

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

Facultad de Ingeniería



“Análisis integral de la evolución del impacto sobre los recursos hídricos realizado por una industria faenadora de pollos”

Tesis de Grado Para la Carrera

Ingeniería Química

Natalia Romina Belleggia

Director local de Tesis: Ing. Qco. José Luis Aprea

Director externo de Tesis: Ing. Qca. Patricia Julia Reyes

Neuquén, Julio 2016

Resumen

Toda actividad industrial es susceptible de provocar un impacto en el ambiente en el cual desarrolla sus operaciones viéndose particularmente afectados los recursos atmosféricos e hídricos. Respecto de estos últimos, en la Provincia de Río Negro el Departamento Provincial de Aguas como autoridad de aplicación es responsable del control y monitoreo de los cuerpos receptores, ya que es el estado quien debe velar por la sanidad de estos ecosistemas. En esta tesis en particular se estudia el impacto generado por una planta faenadora de pollos de la localidad de Cipolletti a través del tiempo. Adicionalmente fue analizada la eficacia de las soluciones que han ido implementándose con el objeto de revertir impactos y acciones negativas sobre los recursos hídricos.

Mediante la realización de análisis físicos y químicos de los efluentes, de colectores de drenaje y de análisis freaticométricos elaborados exclusivamente para esta tesis en el segundo semestre de 2015 y primero del 2016, fue posible verificar el estado y la evolución de los recursos hídricos, utilizando para el análisis específico de los colectores de drenaje monitoreados la aplicación de un Índice de Calidad del Agua (ICA).

El trabajo de estudio de las instalaciones de campo se complementa con el análisis del sistema adoptado de lagunas de estabilización con reúso de los efluentes y la verificación detallada de su diseño a pesar de que esta tarea se aborda, en general, como parte de los cursos de postgrado o especialización en Ingeniería Sanitaria. Como un aporte final, al resultado de la verificación de las instalaciones de planta se añadieron algunas recomendaciones técnicas que pueden mejorar aún más la calidad y el uso de los recursos para promover el manejo sostenible de las aguas superficiales y subterráneas.

Palabras claves: recursos hídricos, efluentes, cuerpos receptores hídricos, lagunas de estabilización, reúso.

Abstract

All industrial activity is likely to cause an impact on the environment in which it operates being atmospheric and water resources particularly affected. Regarding the latter, in the Province of Río Negro the Provincial Department of Water as enforcement authority is responsible for control and monitoring of the receiving water bodies because the state authorities must ensure the health of those ecosystems. In this thesis, in particular the impact generated by slaughtering poultry plant in the town of Cipolletti over time is studied. In addition the effectiveness of the solutions that have been implemented in order to reverse impacts and negative actions on water resources was also analyzed.

By performing physical and chemical analysis of the effluents and drain collectors, and analysis of ground water gaging on samples prepared exclusively for this thesis in the second half of 2015 and first half of 2016, it was possible to verify the state and the evolution of surface and ground water resources, using specific analysis of drain collectors monitored by the implementation of a Water Quality Index (WQI).

The work of survey of field facilities was complemented by the analysis of the system of stabilization ponds with reuse of the adopted effluents and the detailed verification of its design even though this task is addressed generally as part of postgraduate courses or specialization in Sanitary Engineering. As a final contribution, to the result of verification of the plant facilities, some technical recommendations that can enhance further the quality and use of the resource were added in order to promote the sustainable management of surface water and groundwater resources.

Keywords: water resources, effluent, receiving water bodies, stabilization ponds, reuse.

Agradecimientos

Esta tesis representa la culminación de muchos años de esfuerzo en los que he contado con la ayuda invaluable de gran cantidad de personas. Aprovecharé esta ocasión para agradecer a quienes me ayudaron y me dieron el sostén necesario para concluir con este proyecto, y finalmente con mi carrera de grado.

En primer lugar quiero expresar mi mayor gratitud a mi director local de tesis, Ing. Qco. José Luis Aprea, por confiar en mí y darme la oportunidad de poder concluir con esta etapa postergada durante tantos años.

A mi directora externa de tesis y guía durante el trayecto recorrido de mi carrera profesional en el Departamento Provincial de Aguas, Ing. Qca. Patricia Reyes, por volver a creer en mí y en mis ganas de realizar este trabajo, acompañándome en todos los aspectos que estuvieron a su alcance durante este período.

A mi hijo Augusto, que con solo siete añitos, aceptó casi sin reclamos la ‘ausencia’ de su madre durante el tiempo que me llevó concluir este proyecto.

A mi amor Andrés, que me acompañó a diario con enorme paciencia, sosteniéndome firmemente en cada tropezón, transmitiéndome calma y empujándome para seguir adelante.

A la firma Pollolín S.A., especialmente a Fabián Maionchi, por permitirme realizar este proyecto y colaborar con cada necesidad presentada.

A mi familia, amigos, compañeros de trabajo, y gente que de una u otra manera contribuyó para que hoy pueda cerrar este ciclo.

Índice

1	Introducción	1
1.1	Caso de estudio	2
1.2	Objetivos	2
1.3	Marco legal	3
1.3.1	Orígenes del marco legal	3
1.3.2	Marco legal vigente	3
1.3.2.1	Libro Tercero – Código de Aguas	3
1.3.2.2	Resolución N°885/15 – Industrias en General.....	4
1.3.2.3	Resolución N°1423/15 – Reúso	5
2	Cuerpos Receptores Hídricos	6
2.1	Contexto geográfico-social y participación del DPA	6
2.2	Índice de Calidad de Aguas	10
2.2.1	Resultados.....	13
2.2.2	Análisis de resultados para cada colector	16
2.2.2.1	Curri Lamuel.....	16
2.2.2.2	E 2	17
2.2.2.3	P II.....	18
2.2.3	Actualidad.....	20
3	Tratamiento de Efluentes	21
3.1	Análisis de las diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento de los efluentes de la faenadora de pollos	21
3.1.1	Separación de sólidos gruesos	21
3.1.1.1	Rejas o cribados	22
3.1.1.2	Tamices rotativos	22
3.1.2	Unidades de desengrase.....	23
3.1.2.1	Flotación por Aire Disuelto (DAF).....	23
3.1.2.2	Desengrasador de placas inclinadas.....	24
3.1.3	Estanque de compensación o equalizador	25
3.1.4	Tratamiento biológico.....	25
3.1.4.1	Lodos activados	25

