiempo de residencia para el reactor sin reciclo se adoptó de 24 h del caudal medio, para cada equipo en serie, y duplicando este tiempo de residencia hidráulico si funcionan en paralelo.

El reactor tendrá un sistema colector de gases para su posterior aprovechamiento en el precalentamiento de la corriente de efluente que ingresa al reactor (aumentando notoriamente su rendimiento), aunque inicialmente, se gestionará mediante su quema a los cuatro vientos.

Además, el equipo contará con ductos de acceso a la zona de barros para extracción de materia viva, para la evaluación de su seguimiento, mediante análisis fisicoquímicos, así determinar, bacterias presentes, acidez, nutrientes, y demás parámetros de interés.

De considerarse necesario podrán realizarse retiros de barros, semestralmente, a fin de mejorar el funcionamiento del reactor.

Según la bibliografía específica consultada (Groppelli, 2001), para reactores de contacto de alta carga, el rendimiento en degradación de DBO₅ es superior al 75% (entre 90 a 75%), para tiempos de retención hidráulico entre 12 a 24 h (el tiempo de retención celular será mayor y dependerá del reciclo elegido). Este rendimiento es estimado con cargas orgánicas de trabajo de entre 0,5 y 5,00 kg DQO/m³ por día y concentraciones del efluente de entre 1.500 a 5.000 ppm expresada en DQO, según la información específica citada.

Clarificador

Este equipo fue diseñado con características constructivas similares al sedimentador, pero integrado por dos equipos similares de 5 m de ancho por 10 m de largo, con colección de barros en forma de tolvas.

El objeto de este equipo es clarificar el efluente que sale de los reactores anaeróbicos, que por arrastre traen barros activos (conglomerados de bacterias), y que es necesario retirar del efluente para cumplir los valores de sólidos sedimentables en la corriente de salida, y paralelamente, reciclar esta carga de bacterias, reintroduciéndolas en los reactores, aumentando la masa bacteriana activa.

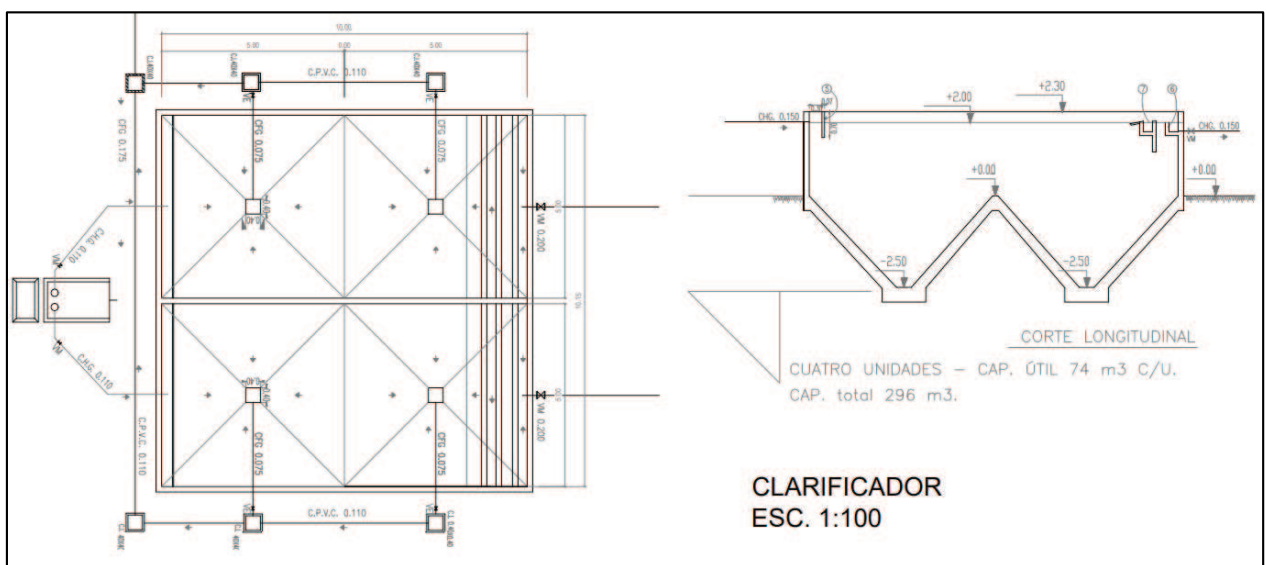
Por ello, al ingresar el efluente a este equipo clarificador, se obtiene una corriente de líquido clarificado que va a la cámara de muestreo y aforo, para luego ser derivado a colector

cloacal, y una corriente de barros que se recicla al primer reactor. Este reciclaje es posible, al derivar esta corriente de barros al pozo de bombeo que alimenta los reactores.

Es importante destacar que, como la corriente de salida, se derivará al colector cloacal municipal, y por ende ingresará al sistema lagunar municipal, donde la primera laguna es del tipo anaeróbica, es conveniente, que el efluente lleve la mayor cantidad de materia viva posible, y es por ello que solo se pretende al clarificar el efluente, a su mínima expresión.

Se adopta un tiempo de residencia de 1 h, con un reciclaje mínimo. El caudal a tratar, por cada una de estas unidades, considerando un reciclaje de un 50%, será $150 \text{ m}^3/\text{h}$, y se podrán realizar tareas de mantenimiento y limpieza, fuera de los horarios de faena. Ante la necesidad de reparar uno de estos equipos durante la faena, es posible que el equipo restante en funcionamiento, capte el caudal total de la planta, sin necesidad de detener la producción, aunque disminuyendo el reciclaje y tomando solo el caudal de producción.

Los criterios de diseños del clarificador propuesto se detallan en el Anexo IV. A continuación, se presenta el croquis 5 del equipo clarificador propuesto (dos unidades).



Croquis 5: Equipo de clarificadores

6.5.1.5 Cámara de muestreo y aforo

Al final del sistema, ubicada dentro del predio de la empresa, pero con acceso desde el exterior de modo que se facilite la toma de muestra por parte de los inspectores de los organismos de inspección y control, se deberá construir una cámara de muestreo y aforo de dimensiones rectangulares de $0,6 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$, donde se instalará un vertedero de escotadura en V a 90° , que permite realizar la toma de muestra, y la medición de caudal, para valores superiores a los máximos esperados.

6.5.1.6 Estimación de la disminución de la DBO₅ en el sistema propuesto

Como se expresó en la base de cálculo, se propone para el diseño la carga orgánica expresada en demanda Biológica de Oxígeno para cinco días (DBO₅) igual a $2.500 \text{ mg O}_2/\text{l}$.

- a) Disminución de la carga orgánica en el pretratamiento y tratamiento primario:

En este punto estimaremos la reducción en la carga orgánica, ocurrida en el sistema de rejillas, zaranda y separador de grasas/sedimentador.

De las observaciones realizadas en las muestras, se verificaron rendimientos de disminución de carga orgánica expresada en DBO_5 , superiores al 40%.

Del mismo modo, la bibliografía consultada, sugiere que solo para la etapa de sedimentación, los rendimientos de disminución de DBO_5 oscilan entre un 25% al 40%, de sólidos suspendidos de entre un 50% al 60%, y de disminución en sustancias solubles en éter etílico del 80 % o más.

Estas indicaciones, van de la mano de los resultados observados en planta con los equipos actuales, por lo expresado, adoptamos como rendimiento en la disminución de la carga orgánica expresada en DBO_5 un valor del 35%, para la suma de los equipos citados.

Si consideramos un ingreso con 2.500 mg O_2/l , la carga estimada a la salida será de 1.625 mg O_2/l .

La carga orgánica estimada a la salida del separador grasas/sedimentador se estima de 1.625 mg O_2/l , valor con que se ingresará al sistema de reactores anaeróbicos.

b) Disminución de la carga orgánica en el sistema de reactores anaeróbicos:

Según pudo expresarse en puntos anteriores, y en concordancia con la bibliografía específica consultada (Groppelli, 2001), se considera que, para reactores de contacto de alta carga, el rendimiento en degradación de DBO_5 es superior al 75% (entre 90 a 75%), para tiempos de retención hidráulico entre 12 a 24 horas (el tiempo de retención celular será mayor y dependerá del reciclo elegido), con cargas orgánicas de trabajo entre 0,5 y 5,00 kg DQO/ m^3 * día, y concentraciones del efluente de entre 1.500 a 5.000 ppm expresada en DQO.

Verificación de los parámetros de funcionamiento para reactores en serie:

Reactor Anaeróbico 1:

Los parámetros del primer reactor anaeróbico propuesto, se encuentran dentro de este rango de funcionamiento (trabajando en serie), como se verifica a continuación:

- Concentración del efluente (DQO) = 2.400 mg O_2/l = 2,4 kg DQO/ m^3
- Caudal diario esperado (Q) = 1.140 $m^3/día$
- Caudal máximo de ingreso con 50 % de reciclo día = 1.710 $m^3/día$
- Volumen reactor (V_r)= 1.125 m^3
- Tiempo de retención hidráulico sin reciclo: 24,1 horas
- Tiempo de retención hidráulico (para 50% de reciclo): 16 horas
- Carga Orgánica de trabajo (DQO) estimada = $Q * DQO / V_r = 2,432$ kg DQO/ $m^3*día$

Asumiendo un rendimiento conservador de 70% en disminución de DQO y de un 65% en la disminución de la DBO_5 por lo que a la salida del primer reactor la DQO será de 0,73 kg DQO/ m^3 .

La carga orgánica estimada expresada en DBO_5 a la salida de este Reactor 1, será de:

$$\text{DBO}_5 \text{ salida} = 0,35 * \text{DBO}_5 \text{ ingreso} = 0,35 * 1.625 \text{ mg O}_2/\text{l} = 568,75 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

La carga orgánica estimada a la salida del reactor 1 = 568,75 mg O₂/l

Reactor Anaeróbico 2:

Trabajando en serie, el segundo reactor anaeróbico propuesto, se encuentran dentro de este rango de funcionamiento:

- Concentración del efluente (DQO) = 730 mgO₂/l = 0,73 kg DQO /m³
- Caudal diario esperado (Q) = 1.140 m³/día
- Caudal máximo de ingreso con 50 % de recicló día = 1.710 m³/día
- Volumen reactor (V_r)= 1.125 m³
- Tiempo de retención hidráulico sin recicló: 24,1 horas
- Tiempo de retención hidráulico (para 50% de recicló): 16 horas
- Carga Orgánica de trabajo (DQO) estimada = Q * DQO / V_r = 0,73 kg DQO/m³*día

Asumiendo un rendimiento conservador de 60% en disminución de la DBO₅ (ingresa menos carga), por lo que a la salida del reactor 2, será de:

$$\text{DBO}_5 \text{ salida} = 0,40 * \text{DBO}_5 \text{ ingreso} = 0,40 * 568,75 \text{ mg O}_2/\text{l} = 227,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

La carga orgánica estimada a la salida del reactor 2 = 227,5 mg O₂/l

Valor aceptable para vuelco a sistema colector cloacal por la normativa vigente (límite permitido de 250 mg O₂/l).

Verificación de los parámetros de funcionamiento para reactores en paralelo:

Reactor Anaeróbico 1 y 2:

En este caso ambos reactores funcionan bajo las mismas condiciones (en paralelo), aumentando su tiempo de residencia, al dividir el caudal de ingreso a cada reactor, encontrándose dentro de este rango de funcionamiento:

- Concentración del efluente (DQO) = 2.400 mg O₂/l = 2,4 kg DQO/m³
- Caudal diario esperado (Q) = 1.140 m³/día / 2 = 570 m³/día
- Caudal máximo de ingreso con 50 % de recicló día = 855 m³/día
- Volumen reactor (V_r)= 1.125 m³
- Tiempo de retención hidráulico sin recicló: 48,2 horas
- Tiempo de retención hidráulico (para 50% de recicló): 32 horas
- Carga Orgánica de trabajo (DQO) estimada = Q * DQO / V_r = 1,216 kg DQO/m³*día

Debido al importante aumento del tiempo de residencia, asumimos un rendimiento conservador de un 85% en disminución de la DBO₅ esperando a la salida de los reactores, que la carga orgánica expresada en DBO₅, será de:

$$\text{DBO}_5 \text{ salida} = 0,15 * \text{DBO}_5 \text{ ingreso} = 0,15 * 1.625 \text{ mg O}_2/\text{l} = 243,75 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

Valor aceptable para vuelco a sistema colector cloacal por la normativa vigente (límite permitido de 250 mg O₂/l).

6.5.2 Tratamiento con equipos de Flotación

A fin de continuar con las propuestas en el diseño y los cálculos del sistema de tratamiento posible para los efluentes líquidos del Frigorífico Alberdi S.A, se describen a continuación los equipos de flotación mediante la utilización de coagulantes/floculantes. Para esto, se toma como base de cálculo las mismas características del efluente a tratar (Tabla 22) y el mismo sistema de pretratamiento que se describió en el proceso con reactores anaeróbicos (sección 6.5.1.2).

A continuación, se evalúan las alternativas técnicas de los sistemas de flotación de posible incorporación en la planta del Frigorífico:

6.5.2.1 Equipo de flotación por aire inducido (IAF)

Este sistema genera la inclusión del aire en la corriente líquida gracias al empleo de una bomba con características especiales, que toma del área de ingreso del equipo un caudal de efluente y lo reinyecta a lo largo del equipo con el aire incorporado, al reingresar este volumen de efluente libera las micro burbujas de aire que permiten la flotación de los sólidos suspendidos y grasas.

Funcionamiento: El líquido a tratar es conducido a través de un tanque de sección rectangular o circular de construcción robusta en acero al carbono, acero inoxidable o PRFV, al atravesar una corriente de microburbujas de aire que adhiriéndose a las partículas presentes las lleva a la superficie. Los sólidos de peso específico mayor al agua sedimentan por gravedad en el fondo de la cámara. Mediante un barredor superficial y uno de fondo (cuando corresponda) los sólidos son retirados de la cámara de separación. El agua tratada es descargada por gravedad.

Las microburbujas son producidas por un aireador de acero inoxidable el cual es montado en la zona de alimentación de la cámara de separación con el motor de accionamiento fuera del líquido. En su parte inferior posee un disco difusor con pequeños orificios en su perímetro. El motor hace rotar al disco difusor creando una zona de baja presión que succiona aire o gas desde la superficie por medio de un conducto dispuesto para tal fin. Una vez en el disco el aire o gas es expulsado del disco a través de los orificios perimetrales. El disco rotante divide al aire en microburbujas de entre 10 y 100 micrones de diámetro. Estas burbujas se adhieren a las partículas presentes en el líquido tales como sólidos en suspensión, grasa y aceites. Las burbujas lentamente alcanzan la superficie arrastrando a las partículas a las que se adhieren.

6.5.2.2 Flotación por Aire Disuelto (DAF)

Otra alternativa es la utilización de un equipo de Flotación por Aire Disuelto (DAF), en donde el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas (3 a 4 bar). Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire.

En este equipo cuya inversión puede hacerse por etapas, empezando por el separador e incorporando la etapa de aire disuelto más adelante. Es un equipo de mayor costo de inversión que los anteriores, pero ya utilizado en otras industrias. Ver detalle en la Figura 18.



Figura 18: Esquema, diseño y detalle del equipo DAF. GV Soluciones

6.5.2.3 Flotación por cavitación de Aire (CAF)

En este equipo de flotación, las aguas residuales entran en una pequeña sección de aireación en la cual se encuentra instalado el aireador por cavitación. El aireador succiona aire de la atmósfera y lo conduce hacia el fondo de esta sección a través de una tubería hueca. Cuando el aire llega al final de la tubería, éste es expulsado a través de un propulsor que crea micro burbujas de aire. Estas microburbujas luego emergen a la superficie del agua como un remolino.

El desbalance de densidades entre la mezcla aire-agua y el agua crea un flujo vertical ascendente el cual conduce las partículas de desperdicio hacia la superficie del agua. Durante este transcurso, los sólidos se adhieren a las burbujas de agua y es así como al llegar a la superficie, los sólidos flotan. Una vez en la superficie, el aire se dispersa y empuja los sólidos a la zona de descarga.

Los sólidos que flotan en la superficie son removidos continuamente por unas paletas mecánicas que se mueven a lo largo de la superficie del líquido y a toda la anchura del tanque, y que empujan los sólidos y materiales a flote de la entrada a la salida del tanque de flotación. Las paletas están montadas sobre dos cadenas que se encuentran una en cada lado del tanque. Las cadenas son movidas por un motor, montado a un lado del tanque.

Las paletas empujan los sólidos de una plataforma de metal inclinada hacia el canal de descarga de lodos, el cual contiene un tornillo sin fin horizontal que transfiere los sólidos

acumulados en el tanque de flotación hacia un tanque de almacenaje. El tornillo sin fin es también accionado por el mismo motor que mueve el sistema de paletas.

El agua residual clarificada fluye por debajo de la capa de los sólidos removidos hacia una cámara de descarga. En esta cámara hay un vertedero que controla la profundidad del agua en el tanque de flotación lo cual asegura que los líquidos no entren en el canal de descarga de sólidos.

En el fondo del tanque también se encuentran unas tuberías conectadas al aireador que se extiende hasta la sección de flotación las cuales succionan el agua en el fondo del tanque y la transportan nuevamente a la sección de aireación, creando así un sistema de recirculación. Esto asegura una flotación continua del contenido del tanque aún en la ausencia de un flujo de entrada.

Al ser un proceso aeróbico desaparecen los problemas de mal olor relacionados con la acumulación de lodos. Por lo tanto, los requerimientos de mantenimiento tanto internos como externos son mínimos.

Este equipo remueve más del 90 % de las grasas y los sólidos suspendidos son prácticamente removidos en su totalidad, si se utilizan floculantes favorece la eliminación de una parte de los sólidos disueltos que son removidos junto con las grasas y sólidos suspendidos, reduciendo la DBO entre un 50 % a 75 %, según la concentración de sólidos disueltos y de los floculantes utilizados.