3.1.4.2	Filtros biológicos	28
3.1.4.3	Lagunas de estabilización	29
3.1.4.4	Humedales	32
3.1.5	Comparación de los tipos de tratamiento biológico	35
3.1.5.1	Lagunas de estabilización y mejor tecnología disponible	36
3.2	Planta de tratamiento de efluentes	38
3.2.1	Diseño actual	38
3.2.1.1	Ubicación del sistema de lagunas de estabilización	42
3.2.1.2	Descripción del sistema	42
3.2.1.3	Verificación del sistema de lagunas de estabilización existente.....	45
3.2.1.3.1	Dimensionamiento.....	45
3.2.1.3.2	Comparación de resultados	59
3.2.1.4	Funcionamiento y operación del sistema de lagunas de estabilización	60
3.2.1.4.1	Análisis del funcionamiento.....	60
3.2.1.4.2	Control de los acuíferos subterráneos	64
3.2.1.4.3	Mantenimiento del sistema de lagunas.....	65
3.2.1.4.4	Seguridad.....	66
4	Reúso.....	67
4.1	Algas. Alternativas de remoción.....	69
4.1.1	Incorporación de coagulantes con sedimentación	70
4.1.2	Filtración con lecho rocoso	72
4.1.3	Aplicabilidad de los métodos al caso particular de la faenadora de pollos	75
5	Conclusiones	76
6	Anexos.....	79
7	Lista de Figuras	95
8	Lista de Tablas	97
9	Bibliografía.....	98

1 Introducción

La Provincia de Río Negro cuenta con un marco jurídico para el control de la calidad y la protección de los recursos hídricos, asumiendo el compromiso de prevenir y resolver los problemas ambientales relacionados con las aguas superficiales y subterráneas, dentro del concepto de desarrollo sustentable. La normativa general se encuentra incluida en el Libro Tercero: “Régimen de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos”, de la Ley Q N°2952 – Código de Aguas [1]. El Departamento Provincial de Aguas (DPA), que es la Autoridad de Aplicación de dicho Código, realiza la implementación del Libro Tercero a través del Programa Co.Ca.P.R.Hi. (Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos).

Dentro de este programa se realizan tareas ininterrumpidas de inspección de todas las actividades que vuelcan efluentes¹ o generan un riesgo potencial de impacto a los cuerpos receptores hídricos, se monitorean las descargas de aguas residuales² industriales y de diferentes cuerpos receptores hídricos, participando además con otros organismos en investigaciones de calidad sobre la totalidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Una industria muy importante de la región Alto Valle es una faenadora de pollos, que con los años ha ido multiplicando su producción y esto conllevó un gran impacto con la descarga de sus efluentes. Con el seguimiento y control exhaustivo, adecuada investigación e inversiones para la implementación de diferentes tecnologías de tratamiento de efluentes, se ha ido ajustando a los requerimientos necesarios para la protección y conservación de los recursos hídricos.

El objetivo general de este trabajo, es tomar como caso particular de estudio esta faenadora de pollos ubicada en la localidad de Cipolletti, para realizar un análisis

¹ Efluentes: todo residuo líquido, gaseoso o sólido, que fluye hacia un cuerpo receptor.

² Aguas residuales: cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.

integral de la evolución de los recursos hídricos impactados por la misma y analizar la eficiencia de las tecnologías aplicadas por la empresa para el tratamiento de efluentes.

1.1 Caso de estudio

La empresa comenzó sus actividades como un emprendimiento familiar en el año 1961. Durante los primeros años realizaban la faena manualmente, descargando los efluentes crudos que se generaban a través de desagües internos del sector de chacras. Con el correr de los años fue creciendo su producción, como así también la generación de residuos y efluentes. Dichos efluentes contaban apenas con un pretratamiento para evitar obstrucciones en la conducción de los mismos, y se descargaban en un colector de drenaje que pasaba por un sector urbano de la localidad, recorriendo todo el trayecto a cielo abierto, generando un gran impacto ambiental.

En el año 1992 comenzó a ajustarse a los requerimientos de la legislación en cuanto a la protección y conservación de los recursos hídricos. Al día de hoy, la planta industrial no solo ha incrementado enormemente su producción, con todas las mejoras tecnológicas que esto implica, sino también ha realizado inversiones en investigación y ejecución de obras para el tratamiento de los efluentes.

Desde el comienzo y hasta el año 2012 los efluentes eran descargados a colectores de drenaje. Luego del diseño y construcción de la nueva planta de tratamiento con sistema de lagunas de estabilización, realizaron un proyecto de reúso de los efluentes tratados para riego de especies forestales en área restringida. Hasta ahora no han descargado efluentes del sistema de lagunas, por lo que las plantaciones se mantienen mediante riego con agua limpia.

1.2 Objetivos

Los objetivos específicos para llevar a cabo el estudio y análisis son:

- Evaluar la evolución en un período de casi 20 años, de la calidad de los colectores de drenaje que han sido cuerpos receptores hídricos de la faenadora.
- Analizar las diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento biológico de este tipo de efluentes, a la luz de los conceptos de mejor tecnología disponible.

- Verificar el diseño del sistema de lagunas de estabilización con reúso de los efluentes para riego de especies forestales.
- Verificar el funcionamiento y operación de la nueva instalación.
- Proponer alguna alternativa de eliminación de algas, a fin de garantizar que la calidad de los efluentes sea óptima para un sistema de riego presurizado localizado (goteo).

1.3 Marco legal

1.3.1 Orígenes del marco legal

El 18 de octubre de 1990, la Legislatura de la Provincia de Río Negro sanciona la Ley N°2391 - Régimen de Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos Provinciales. En ella se establece que la Autoridad de Aplicación es el Departamento Provincial de Aguas, organismo que en el ámbito de la jurisdicción territorial e institucional de la Provincia de Río Negro, tiene a su cargo todo lo relativo a la tutela, administración y política del agua pública. El 3 de Febrero de 1992 se publica en el Boletín Oficial el Decreto Reglamentario N°1894/91.

Debido a la diversidad de industrias extendidas en todo el territorio rionegrino y a la problemática específica de cada una de ellas, la Autoridad de Aplicación dio el marco normativo a la Ley, mediante dos resoluciones independientes: Resolución N°378/92 para "Industrias en General" y Resolución N°1302/92 para "Industrias Hidrocarburíferas".

A partir de la sanción de la Ley N°2952 - Código de Aguas, el 28 de febrero de 1995, la Ley N°2391 queda incorporada en el Libro Tercero: "Régimen de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos", manteniendo vigencia el decreto y las resoluciones reglamentarias citadas, pero que actualmente han sido reemplazadas por las siguientes: Resolución N°885/15 y Resolución N°886/15 respectivamente.

1.3.2 Marco legal vigente

1.3.2.1 Libro Tercero – Código de Aguas

El Libro Tercero del Código de Aguas se resume conceptualmente en las siguientes acciones:

- se presentan los alcances del régimen de protección y conservación de los recursos hídricos, definiendo quiénes son los establecimientos industriales, qué es un agua residual, qué se entiende por cuerpo receptor hídrico, y cuáles son los cuerpos receptores autorizados.
- se establece que las aguas residuales industriales y su disposición final deben contar la correspondiente autorización de descarga de desagües otorgada por el DPA.
- se crea el Registro de Usuarios de Cuerpos Receptores Hídricos y se incorpora un canon de uso y preservación de los cuerpos receptores.
- se describe el procedimiento de comprobación y juzgamiento de las infracciones, y se enumeran las alternativas por las que se pueden aplicar diferentes sanciones pecuniarias.

1.3.2.2 Resolución N°885/15 – Industrias en General

La Resolución N°885/15 establece las condiciones que permiten fiscalizar el proceso de protección y conservación de los recursos hídricos [2]. Los ítems más importantes para el control pueden resumirse de la siguiente manera:

- tipificación de actividades, con entrega de declaraciones juradas y proyectos de plantas de tratamiento.
- derechos de vías en sistemas de riego y drenaje; líneas de ribera y riesgo hídrico; cruces de ríos, canales, colectores de drenaje, aluvionales, etc.
- límites de parámetros de vuelco a diferentes cuerpos receptores [Anexo 1], procedimiento de muestreo y método de análisis.
- prohibición de la dilución de residuos líquidos y/o sólidos.
- traslado y disposición final de líquidos residuales, subproductos sólidos y semisólidos.
- plan de contingencias.
- constancia de situación (previa a la autorización de descarga)
- registros de profesionales y transportistas.
- facultades de los inspectores.
- multas por contaminación.

1.3.2.3 Resolución N°1423/15 – Reúso

La Resolución N°1423/15 incorpora el concepto de reutilización de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento, como método de disposición final [3]. En la misma se definen los valores máximos recomendados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para riego de cultivos tipo forestal, forrajeros para henificación o ensilaje, oleaginosas, frutales u ornamentales [Anexo 2], quedando prohibido el uso en cultivos de ingesta cruda o cosecha de frutos de contacto directo con el efluente tratado. También se indican los términos de referencia para la elaboración y presentación de proyectos de reutilización de efluentes.

2 Cuerpos Receptores Hídricos

2.1 Contexto geográfico-social y participación del DPA

Toda actividad industrial que genera efluentes durante su proceso, necesita volcarlos en algún cuerpo receptor. El Código de Aguas define como cuerpo receptor hídrico a la totalidad de las aguas superficiales y subterráneas existentes en el territorio de la Provincia de Río Negro, pero solo son cuerpos receptores hídricos autorizados para aguas residuales los siguientes: ríos, colectores de drenaje o desagües, colectores pluviales, colectores cloacales, mar, y aquellos que mediante un estudio y expresa autorización se pudieran permitir excepcionalmente.

El Alto Valle se caracteriza por ser área productiva de cultivos de frutales, cuya actividad puede desarrollarse gracias a un importante sistema de riego y drenaje.

Existen redes de canales de riego que llevan agua a los diferentes sectores de producción, durante el período agosto-abril, y colectores de drenaje o desagües que conducen los excesos de riego nuevamente al río. Varios de estos colectores de drenaje, también cumplen la función de ser descargadores de pluviales, y/o cuerpos receptores de efluentes industriales y de descargas de efluentes cloacales.

Dentro de los trabajos realizados por el DPA, existen registros de monitoreos de colectores de drenaje desde el año 1995, en los cuales se realizaban determinaciones mínimas de parámetros fisicoquímicos: pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Oxígeno Disuelto³ (OD) y Demanda Química de Oxígeno⁴ (DQO) y en algunos casos de parámetros bacteriológicos. Estos monitoreos se hacían debido a la necesidad de controlar el impacto que producían algunas industrias en particular, como es el caso de la faenadora de estudio.

Desde el año 2007 se implementaron programas de monitoreo sistemáticos de los colectores de drenaje principales del Alto Valle, durante los períodos con riego y sin

³ Oxígeno Disuelto (OD): es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cuán contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte este agua a la vida vegetal y animal.

⁴ Demanda Química de Oxígeno (DQO): es un parámetro que mide la cantidad de sustancias que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida, y que son susceptibles de ser oxidadas por medios químicos.

riego. En dichos programas se definieron estaciones de muestreo representativas de cada colector y se han determinado parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos, fitosanitarios y en algunos casos también se determinaron metales pesados en columna de agua y sedimentos.

Uno de los colectores más importante de la localidad de Cipolletti es el Pluvial II, más conocido como PII. Recorre aproximadamente 23 km, desde su nacimiento en Cinco Saltos, hasta desaguar en el río Negro a la altura de Fernández Oro. Su trayectoria es paralela a las vías del ferrocarril, rodeando por el este a la localidad de Cipolletti.

Este desagüe, es la “columna vertebral” de casi todo el sistema de riego y pluviales de la localidad de Cipolletti, tal como se puede observar en la Figura 2.1. El sistema de riego y drenaje del valle del río Neuquén, se construyó apoyándose en este colector, que además recibe la totalidad de los cauces aluvionales de la barda norte. A partir de allí, y a través de sus afluentes, es que también se convirtió en receptor de efluentes industriales y cloacales.

Entre los distintos afluentes que recibe, los más importantes son el Curri Lamuel, E3 y el ex Canal Roca.

En los inicios de sus actividades, la faenadora mencionada realizaba la descarga de sus efluentes casi sin tratamiento al colector Curri Lamuel, lo cual conllevaba un gran impacto ambiental no solo por la calidad de los efluentes, sino porque el mismo atraviesa un amplio sector de barrios urbanos de la localidad. En el año 1992 el DPA comenzó con el control de la industria, y la misma fue ajustándose de a poco a los requerimientos de la ley. Durante el año 2000 descargó provisoriamente sus efluentes en el colector E2, y a partir del año 2001 comenzó a descargar sus efluentes en forma directa al colector PII. A mediados del 2012 finalizó la construcción de la planta de tratamiento con lagunas de estabilización con reúso de sus efluentes para riego, dejando de descargar en el colector de drenaje.

Se analizarán los datos registrados, de casi 20 años, en los monitoreos de dichos colectores, para tratar de describir la evolución de la calidad de los mismos con los avances del tratamiento de efluentes de la faenadora. Debido a que no existen valores límites para parámetros medidos en los colectores de drenaje, sólo los hay para descargas de industrias, es que para la interpretación de los parámetros fisicoquímicos

existentes, se recurrirá al concepto de Índice de Calidad del Agua (ICA) como herramienta para caracterizar el estado general de las aguas superficiales en los puntos de impacto sobre los colectores Curri Lamuel, E2 y PII, durante los períodos de descarga de la industria. Cabe destacar que la legislación no incluye valores límites en los colectores de drenaje debido a que sería prácticamente imposible controlar la totalidad de los aportes de efluentes y residuos que reciben, ya que es muy variable y además suelen estar afectados por la gran cantidad de basura que deposita la gente en sus taludes y cauces.