Las dimensiones de la unidad estarán sobredimensionadas a fin de asegurar el tratamiento de futuras ampliaciones que pudiera producir la empresa, por lo que inicialmente el rendimiento de remoción será elevado.

El sistema CAF consiste en un tanque rectangular dividido en cuatro secciones:

1. La sección de aeración, donde se encuentra el aireador por cavitación.
2. La sección de flotación.
3. El canal de descarga de sólidos con un tornillo sin fin.
4. El canal de descarga del agua clarificada con vertedero ajustable.

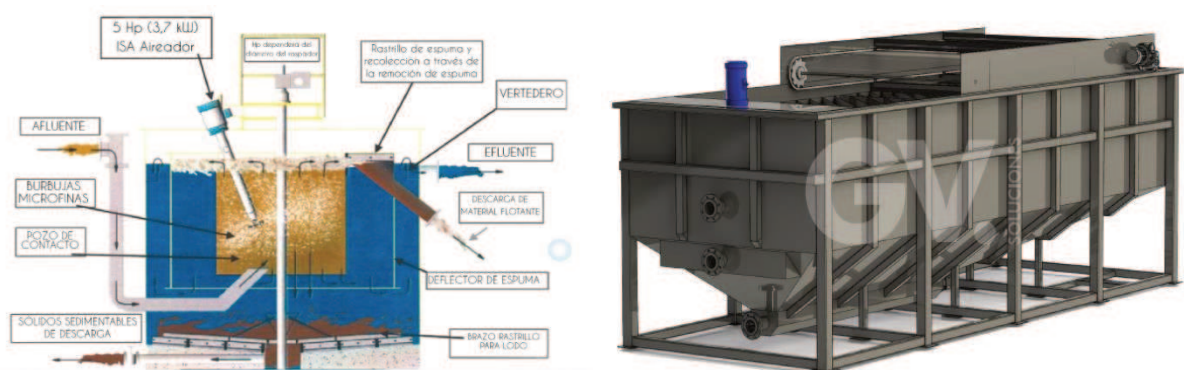


Figura 19: Esquema y diseño de un equipo CAF. GV Soluciones

Como tratamiento por equipos de flotación, se propone el sistema completo de flotación por cavitación de aire, Modelo CAF-180NA, con una capacidad de 50 l/seg, y todas las piezas

mecánicas y eléctricas necesarias (ver Tabla 23). Las especificaciones técnicas de este equipo se detallan en el Anexo V.

Tabla 23: Detalles técnicos de la unidad CAF 180

Detalles de la Unidad CAF	
N ° de Modelo	CAF-180na
Capacidad de la sección de flotación	50 m ³
Tiempo de retención a 2,5 m ³ /minuto	aprox. 17 minutos
Capacidad de flujo	50 l/seg
Superficie del líquido	29 m ²
Flujo de aire aproximado	1 cm ³ /seg
Longitud del aireador	1,75 m
Peso total aprox.	15.300 kg
Dimensiones totales	13,7 m x 2,4 m x 1,8 m

6.5.2.4 Coagulantes y floculantes

Para mejorar la eficacia de los tratamientos de los sistemas con equipos de flotación, para la eliminación de materia en suspensión, se incorporan ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilizan la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorecen la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables.

Los coagulantes son productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa como el cloruro férrico (FeCl₃) y el sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃), junto con polielectrolitos.

Los floculantes orgánicos (polímeros), a base de poliacrilamidas, pueden ser catiónicas, no iónicas o aniónicas, dependiendo de la aplicación y de variados pesos moleculares.

Considerando los buenos resultados en otros frigoríficos, para esta propuesta se tendrán en cuenta como coagulante al cloruro férrico al 43%, con una dosis aproximada de 175 ppm. Para el caso del polímero, se propone un aniónico en emulsión, con una dosis aproximada de 3 mg/l. Para la selección adecuada del coagulante y el floculante, es fundamental hacer pruebas sobre el afluente para evaluar su eficiencia, y determinar la dosificación adecuada en cada caso.

6.5.2.5 Diferencias y conclusiones a las alternativas de los equipos de flotación

Cualquiera de las alternativas de los equipos de flotación que se describieron, brindan una eficiencia en la remoción de la DBO₅ superior a un 60% y de un 90% en los sólidos suspendidos, según las características de vertido y la utilización o no de reactivos químicos. En

cuanto a las grasas los rendimientos también alcanzan valores elevados cercanos a un 80%. Si bien estos valores son estimados y dependerán de los floculantes adoptados y de la elección final del equipo, son relativos, ya que el efluente en cualquiera de estas alternativas cumple con los parámetros de vuelco regulados por la normativa.

En la unidad CAF la recirculación se lleva a cabo en varios puntos del fondo del tanque de la flotación, reduciendo de esta manera la posibilidad de que sedimenten los sólidos. El efluente no circula por ningún orificio o boquilla, evitando de esta manera obstrucciones y taponamientos de otros sistemas. La recirculación se realiza a través de tuberías huecas sin necesidad de usar bombas.

El problema de las alternativas IAF y CAF, es que su tecnología es importada y en el caso de existir problemas para su importación; como así también el servicio post venta y la falta de repuestos.

Para poder optar por cualquiera de estas alternativas es necesario primero, realizar correcciones internas en el sistema actual, considerando los análisis del efluente en diferentes lugares de la corriente realizados en este proyecto y por último determinar la mejor oferta técnico/económica.

6.5.3 Tratamiento con Humedales

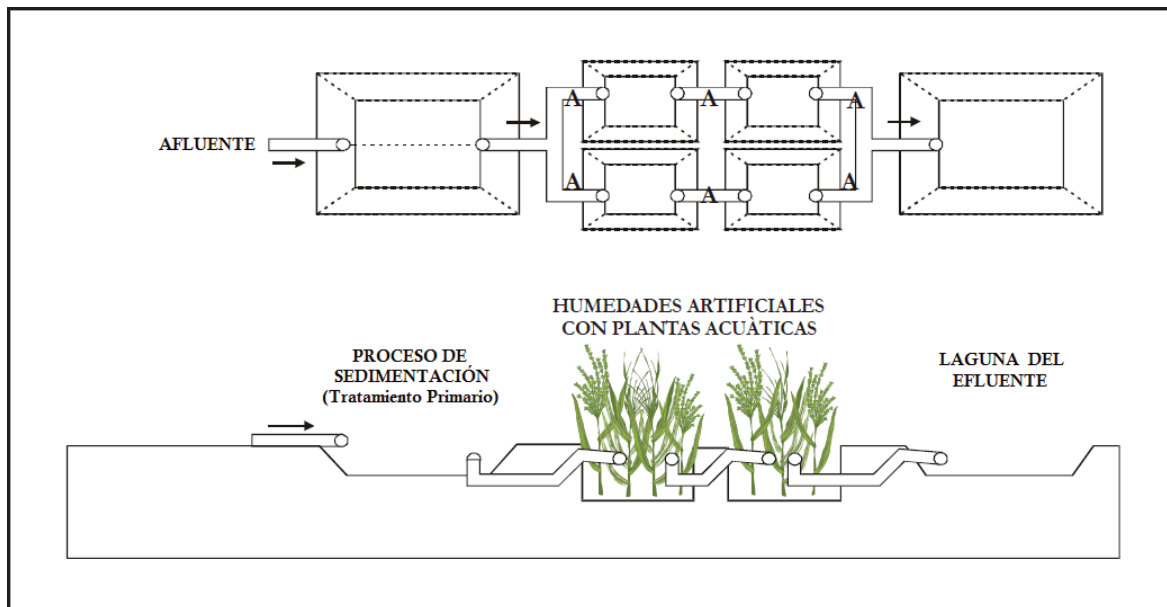
Como se hizo para las propuestas anteriores, para evaluar el diseño y el cálculo de un humedal artificial con sistema de agua superficial libre (SASL) como alternativa a una parte del tratamiento (secundario) para los efluentes líquidos del Frigorífico Alberdi S.A, se tomó como base de cálculo, los efluentes líquidos generados por la faena promedio de 800 animales/día, con la posibilidad de una faena máxima de 1.000 animales/día en algunos días. El consumo de agua asumido, para el proceso de faena es de 1,5 m³/animal. El consumo diario de agua para faena, se estima en 1.200 m³/d.

6.5.3.1 Aguas afluentes al sistema

Para poder diseñar y calcular el humedal artificial es fundamental caracterizar el afluente que va a recibir el mismo. Para esto se propone considerar para el diseño los sistemas de pretratamiento y tratamiento primario obtenidos en las propuestas anteriores (rejas de desbaste, equalización y tamizado; y sedimentador y separador de grasa).

Teniendo en cuenta, los cálculos del sistema de pretratamiento y tratamiento primario, se adopta un valor conservador de carga orgánica medida en DBO₅ de 1.625 mg O₂/l. Además, como criterio de diseño se considera un caudal medio de diseño de 1.140 m³/día (142,5 m³/hora), pH entre 6,8 - 7,5 y la temperatura del afluente promedio entre 15 y 30 °C en la mayoría del año.

Luego de la separación de los sólidos grasos suspendidos realizados en el tratamiento primario, el efluente ingresa a través de una cañería de PVC de 0,3 m de diámetro de descarga por gravedad hasta el sistema de humedales. El mismo estará compuesto por dos celdas en paralelo, seguidas por otras dos celdas finales (croquis 6). Los efluentes de las celdas finales serán conectados a una tubería de PVC y bombeados o, si está a desnivel, se llevará a través de un caudal a una laguna de almacenamiento (croquis 6).



Croquis 6: Diagrama de flujo de la planta de sedimentación del afluente, celda de humedales artificiales y laguna del efluente. Modificado de Palomino, 1996.

6.5.3.2 Plantas acuáticas

Las plantas acuáticas pueden ser seleccionadas de pantanos locales y ser trasplantadas dentro de las cuatro celdas disponibles en el sistema de humedales artificiales, las plantas propuestas para ser usadas se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24: Plantas acuáticas emergentes utilizadas en tratamiento de aguas residuales
Fuente: Reed, S.C., J Miledlebrooks and R.W., Crites (1995).

Nombre común	Nombre científico	Distribución	Temperatura en °C		Máxima salinidad	Rango de pH efectivo
			Deseable	Germinación de la semilla	Tolerancia ppmil	
Totora	Typha spp.	En todo el mundo.	10 - 30	12 - 24	30	4 - 10
Caña común	Phragmites communis		12 - 23	10 - 30	45	2 - 8
Junco	Juncus spp		16 - 26		20	5 - 7.5
Junco	Scirpus		18 - 27		20	4 - 9
Carrizo	Carex spp		14 - 32			5 - 7.5

6.5.3.3 Dimensiones del humedal artificial basado en la carga orgánica (DBO5) por el área

Para determinar las dimensiones del humedal artificial, se aplicó el método analítico de (Reed et al, 1995), considerando a los sistemas de humedales artificiales como reactores biológicos. Por lo tanto, su funcionamiento se aproxima al de un reactor de flujo a pistón con cinética química de eliminación de contaminantes de primer orden. Para esto, se tuvo en cuenta la concentración del contaminante (C : en $\text{mg O}_2/\text{L}$), la constante de cinética de primer orden (Kt : en d^{-1}), el tiempo de retención hidráulico (días), el volumen del humedal (m^3), el caudal medio diario a tratar ($\text{m}^3/\text{día}$), la longitud y ancho del humedal (m), la profundidad del sustrato y de la lámina de agua (m).

Para cumplir con la normativa vigente y poder volcar el efluente al sistema de lagunas de efluentes cloacales del Municipio de Oro Verde ($\text{DBO}_5 < 250 \text{ mg O}_2/\text{L}$), es necesario construir un humedal de 3.600 m^2 de superficie total. Según los parámetros y el criterio de diseño (Anexo VI), se proponen 4 celdas de 15 metros de ancho por 60 metros de largo cada una, como se esquematiza en el croquis 6.

Para cumplir con la normativa vigente y poder volcar el efluente al arroyo Paracao ($\text{DBO}_5 < 50 \text{ mg O}_2/\text{L}$), es necesario construir un humedal de 6.700 m^2 de superficie total. Según los parámetros y el criterio de diseño (Anexo VI), se proponen 4 celdas de 20,5 metros de ancho por 82 metros de largo cada una, como se esquematiza en el croquis 6.

La dimensión de las celdas para el diseño del humedal artificial, está en la relación largo: ancho (4:1); relación influenciada fuertemente por el régimen hidráulico y la resistencia al flujo dentro del sistema. El flujo a través del humedal tiene que vencer la resistencia a la fricción impuesta por la vegetación y la capa de residuos, la energía para superar esta resistencia es suministrada por el caudal calculado entre la entrada y la salida del humedal.

6.6 Análisis económico del proyecto

6.6.1 Alternativa 1: Mejoras y optimización del sistema actual

6.6.1.1 Costo del sistema de pretratamiento

6.6.1.1.1 Costo del sistema de rejillas de desbaste

Los costos de este proceso están relacionados con la construcción de un nuevo canal de 4 m de largo por 0,60 m de ancho, con 0,80 m de profundidad y la instalación de un sistema de doble rejillas de desbaste de acero inoxidable 304. El primero con planchuelas de 5 mm de espesor separados entre sí por espacios de 12 mm (para retención de sólidos gruesos), mientras que las segundas un espesor de 3,8 mm y una separación de 9 mm. Cada uno de estos, también están previsto por un canasto escurridor para la recolección de los residuos orgánicos. El costo total del canal y el sistema de rejillas es de \$USD 1.386,41.

6.6.1.1.2 Costo del sistema de bombeo

Para el sistema de bombeo, se propone instalar una bomba autocebante, para un caudal de $99 \text{ m}^3/\text{h}$. Accionada por motor eléctrico de 10 HP a 1.500 rpm, con cañería de aspiración de 0,10 m e impulsión de 0,15 m de diámetro. Completan la instalación del sistema de bombeo, los accesorios eléctricos, los conectores y tuberías que conducen el efluente del pazo equalizador (bomba) hasta el tamiz estanco. El costo de esta unidad es de \$USD 2.479,12.

6.6.1.1.3 Costo del sistema de tamiz

Para el sistema de separación del estiércol, se propone instalar una segunda zaranda estática tipo Nahuelco, con la capacidad de recibir un caudal de $99 \text{ m}^3/\text{h}$. Completan el costo del sistema de tamiz, la instalación eléctrica, los accesorios y tuberías que conducen el efluente percolado a la cámara de muestreo y aforo previo al tratamiento primario. El costo de esta unidad es de \$USD 20.336,86.

6.6.1.2 Costo del sistema de tratamiento primario y secundario

6.6.1.2.1 Costo del sedimentador y separador de grasa

En esta etapa se debe tener en cuenta los costos que demandan la construcción de seis unidades útiles de 74 m³ cada una y su sistema de barrido superficial. Además, se consideran los costos de los accesorios de conexión y las tuberías de aducción que conducen el agua hasta el tratamiento secundario. El costo de esta etapa es de \$USD 37.884,74.

6.6.1.2.2 Costos de limpieza y mantenimiento de lagunas

El mayor costo de esta unidad, está relacionado con el alquiler de maquinarias para el acondicionamiento de las lagunas existente en la empresa (movimiento de suelo y limpieza de lagunas). Otro costo adicional es el recambio de tuberías de entrada y salida al sistema. El costo total de esta obra será de \$USD 34.576,84.

6.6.1.2.3 Costos de reparación del lecho percolador

En esta unidad se debe tener en cuenta el costo que demandará la reparación del filtro percolador de losa de 95 m³. Además, se debe considerar el costo de los caños de ingreso y salida del filtro. El costo de reparación del filtro será de \$USD 1.016,15.

6.6.1.3 Costo total de las mejoras y optimización del sistema actual

En la tabla 25 se resumen los costos de la instalación, mejoras y optimización de cada unidad de tratamiento en esta propuesta. El costo total de esta alternativa es de \$USD 126.984,16.

Tabla 25: Costos para la mejora y optimización del sistema actual

Alternativa 1: Mejoras y optimización del sistema actual	
Proceso	Costo
Rejas de desbaste	\$1.386,41
Sistema de bombeo	\$2.479,12
Zaranda estática	\$20.336,86
Sedimentador y separador de grasa	\$37.884,74
Optimización de Lagunas	\$34.576,84
Lecho percolador	\$1.016,15
Subtotal	\$97.680,12
Imprevistos 10%	\$9.768,01
Honorarios por construcción 20%	\$19.536,02
Costo Total de la Obra*	\$126.984,16

* \$USD al 31/07/2020 (1 \$USD = \$ 71,84)

6.6.2 Alternativa 2: Tratamiento con Reactores Anaeróbicos

En el caso de seleccionar esta alternativa, la propuesta del frigorífico es construir el sistema de tratamiento de sus efluentes en el predio que dispone la empresa su sistema de pretratamiento actualmente.

6.6.2.1 Costo del sistema de pretratamiento

El sistema de pretratamiento (sistema de rejas, pozo de bombeo y tamiz) para esta alternativa es el mismo que para la alternativa 1. A los costos incluidos en la alternativa 1 para este rubro se deben incorporar los costos de obra de cámaras de muestreos y aforos, y las nuevas

tuberías de conexión de este sistema al tratamiento primario. El costo de esta etapa es de \$USD 24.202,39.

6.6.2.2 Costo del sistema de tratamiento primario y secundario

6.6.2.2.1 Costo del sedimentador y separador de grasa

En esta etapa se debe tener en cuenta los costos que demandan la obra integra de construcción de las dos unidades rectangulares de hormigón (seis unidades útiles de 74 m³ cada una) y su sistema de barrido superficial automatizado. Además, se deben considerar los costos de los accesorios eléctricos y de conexión, y las tuberías que conducen el efluente hasta los reactores aeróbicos. El costo de esta etapa es de \$USD 37.884,74.

6.6.2.2.2 Costo de los reactores anaeróbicos

El mayor costo en esta etapa, está relacionado con la construcción del pozo de bombeo y el depósito de barros, y las obras asociadas a la instalación de dos reactores aeróbicos de 1.125 m³ de capacidad útil cada uno.

En esta etapa deben sumarse los costos del sistema de bombeo (bomba sumergible con motor eléctrico) y la cañería y accesorios de aspiración e impulsión de este efluente hacia el clarificador.

El costo de la obra de los reactores y los accesorios necesarios es de \$USD 80.054,29.

6.6.2.2.3 Costo del clarificador

El costo en esta área está relacionado con la construcción de 2 cámaras clarificadoras de 5 m por 10 m cada una. También deben sumarse los costos de las cañerías y conectores para trasladar el líquido clarificado hacia la cámara de muestreo y aforo. El costo de esta etapa es de \$USD 11.595,21.

6.6.2.3 Costos de la cámara de muestreo y aforo

En esta etapa se debe considerar los costos para la construcción de una cámara de muestreo y aforo de dimensiones rectangulares de 0,6 m por 0,8 m, donde se instalará un vertedero de escotadura en V a 90°, que permite realizar la toma de muestra, y la medición de caudal. El costo de la cámara de muestreo y aforo es de \$USD 149,64.

6.6.2.4 Costo total del tratamiento con reactores anaeróbicos

En la tabla 26 se resumen los costos de la construcción, instalación y puesta en funcionamiento de cada unidad en esta propuesta. El costo total para desarrollar esta propuesta es de \$USD 200.052,16

Tabla 26: Costos para el tratamiento con reactores anaeróbicos

Alternativa 2: Tratamiento con Reactores Anaeróbicos	
Proceso	Costo
Rejas de desbaste	\$1.386,41
Sistema de bombeo	\$2.479,12
Zaranda estática	\$20.336,86
Sedimentador y separador de grasa	\$37.884,74
Reactores Anaeróbicos	\$80.054,29
Clarificador	\$11.595,21

Cámara de muestreo y aforo	\$149,64
Subtotal	\$153.886,28
Imprevistos 10%	\$15.388,63
Honorarios por construcción 20%	\$30.777,26
Costo Total de la Obra*	\$200.052,16

* \$USD al 31/07/2020 (1 \$USD = \$ 71,84)

6.6.3 Alternativa 3: Tratamientos con Flotación utilizando coagulantes/floculantes

Para poder optar por cualquiera de las alternativas de los equipos de flotación, es necesario primero realizar correcciones en el sistema de pretratamiento actual. Los proveedores de estos equipos, una vez definido el diseño (teniendo en cuenta las características del afluente de entrada), presupuestan el sistema completo llave en mano.

6.6.3.1 Costo del sistema de pretratamiento

De la misma manera que las alternativas anteriores, a los costos del sistema de pretratamiento (sistema de rejillas, pozo de bombeo y tamiz) se debe incorporar los costos de obra de cámaras de muestreos y aforos, y las nuevas tuberías de conexiones. El costo de esta etapa es de \$USD 24.202,39.

6.6.3.2 Costo del equipo con flotación

En esta etapa se debe tener en cuenta los costos que demanda la obra de construcción de la base rectangular de 30 m² de hormigón, donde se ubicará el equipo. Además, se deben considerar el costo del equipo de flotación completo instalado y funcionando (Tabla 27). El costo de esta etapa es de \$USD 250.165,40

Tabla 27: Costos del equipo de flotación por cavitación de aire

Equipo de flotación por Cavitación de Aire (CAF)	
Hormigón (base)	\$365,40
Equipo CAF (estructura)	\$200.000,00
Tanque de ajuste del pH y mezcla del coagulante	\$3.500,00
Mezclador	\$7.500,00
Sistema de control de pH	\$3.000,00
Bombas de ácido, caustica, coagulante y aire	\$14.800,00
Unidad de alimentación de polímero	\$5.000,00
Panel de control eléctrico	\$16.000,00
Subtotal*	\$250.165,40

* \$USD al 31/07/2020 (1 \$USD = \$ 71,84)

6.6.3.3 Costos de coagulantes y floculantes

En esta etapa, es fundamental tener en cuenta los costos operativos de los coagulantes y floculantes necesarios para el óptimo funcionamiento del tratamiento con flotación. Para considerar los costos aproximados de esta etapa, se propone evaluar los costos mensuales por la compra del coagulante cloruro férrico al 43%, y el polímero aniónico en emulsión. El costo mensual del coagulante y el floculante es de \$USD 1.038,18.

6.6.3.4 Costos de la cámara de muestreo y aforo

En esta etapa se debe considerar los costos para la construcción de una cámara de muestreo y aforo de dimensiones rectangulares de 0,6 m por 0,8 m, donde se instalará un vertedero de escotadura en V a 90°, que permite realizar la toma de muestra, y la medición de caudal. El costo de la cámara de muestreo y aforo es de \$USD 149,64.

6.6.3.5 Costo total del sistema de tratamiento con flotación

En la tabla 28 se resumen los costos de la construcción, instalación, puesta en funcionamiento de cada etapa en esta propuesta y el costo operativo mensual por la compra de los coagulantes y floculantes. El costo total para desarrollar esta propuesta es de \$USD 373.078,37

Tabla 28: Costos del tratamiento con flotación por cavitación de aire (CAF)

Alternativa 3: Tratamientos con Flotación	
Proceso	Costo
Rejas de desbaste	\$1.386,41
Sistema de bombeo	\$2.479,12
Zaranda estática	\$20.336,86
Equipo de flotación por cavitación de aire (CAF)	\$250.165,40
Coagulante y floculante (polímero)	\$12.458,24
Cámara de muestreo y aforo	\$149,64
Subtotal	\$286.975,67
Imprevistos 10%	\$28.697,57
Honorarios por construcción 20%	\$57.395,13
Costo Total de la Obra*	\$373.068,37

* \$USD al 31/07/2020 (1 \$USD = \$ 71,84)

6.6.4 Alternativa 4: Tratamiento con Humedales

En el caso de seleccionar esta alternativa, la propuesta de diseño es construir el sistema de tratamiento primario de los efluentes en el predio que dispone la empresa para su sistema de pretratamiento actualmente. Dado que para construir las celdas para los humedales se requiere una mayor superficie, las mismas serán implantadas en el predio donde tiene actualmente el sistema lagunar el frigorífico (aproximadamente a 900 metros de la planta de faena).

6.6.4.1 Costo del sistema de pretratamiento y tratamiento primario

El sistema de pretratamiento (sistema de rejas, pozo de bombeo y tamiz) y tratamiento primario (sedimentador y separador de grasa) para esta alternativa son los mismos que para la alternativa 1. A los costos incluidos en la alternativa 1 para estos rubros se deben incorporar los costos de reacondicionamiento de las tuberías existentes de conexión desde sistema de tratamiento primario hasta la conexión de las celdas de entrada de los humedales. El costo de esta etapa es de \$USD 62.087,14.

6.6.4.2 Costo del sistema de tratamiento secundario

6.6.4.2.1 Costo de construcción de los humedales

El mayor costo en esta unidad, está relacionado con el alquiler de maquinarias para el movimiento de tierra para construcción de los cuatros celdas de 1.675 m³ cada una. Otro costo adicional va a ser la instalación de las tuberías de conexiones de entrada, salida y entre las

celdas que conformarán el humedal. Además, se debe considerar los costos de las plantas acuáticas. El costo total de esta obra será de \$USD 77.171,49.

6.6.4.2.2 Costos de la cámara de muestreo y aforo

En esta etapa se debe considerar los costos para la construcción de una cámara de muestreo y aforo de dimensiones rectangulares de 0,6 m por 0,8 m, donde se instalará un vertedero de escotadura en V a 90°, que permite realizar la toma de muestra, y la medición de caudal. El costo de la cámara de muestreo y aforo es de \$USD 149,64.

6.6.4.3 Costo total del tratamiento con humedales artificiales

En la tabla 29 se resumen los costos de la construcción, instalación y mantenimiento de cada unidad en esta propuesta. El costo total para desarrollar esta propuesta es de \$USD 181.230,75.

Tabla 29: Costo del tratamiento con humedales artificiales

Alternativa 4: Tratamiento con Humedales	
Proceso	Costo
Rejas de desbaste	\$1.386,41
Sistema de bombeo	\$2.479,12
Zaranda estática	\$20.336,86
Sedimentador y separador de grasa	\$37.884,74
Construcción de humedales	\$77.171,49
Cámara de muestreo y aforo	\$149,64
Subtotal	\$139.408,27
Imprevistos 10%	\$13.940,83
Honorarios por construcción 20%	\$27.881,65
Costo Total de la Obra*	\$181.230,75

* \$USD al 31/07/2020 (1 \$USD = \$ 71,84)

6.6.5 Comparación de costos de las diferentes alternativas

En la tabla 30 se detallan los costos de las diferentes alternativas:

Tabla 30: Costos de las diferentes alternativas propuestas

Costos de todas las alternativas*	
Alternativa	Costo
Alternativa 1: Mejoras y optimización del sistema actual	\$126.984,16
Alternativa 2: Tratamiento con Reactores Anaeróbicos	\$200.052,16
Alternativa 3: Tratamientos con flotación por cavitación	\$373.068,37
Alternativa 4: Tratamiento con humedales artificiales	\$181.230,75

* \$USD al 31/07/2020 (1 \$USD = \$ 71,84)

6.7 Evaluación de las propuestas

6.7.1 Estimación de la eficiencia en los diseños

Las diferentes alternativas analizadas para el tratamiento de los efluentes líquidos del Frigorífico Alberdi S.A tienen la capacidad suficiente para reducir la cantidad de materia orgánica producida en la faena de la empresa. En la Tabla 31 se detallan las eficiencias de

remoción de la materia orgánica (DBO₅) por cada uno de los procesos en las diferentes alternativas propuestas.

Tabla 31: Eficiencias en los procesos de las diferentes alternativas

Fuente: Elaboración propia.

Alternativas propuestas	Unidad de tratamiento	DBO₅ [mg O₂/L]	Rendimiento [%]
Optimización del sistema actual Sistema de lagunas	Sedimentador/separador de grasa	1.800 - 1080	40
	Lagunas anaeróbicas	1.080 - 700	35
	Lagunas facultativas	700 - 70	90
Reactores Anaeróbicos	Sedimentador y separador de grasa	2.500 – 1.625	35
	Reactor anaeróbico de alta carga + Clarificador	1.625 - 240	85
Equipo de Flotación	Sistema por aire inducido (IAF)	< 250	60 - 90
	Sistema por cavitación de aire (CAF)	< 250	60 - 90
	Sistema por aire disuelto (DAF)	< 250	60 - 90
Humedales	Humedal artificial con sistema de agua superficial libre (SASL)	< 250	85
	Humedal artificial SASL de mayor superficie	< 50	95

El diseño del sistema de pretratamiento propuesto en todas las alternativas es el mismo. Este primer proceso de doble rejillas, permite la retención de sólidos con tamaños superiores a 9 mm. Estos desechos pueden ser grasas, piedras, plásticos, trapos, etc.

En lo que respecta al tamiz separador de estiércol propuesto, el cual tiene una abertura de 1,5 a 2 mm, donde se podrán retener entre el 5 y el 10% de los sólidos suspendidos en el afluente, y por ende partículas de diámetro inferior a 9 mm.

6.7.2 Discusión y conclusiones sobre las alternativas propuestas

Si bien, las diferentes alternativas propuestas para el tratamiento de los efluentes líquidos tienen la capacidad para reducir la cantidad de sólidos disueltos, grasas, materia orgánica; son muy variados las tecnologías, las dimensiones físicas y los costos de cada una.

En el caso del sistema de tratamiento secundario actual que dispone el frigorífico, las dimensiones de las lagunas anaeróbicas cumplen con el área obtenida en el cálculo teórico. Para el caso del sistema lagunar facultativo, se requiere una elevada inversión de obra para el mantenimiento y la adecuación de la superficie que se requiere para su cumplimiento.

El diseño con reactores anaeróbicos (dispuestos en serie o en paralelo) cumplen con los requerimientos de la carga orgánica permitidos para vuelcos al sistema cloacal (límite permitido de 250 mg O₂/l).

En este caso, es muy importante garantizar el cumplimiento del plan de monitoreo del efluente, ya que puede afectar en gran medida al sistema de tratamiento de los efluentes cloacales municipales. En caso contrario, se deberá diseñar un sistema posterior para reducir el

DBO₅ a 50 mg O₂/l a la salida de los reactores, y así cumplimentar con el parámetro de vuelco al arroyo.

Las alternativas de los equipos de flotación que se proponen, garantizan una eficiencia en la remoción de la DBO₅ superior a un 60% y de un 90% en los sólidos suspendidos, según las características de vertido y la utilización o no de reactivos químicos.

En cuanto a las grasas los rendimientos también alcanzan valores elevados cercanos a un 80%. Si bien estos valores son estimados y dependerán de los floculantes adoptados y de la elección final del equipo, cualquiera de estas alternativas cumple con los parámetros de vuelco regulados por la normativa.

En la unidad de flotación por cavitación de aire (CAF) la recirculación se lleva a cabo en varios puntos del fondo del tanque de la flotación, reduciendo de esta manera la posibilidad de que sedimenten los sólidos. En este equipo, el efluente no circula por ningún orificio o boquilla, evitando de esta manera obstrucciones y taponamientos de otros sistemas. La recirculación se realiza a través de tuberías huecas sin necesidad de usar bombas.

El problema de las alternativas de flotación (IAF y CAF), es que su tecnología es importada y puede existir problemas para su importación; como así también el servicio post venta y la falta de repuestos. Además, de los elevados montos de inversión inicial de estos equipos, se deben considerar los costos operativos en coagulantes y floculantes para su correcto funcionamiento.

En el caso de los humedales artificiales, para cumplir con la normativa vigente y poder volcar su efluente al sistema de tratamientos de los efluentes cloacales del Municipio de Oro Verde (DBO₅ < 250 mg O₂/L), es necesario construir un humedal de 3.600 m² (4 celdas de 15 metros por 60 metros cada una).

Para cumplir con la normativa vigente y poder volcar el efluente al arroyo Paracao (DBO₅ < 50 mg O₂/L), es necesario construir un humedal de 6.700 m² (4 celdas de 20,5 metros por 82 metros cada una).

La dimensión de las celdas para el diseño del humedal artificial, está en la relación largo: ancho (4:1); relación influenciada fuertemente por el régimen hidráulico y la resistencia al flujo dentro del sistema. Esta alternativa, no es la adecuada en el caso que la empresa decida la implementación de sistemas modulares para reducir las dimensiones de su sistema de tratamiento.

Para poder optar por cualquiera de estas alternativas es necesario primero, realizar correcciones internas en el sistema actual, considerando los análisis del efluente en diferentes lugares de la corriente realizados en este proyecto. Además, se requiere en todos los casos invertir en las mejoras detalladas en el sistema de captación de sangre y en el sistema de pretratamiento actual; y de esta manera determinar la mejor oferta técnico/económica.

6.8 Plan de Gestión Ambiental (PGA)

La actividad productiva frigorífica posee un alto impacto positivo, sin embargo, es importante determinar las medidas preventivas o de mitigación a fin de darle mayor fortaleza ambiental a la actividad, de forma que disminuya los riesgos asociados a los mínimos niveles y ordene las acciones preventivas y proactivas en pos del cuidado del ambiente.

El objetivo principal del PGA, es conformar diferentes planes escritos y guías de Buenas Prácticas Ambientales (BPA), sobre la programación de acciones preventivas y proactivas relativas al cuidado del ambiente y a la mitigación de impactos vinculados a la generación de los efluentes y el consumo de los recursos.

De esta manera se brindará una potente herramienta de gestión ambiental, que permita minimizar los riesgos ambientales asociados a la actividad, y de este modo asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

Las componentes principales de este plan de gestión ambiental son los siguientes:

6.8.1 Plan del manejo del recurso agua

Programa N° 1: Plan del manejo del recurso agua

Carácter: Preventivo - Mitigador

Objetivo: Mejorar el desempeño ambiental de la empresa a través de reducción del consumo del recurso natural agua.

Descripción: Representa el aspecto más importante debido a la magnitud que se utiliza y a la vez influye proporcionalmente en la generación de efluentes.

A los fines de simplificar la evaluación de los aspectos ambientales y proponer medidas para la reducción del consumo de agua durante el proceso productivo, se analizarán en las siguientes etapas globales: INGRESO y PROCESO.

Ingreso:

Operaciones en las cuales se consume agua:

- Lavado de los animales previo a la matanza
- Lavado de corrales
- Lavado de camiones
- Lavado de instalaciones exteriores

Medidas ambientales asociadas:

- Equipar las mangueras con válvulas o pistolas de corte para reducir las pérdidas de agua cuando éstas no estén en uso.
- Retirar los residuos sólidos, previo al lavado.
- Instalar en la manga sistemas de corte de agua en el lavado del animal previo a la matanza, mientras no se realice la operación.
- Utilizar bombas presurizadas o hidrolavadoras para la limpieza de camiones y corrales.
- Lavar los camiones y corrales en sentido descendente (de arriba hacia abajo) para ahorrar agua.