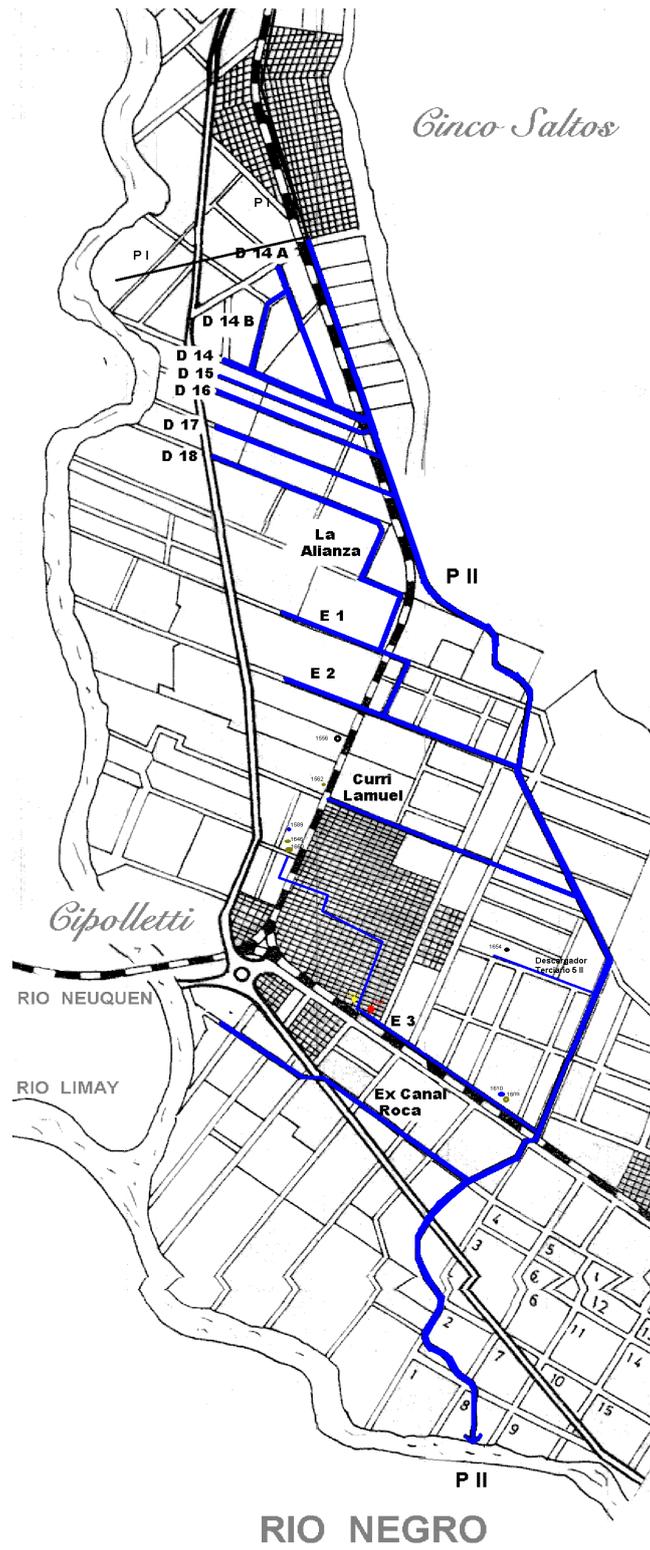


Figura 2.1 Colector PII y afluentes

2.2 Índice de Calidad de Aguas

El ICA se considera un parámetro para la caracterización y clasificación de la calidad del agua basado en una serie de parámetros estándar. Este índice es un instrumento matemático que transforma gran cantidad de datos de caracterización del agua en un único valor que representa el nivel de calidad. La puntuación del ICA describe la calidad del agua en una localización y un tiempo concreto [4].

Para su cálculo se requiere un paso de normalización donde cada parámetro se transforma en una variable en la escala 10 a 100, donde 100 representa la máxima calidad. El siguiente paso es ponderar cada variable de acuerdo a la importancia que tiene cada parámetro como indicador de la calidad del agua [5, 6 y 7].

La fórmula estándar para el cálculo del ICA es:

$$ICA = \sum_i C_i P_i \quad (2.1)$$

para la cual es necesario conocer la concentración de nueve parámetros, a saber: OD, DBO₅, coliformes fecales, nitratos, pH, temperatura, sólidos disueltos totales, fosfatos, turbidez.

Dada la dificultad de conocer la totalidad de dichos parámetros, suele utilizarse la siguiente versión corregida cuando solo tenemos algunos de ellos [8]:

$$ICA = \frac{\sum_i C_i P_i}{\sum_i P_i} \quad (2.2)$$

De esta manera, para el cálculo del ICA se empleará una ecuación del tipo [4]:

$$ICA = k \frac{\sum_i C_i P_i}{\sum_i P_i} \quad (2.3)$$

Donde:

k es una constante subjetiva de calidad del agua con valores entre 1.0 (agua aparentemente de gran calidad) y 0.25 (agua altamente contaminada), y valores intermedios de 0.75 y 0.5 para situaciones intermedias.

C_i es el valor normalizado de cada parámetro de acuerdo al criterio de normalización (Tabla 2.1) y *P_i* es el peso relativo asignado a cada parámetro dependiendo de su relevancia para la vida acuática (4 máxima importancia y 1 mínima relevancia).

Tabla 2.1 Valores de *Ci* y *Pi* para diferentes parámetros

Parámetro	Pi	Ci										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
pH	1	7	7 - 8	7 - 8.5	7 - 9	6.5 - 7	6 - 9.5	5 - 10	4 - 11	3 - 12	2 - 13	1 - 14
Temp. (°C)	1	21/16	22/15	24/14	26/12	28/10	30/5	32/0	36/-2	40/-4	45/-6	>45/<-6
Cond e- (uS/cm)	2	< 750	< 1000	< 1250	< 1500	< 2000	< 2500	< 3000	< 5000	< 8000	< 12000	> 12000
O.D. (mg/l)	4	≥ 7.5	> 7.0	> 6.5	> 6.0	> 5.0	> 4.0	> 3.5	> 3.0	> 2.0	> 1.0	< 1.0
D.Q.O. (mg/l)	3	< 5	< 40	< 80	< 150	< 200	< 250	< 300	< 350	< 400	< 450	> 450

Fuente: Índice de calidad en colectores de drenaje. Caso Particular: Canal de los Milicos RI
Provincia de Río Negro [9]

Para la confección de dicha tabla, se seleccionaron los parámetros de mayor interés de los registros de los monitoreos disponibles realizados por el DPA en los colectores Curri Lamuel, E2 y PII, pudiéndose en el futuro incorporar otros parámetros cuando fuese económicamente posible su monitoreo.