Beneficios:

- Disminución del consumo de agua
- Disminución de la generación de efluentes
- Ahorro en el tratamiento de efluentes (instalaciones más pequeñas, utilización de menor cantidad de insumos)
- Menor impacto en el cuerpo receptor
- Disminución en el tiempo de lavado

Proceso:

Operaciones en las cuales se consume agua:

- Limpieza de elementos de trabajo (cuchillos, ganchos, delantales y botas)
- Agua para desprender y transportar el cuero
- Lavado de media res
- Limpieza de panza, tripas y vísceras
- Cocción de partes (lavado del estómago)
- Limpieza de los pisos y mesas
- Generación de vapor para calentar agua (esterilización de utensilios y cocina).

Medidas ambientales asociadas:

- Colocación de sensores de corte (mecánicos o eléctricos) en lavado de manos y botas, como también en la extracción y transporte del cuero.
- Utilización de aire comprimido para el transporte de cueros.
- Limpieza en seco de mesas y pisos.
- Utilización de líneas con agua-burbujas de aire.
- Uso moderado de elementos químicos de limpieza. Preferentemente utilizar aquellos que sean biodegradables.

Beneficios:

- Reducción en el consumo de agua
- Menor efluentes generados
- Ahorro en el tratamiento de efluentes (instalaciones más pequeñas, utilización de menor cantidad de insumos)
- Menor impacto en el cuerpo receptor

6.8.2 Plan de gestión de efluentes

Programa N° 2: Plan de gestión de efluentes

Carácter: Preventivo - Mitigador

Objetivo: Cumplir con las obligaciones emergentes de las legislaciones vigentes, evitando riesgos y daños al personal, a terceros y ambientales.

Minimizar cualquier impacto adverso sobre la salud de los trabajadores y el medio ambiente, así como limitar la exposición a riesgos, brindando orientación sobre el manejo de los residuos que tienen influencia sobre los efluentes (sólidos, líquidos y peligrosos).

Descripción: El consumo de agua se traduce en la generación de efluentes líquidos de la industria. Éstos se caracterizan por contener restos de sangre, estiércol, grasa, pelos, contenido estomacal, etc. Dependiendo de las características de los mismos, y el tipo de pretratamiento que es posible aplicar a cada uno, se pueden separar en efluentes rojos y verdes.

- Efluentes Rojos: Constituidos principalmente por sangre no apta, provenientes del desangrado, lavado de reses, etc.

El desangrado es una operación clave desde el punto de vista ambiental de los efluentes del frigorífico, ya que la sangre tiene una carga orgánica muy elevada, y su incorporación a las aguas residuales produce un aumento muy significativo de la carga contaminante. La sangre tiene una elevada DQO (375.000 mgO₂/l) por lo que cualquier reducción de la cantidad de

sangre que acaba yendo a las aguas residuales se considera una opción de minimización de la carga contaminante muy adecuada.

- Efluentes Verdes: Formados por contenido estomacal (ruminal), pelos, orina, vómito, estiércol, etc.

A continuación, se describe donde se genera el efluente y que clase es, con sus medidas ambientales recomendables.

Ingreso:

Operaciones en las cuales se consume agua y se generan efluentes:

- Lavado de los animales previo a la matanza (v)
- Lavado de corrales (v)
- Lavado de camiones (v)

Medidas ambientales asociadas:

- Equipar las mangueras con válvulas o pistolas de corte para reducir las pérdidas de agua cuando éstas no estén en uso (para el lavado del animal previo a la matanza, los camiones y corrales).
- Utilizar bombas presurizadas o hidrolavadoras para la limpieza de camiones y corrales.
- No mezclar con el efluente de características rojas.
- Separar los sólidos eficientemente (uso de tamices, zarandas, rejas, sedimentadores).

Beneficios:

- Reducción en el consumo de agua
- Menor efluentes generados
- Ahorro en el tratamiento de efluentes (instalaciones más pequeñas, utilización de menor cantidad de insumos)
- Menor impacto en el cuerpo receptor

Proceso:

Operaciones en las cuales se generan efluentes:

- Noqueo (vómito) (v)
- Desangrado del animal (r)
- Recuperación de sangre (r)
- Lavado de vísceras rojas y verdes (r y v)
- Lavado de cueros (v)
- Limpieza de pisos, mesadas, equipamiento personal y utensilios (r)
- Procesos de pretratamiento (grasas y estiércol) y tratamiento primario (grasas y aceites)

Medidas ambientales asociadas:

- Separación de corrientes rojas y verdes.
- Establecer tiempos de desangrado mínimo.
- Instalación de sistemas que permitan la recuperación total de la sangre dentro de la zona de desangrado.

- Instalación de un sistema de drenaje doble: una que conduce al tanque de almacenamiento de la sangre (durante la operación de sacrificio) y otro que lleva al desagüe (durante la limpieza).
- Elección de un método de tratamiento eficiente y mantenimientos periódicos.
- Separación de grasas de las corrientes.
- Limpieza en seco de los pisos y mesadas, previo al lavado.
- Mantenimiento de instalaciones y control de fugas en el suministro de agua (recomendable cada 6 meses).
- Recolección de sangre en el degüello, evitando la mezcla de la misma con el vómito del animal.

Beneficios:

- Disminución de la generación de efluentes
- Ahorro en el tratamiento de efluentes (instalaciones más pequeñas, utilización de menor cantidad de insumos)
- Menor impacto en el cuerpo receptor
- Reducir considerable la carga orgánica del efluente
- Aumentar la cantidad de sangre que se puede gestionar como subproducto (ingresos por ventas de sangre de primera y segunda)
- Mejor calidad de sangre acumulada (no estará diluida con agua)

Referencias:

(v) Efluente Verde; (r) Efluente Rojo

6.8.3 Plan de monitoreo ambiental

Programa N° 3: Plan de monitoreo ambiental

Carácter: Preventivo - Mitigador

Objetivo: Implementar un programa de monitoreo de la calidad del efluente, el suelo, el agua y el aire; como así también controlar los ruidos y proteger la flora y fauna. De esta manera advertir sobre los potenciales riesgos ambientales, garantizando el cumplimiento de las disposiciones legales vigentes.

Descripción: Desarrollar un plan de trabajo para la implementación del Programa de Monitoreo Ambiental. El plan de trabajo deberá establecer la identificación del personal, sus responsabilidades, la logística de campo, los cronogramas, la capacitación, los requisitos de monitoreo, los formularios de reporte de monitoreo y la comunicación e intercambio de información.

6.8.3.1 Calidad del efluente

La calidad del efluente se evalúa a través del plan de muestreo. Instrumento que permite ordenar el trabajo de campo, esto es las actividades de observación, tomas de muestras, medición y análisis.

El objetivo del plan de muestreo es establecer los procedimientos para la selección de los puntos de muestreo, toma de muestras en cuerpos de agua y efluentes, asegurando la calidad de datos y custodia de las muestras con la finalidad de determinar la calidad y composición de las mismas.

En esta fase se selecciona, teniendo en cuenta el tipo de faena y la capacidad de la producción, el tipo de muestreo, los puntos de extracción, los parámetros a examinar, que permitan a través de los análisis fisicoquímicos determinar las características en la calidad del efluente en los diferentes procesos del sistema.

Medidas correctivas o de mitigación a desarrollar: El plan contempla acciones conjuntas entre el municipio y la empresa para monitorear periódicamente el efluente; y tomar medidas correctivas en la generación de los mismos.

Profundizar los análisis de autocontrol a realizar por la empresa. Se debe informar periódicamente a las autoridades ambientales de los análisis de autocontrol realizados y además de los valores hallados en los efluentes.

6.8.3.2 Calidad del suelo

Podrían generarse contingencias extraordinarias de vuelco de material, productos peligrosos o materiales de limpieza durante la operación de la producción.

Los suelos del área de influencia de la cañería de transporte del efluente entre la planta y los sitios de tratamientos podrían resultar contaminados ante la pérdida o rotura de la cañería. Será necesario tareas periódicas de revisión a fin de detectar imperfecciones tempranas, al igual que potenciales filtraciones de las lagunas que afectarían al suelo cercano. Ante la potencialidad de ocurrencia, se tendrá en cuenta el *plan de contingencia*.

Medidas correctivas o de mitigación a desarrollar: El plan contempla acciones de inspección que definen las tareas de mantenimiento necesarias, a fin de evitar erosiones y la detección temprana de las potenciales fugas de efluentes, por rotura de cañerías o filtraciones.

6.8.3.3 Calidad del agua

Aguas superficiales: La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del Arroyo Paracao, podrá verse afectada negativamente a causa de fallas en el sistema de tratamiento, vuelco fuera de normativa o ausencia de controles que impidan realizar las correcciones adecuadas.

Por otro lado, se propone acciones en conjunto entre el municipio y el frigorífico, para evaluar y analizar las correcciones en las deficiencias del sistema.

Medidas correctivas o de mitigación a desarrollar: Las acciones conjuntas entre el frigorífico y el municipio permitirán el monitoreo periódico del agua superficial; y tomar medidas correctivas ante desvíos en sus resultados.

Profundizar los análisis de autocontrol a realizar por la empresa. Se debe informar periódicamente a las autoridades ambientales de los análisis de autocontrol realizados y además de los valores hallados en el monitoreo del agua superficial.

Aguas subterráneas: El agua subterránea puede verse afectada negativamente a causa de las potenciales filtraciones en las cañerías de los efluentes, filtraciones en las lagunas aeróbicas y/o anaeróbicas. Se debe monitorear el estado y asegurar la impermeabilidad de las membranas de las lagunas.

Si bien no se observan inconvenientes, es un potencial problema de contingencia incierta para la contaminación de las napas.

Medidas correctivas o de mitigación a desarrollar: Las acciones conjuntas entre el frigorífico y el municipio permitirán las inspecciones de rutina y el monitoreo periódico del agua subterránea (muestreo de napas); y tomar medidas correctivas ante desvíos en sus resultados.

Profundizar los análisis de autocontrol a realizar por la empresa. Se debe informar periódicamente a las autoridades ambientales de los análisis de autocontrol realizados y además de los valores hallados en el monitoreo del agua subterráneas.

6.8.3.4 Calidad del aire

Durante el tratamiento anaeróbico, el aire podrá verse afectado por los olores provenientes de las lagunas. Estos olores pueden llegar a ser percibidos en un radio de unos 1000 metros en torno a las lagunas. Existiendo en ese radio viviendas que pudieran resultar afectadas.

Las emisiones de la caldera, procesos de tratamientos, y demás equipos, sumada a la actividad digestiva de los animales, es generadora de gases contaminantes propios de la actividad.

La circulación de camiones de abastecimiento y servicios de retiro de subproductos de la producción, generan impactos por levantamiento de polvos y emisión de gases contaminantes.

Medidas correctivas o de mitigación a desarrollar: Las acciones de este plan permitirán las inspecciones y monitoreo periódico del aire; y tomar medidas correctivas ante desvíos en sus resultados.

La minimización de los olores puede generarse por la evaluación de la dirección de los vientos predominantes en las áreas de influencias y la colocación de cortinas forestales en lugar estratégicos.

El plan también propone profundizar los análisis de autocontrol a realizar por la empresa. Se debe informar periódicamente a las autoridades ambientales los resultados de los análisis de autocontrol realizados y además de los valores hallados en el monitoreo del aire.

6.8.3.5 Ruido

La generación de ruido está dada por los equipos de frío, calderas, bombeo, ventilación o por los animales, que en su estadía en los corrales generan ruidos propios.

El ingreso, egreso y la circulación de camiones de abastecimiento y servicios de retiro de subproductos de la producción, generan ruidos a considerar en este plan.

Medidas correctivas o de mitigación a desarrollar: Las acciones de este plan permitirán las inspecciones y monitoreo periódico de los ruidos; y tomar medidas correctivas ante desvíos en sus resultados, basadas en las características, ubicación e intensidad de los mismos y la ubicación de equipos con respecto a las medianeras y lotes linderos urbanizados.

El plan también propone profundizar los análisis de autocontrol a realizar por la empresa. Se debe informar periódicamente a las autoridades ambientales los resultados de los análisis del monitoreo de ruidos en diferentes ubicaciones.

6.8.4 Plan de contingencias

Programa N° 4: Plan de contingencias

Carácter: Preventivo – Mitigador - Compensación

Objetivo: Evitar daños y mitigar consecuencias sobre la salud de los trabajadores del frigorífico y la población en general; evitando contaminaciones mayores del ambiente.

En caso de producirse derrames, fallas de los procesos y variación brusca de los parámetros de vuelco iniciar inmediatamente la remediación de la zona afectada.

Actuar de manera rápida y eficiente en caso de contingencias que pongan en peligro la salud de los trabajadores, la población y los recursos naturales de la zona de influencia, como así la integridad de los bienes y del medio ambiente, cumpliendo el marco legal y lo establecido en el presente programa.

Descripción: Se proponen procedimientos de contingencia para la actuación del personal ante siniestros. Entre ellos:

- Actuación para casos de derrames de productos químicos, combustibles, efluentes, otros.
- Actuación ante fallas en algún proceso y/o tratamiento.
- Acción ante variaciones bruscas en los parámetros monitoreados.

Nota: Se define como contingencia a toda situación o acontecimiento no deseado, que puede ocurrir dentro del área de afección directa y de influencia de la planta, y por el cual se pone en riesgo al medio natural, la vida de las personas, sus bienes y la seguridad del patrimonio de las empresas y de terceros.

6.8.4.1 Procedimiento para la actuación en caso de derrames

Medidas de contención de derrames de productos químicos y combustibles:

Las posibilidades de derrame más peligrosas que pueden presentarse son:

- Rotura accidental de los bidones que contengan productos químicos, tambores de aceites lubricantes, combustibles u otros productos utilizados en algún proceso.
- Rotura de tanques de Combustibles.
- Rotura de tambores en la zona de almacenamiento transitorio de Residuos Peligrosos.
- Derrame en los procesos de manipulación de combustibles.
- Derrame de sangre u otro efluente en el proceso de tratamiento.
- Rotura de tanque de vehículos y maquinarias viales.

Tanto los bidones como los tambores deberán almacenarse sobre bandejas de contención, en forma separada y cuyo volumen del espacio libre sea de por lo menos 300 litros. Por otra parte, deberán almacenarse de manera de que no exista posibilidad de mezcla de productos entre sí en caso de riesgos por reacción.

Los tanques de combustibles se instalarán siguiendo las normativas vigentes atentas a los muros de contención, drenajes, rejillas de drenajes en zona de carga, etc.

Medidas a adoptar en caso de derrames con incendio:

- Seguir el procedimiento general conteniendo el derrame si es posible, dando avisos a los supervisores.
- Tenga en cuenta los cambios repentinos y agravamiento de la situación.
- Evacuar inmediatamente los sectores afectados.
- Siga los procedimientos para el control de incendios.
- Trate de contener el derrame teniendo precaución extrema al riesgo de incendio.
- En lo posible primero controle el incendio y luego el derrame.
- Controlando el incendio, controle el derrame siguiendo el procedimiento de derrames.
- Prevea el uso de arena o tierra, tanto para la construcción de diques controladores del derrame como para la extinción del fuego.
- Prevea el uso de palas mecánicas y palas manuales. Tenga en cuenta que lo principal es la Seguridad Humana.

Medidas a adoptar en caso de derrames pequeños sin incendio:

Tratar de inmediato a su neutralización, para ello se debe contar con un stock de materiales en la planta o en los equipos móviles que se disponen en la misma.

El equipo necesario para contener este tipo de derrames estará constituido por:

- Pala.
- Tambor con tapa.
- Bolsas de polietileno de alta densidad de tamaño adecuado al tambor.
- Material absorbente en bolsas.

Producido el derrame se deberá recolectar el material con el absorbente, removiendo y limpiando luego dicho material, recogiendo suelo y vegetación afectada, con pala y rastrillo de ser necesario. Los residuos recolectados se almacenarán en las bolsas de polietileno y estas se depositarán luego en los tambores dispuestos a tal fin.

Todo el material considerado como residuo peligroso, se almacenarán en los depósitos transitorios y se recolectarán para su disposición final por una empresa habilitada y contratada a definir en el momento del acontecimiento.

Se implementarán prácticas de detección de fugas de envases como tambores, tanques pequeños y vehículos de transporte.

Medidas a adoptar en caso de derrames mayores:

En caso de grandes derrames no contenidos se debe proceder de la siguiente manera:

- Evacuar la zona y suspender todos los trabajos en un radio de al menos 50 metros aledaños a la zona.
- Construir diques o barreras utilizando palas para remover la tierra o generar barreras absorbentes, con el fin de evitar el escurrimiento del producto y la afectación de un área mayor.
- Actuar con rapidez sobre todo si existe posibilidad que por escurrimiento el contaminante pueda llegar a zonas de agua superficial, canales, zanjones con agua, etc.
- Utilizar material absorbente el cual será removido en su totalidad junto con tierra y vegetación afectada.
- Disponer transitoriamente en envases adecuados.

- Llevar a disposición final como residuo peligroso.
- Lavar adecuadamente todas las herramientas y equipos utilizados, como así también la indumentaria del personal afectado a la tarea.

Remediación de zonas contaminadas:

Luego de controlada la emergencia y recuperado todo el producto posible, se deberá remediar inmediatamente la zona contaminada, sea esta pequeña o grande.

La zona donde se produjo el derrame deberá limpiarse profundamente utilizando un producto adecuado al tipo de elemento derramado.

En el caso en que el derrame afectó alguna zona del predio, deberá reemplazarse todo el volumen de tierra afectado, y el volumen contaminado deberá transportarse para su tratamiento o disposición final por una empresa habilitada y dedicada a tal fin.

En todos los casos deberá dejarse registros escritos del operativo realizado y en el caso de remediaciones de zonas del predio es importante realizar tomas de muestras y mediciones dejando constancias de la metodología utilizada y de la profundidad en que el contaminante se haya absorbido.

Es sumamente importante actuar con rapidez en todos los casos, para evitar aumentos de la marcha del contaminante y mantener al mínimo el volumen de tierra afectada. Se debe recordar que el contaminante, por varios mecanismos y dependiendo del tipo de tierra que encuentra, logra transportarse por este medio a velocidades relativamente grandes.