La mayoría de los estudios internacionales evaluados sobre el cálculo y análisis del ICA en cursos de agua, han sido realizados para aguas claras o limpias, no siendo el caso de los colectores de drenaje que analizaremos. Es por ello que, para que los cálculos sean lo más representativos y acertados posibles, debemos incorporar alguna modificación con un $k < 1$ o realizando el ajuste en algún parámetro de alta importancia en la caracterización de calidad del agua en estudio.

La modificación propuesta es en el parámetro DQO, donde se adoptó el valor correspondiente al límite permisible de vuelco para colectores de drenaje correspondiente a la legislación vigente, como valor “normal”, considerando que el colector se encuentra con caudal cero y la única descarga es la del efluente industrial dentro de normas [9]. En este caso en particular, no se tomó como tope el valor de DQO = 500 mg/l, sino que se dejó el límite superior abierto a los valores mayores a 450 mg/l.

Se clasificarán los resultados de calidad del colector de la siguiente manera:

Tabla 2.2 Clasificación de calidad

ICA	Clasificación
<30	mala
<50	regular
<75	buena
<95	muy buena
<100	excelente

Fuente: Índice de calidad en colectores de drenaje. Caso Particular: Canal de los Milicos R1 Provincia de Río Negro [9]

Para la evaluación, se tomaron los puntos A, B y C en cada colector, siendo los mismos el lugar de monitoreo más próximo aguas abajo de la descarga de la faenadora. Los puntos y colectores pueden observarse en la imagen satelital de la Figura 2.2. Las coordenadas geográficas de los mismos son:

A (Curri Lamuel): 38°55'0,67''(S) 68°0'17,16''(W)

B (E2): 38°54'11,94''(S) 68°0'16,27''(W)

C (PII): 38°54'13,36''(S) 67°58'31,88''(W)

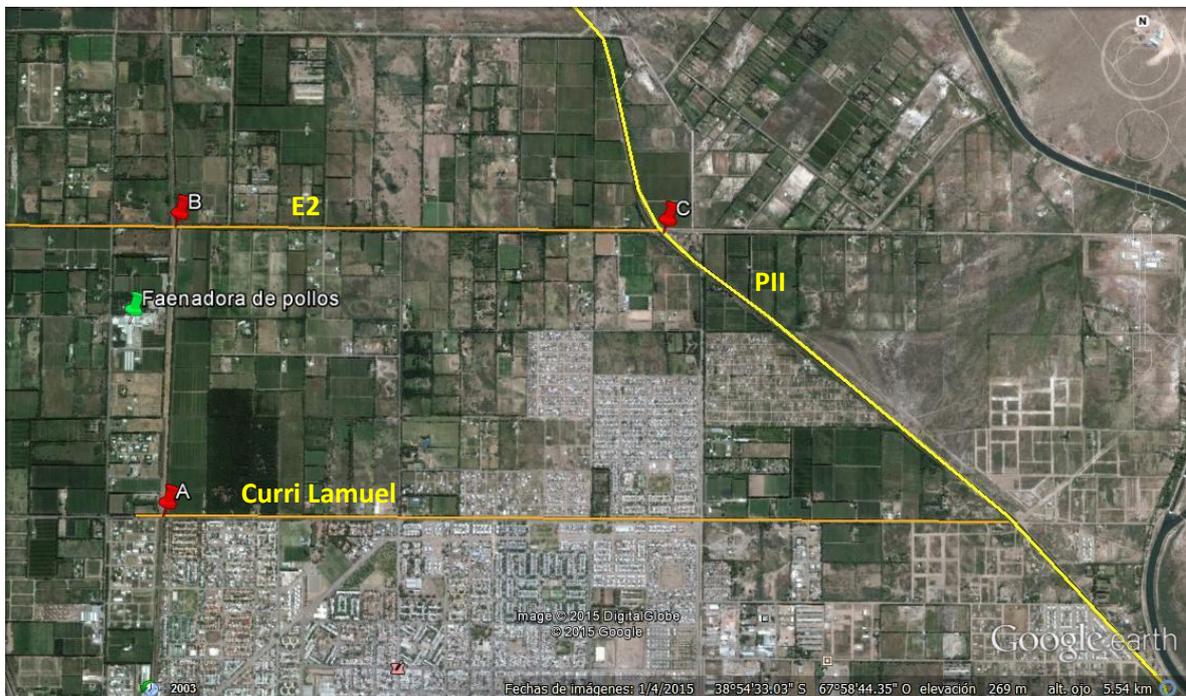


Figura 2.2 Imagen satelital con ubicación de los puntos de muestreo A, B y C

Se calculó el ICA para cada sitio, con los valores de pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Oxígeno Disuelto (OD) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) existentes de cada monitoreo a los colectores. En algunos casos faltarán valores de algún parámetro, pero al utilizar en los cálculos la fórmula general corregida para tal fin, Ecuación 2.2, pueden despreciarse las posibles desviaciones en los resultados.

2.2.1 Resultados

Los resultados obtenidos de los cálculos del ICA se pueden ver en la Tabla 2.3 y el gráfico de la Figura 2.3.

Tabla 2.3 Resultados ICA

Curri Lamuel

Punto de referencia: aguas abajo de la descarga al colector, circunvalación y vías ferrocarril

Fecha	R	pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O.	Ci					IC A	Clasificación
							pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O		
09/09/1997	CR	8,2	15	1070	s.d.	964,1	80	90	80		0	47	REGULAR
26/11/1997	CR	7,4	15	470	s.d	148	90	90	100		70	84	MUY BUENA
18/03/1998	CR	6,7	20	550	s.d	501	60	100	100		0	51	BUENA
07/07/1998	SR	7	17	1170	s.d	1316	100	100	80		0	51	BUENA
22/09/1998	CR	7,3	13,5	775	s.d	1000	90	70	90		0	49	REGULAR
08/04/1999	CR	6	14	7150	s.d	1469	50	80	20		0	24	MALA
08/08/1999	SR	6	10	1055	s.d	738	50	60	80		0	39	REGULAR

E2

Punto de referencia: aguas abajo de la descarga al colector, bajo vías ferrocarril

Fecha	R	pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O.	Ci					IC A	Clasificación
							pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O		
23/03/2000	CR	7	17	353	s.d	<20	100	100	100		90	96	EXCELENTE
06/06/2000	SR	7	s.d	s.d	s.d	1471	100				0	25	MALA

P11

Punto de referencia: aguas abajo de la descarga al colector (sitio 4 DPA)

Fecha	R	pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O.	Ci					IC A	Clasificación
							pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O		
28/06/2001	SR	7,5	6	2698	0	400	90	50	40	0	10	23	MALA
07/08/2002	SR	7	8	s.d	s.d	105	100	50			70	72	BUENA
12/06/2003	SR	5,68	14	9580	s.d	190	40	80	10		60	46	REGULAR
19/10/2004	CR	6,53	11	759	s.d	328	50	60	90		30	54	BUENA
13/06/2005	SR	7,06	4,3	2150	s.d	357	90	40	50		20	41	REGULAR
20/09/2005	CR	8,03	11,5	900	9,82	s.d	80	60	90	100		90	BUENA
30/05/2006	SR	7,8	10	2080	2,59	530	90	60	50	20	0	30	REGULAR
19/06/2007	SR	8,1	7,2	2300	6,1	s.d	80	50	50	70		64	BUENA
10/12/2007	CR	8	15,2	830	9,7	s.d	90	90	90	100		95	EXCELENTE
08/04/2008	CR	7,8	15,7	870	8,5	s.d	90	90	90	100		95	EXCELENTE
22/07/2008	SR	7,8	8,9	3520	5,2	s.d	90	50	30	60		55	BUENA
29/07/2009	SR	8	4	2250	8	s.d	90	40	50	100		79	MUY BUENA
02/02/2010	CR	7,8	19,9	840	6,98	s.d	90	100	90	80		86	MUY BUENA
30/07/2010	SR	7,9	8,3	2500	6	457	90	50	50	70	0	47	REGULAR
02/06/2011	SR	7,6	7,8	2500	4,7	305	90	50	50	50	30	48	REGULAR
02/02/2012	CR	7,6	19,3	800	4,7	135	90	100	90	50	70	71	BUENA
16/08/2012	SR	7,7	6,7	3700	9,9	3	90	50	30	100	100	82	MUY BUENA
07/03/2013	CR	7,93	16	710	8,3	29	90	100	100	100	90	96	EXCELENTE
13/08/2013	SR	8,13	3,3	4500	9	42	80	40	30	100	80	75	MUY BUENA
14/08/2014	SR	8,17	4,8	4300	11,4	27	80	40	30	100	90	77	MUY BUENA

s.d. sin datos

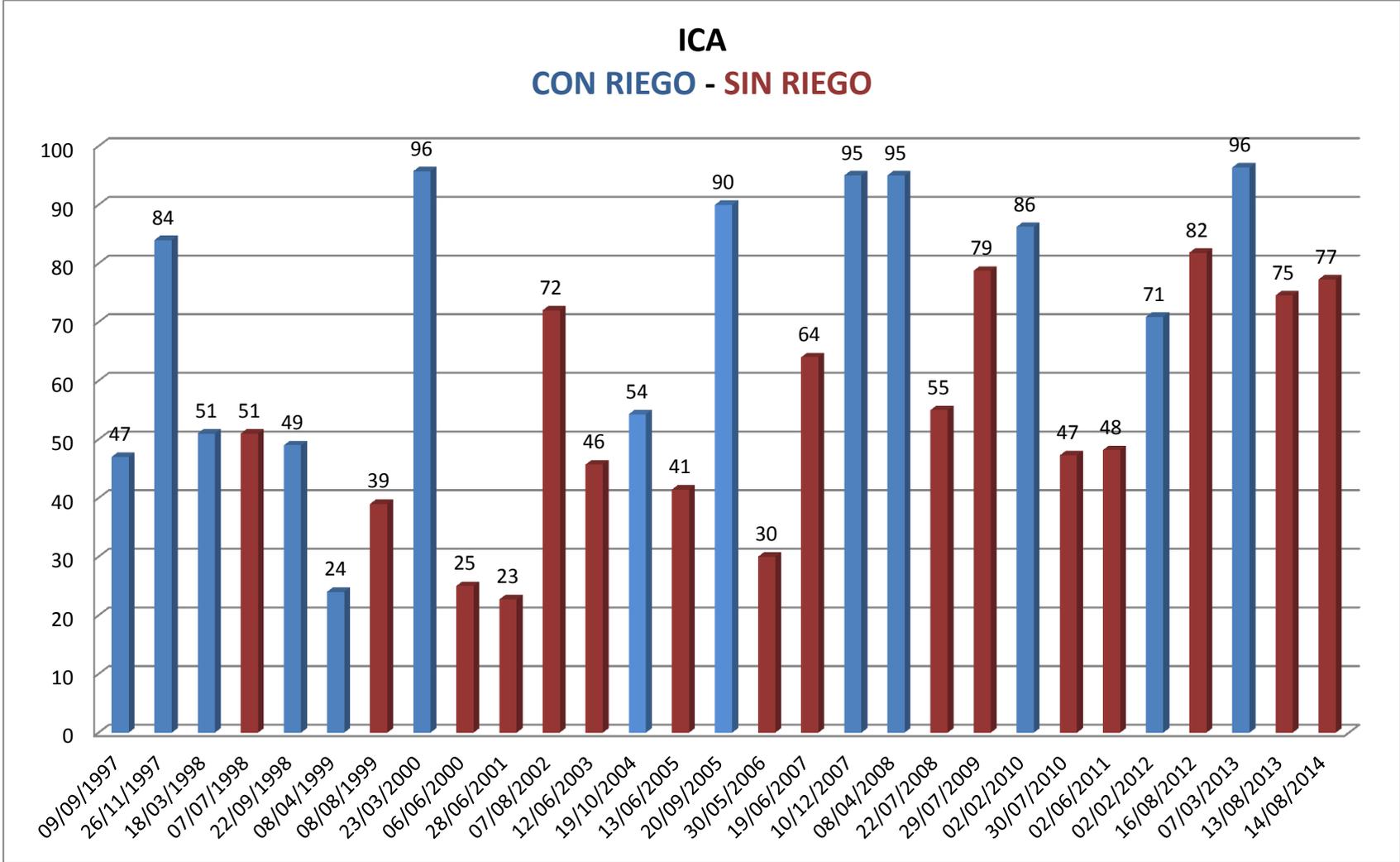


Figura 2.3 Gráfico del ICA para períodos con riego y sin riego

2.2.2 Análisis de resultados para cada colector

2.2.2.1 Curri Lamuel

Es un colector de drenaje que corre paralelo a la Av. de circunvalación Arturo Illia, en sentido oeste-este, con una longitud aproximada de 5,3 km y una capacidad de conducción máxima de 1,5 m³/seg.