6.8.4.2 Procedimiento para la actuación ante fallas en el tratamiento

Medidas de contención ante fallas en los procesos de tratamientos:

Las posibilidades de fallas en los procesos de tratamientos pueden ser:

- Rotura o fallas accidentales de bombas o motores en algunos de los procesos de tratamientos.
- Obstrucción de la cañería de transporte del efluente entre la planta y los sitios de tratamientos; y/o entre los diferentes procesos.
- Saturación temprana de los depósitos transitorios de acumulación de los efluentes o residuos obtenidos como subproducto en los tratamientos.

Por fallas en algún proceso y/o tratamiento, cualquier empleado deberá dar aviso al encargado de mantenimiento del sector correspondiente.

Si la falla fue producida por inconvenientes eléctricos o mecánicos de bombas o motores, se deberá detener el proceso de tratamiento, solicitando la reducción en la generación del efluente, hasta la solución del mismo.

Para el caso de obstrucciones de alguna cañería de transporte del efluente, se deberá detener el sector de la producción que esté generando el efluente del sector, hasta encontrar el problema y dar una solución al mismo. Si esta obstrucción provocó derrames, se deberá acudir al *procedimiento para la actuación en caso de derrames*.

Si los depósitos transitorios de acumulación de efluentes o algún residuo de un proceso se sobrepasan antes de su tiempo planificado, se deberá avisar al área de control y mantenimiento

para identificar el motivo y dar una pronta solución. Si esta saturación provoco derrames, se deberá acudir al *procedimiento para la actuación en caso de derrames*.

6.8.4.3 Procedimiento para la actuación en variaciones en los parámetros

Medidas de contención ante variaciones detectadas en los análisis de los parámetros:

Las posibilidades de diferencias en los resultados de los análisis de los parámetros monitoreados pueden deberse a:

- Cambios en el tipo de faena o capacidad de producción.
- Utilización de nuevos productos (detergentes, desinfectantes, etc.) para la limpieza y/o productos químicos, floculantes, etc. en los procesos y línea de producción.
- Fallas en los protocolos de monitoreos establecido en el *plan de monitoreo ambiental*.

El jefe de faena deberá notificar al encargado de control y mantenimiento de los procesos, los cambios en el tipo de faena y la cantidad de animales que se van a sacrificar por ciclo de producción.

El encargado de compras del frigorífico deberá coordinar y notificar con las diferentes áreas de la planta la incorporación de nuevos productos de limpieza y desinfección, como así también los tipos y características de productos químicos a utilizar en los diferentes tratamientos.

Los resultados de los diferentes análisis de los parámetros obtenidos en el plan de monitoreo, deberán ser evaluados y notificados a todos los supervisores de áreas para su conocimiento y accionamiento en conjunto.

6.8.5 Plan de Comunicación Social

Programa N° 5: Plan de Comunicación Social

Carácter: Preventivo - Informativo

Objetivo: Mantener actualizada la información del desarrollo de los distintos programas, para dar respuesta inmediata a todo tipo de consultas, observaciones u objeciones para su solución.

Se busca estudiar, desarrollar, coordinar y controlar todas las actividades tendientes a mantener y mejorar las relaciones externas de la empresa con las autoridades de control y la comunidad.

Descripción: El Representante Técnico de la empresa será el responsable de las relaciones públicas quien podrá designar un sustituto o contratar personas o empresas para solucionar problemas presentados.

El Responsable Ambiental del frigorífico será el encargado de relevar, en forma permanente, los temas relacionados con el Plan de Gestión Ambiental que requiera difusión por medio radial, gráficos locales y regionales; y todos aquellos que se consideren oportunamente idóneos. El responsable ambiental de la empresa también será el encargado de intercambio de opiniones y acciones con las autoridades, actores sociales, instituciones intermedias, ONGs, y población afectada. Se deben crear canales de comunicación eficientes para atender reclamos y consultas.

6.8.6 Plan de Educación Ambiental

Programa N° 6: Plan de educación ambiental

Carácter: Preventivo - Informativo

Objetivo: Brindar instrucciones, educar, concientizar y proporcionar herramientas a los empleados del frigorífico para que cumplan con las medidas de protección ambiental existentes y las obligaciones resultantes del presente PGA.

Descripción: Se deberán discutir temas relacionados con el medio ambiente en general y los compromisos derivados de todos los programas del PGA.

Se deben brindar capacitaciones y entrenamiento ambiental a todo el personal. Deberán contener como mínimo los siguientes temas:

- 1- Plan de manejo ambiental de los recursos naturales.
- 2- Contaminación del aire, suelo y agua.
- 3- Programa de monitoreo ambiental.
- 5- Manejo de residuos sanitarios, peligrosos y efluentes.
- 6- Control de derrames de hidrocarburos, productos químicos y efluentes.
- 7- Control de vectores y plagas.
- 8- Legislaciones ambientales municipales, provinciales, nacionales e internacionales.

Ante cualquier modificación o cambios en los procesos de tratamientos de los efluentes líquidos del FASA, el Especialista Ambiental supervisará y notificará los mismos a todos los empleados. Como así también, deberá informar sobre cualquier incidente de incumplimiento y de las acciones de negligencia por parte de cualquier empleado.

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

El proceso productivo de la industria frigorífica genera una gran cantidad de desperdicios con impactos negativos sobre el medio ambiente. El vertido de efluentes con alto contenido de sólidos totales, aceites, grasas y materia orgánica en los cursos de agua, producen significativos problemas de contaminación. Existen en la actualidad diversos tratamientos de los efluentes para este tipo de industrias, resultando esencial, que dicho sector industrial adopte las técnicas que mejor se adapten a las características de los efluentes que generan y las dimensiones de su establecimiento.

El incremento de la exportación de carne vacuna por parte del FASA de la ciudad de Oro Verde ha llevado a que el mismo; en los últimos 2 años aumente la cantidad de ganados faenados a un promedio de 480 animales/día, contra 250 animales diarios en años anteriores. Esta proyección produce un aumento de más de 120% del volumen diario del efluente a tratar. Sumado a esto, la falta de mantenimiento y la desactualización del sistema de tratamiento actual, producen una saturación en el sistema que procesa los efluentes líquidos del frigorífico.

Esta problemática se agrava con el incremento de la población de Oro Verde (duplicada en los últimos 10 años), dado que el crecimiento territorial de la ciudad se dio hacia el área industrial; específicamente a 80 metros donde se encuentran actualmente las lagunas de tratamiento del frigorífico. Por dicho motivo, se han incrementado los reclamos por olores e inconvenientes con la proliferación de roedores y contaminación visual.

Dentro de la planta se generan tres corrientes líquidas con características diferentes, una es la denominada “línea roja” formada por los efluentes generados en la zona de sacrificio y playa de faena, otra es la denominada “línea verde” del lavado de corrales y la “verde de faena”, los que son conducidos por ductos independientes hacia el mismo sistema de pre-tratamiento.

El efluente crudo presenta una coloración rojiza, turbio y con sólidos en suspensión. Los constituyentes de este efluente líquido, son principalmente orgánicos, su mayor constituyente es el agua de lavado. Entre sus componentes más comunes se encuentran restos de sangre, grasa de diferentes características, restos de tejido muscular (carne), resto de estiércol y orina provenientes del lavado de los corrales y las jaulas de los camiones, entre otros.

La sangre, procedente principalmente de la playa de faena y sus anexos, debe ser captada a fin de disminuir los valores de DBO del efluente final y además obtener un subproducto, buscado en el mercado. Sobre este punto la empresa debe realizar mejoras en el proceso de captación de la sangre denominada “de primera”, la que se realiza en una batea de acero inoxidable y es la de mayor volumen generada en el momento del degüello. Luego es derivada con agregados de anticoagulantes hacia un tanque de acero inoxidable y posteriormente comercializada como subproducto para uso industrial.

Además, se tiene sangre denominada de segunda, que es la recogida durante el proceso de desangrado continuo fuera de la batea de degüello. Esta es captada a través de una canaleta de colocación manual durante el tiempo de degollado, derivada a un pozo de acumulación y recolectada por terceros como sangre para uso industrial. Luego, en el periodo de lavado de la batea y limpieza del lugar, la canaleta es retirada y el efluente generado es conducido hacia el sistema de tratamiento.

La primera acción para determinar la calidad final del afluente a tratar es la adecuada captación de la sangre de primera y segunda, a fin de disminuir los valores de DBO del efluente final. Por lo tanto, la sangre de primera y segunda no deben ingresar al sistema de tratamiento de los efluentes.

A partir de junio de 2018 el FASA exporta parte de su producción a Israel cumpliendo con los sistemas de contención de bovinos para la faena Kosher. En este tipo de faena se prioriza el bienestar del animal cumpliendo con los preceptos religiosos. En el relevamiento se pudo discriminar la cantidad de animales faenados por día en el año 2019 y en los primeros siete meses del 2020, marcando los periodos con faena Kosher y tradicional.

Una diferencia importante observada entre la faena Kosher y la tradicional, es que en el primero la recuperación de sangre de primera y segunda es menor, por lo que la sangre que no se puede acumular ingresa directamente al sistema de tratamiento de los efluentes líquidos, incrementando de esta manera la carga orgánica del mismo, afectando aguas abajo los procesos de tratamientos del efluente.

De la evaluación de los análisis fisicoquímicos obtenidos del relevamiento, se observaron valores elevados de DBO₅ (como indicador indirecto de carga orgánica o nutrientes biodegradables), y además muy variables dependiendo en gran medida de la recolección de sangre en el proceso del sacrificio del animal. En algunos casos se observaron valores altos de sustancias solubles en éter etílico (SSEE) comúnmente llamadas grasas/aceites, los valores de concentración de iones de hidrógenos (pH) varían según el momento de la faena, pero se acercan a la neutralidad, aunque dependen de los productos utilizados para desinfección y limpieza; y del caudal del agua utilizado (efecto dilución).

Como proceso de relevamiento en campo, se identificaron todas las etapas involucradas en el sistema de tratamiento de los efluentes del FASA. Donde se puede destacar el sistema de pretratamiento (reja de desbaste, pozo equalizador con bomba de elevación y zaranda estática), el tratamiento primario (sedimentador y separador de grasa) donde se separan de forma manual una cantidad importante de los sólidos o barros suspendidos. Luego el efluente ingresa al tratamiento secundario, compuesto por dos lagunas anaeróbicas en paralelo, para luego pasar a dos más en serie que, si bien fueron diseñadas inicialmente para ser facultativas, la carga y el caudal que reciben no lo hacen posible. Una vez realizado el tratamiento por lagunas el efluente pasaba por un lecho percolador, que en la actualidad está sin funcionar y mediante un by pass, se vuelca al Arroyo Paracao.

Debido a los cambios en el caudal y en las características del efluente en función del tipo de faena y el tiempo de la misma, es que se decidió por el tipo de muestreo compuesto o compensado con respecto al tiempo. Para este tipo de muestreo, se tomaron en el transcurso de 3 horas, tres sub-muestras de igual proporción (2/3 litros), con periodos de 1 hora de diferencia entre cada toma de muestra. Para los muestreos, se eligieron los puntos de entrada y salida de todos los procesos involucrados en el sistema de tratamiento actual. Poder analizar los parámetros en el ingreso y egreso de los procesos, nos permitió determinar los rendimientos en el funcionamiento de cada etapa del sistema.

Para la toma de muestra se tuvo en cuenta el protocolo de muestreo, donde se identificó la cadena de custodia, determinando las personas que iban a estar en contacto con las muestras (desde la toma, análisis y eliminación); la identificación y rotulado, con etiquetas adhesivas de

identificación, sitio de extracción, fecha y hora. El recipiente fue seleccionado en base a las recomendaciones del laboratorio; la conservación de las muestras se realizó con una conservadora portátil, a fin de evitar alteraciones en las muestras.

Los muestreos se realizaron los días 10/12/2019 y 23/04/2020, utilizándose recipientes (balde, embudo y botellas) plásticos. El líquido recolectado en cada sitio se trasvasó mediante el uso de un embudo plástico, a botellas plásticas de 2 L de capacidad, rotulados y trasladados inmediatamente al laboratorio. In situ se tomaron medidas de temperatura y pH con un medidor portátil pHmetro Waterproof Tester, marca HANNA.

Los parámetros extraídos y medidos a través de análisis fisicoquímicos fueron la Demanda biológica de oxígeno (DBO_5), los Sólidos sedimentables a 10 minutos y a 2 horas, la Demanda química de oxígeno (DQO), la Concentración de iones de hidrógenos (pH) y la Conductividad eléctrica (CE).

El Gobierno de Entre Ríos mediante Decreto Reglamentario N° 5837 MBSCE de la Ley 6260 en el Anexo I (Norma Complementaria sobre Efluentes Líquidos) establece los valores máximos de los distintos parámetros de contaminación, que se admiten para efluentes líquidos de establecimientos industriales que se viertan a cursos de agua. Esta normativa de vuelco establece que el valor máximo de DBO_5 permitido para descarga a otro sistema de tratamiento cloacal debe ser menor a 250 mg O_2/L ; y al arroyo debe ser menor a 50 mg O_2/L .

Los valores de DBO_5 hallados para ambos muestreos en el sitio de descarga al arroyo (muestra 4) se hallan por encima del valor permitido. Se observó una marcada diferencia entre los valores, lo cual se puede asociar al tipo de faena que se estaba realizando en cada momento. Durante el muestreo de diciembre de 2019, se estaba faenando con faena “tipo Koher” ($DBO_5 = 1.056$ mg de O_2/L), y el muestreo de abril de 2020 se faenaba de modo tradicional ($DBO_5 = 130$ mg de O_2/L).

Según la normativa, los valores permitidos para sólidos sedimentales en 10 minutos es $<0,5$ mg. L^{-1} , y <30 mg. L^{-1} a las 2 horas. Los valores hallados para ambos muestreos en el sitio de descarga se encuentran dentro de las pautas de calidad que establece la normativa. Los valores límites para pH oscilan entre 5,5 a 10 y para la conductividad eléctrica <2000 $\mu S/cm$. Los valores hallados en ambos muestreos se encuentran dentro de las referencias permitidas.

La alerta la dieron los resultados de los análisis de los efluentes realizados en el primer muestreo (diciembre de 2019), al ingreso del sistema primario (sistema sedimentador/separador de grasas) y a su salida (ingreso al sistema de lagunas). Mientras que se esperaba valores que rondaran los 1.500 a 2.000 mg O_2/l de DBO_5 , el valor hallado fue de 3.342 mg O_2/l , lo que representa una diferencia que no puede atribuirse a errores en la faena, o a prácticas equivocadas.

De lo observado en el relevamiento, y de las experiencias transmitidas por el personal de la planta, se determinó pérdidas en la captación de sangre de segunda, incrementando la carga orgánica del efluente que ingresa al sistema de tratamiento. También, se observó un incremento en el volumen del tanque de acumulación de sangre, que al aumentar la faena no daba abasto, y derramaba antes de que se pasara a retirar por la empresa autorizada. Este derrame de sangre iba al sistema de tratamiento, aumentando considerablemente el valor del DBO_5 .

En el relevamiento, también se determinó que el sistema de rejas existente es insuficiente, ya que el efluente a tratar sobrepasa la reja y permite el ingreso de sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de la etapa siguiente (atascos y deterioros en la bomba de impulsión), por lo que se hace necesario su rediseño. Como así también, la existencia de una sola bomba era un riesgo de parada o vuelco fuera del sistema, ya que la misma al no expulsar el efluente del pozo equalizador de manera adecuada, sobrepasa el nivel en el mismo y el efluente es enviado directamente al sistema primario, sin pasar por el tamiz estático separador de estiércol.

También, luego de varios días de lluvias intensas, se producen desbordes en el sistema sedimentador/separador de grasa existente, con el consecuente ingreso de agua pluvial al sistema de tratamiento. Se determinó, como consecuencia de las tareas de limpieza de este equipo, que el sistema manual existente era insostenible a futuro, por lo que la nueva propuesta debía considerar el retiro automático del material graso en este proceso.

Las lagunas anaeróbicas y facultativas generan problemas con malos olores debido a que su objetivo es la remoción de DBO. Por tal motivo para verificar las dimensiones de las lagunas existentes en el tratamiento, se tuvieron en cuenta la carga orgánica del efluente, el caudal diario, la constante global de eliminación de la DBO₅, la temperatura del agua del mes más frío, el tiempo de retención hidráulica, el factor de dispersión, el área, el volumen y la profundidad de operación de las mismas.

A través de los cálculos realizados, la superficie que dispone el frigorífico para sus lagunas anaeróbicas actuales (3.300 m²) **cumplen** con el área obtenida (≥ 2.700 m²). Por otra parte, la superficie de las lagunas facultativas actuales (3.750 m²) **no cumplen** con el área obtenida en el cálculo (≥ 6.747 m²).

Como resultado del proyecto, se propusieron y evaluaron como alternativas de tratamientos, las mejoras y optimización del sistema actual, el tratamiento con reactores anaeróbicos, los tratamientos con equipos de flotación (DAF, IAF y CAF) y el tratamiento con humedales artificiales. Donde se tuvo en cuenta las estructuras que se van a cambiar o en tal caso la modificación de las ya existentes, según se decida, con el fin de cumplir con los parámetros de diseño establecidos por las normativas vigentes y los valores límites permitidos para el vertido según la normativa de vuelco.

Si bien, las diferentes alternativas propuestas para el tratamiento de los efluentes líquidos tienen la capacidad para reducir la cantidad de sólidos disueltos, grasas, materia orgánica; son muy variados las tecnologías, las dimensiones físicas y los costos de cada una. En el caso del sistema de tratamiento secundario actual que dispone el frigorífico, las dimensiones de las lagunas anaeróbicas cumplen con el área obtenida en el cálculo teórico. Para el caso del sistema lagunar facultativo, se requiere una elevada inversión de obra para el mantenimiento y la adecuación de la superficie que se requiere para su cumplimiento.

El diseño con reactores anaeróbicos (dispuestos en serie o en paralelo) cumplen con los requerimientos de la carga orgánica permitidos para vuelcos al sistema cloacal (límite permitido de 250 mg O₂/l). En este caso, es muy importante garantizar el cumplimiento del plan de monitoreo del efluente, ya que puede afectar en gran medida al sistema de tratamiento de los efluentes cloacales municipal. En caso contrario, se deberá diseñar un sistema posterior para

reducir el DBO₅ a 50 mg O₂/l a la salida de los reactores, y así cumplimentar con el parámetro de vuelco al arroyo.

Las alternativas de los equipos de flotación que se proponen, garantizan una eficiencia en la remoción de la DBO₅ superior a un 60% y de un 90% en los sólidos suspendidos, según las características de vertido y la utilización o no de reactivos químicos. En cuanto a las grasas los rendimientos también alcanzan valores elevados cercanos a un 80%. Si bien estos valores son estimados y dependerán de los floculantes adoptados y de la elección final del equipo, cualquiera de estas alternativas cumple con los parámetros de vuelco regulados por la normativa.

En la unidad de flotación por cavitación de aire (CAF) la recirculación se lleva a cabo en varios puntos del fondo del tanque de la flotación, reduciendo de esta manera la posibilidad de que los sólidos sedimenten. En este equipo, el efluente no circula por ningún orificio o boquilla, evitando de esta manera obstrucciones y taponamientos de otros sistemas. La recirculación se realiza a través de tuberías huecas sin necesidad de usar bombas.

El problema de las alternativas de flotación (IAF y CAF), es que su tecnología es importada y puede existir problemas para su importación; como así también el servicio post venta y la falta de repuestos. Además, de los elevados montos de inversión inicial de estos equipos, se deben considerar los costos operativos en coagulantes y floculantes para su correcto funcionamiento.

En el caso de los humedales artificiales, para cumplir con la normativa vigente y poder volcar su efluente al sistema de tratamientos de los efluentes cloacales del Municipio (DBO₅ < 250 mg O₂/L), es necesario construir un humedal de 3.600 m² (4 celdas de 15 metros por 60 metros cada una). Para poder volcar el efluente al arroyo Paracao (DBO₅ < 50 mg O₂/L), es necesario construir un humedal de 6.700 m² (4 celdas de 20,5 metros por 82 metros cada una). La dimensión de las celdas para el diseño del humedal artificial, está en la relación largo: ancho (4:1); relación influenciada fuertemente por el régimen hidráulico y la resistencia al flujo dentro del sistema.

Esta alternativa, no es la adecuada en el caso que la empresa decida la implementación de sistemas modulares para reducir las dimensiones de su sistema de tratamiento. De todas maneras, se podría pensar en el diseño de humedales artificiales para el tratamiento de un porcentaje del efluente a tratar, aprovechado los beneficios ambientales agregados como la creación o restauración de nichos ecológicos, mejoras paisajísticas, generación de zonas de amortiguación de crecidas de ríos, reservorios de agua para riego y otras actividades.

La actividad productiva frigorífica posee un alto impacto positivo, sin embargo, es importante disminuir los riegos asociados por los impactos negativos de la actividad, y de este modo asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. Para esto se elaboró un plan de gestión ambiental (PGA) para los efluentes líquidos de la planta de faena del FASA, teniendo en cuenta la aplicación de técnicas de producción más limpias (PML) y herramientas de monitoreo y control en la gestión integral de los mismos.

El PGA incluye guías de buenas prácticas ambientales (BPA), planes sobre aspectos específicos de la industria, detección de potenciales impactos, medidas de mitigación, remediación y/o compensación. Se puede destacar el plan de manejo del recurso agua, el plan

de gestión de efluentes, el plan de monitoreo ambiental, el plan de contingencias, el plan de comunicación social y un plan de educación ambiental.

Los contenidos del PGA, deberán revisarse, modificarse y actualizarse periódicamente y/o en cualquier instancia que se considere necesaria, generando de esta manera un sistema dinámico de gestión.

Independientemente de la propuesta que elija el FASA, previamente la empresa deberá realizar las siguientes acciones:

- Agregado de una segunda reja de desbaste en el sistema de pretratamiento y mantenimiento constante de la reja actual, ya que en la misma el efluente a tratar sobrepasa la misma y permite el ingreso de sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las etapas futuras del tratamiento (atascos y deterioros en la bomba de impulsión).
- Agregado de una segunda bomba de impulsión en el pozo equalizador y control en el funcionamiento de la bomba de impulsión actual, ya que la misma al no expulsar el efluente del pozo equalizador de manera adecuada, sobrepasa el nivel en el mismo y el efluente es enviado directamente al sistema primario, sin pasar por el tamiz estático separador de estiércol.
- Incorporar una segunda zaranda estática y refinar el embudo de salida de la zaranda actual o solicitar contenedores de carga del ruminal más anchos para evitar el vuelco de este producto en el suelo, disminuyendo la generación de olores desagradables y la aparición de moscas y/o roedores.
- En el caso del sedimentador y separador de grasas, se sugiere aumentar la periodicidad de las acciones de la eliminación de las grasas acumuladas, como así también no dejar por mucho tiempo este residuo en la vereda del sedimentador. Si bien los barros con carga orgánica son utilizados como fertilizantes de campo, su manejo y disposición inadecuada puede presentar un peligro potencial de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- En el caso de continuar con el sistema de lagunas, se propone rediseñar las mismas, para lograr a través de este sistema eliminar la materia orgánica biodegradable presente en los residuos líquidos.
- Reparar o modificar el lecho percolador, que en la actualidad está sin funcionar y mediante un by pass, el efluente saliente del sistema de lagunas, se vuelca al Arroyo Paracaa.

El propósito de estas recomendaciones es poder lograr que en un corto y mediano plazo se adapten los diferentes parámetros medidos, y se cumpla con las exigencias ambientales, que en la Provincia de Entre Ríos, están normadas por la Ley Provincial N° 6260.

Los datos aquí generados y las alternativas de tratamientos propuestas, pueden ser el punto de partida para nuevos proyectos para identificar posibles sitios para el emplazamiento de la futura planta de tratamientos de los efluentes líquidos del FASA. Además, el PGA propuesto permitirá a la empresa programar acciones preventivas y proactivas relativas al cuidado del ambiente, la mitigación de impactos vinculados a la generación de efluentes y el consumo de los recursos.

Bibliografía

- Allegre, C. M. (2005). Tratamiento y reutilización de los efluentes. Revista de Ciencias de Membranas. Elsevier
- Álvarez, D., & Arias, M. (2009). La producción más limpia: una herramienta indispensable. Revista Electrónica Granma Ciencia, 13(3).
- Andrades Balao, J. A. (2008). Contaminación de aguas. Vertidos de Mataderos e Industrias Cárnicas. Sevilla: Master Profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental.
- Andreozzi, R. C. (1999). Procesos de oxidación avanzados (AOP) para la purificación y recuperación de agua. "Catálisis hoy", Elsevier.
- Arias, C., & Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Vol 13, pp. 17-24.
- Asociación Estadounidense de Salud Pública, A. (1992). Métodos estándar para el análisis de aguas residuales. Washington: 18ª edición.
- Bernal, A. B. (2016). Producción Más Limpia: una revisión de aspectos generales. Revista I3+.
- Chafloque, A. W., & Gómez, E. G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Vol. 15, N° 17, pp 85-96.
- Chau, G., Rojas, G., & Bolaños, L. (2009). Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades. Caso: Municipio de El tambo (Colombia). Cauca, Colombia: Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol 7 No. 1.
- Chen, G. (2004). Tecnologías electroquímicas en el tratamiento de aguas residuales, Tecnología de separación y purificación, Elsevier.
- CIMPAR. (2013). Comisión Interempresaria Municipal de Protección Ambiental Rosario. Buenas Prácticas Ambientales de la Industria Cárnica. Rosario.
- Clariant International. (2000). Gestión de aguas residuales. Directriz Cooperativa Clariant N° 23.
- Conesa Fernández - Vítora. (2009). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4ª Edición. Madrid: Mundi-Prensa.
- CPTS. (2005). Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. Guía Técnica general de producción más limpia. La Paz, Bolivia.
- Dasgupta, N., & Nemerow, A. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. España. Ediciones Díaz de Santos.
- Díaz, P. A., & Solarte, S. C. (2017). Propuesta de tratamiento de los residuos líquidos provenientes del faenado de frigoríficos Ble LTDA. Bogotá: Facultad de Ingeniería - Universidad Católica de Colombia.

- Dixon, J., & Pagiola, S. (1998). Análisis Económico y Evaluación Ambiental. Unidad de Indicadores y Valoración Económica, Departamento de Medio Ambiente. Actualización del Libro de Consulta de Evaluación Ambiental.
- FASA. (2019). Informe Ambiental. Frigorífico Alberdi S.A. Planta Frigorífica. Oro Verde.
- FASA. (2020). Informe de Faena 2019 - 2020. Frigorífico Alberdi S.A. Oro Verde.
- Galotti, P., & Santalla, E. (2009). Estimación del potencial energético de los efluentes industriales. Olavarría, Argentina. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA).
- Groppelli, E. (2001). El camino de la Biodigestión. Fundación Proteger y Grupo de Energías No Convencionales. Santa fe: FIQ – UNL.
- Groppelli, E. (2001). Tratamiento de efluentes líquidos. Carrera de Ingeniería Química y en Alimentos. . Santa fe: FIQ – UNL.
- Khemis, M. T. (2005). Electrocoagulación para el tratamiento de grasas en suspensión: relación entre las generaciones de electrodos y el contenido de residuos. Seguridad de procesos y protección del medio ambiente.
- Lozano-Rivas, W. A. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.
- Martínez Alier, J., & Roca Jusmet, J. (2013). Economía Ecológica y Política Ambiental. 3era edición. Fondo de Cultura Económica. México.
- MAyEP. (2009). Agencia de Protección Ambiental, Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Guía práctica y estudio de casos. Buenos Aires, Argentina.
- Menéndez Sosa, A. (2011). Tecnologías Ambientales. Gestión de las Industrias de la Eco-innovación. España: Escuela de Organización Industrial.
- Menendez, G. (2002). Gestión Ambiental de la Industria Cárnica - Dirección de Promoción de la Calidad Alimentaria.
- Metcalf, L., & Eddy, H. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento y reutilización. México.
- Ministerio de Agricultura, A. y. (2017). Mejoras Técnicas Disponibles. Madrid.
- Ministerio de Economía – Entre Ríos, H. y. (2015). Informe ejecutivo. Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. Provincia de Entre Ríos.
- Ministerio de Industria y Turismo de la Nación, U. d. (2009). Informe Aspectos Ambientales Sociales y Económicos Industria Frigorífica.
- Muñoz, A. H., Lehmann, A. H., & Martínez, P. G. (1996). Manual de depuración URALITA. Editorial Paraninfo S.A.
- Nemerow, N., & Dasgupta, A. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. . Ediciones Díaz de Santos. España.

- Nolasco, A. (2010). Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales. Banco Interamericano de Desarrollo, Sector de Infraestructura y Medio Ambiente.
- Ordenanza N°35-MOV. (2006). Ordenanza N° 35 MOV. Oro Verde.
- Ortega, R., & Rodríguez, I. (1994). Manual de gestión del ambiente. Madrid: Fundación MAPFRE.
- Palomino Zevallos Johnny (1996). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química.
- Paredes Concepción, P. (2014). Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú.
- Pérez, M., & Rojas, J. (2008). Documentos de política pública: los aportes de la Academia hacia el desarrollo sostenible en Colombia. Tomo 1, vol.3: 91 pp.
- Peruyera Fernandez, J. A. (2008). Caracterización de efluentes líquidos I y II. Oviedo: Universidad de Oviedo. España.
- PNUMA. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. Economía y Desarrollo, Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA).
- Portillo, S. (2014). Tratamiento de efluentes líquidos en la industria frigorífica . La Plata: Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de la Plata.
- PROSAP. (2009). Estrategia Provincial para el Sector Agroalimentario – EPSA. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales. Provincia de Entre Ríos, Argentina.
- Reed, S. C., Miledlebrooks, J., & Crites, R. W. (1995). Sistemas naturales de gestión y tratamiento de residuos. Nueva York: Primera edición. Mc Graw Hill.
- Rodríguez, A. G. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía. Madrid.: Confederación Empresarial de Madrid - CEIM.
- Rolim, M. S. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. México: Mc. Graw Hill.
- Secretaria de Agricultura, G. P. (2002). Gestión Ambiental en la Industria Cárnica. Dirección de Promoción de la Calidad Alimentaria.
- Simesen de Bielke, N., & Crespo, R. (2017). Diagnóstico Territorial de Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. Oro Verde.
- Tamayo, M. (2004). El proceso de la Investigación Científica. México: Noriega.
- Tasi, H. (2009). Aplicación de las cartas de suelos de Entre Ríos, Argentina, para evaluar Índices de Productividad Específicos para los principales Cultivos Agrícolas. Tesis Doctoral. España. 622 p. Universidad de Coruña.

- Tchobanoglous, G. B. (1995). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, eliminación y reutilización. New Delhi.
- Trawczyski, J. (2003). Metales nobles soportados sobre compuestos como catalizadores para la oxidación del fenol en aire húmedo. Carbon, Elsevier.
- Unidad de Medio Ambiente, Comercio y PyME. Ministerio de Industria y Turismo. Presidencia de la Nación. (2009). Informe Aspectos Ambientales Sociales y Económicos Industria Frigorífica.
- Von Sperling, M. (2007). Principios básicos del tratamiento biológico de aguas residuales. Publicaciones de IWA.

Sitios de Internet

- Area, M. C. (Diciembre de 2006). Las mejores tecnologías disponibles o BAT: best available techniques. Recuperado el 16 de Abril de 2020, de <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>
- CONICET. (2015). Breve Enciclopedia del Ambiente. Efluentes. Mendoza, Mendoza. Recuperado el 21 de Octubre de 2019, de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Efluentes.htm>
- FASA. (2019). Frigorífico Alberdi S.A. Recuperado el 01 de Marzo de 2020, de <http://www.falberdi.com/>
- Frers, C. (14 de Octubre de 2004). Estructplan. Aguas Limpias, Primera Parte. Recuperado en Noviembre de 2019, de <https://estructplan.com.ar/aguas-limpias-primera-parte/>
- INDEC. (2009). Encuesta Permanente de Hogares. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, Argentina. Obtenido de <https://www.indec.gov.ar/>
- INDEC. (2010). Censo de Población, hogares y viviendas 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, Argentina. Obtenido de <https://www.indec.gov.ar/>
- ISO 14000. (2004). IsoTools. Plataforma Tecnológica para la Gestión de la excelencia. Recuperado el 20 de Julio de 2020, de <http://www.isotools.org/normas/medio-ambiente/iso-14001/>
- ISO 14001. (2015). Norma ISO 14001:2015. Recuperado el 20 de julio de 2020, de <http://www.nueva-iso-14001.com/2014/07/modificaciones-borrador-iso-14001/>.
- Leal, J. (2005). Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. (C. N. Santiago de Chile, Ed.) Recuperado el 16 de Abril de 2019, de <http://goo.gl/TnQBLl>
- Ley N° 25.612 Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, P. d. (03 de 07 de 2002). Información Legislativa. Recuperado el 09 de 04 de 2019, de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/76349/norma.htm>

- Ley N° 25.675 Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, P. d. (6 de 11 de 2002).
Información Legislativa. Recuperado el 09 de 04 de 2019, de
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm>
- Ley N° 6260 Ministerio de Gobierno, J. y. (26 de 12 de 1991). Subsecretaría de Industria.
Recuperado el 9 de 4 de 2019, de
http://www.entrerios.gov.ar/ambiente/ambiente_flujograma/descargas/Ley_6260.pdf
- Meng, F. et al (2016). Water quality permitting: From end-of-pipe to operational strategies.
Water Research 101, Pp. 114- 126. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416304043>.
- Novarsa. (2018). Novarsa - Línea de flotación por aire inducido (IAF). Recuperado el 14 de
Julio de 2020, de <http://www.novarsa.com/esp/productos.php?id=3>
- Paparotti, O., & Gvozdenovich, J. (2007). Caracterización de zonas y subzonas RIAP Entre
Ríos. RIAN-RIAP Centro Regional Entre Ríos, INTA. 26 p. Recuperado el 01 de Marzo
de 2020, de <https://inta.gob.ar/documentos/caracterizacion-de-zonas-y-subzonas-riap-entre-rios-1>
- Refrin. (2006). Refrin S.A.I. y C. Ingeniería, Equipamiento e Instalaciones de refrigeracion
Industrial. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de <http://www.refrin.com.ar/refrin.htm>
- SENASA. Recuperado el 09 de 04 de 2019, de www.argentina.gob.ar/senasa
- Soluciones, G. (2006). Gv Soluciones – Línea de flotación por aire de cavitación (CAF).
Recuperado el 14 de Julio de 2020, de
<http://gvsoluciones.com/equipo/desengraseCAF.pdf>
- Trusted Wastewater SolutionsTM. (2018). Recuperado el 14 de Julio de 2020, de Trusted
Wastewater SolutionsTM. FRC ©. Systems International: <https://frcsystems.com/pcl-daf-systems/?lang=es>
- Varsavsky, A. (Diciembre de 2002). Química Verde y Prevención de la contaminación. (F.
Nexus., Ed.) Recuperado el 09 de Abril de 2019, de
<http://www.nexus.org.ar/trabajos%20publicados/Qu%C3%ADmica%20verde%20y%20prevenci%C3%B3n%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20-%202002.pdf>

ANEXOS

Anexo I: Decreto reglamentario de la Ley Provincial N° 6260. Norma complementaria sobre efluentes líquidos

ANEXO 1
Decreto Reglamentario de la Ley 6260
Norma Complementaria sobre Efluente Líquidos

Esta norma detalla, de acuerdo a lo estipulado en el artículo 20° del Decreto Reglamentario de la Ley 6260, los valores máximos de los distintos parámetros de contaminación que se admitirán en los efluentes líquidos de establecimiento industriales.