Este colector recibe poco aporte de drenaje de riego ya que se encuentra en una zona urbanizada con poca actividad agrícola. Posee descargas cloacales directas y difusas, y existen muchos aportes de basura que degradan su calidad.

De los registros de los 3 años en los que se evaluó el colector por la descarga de la faenadora, se observa que los valores del ICA calculados indican que el mismo ha mantenido una calidad prácticamente REGULAR y casi constante durante los años 1997 y 1998, con valores del ICA cercanos a 50, sin diferencias entre períodos con riego o sin riego. En una oportunidad se obtuvo un valor del ICA de 84, indicando muy buena calidad en el colector, pero que por ser puntual se entiende que es poco representativo del comportamiento normal durante este período. En el año 1999, la calidad empeoró notablemente con respecto a los años anteriores, con resultados del ICA que indicaban una calidad entre MALA y REGULAR. Durante esos años, la industria no contaba con planta de tratamiento de efluentes, sólo tenía algunas rejillas y cámaras decantadoras que actuaban de pretratamiento. Debido a las presiones del Departamento de Aguas, acompañadas por quejas de los vecinos y del Municipio local, la empresa entregó para su visación el primer Proyecto Integral de Tratamiento de Efluentes, con descarga directa al colector PII, habiéndose hecho efectiva la acción de descarga a partir del año 2001.



Figura 2.4 Curri Lamuel - Año 1999

2.2.2.2 E 2

Es un colector de drenaje del sistema de riego, que recorre zona rural en sentido oeste-este, y que posee una longitud de aproximadamente 3,9 km y una capacidad máxima de conducción de 2 m³/seg.

Recibe el aporte neto del drenaje y los excedentes de agua del sistema de riego.

De los registros de la descarga de efluentes en este colector durante el año 2000, se refleja el comportamiento que tiene el mismo como drenaje del sistema de riego; obteniendo un valor del ICA igual a 95 en período de riego, lo cual indica MUY BUENA calidad, y un valor del ICA de 25, MALA calidad, en ausencia del riego.

La descarga de la faenadora a este colector fue autorizada provisoriamente hasta la concreción de las obras de la planta de tratamiento de efluentes, a fin de minimizar la crisis social que se había comenzado a generar con la descarga al Curri Lamuel, que como se mencionó anteriormente, atraviesa una zona densamente poblada. Los beneficios de cambiar el punto de vuelco, como paliativo, radicaban en que: la distancia recorrida era menor, el E2 estaba en zona rural, en época de riego el caudal del E2 era significativamente mayor al del Curri Lamuel, y el punto de descarga era muy próximo al proyectado en el PII.

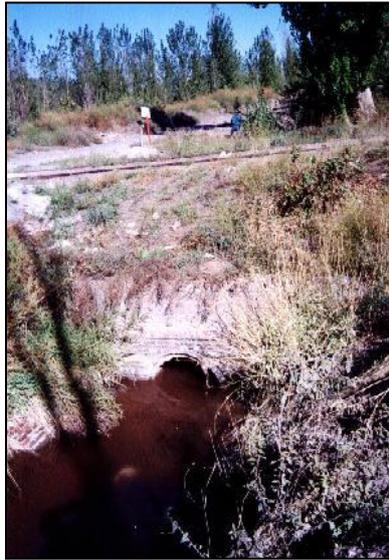


Figura 2.5 E2 - Año 2000

2.2.2.3 P II

Nace en la localidad de Cinco Saltos, en la compuerta que lo comunica con el P I, corriendo paralelo a las vías del ferrocarril, rodeando por el este a la localidad de Cipolletti, para desaguar en el río Negro a la altura de Fernández Oro. Tiene una longitud aproximada de 23 km y una capacidad máxima de conducción de 12 m³/seg.

Es un colector pluvial, formado originalmente por la escorrentía de las descargas aluvionales de Cipolletti. Recibe muchos aportes de drenaje de riego, directos y a través de sus afluentes, como así también descargas industriales tratadas y de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de la localidad. Posee muchos asentamientos barriales en sus márgenes, lo que conlleva a diferentes aportes de cloacales directos y difusos, y mucha contaminación por basura y residuos varios.

A lo largo de los años de descarga de la faenadora al colector PII, el comportamiento del mismo en cuanto a los resultados del ICA obtenidos, y por lo tanto a su calidad, ha sido muy variable. Cabe destacar, que al igual que el E2, la calidad se ve muy favorecida con los aportes de drenaje en los períodos de riego.

Durante los años 2001 al 2005, se observa que los valores del ICA indican que la calidad del colector fue entre MALA y REGULAR en períodos sin riego, con resultados que indican BUENA calidad generalmente en períodos con riego. En este intervalo, la empresa se encontraba en etapa de construcción y ajuste de la planta de tratamiento de

efluentes. Esta planta de tratamiento, consistía en un tratamiento primario compuesto por rejillas y un tamiz y una etapa de desengrase constituida por un equipo de flotación por aire disuelto. Colocaron un biofiltro rotativo y proyectaban colocar una segunda unidad, pero esto no se concretó ya que rediseñaron el proyecto.

Durante el 2005 y 2006 estuvieron construyendo y poniendo a punto las nuevas unidades de tratamiento, que consistieron en la incorporación de otras unidades de desengrase, dos reactores biológicos con aireación, un digestor de barros y un sedimentador secundario circular final. Es por ello que aún en el año 2006, el resultado del ICA era igual a 30, indicando una calidad REGULAR del colector.

Luego de la incorporación de las nuevas unidades de operación de la planta, pudieron estabilizar por un tiempo la descarga al colector, pero al ser una planta 'tipo compacta', era muy sensible a las mínimas variaciones que había en el efluente crudo o en cualquier desfasaje intermedio, y operativamente la hacía muy difícil de manejar. A pesar de ello durante los años 2007 hasta los inicios del 2010, el colector se mantuvo siempre con valores del ICA por encima de 50, lo que indica una BUENA calidad de sus aguas. En algunos casos incluso, se obtuvieron valores superiores a 75 y 95, indicando una MUY BUENA y EXCELENTE calidad, respectivamente.

Esta situación no perduró en el tiempo, debido a que la empresa incrementó mucho su producción durante esos años y los siguientes, por lo que inmediatamente debieron rediseñar el tratamiento y proyectaron una nueva planta de tratamiento de efluentes, con un sistema de lagunas de estabilización en otro lugar.

En el 2010 y 2011 la calidad del colector volvió a ser REGULAR, con resultados del ICA apenas por debajo de 50.