Parámetros	Límites Permitidos	
	A colectora cloacal	A curso de agua
1. pH	5,5 a 10	5,5 a 10
2. Sustancia soluble en éter etílico	<100 mg/lit	<100 mg/lit
3. Aceites Minerales	<10 mg/lit	<10 mg/lit
4. Sulfuro	<1 mg/lit	<1 mg/lit
5. Sólido sedimentable en 10 min.	<5,0 ml/lit	<5,0 ml/lit
6. Sólido sedimentable en 2 hs.	(1)	(2)
7. Sólido flotante	(3)	No debe contener
8. Temperatura	<45°C	<45°C
9. Demanda bioquímica de oxígeno	(4)	(5)
10. Oxígeno consumido	(6)	(7)
11. Demanda de Cloro	(8)	(8)
12. Cianuro	<0,1 mg/lit	<0,1 mg/lit
13. Cromo hexavalente	<0,2 mg/lit	<0,2 mg/lit
14. Cromo trivalente	<2 mg/lit	<2 mg/lit
15. Sustancia reactivas al azul de metileno	<2 mg/lit	<2 mg/lit
16. Cadmio	<0,1 mg/lit	<0,1 mg/lit
17. Plomo	<0,5 mg/lit	<0,5 mg/lit
18. Mercurio	<0,005 mg/lit	<0,005 mg/lit
19. Arsénico	<0,5 mg/lit	<0,5 mg/lit
20. Sustancias Fenólicas	<0,5 mg/lit	<0,5 mg/lit

21. Otros condicionantes.

- 21.1.- Las descargas al Río Uruguay, además, no deberán alterar el mantenimiento de los estándares de calidad del río fijados en el "Digesto sobre Usos del Río Uruguay", documento firmado entre los Gobiernos de la República Argentina y de la República Oriental del Uruguay. Las zonas de mezcla que se definen para cada industria en particular, no deberán superponerse con zonas que hayan sido determinadas para usos definidos como 1, 2, y 3; a partir del fin de la zona de mezcla, deberá mantenerse la calidad fijada para el uso 4.
- 21.2.- Las descargas industriales ubicadas a menos de 5 km. aguas arriba, o 1 km. aguas abajo, de una toma de agua para consumo de la población, deberán tener una demanda bioquímica de oxígeno máxima de 50 mg. O₂/lit. y el contenido de los contaminantes indicados en los parámetros 11 a 20 deberá estar dentro de lo permitido para agua potable, también deberá satisfacerse la demanda de cloro.
- 21.3.- No se permite la descarga a conductos pluviales, cerrados o abiertos, ni a napa de agua, excepto la freática, en cuyo caso la demanda bioquímica de oxígeno máxima permitida es de 200 mg. O₂/lit. y el contenido de los contaminantes indicados en los parámetros 11 a 20 deberá estar dentro de lo permitido para agua potable.
- 21.4.- Las descargas a cursos de agua no permanentes, o con un caudal inferior a 10 veces el caudal de la descarga industrial, estarán sujetas a un estudio particular para cada caso.
- 21.5.- Las sustancias, cualquiera sea su estado, separadas en los tratamientos de depuración de líquidos residuales no pueden ser descargadas en cursos de agua, colectoras cloacales ni napas.

REFERENCIAS

SOLIDOS SEDIMENTABLES EN 2 hs. Referencias (1) y (2)

- (1) Se deberán satisfacer los requerimientos del ente prestador del Servicio de Cloacas, de existir normas locales, deberá ser menor de 10 ml./lit.

- (2) Para cursos de agua: **MATERIALES EN SUSPENSIÓN, TOTAL**
Descargas al Río Paraná: < 200 mg./lt. -
Descargas al Río Uruguay: < 100 mg./lt. -
Descargas a ríos, arroyos interiores con caudales permanentes y mayores de 10 veces el caudal de descarga de la industria: < 30 mg./lt.
En ningún caso deberán presentarse deterioros ambientales, como consecuencia de sedimentaciones, acumulaciones o descomposición del material sedimentable.

SOLIDOS FLOTANTES, referencia (3)

- (3) Se deberán satisfacer los requerimientos del ente prestador del servicio de cloacas.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, referencias (4) y (5)

- (4) Se deberán satisfacer los requerimientos del ente prestador del servicio de cloacas, de no existir normas locales, deberá ser menor de 250 mg O₂/lt.
(5) Descargas al Río Paraná: < 400 mg O₂/lt.
Descargas al Río Uruguay: < 250 mg O₂/lt.
Descargas a ríos y arroyos interiores con caudales permanentes y mayores de 10 veces el caudal de descarga de la industria: < 50 mg O₂/lt.
En ningún caso deberán producirse deterioros ambientales, tales como olores molestos, aspecto desagradable, etc.
En ningún caso se podrá llegar a estos valores admitidos haciendo diluciones de los efluentes.

OXÍGENO CONSUMIDO, referencias (6) y (7)

- Solo se efectuará este ensayo cuando no sea posible hacer la demanda bioquímica de oxígeno.
(6) Se deberán satisfacer los requerimientos del ente prestador del servicio de cloacas, de no existir normas locales deberá ser menor de 100 mg/lt.
(7) Descargas al Río Paraná: < 160 mg/lt.
Descargas al río Uruguay: < 100 mg/lt.
Descargas a ríos y arroyos interiores con caudales permanentes y mayores de 10 veces el caudal de la industria: < 20 mg/lt.
En ningún caso se podrá llegar a estos valores admitidos haciendo diluciones de los efluentes.

DEMANDA DE CLORO, referencia (8)

- (8) Cuando por la naturaleza del origen del líquido residual se lo considere necesario, se podrá exigir la cloración hasta satisfacer la demanda de cloro. A pedido del interesado y justificando disponer de otro tratamiento para reducir el contenido microbiológico que no sea la cloración, podrá obviarse esta exigencia; en ese caso la descarga deberá tener menos de 5000 bacterias coliformes totales por cada (100) mililitros.

Anexo II: Criterios de diseño para el sistema de rejillas de desbaste propuesto

Se realizará la verificación de diseño para la rejilla adoptada, para el canal principal de 0,6 m de ancho, puesto que segundo canal auxiliar (existente), será utilizable ante descargas inesperadas.

$$\text{Caudal de diseño} = Q_d = Q_{\text{máx}} * C_s$$

Dónde: $Q_{\text{máx}}$: Caudal máximo o pico = 180 m³/h

C_s : Coeficiente de seguridad (adopto 25%) = 1,25

$$Q_d = Q_{\text{máx}} * C_s = (180 * 1,25) \text{ m}^3/\text{h} = 225 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0625 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_d = 0,0625 \text{ m}^3/\text{s}$$

Adoptamos para la primera rejilla:

$$b = \text{ancho canal} = 0,6 \text{ m}$$

$$H_m = 0,15 \text{ m (altura de agua)}$$

$$\text{Espesor planchuela} = e = 0,005 \text{ m}$$

$$\text{Separación entre planchuelas} = s = 0,012 \text{ m}$$

$$E = s / (s+e) = 0,012 / (0,012+0,005) = 0,706$$

$$\text{Angulo rejilla} = 45^\circ$$

Verificación de la velocidad máxima de paso por rejilla:

La rejilla debe cumplir con los criterios teóricos de diseño de velocidad:

$$0,6 \text{ m/s} < V_p < 1 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad de aproximación máxima (} V_{\text{amáx}} \text{)} = Q_d / (b * H_m)$$

$$= 0,0625 \text{ m}^3/\text{s} / (0,6 \text{ m} * 0,15 \text{ m}) =$$

$$V_{\text{amáx}} = 0,694 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad máxima de paso por rejilla (} V_{\text{pmáx}} \text{)} = V_{\text{amáx}} / E = 0,694 \text{ m/s} / 0,706$$

$$V_{\text{pmáx}} = 0,984 \text{ m/s} < 1 \text{ m/s}$$

Se verifica que la velocidad máxima de paso por rejilla es inferior a los criterios teóricos.

Adoptamos para la segunda rejilla:

$$b = \text{ancho canal: } 0,6 \text{ m y } H_m = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Espesor planchuela} = e = 0,00381 \text{ m}$$

$$\text{Separación entre planchuelas} = s = 0,009 \text{ m}$$

$$E = s / (s+e) = 0,009 / (0,009+0,00381) = 0,7025$$

Verificación de la velocidad máxima de paso por la segunda rejilla:

La rejilla debe cumplir con los criterios teóricos de diseño de velocidad:

$$0,6 \text{ m/s} < V_p < 1 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad de aproximación máxima (} V_{\text{amáx}} \text{)} = Q_d / (b * H_m)$$

$$= 0,0625 \text{ m}^3/\text{s} / (0,6 \text{ m} * 0,15 \text{ m})$$

$$V_{\text{amáx}} = 0,694 \text{ m/s}$$

Velocidad máxima de paso por reja ($V_{pm\acute{a}x}$) = $V_{am\acute{a}x} / E = 0,694 \text{ m/s} / 0,7025$

$$V_{pm\acute{a}x} = \mathbf{0,988 \text{ m/s} < 1 \text{ m/s}}$$

Se verifica que la velocidad máxima de paso por reja es inferior a los criterios teóricos.

Verificación de la velocidad mínima de auto limpieza a caudal medio:

La velocidad mínima de auto limpieza a caudal medio recomendada = 0,4 m/s

$$Q_m = 142,5 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0395 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{m\acute{i}n} = Q_d / (b * H_m) = 0,0395 \text{ m}^3/\text{s} / (0,6 \text{ m} * 0,15 \text{ m})$$
$$= \mathbf{0,438 \text{ m/s} > 0,4 \text{ m/s}}$$

Se verifica que la velocidad mínima de auto limpieza a caudal medio es superior a la sugerida, como criterio de diseño.

Verificación de la pérdida de carga en la segunda reja:

Para la verificación de carga, se utilizará la ecuación o fórmula de Kirschmer.

$$h_L = \beta * [e/s]^{4/3} * \{ V^2 / (2 * g) \} * \text{sen } \alpha$$

Dónde:

h_L = pérdida de carga

β = coeficiente de terminación perfil planchuela = 2,42 (perfil recto sin redondear)

e = espesor

s = separación entre planchuelas

V = Velocidad de aproximación máxima

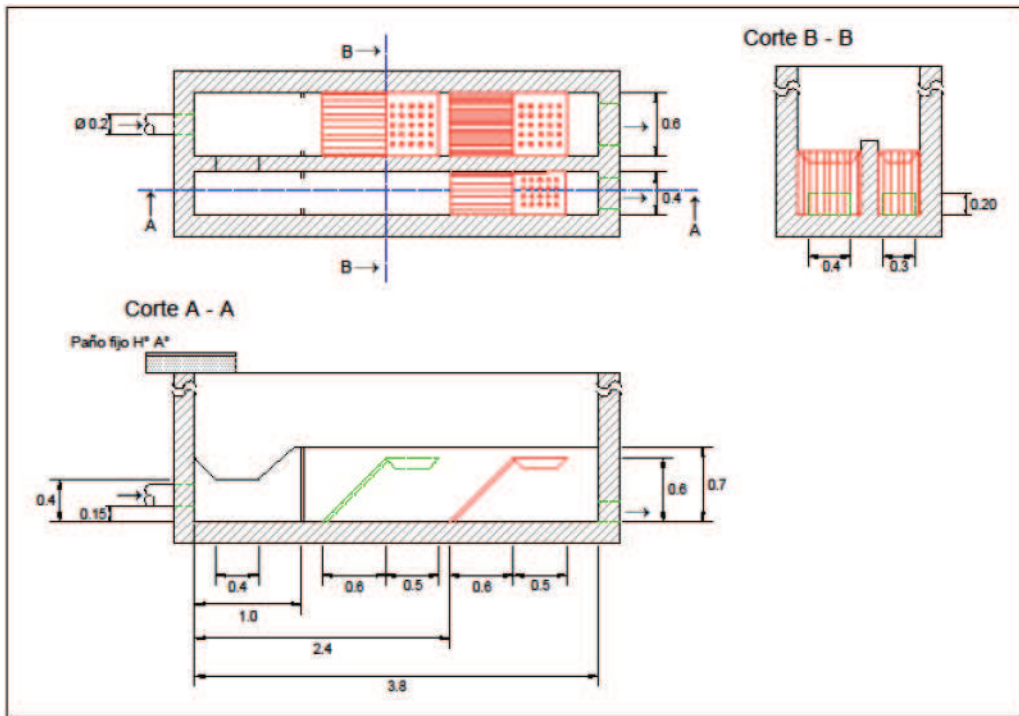
g = constante de la gravedad

α = Angulo de rejillas con la horizontal

Reemplazando es:

$$h_L = 2,42 * [0,00381/0,008]^{4/3} * \{ 0,6942 / (2 * 9,81) \} * \text{sen } 45^\circ$$

$$h_L = \mathbf{0,16 \text{ m valor inferior al máximo admitido (< 0,4 m)}}$$



Sistema de canal y rejas de desbaste

Anexo III: Criterios de diseño en el sedimentador y separador de grasa para el tratamiento con reactores anaeróbicos propuesto

Diseños Degremong asumen valores de carga superficial de $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, y para el diseño en sedimentadores primarios en plantas cloacales, se adoptan valores cercanos a los $1,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ según la Norma "Ten States Standards" de Nueva York ($36 \text{ m}^3/\text{d} / \text{m}^2$).

Para este diseño, se fijó una carga superficial máxima conservador (inferior a los citados) a caudal pico de $1,34 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, por lo tanto, la superficie necesaria será:

$$\begin{aligned} \text{Superficie necesaria} &= \text{caudal máximo por unidad/carga superficial máxima} \\ &= (100 \text{ m}^3/\text{h}) / 1,34 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Sup. nec.} = 74,6 \text{ m}^2$$

Adoptando una relación de Largo = $3 * \text{ancho (A)}$ entonces $L = 3A$, tendremos que la superficie necesaria (S) = $L * A = (3A) * A = 3 * A^2 = 74,6 \text{ m}^2$

Despejando y reemplazando

$$A = (74,6 \text{ m}^2 / 3)^{1/2} = 4,99 \approx 5 \text{ m}$$

$$\text{A} = 5 \text{ m}$$

$$\text{L} = 3 * \text{A}$$

$$\text{L} = 15 \text{ m}$$

Cada sedimentador, tendrá una dimensión interna:

$$\text{Ancho (A)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Largo (L)} = 15 \text{ m}$$

Cálculo del volumen total necesario de cada unidad:

Adoptamos un tiempo de residencia de 2 horas, aunque teniendo en cuenta que posteriormente el efluente ingresa a un equipo reactor Anaeróbico, podría ser menor.

Como el caudal máximo que ingresa a cada equipo es de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, el volumen total mínimo necesario de cada equipo, para obtener un tiempo de residencia de dos horas, será de 200 m^3 .

A este volumen se debe sumar el destinado a barros. Se adopta un 20% del volumen necesario del sedimentador.

$$\text{Es decir, } V_{\text{barros}} = 0,20 * 200 \text{ m}^3 = 40 \text{ m}^3$$

El Volumen total necesario de cada equipo de sedimentación será:

$$VT = V_{\text{sed}} + V_{\text{barros}} = 200 \text{ m}^3 + 40 \text{ m}^3 = 240 \text{ m}^3$$

$$\text{VT} = 240 \text{ m}^3$$

Verificación del volumen necesario en los equipos propuestos:

Para verificar el volumen del equipo propuesto, podemos considerar que el volumen total es la suma de dos volúmenes bien diferenciados, una la parte recta superior por encima de los conos, que tiene una profundidad de 2 m, lo que representan:

$$V_1 = \text{largo} * \text{ancho} * \text{profundidad}$$

$$V_1 = 15 \text{ m} * 5 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$V_1 = 150 \text{ m}^3$$

Un segundo volumen representado por los tres conos, que puede estimarse en la superficie por la altura media de los conos (son iguales). Por lo que el área de los conos es de 75 m^2 , y una profundidad media de $1,25 \text{ m}$ ($2,5 \text{ m}/2$). Por lo que el volumen de los tres conos será de $V_2 = 93,75 \text{ m}^3$.

De esta forma el Volumen total del equipo será:

$$V_{\text{eq.}} = V_1 + V_2$$

$$V_{\text{eq.}} = 150 \text{ m}^3 + 93,75 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{eq.}} = 243,75 \text{ m}^3$$

Este volumen equivalente, asegura el tiempo de residencia deseado, y considera un volumen para barros de $43,75 \text{ m}^3$ por equipo. Con un total de $87,50 \text{ m}^3$ para barros, considerando ambos equipos iguales.

Los sólidos sedimentables deben ser retenidos en sendas tolvas de fondo, desde donde serán retirados por la empresa habilitada. Hasta tanto se inicien las operaciones de la citada firma, los lodos podrán ser retirados periódicamente, por accionamiento de válvulas de descarga y retornados al pozo de bombeo para ser mezclados con el efluente crudo y retenidos en el tamiz estático para su eliminación, o retirados como barros y dispuestos en relleno sanitario.

Las grasas flotarán en el espejo de agua. Su retiro se realizará mediante el empleo de barredores de superficie continuos, que trabajando a bajas velocidades “empujan” los sólidos flotantes hasta la descarga superficial que posee el equipo.

En caso de quedar fuera de servicio los barredores de superficie, se podrá retirar los flotantes mediante fuerza hidráulica, elevando el nivel del líquido y permitiendo la descarga superficial fácilmente por arrastre de los sólidos manualmente. Esta operatoria se inicia al cerrar la válvula de salida de efluente tratado, aumentando el tirante con el ingreso de nuevos caudales de tal modo que pueda guiarse las mismas hacia un vertedero que conectará exteriormente con contenedores para su eliminación por retiro de la empresa, o enterramiento en relleno.

El diseño del equipo, no impide ante algún inconveniente con el barredor superficial, se procesa al retiro de flotantes del equipo, por la alternativa citada. Esta operatoria puede realizarse diariamente.

El líquido clarificado libre de sólidos, estiércol y grasas será tomado por un vertedero longitudinal en el extremo posterior, para ser guiado al tratamiento secundario.

Verificación de la velocidad de escurrimiento por vertedero:

Se adopta una carga sobre vertedero que no exceda los $145 \text{ m}^3/\text{día} * \text{m}$ lineal, para plantas que no sobrepasen los $3.800 \text{ m}^3/\text{d}$ (Ten States Standards).

Como el caudal máximo que ingresa a cada equipo es de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ($800 \text{ m}^3/\text{día}$), y la longitud del vertedero es de 15 m lineales, tendremos que la:

$$\text{Carga sobre vertedero} = \text{caudal máximo} / \text{longitud}$$

$$= 800 \text{ m}^3/\text{día} / 15 \text{ m}$$

$$= 53,33 \text{ m}^3/\text{día} * \text{m lineal}$$

Como puede observarse la carga obtenida es muy inferior a la máxima sugerida.

Anexo IV: Criterios de diseño del clarificador para el tratamiento con reactores anaeróbicos propuesto

Bibliografía consultada para el diseño en clarificadores en plantas cloacales, adoptan valores de entre 16 a 32 m³/m² x día, por lo que asumiremos para nuestro diseño, un valor de carga superficial cercana a caudal pico de 3 m³/h/m².

La superficie necesaria será:

$$\begin{aligned}\text{Superficie} &= \text{caudal máximo/carga superficial a caudal pico} \\ &= 150 \text{ m}^3/\text{h} / 3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Sup. nec.} = 50 \text{ m}^2$$

Adoptando una relación de Largo = 2 * ancho (A) entonces L = 2A, tendremos que la superficie necesaria (S) = L * A = (2A)*A = 2*A² = 50 m²

Despejando y reemplazando:

$$A = (50 \text{ m}^2 / 2)^{1/2}$$

$$\mathbf{A = 5 \text{ m}}$$

$$L = 2 * A$$

$$\mathbf{L = 10 \text{ m}}$$

Cada clarificador, tendrá una dimensión interna de:

$$\text{Ancho (A)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Largo (L)} = 10 \text{ m}$$

Anexo V: Especificaciones técnicas del equipo de flotación por cavitación de aire. Modelo CAF 180

Ítem 1: Sistema de flotación modelo CAF-180

1.1 General

El equipo de flotación CAF 180 deberá ser de acero inoxidable 304, con dimensiones aproximadas de 13,7 m de largo x 2,4 de ancho x 1,8 m de alto. La unidad se fortalecerá externamente e internamente con secciones angulares soldadas.

Cada unidad deberá contener un compartimento de flotación con una cámara de aireación que tenga dimensiones de 0,6 x 0,6 x 1,65 m de alto aproximadamente. La cámara de aireación debe contener aberturas de entrada y recirculación.

El compartimento de flotación de cada unidad deberá contener tres tubos de recirculación a nivel de base, con estos tubos conectados a la cámara de aireación. También se incluirá en el compartimento dos conexiones de drenaje de 0,15 metros para la flotación.

El compartimento de flotación de cada unidad deberá contener una descarga de sólidos en ángulo "playa" que se extiende todo el ancho del tanque, junto con un canal de recolección de sólidos (canal de descarga).

Se proporcionará un vertedero de flujo inferior entre el compartimento de flotación y la cámara del vertedero junto con un vertedero de desbordamiento ajustable. La cámara de salida final estará equipada con una brida de conexión.

Detalles técnicos de la unidad CAF 180

Detalles de la Unidad CAF	
N ° de Modelo	CAF-180na
Capacidad de la sección de flotación	50 m ³
Tiempo de retención a 2,5 m ³ /minuto	aprox. 17 minutos
Capacidad de flujo	50 l/seg
Superficie del líquido	29 m ²
Flujo de aire aproximado	1 cm ³ /seg
Longitud del aireador	1,75 m
Peso total aprox.	15.300 kg
Dimensiones totales	13,7 m x 2,4 m x 1,8 m

1.2 Aireadores

La unidad de flotación CAF-180 dispone de dos aireadores de cavitación de una longitud total de 1,75 m y un consumo de energía de 3 Hp (2,2 kW) cada uno.

El aireador consiste en un tanque de acero inoxidable que, en su extremo superior, se encuentra la sección de toma de aire y un motor eléctrico trifásico. En el extremo inferior del aireador se encuentra el rotor de inyección.

Las pistas superior y central están selladas y empacadas con grasa resistente al agua para evitar que se acumule suciedad. El rodamiento inferior también está lleno de grasa resistente al agua y tiene un sello mecánico. Las partes estáticas y móviles del aireador están hechas de acero inoxidable 303/304.

1.3 Mecanismo de rascador

Cada unidad debe contener un mecanismo de 12 rascadores (paletas mecánicas) de acero inoxidable con puntas de goma flexibles.

Cada cadena será accionada por guías compatibles con dos ruedas dentadas de transmisión. Estas están conectadas a los ejes de transmisión y son situados en cada extremo de la longitud de la cadena. El eje de transmisión principal se conducirá a través de un engranaje helicoidal con motor y reductor.

El reductor de engranajes tendrá una velocidad de salida de 2,4 a 12 rpm y el motor una potencia de 0,5 HP (0.37 kW).

1.4 Compartimento de recogida de lodos

La unidad tendrá un compartimento de recolección del lodo flotante. Este compartimento debe tener una conexión FPT de 0,25 m de diámetro para la descarga del lodo.

Ítem 2: Tanque de ajuste del pH y mezcla del coagulante

El sistema debe disponer un tanque de polietileno cerrado, con una capacidad de 11.350 litros. El tanque se utilizará para ajustar el pH y mezclar el coagulante antes de la unidad de flotación. Las dimensiones del mismo deben ser de 2,4 m de diámetro por 2,7 m de alto.

Ítem 3: Mezclador

Se dispondrá de un mezclador Modelo BDF 150 o similar. El motor del mezclador será de 1,5 Hp. El mezclador debe ser de accionamiento directo de 1.750 rpm; y debe tener un eje de acero inoxidable con dos impulsores AF3 de acero inoxidable de 5" de diámetro.

Ítem 4: Sistema de control de pH

Se dispondrá de un sistema de control de pH basado en un PLC integrado en el panel de control. El sistema tendrá incorporado un electrodo equipado con una sonda retráctil para permitir el mantenimiento a la sonda sin interrupción del proceso. Esta sonda tolerará un pH entre 0-14. El sistema de control se mostrará en la pantalla táctil del panel de control.

Ítem 5: Bomba de ácidos

El equipo debe disponer de una bomba con clasificación y dosificadora de ácido. La bomba tendrá un caudal de 106 l/hora, y una presión máxima de 1,3 bar.

Ítem 6: Bomba caustica

Se dispondrá de una bomba dosificadora de sustancias químicas con clasificación cáustica. Al igual que la bomba de ácidos, la misma deberá tener un caudal de 106 l/hora, y una presión máxima de 1,3 bar, con válvula de seguridad por presión.

Ítem 7: Bomba de alimentación de coagulante

El sistema dispondrá de una bomba dosificadora de la sustancia coagulante. Esta bomba tendrá una capacidad máxima de 106 l/hora a 1,3 bar y válvula de presión.

Ítem 8: Unidad de alimentación de polímero

Se debe suministrar una unidad de dosificación HydroCalPolychem PC100-2. La unidad debe ser capaz de alimentar entre 0-7,5 l/hora de polímero puro a una tasa de dilución de 37,8 – 378 l/hora.

Ítem 9: Bomba de aire de transferencia de sólidos

Se incorporará una bomba de doble diafragma Wilden P15 de hierro fundido con partes húmedas y sellos de neopreno. Cada bomba tendrá una capacidad de 0-16,36 m³/hora a 3,8 bar de presión de descarga utilizando 37,7 l/segundo de aire comprimido.

Ítem 10: Panel de control eléctrico

El panel de control eléctrico personalizado, deberá controlar los diversos elementos eléctricos de todo el sistema CAF. El panel debe disponer de un conmutador principal, un controlador de potencia; controles, arrancadores y protecciones para los motores, una unidad de frecuencia variable y un sistema de alarmas.

Anexo VI: Cálculos de las dimensiones del humedal artificial basado en la carga orgánica (DBO₅)

Según el método analítico de (Reed et al, 1995), para el cálculo del dimensionamiento del sistema de humedales, se consideró a los sistemas de humedales artificiales como reactores biológicos. Por lo tanto, su funcionamiento se aproxima al de un reactor de flujo a pistón con cinética química de eliminación de contaminantes de primer orden.

$$\frac{dC}{dt} = -kt * C \quad (1.1)$$

Dónde:

C: concentración del contaminante (mg O₂/L)

K_t: contante de cinética de primer orden (d⁻¹)

Integrando la ecuación (1.1) entre la concentración inicial del contaminante o afluente (C_o para t=0) y la final o efluente (C_i para t=t, siendo este último el tiempo de retención, en días) se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{C_i}{C_o} = \exp(-kt * t) \quad (1.2)$$

Por otro lado, el tiempo de retención hidráulico resulta:

$$t = \frac{V}{Q_{med}} = \frac{L * W * (D_m + D_w)}{Q_{med}} \quad (1.3)$$

Dónde:

t: tiempo de retención hidráulico (días)

V: volumen del humedal (m³)

Q_{med}: Caudal medio diario a tratar (m³/día)

L: longitud del humedal (m)

W: ancho del humedal (m)

D_m: la profundidad del sustrato (m)

D_w: profundidad de la lámina de agua (m)

Combinando las ecuaciones (1.2) y (1.3) se obtiene la ecuación que permite conocer la superficie necesaria para la eliminación de un determinado contaminante (1.4):

$$S = L * W = \frac{Q_{med} * (\ln C_e - \ln C_s)}{K_t * (D_m + D_w)} \quad (1.4)$$

Dónde:

S: superficie del humedal (m²)

L: longitud del humedal (m)

W: ancho del humedal (m)

Q_{med}: Caudal medio diario a tratar (m³/día)

C_s: concentración del contaminante en el agua del efluente (mg O₂/L)

C_e : concentración del contaminante en el agua del afluente (mg O₂/L)

K_t : constante de reacción (d⁻¹)

D_m : profundidad del sustrato (m)

D_w : profundidad de la lámina de agua por encima del sustrato (m)

La constante de cinética K_t depende del contaminante que se quiere eliminar y de la temperatura, pudiendo determinarse utilizando la siguiente fórmula:

$$kt = k_{20} * \theta^{T-Tr} \quad (1.5)$$

Dónde:

K_{20} : constante de velocidad (d⁻¹)

Θ : coeficiente de temperatura

T : temperatura media (° C)

T_r : temperatura de referencia (° C)

Parámetros de diseño:

$$Q_{med} = 1.140 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$C_e = 1.625 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

$$T_{media} = 25 \text{ °C}$$

$$K_{20} = 0,7 * k_t * (Av)^{1,75}$$

$$A_v = 15,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$D_m = 0,4 \text{ m}$$

$$D_w = 0,5 \text{ m}$$

Diseño para verificar la concentración de salida (C_s) DBO₅ < 250 mg O₂/L:

Tiempo de retención

Despejando la ecuación (1.2)

$$\frac{C_s}{C_e} = \exp(-k_{20} * t)$$

$$\frac{C_s}{C_e} = \exp(-0,7 * kt * (Av)^{1,75} * t)$$

$$t = \frac{\ln(C_e) - \ln(C_s)}{0,7 K_t (Av)^{1,75}}$$

De la ecuación (1.5)

$$K_T = 0,0057 * (1,06)^{(T_{media} - 20)}$$

$$= 0,0057 * (1,06)^{(25 - 20)}$$

$$K_T = 0,0076 \text{ d}^{-1}$$

Reemplazando en la ecuación del tiempo se tiene:

$$t = \frac{\ln(1.625) - \ln(250)}{0,7 K_t (Av)^{1,75}}$$

$$t = \frac{1,87}{0,7 * 0,0076 * (15,7)^{1,75}}$$

$$= \frac{1,87}{0,658}$$

$$t = 2,84 \text{ días}$$

De acuerdo a la ecuación (1.3) el tiempo de retención hidráulico es:

$$t = \frac{L * W * (Dm + Dw)}{Qmed}$$

Siendo $A_s = L * W$

$$t = \frac{A_s * (Dm + Dw)}{Qmed}$$

$$A_s = \frac{Qmed * t}{(Dm + Dw)}$$

$$= \frac{1.140 \frac{m^3}{día} * 2,84 \text{ días}}{(0,4 \text{ m} + 0,5 \text{ m})}$$

$$A_s = 3.599,79 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones del humedal basados en la relación $L:W = 4:1$

W = ancho del humedal

L = longitud del humedal = $4 W$

$$A_s = 4 * W * W = 3.599,79 \text{ m}^2$$

$$W = 29,99 \text{ m}$$

$$L = 4 * W = 119,99 \text{ m}$$

Para efectos de cálculo el área de $3.599,79 \text{ m}^2 \sim 3.600 \text{ m}^2$ se desea establecer 4 celdas

$$3.600 \text{ m}^2 / 4 = 900 \text{ m}^2$$

$$L * W = 4 * W * W = 900 \text{ m}^2$$

$$4 * W^2 = 900 \text{ m}^2$$

$$W^2 = 900 \text{ m}^2 / 4$$

$$W = 15 \text{ m}$$

$$L = 4 * W = 60 \text{ m}$$

Para cumplir con la normativa vigente y poder volcar el efluente al sistema de lagunas de efluentes cloacales del Municipio de Oro Verde ($DBO_5 < 250 \text{ mg O}_2/L$), es necesario construir un humedal de 4 celdas de 15 metros de ancho por 60 metros de largo cada una, como se esquematiza en el croquis.

Diseño para verificar la concentración de salida (C_s) $DBO_5 < 50 \text{ mg O}_2/L$:

Tiempo de retención

Despejando la ecuación (1.2)

$$\frac{C_s}{C_e} = \exp(-k_{20} * t)$$

$$\frac{C_s}{C_e} = \exp(-0,7 * k_T * (A_v)^{1,75} * t)$$

$$t = \frac{\ln(C_e) - \ln(C_i)}{0,7 K_T (A_v)^{1,75}}$$

De la ecuación (1.5)

$$K_T = 0,0057 * (1,06)^{(T_{media} - 20)}$$

$$= 0,0057 * (1,06)^{(25 - 20)}$$

$$K_T = 0,0076 \text{ d}^{-1}$$

Reemplazando en la ecuación del tiempo se tiene:

$$t = \frac{\ln(1625) - \ln(50)}{0,7 K_T (A)^{1,75}}$$

$$t = \frac{3,21}{0,7 * 0,0076 * (15,7)^{1,75}}$$

$$= \frac{3,48}{0,658}$$

$$t = 5,28 \text{ días}$$

De acuerdo a la ecuación (1.3) el tiempo de retención hidráulico es:

$$t = \frac{L * W * (D_m + D_w)}{Q_{med}}$$

Siendo $A_s = L * W$

$$t = \frac{A_s * (D_m + D_w)}{Q_{med}}$$

$$A_s = \frac{Q_{med} * t}{(D_m + D_w)}$$

$$= \frac{1.140 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 5,28 \text{ días}}{(0,4 \text{ m} + 0,5 \text{ m})}$$

$$A_s = 6.699,08 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones del humedal basados en la relación $L:W = 4:1$

W = ancho del humedal

L = longitud del humedal = $4 W$

$$A_s = 4 * W * W = 6.699,08 \text{ m}^2$$

$$W = 40,92 \text{ m}$$

$$L = 4 * W = 163,69 \text{ m}$$

Para efectos de cálculo el área de $6.699,08 \text{ m}^2 \sim 6.700 \text{ m}^2$ se desea establecer 4 celdas

$$6.700 \text{ m}^2 / 4 = 1.675 \text{ m}^2$$

$$L * W = 4 * W * W = 1.675 \text{ m}^2$$

$$4 * W^2 = 1.675 \text{ m}^2$$

$$W^2 = 1.675 \text{ m}^2 / 4$$

$$W = 20,46 \text{ m}$$

$$W = 20,46 \text{ m} \sim 20,5 \text{ m}$$

$$L = 4 * W = 82 \text{ m}$$

Para cumplir con la normativa vigente y poder volcar el efluente al arroyo Paracao ($\text{DBO}_5 < 50 \text{ mg O}_2/\text{L}$), es necesario construir un humedal de 4 celdas de 20,5 metros de ancho por 82 metros de largo cada una, como se esquematiza en el croquis.

La dimensión de las celdas para el diseño del humedal artificial, está en la relación largo: ancho (4:1); relación influenciada fuertemente por el régimen hidráulico y la resistencia al flujo dentro del sistema. El flujo a través del humedal tiene que vencer la resistencia a la fricción impuesta por la vegetación y la capa de residuos, la energía para superar esta resistencia es suministrada por el caudal calculado entre la entrada y la salida del humedal.