A partir de abril del 2012 dejaron de descargar en el PII, enviando la totalidad de sus efluentes pretratados al sistema de lagunas de estabilización, donde el destino final de los mismos sería el reúso para riego de especies forestales. El colector volvió a recuperar su calidad evidenciándose en los resultados del ICA mayores a 75, que la califican como MUY BUENA y EXCELENTE.



Figura 2.6 PII - Año 2009

2.2.3 Actualidad

En la Tabla 2.4 se observan los resultados obtenidos del monitoreo de colectores realizado en marzo del corriente año:

Tabla 2.4 Resultados ICA 2016

Fecha: 28/03/16 (CR)

Colector	pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O.	Ci					ICA	Clasificación
						pH	Temp	Cond	O.D.	D.Q.O.		
Curri Lamuel	8,10	14,7	310	6,38	13	80	80	80	70	90	83	MUY BUENA
E2	8,26	15,6	620	7,10	< 4	80	90	100	90	100	94	MUY BUENA
PII	8,31	15,8	540	7,71	< 4	80	90	100	100	100	97	EXCELENTE

Como se puede observar, la calidad de los tres colectores sin la descarga de los efluentes de la faenadora, reflejan resultados que la califican como MUY BUENA para el Curri Lamuel y el E2, y EXCELENTE para el PII.

3 Tratamiento de Efluentes

3.1 Análisis de las diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento de los efluentes de la faenadora de pollos

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre, la búsqueda de métodos para cuidarlos y recuperarlos; para que puedan ser aprovechados por los seres vivos; de aquí que uno de los recursos de vital importancia para el hombre, como lo es el agua, sea objeto de estudio [10].

El Código de Aguas define como aguas residuales industriales a todo líquido que se desecha después de haber participado en cualquier operación industrial, bien sea de preparación, de producción, de limpieza o de operaciones auxiliares a los procesos.

Las impurezas se encuentran en el agua residual como materia en suspensión, como material coloidal, o como materia en solución. Mientras que la materia en suspensión siempre se separa por medio mecánico, con intervención o no de la gravedad, la materia coloidal suele requerir un tratamiento fisicoquímico preliminar, y la materia en solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico o precipitarse y separarse utilizando procesos semejantes a los empleados para la separación de los sólidos en suspensión. A esto es a lo que se denomina tratamiento de aguas residuales.

La mejor forma de tratar las aguas residuales dependerá de una serie de factores característicos, tales como: el caudal, la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, el espacio disponible, las posibilidades de reutilización de la misma, las posibilidades de vuelco a los cuerpos receptores, etc.

Con la integración de diferentes fuentes de material bibliográfico consultado [10, 11 y 12], se realizó una descripción de las principales unidades y sus características para las plantas de tratamiento de aguas residuales de industrias alimenticias, como es en este caso la faenadora de pollos. Las mismas se presentan a continuación:

3.1.1 Separación de sólidos gruesos

Esta etapa es indispensable porque: protege las obras de la llegada de grandes objetos susceptibles de provocar taponamientos en los diferentes equipos; y separa y remueve

las partículas voluminosas arrastradas por las aguas crudas, que disminuyen la eficiencia de los tratamientos, como son en este caso particular las plumas, vísceras, patas, etc. Esta separación se puede hacer mediante la utilización de rejjas o cribado, seguidas de tamices rotativos.

3.1.1.1 Rejas o cribados

Permiten la filtración de los sólidos gruesos, colocándolas a conveniencia en el trayecto que va desde el punto de generación de aguas residuales hasta la llegada a la planta de tratamiento. Para la determinación del tipo de rejjas a implementar se necesita tener conocimiento aproximado del diámetro de los sólidos presentes, para poder así determinar la abertura a utilizar. En la Figura 3.1 se observan distintos tipos de rejjas.

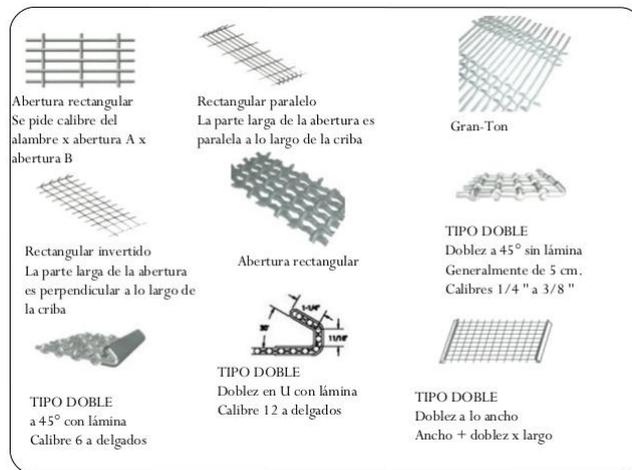


Figura 3.1 Tipos de rejjas

3.1.1.2 Tamices rotativos

Separan sólidos de menor tamaño en una determinada proporción dada por las características de su malla. El líquido a filtrar entra en el tamiz a través de la tubería de entrada situada en la parte superior, trasera o lateral donde se distribuye uniformemente a lo largo de todo el tambor filtrante, el cual está girando de continuo. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie del cilindro, que por medio de su rotación son desplazadas hacia las rasquetas que son las encargadas de separarlas y depositarlas sobre la bandeja de descarga. El líquido se filtra a través de la malla especial de ranura

continúa y finalmente pasa a la tubería de salida. El esquema típico de un tamiz rotativo puede observarse en la Figura 3.2.

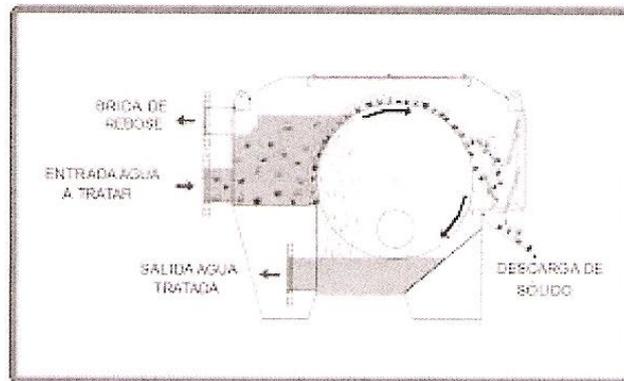


Figura 3.2 Esquema de un tamiz rotativo

3.1.2 Unidades de desengrase

3.1.2.1 Flotación por Aire Disuelto (DAF)

El sistema de flotación por aire disuelto es un tratamiento muy efectivo tanto para la separación de sólidos en suspensión como para grasas y aceites. El esquema de este equipo se observa en la Figura 3.3.

La separación se consigue introduciendo finas burbujas de aire en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido, además de favorecer el ascenso de aquellas de densidad menor al líquido, como es el caso de los aceites en agua.

El proceso de flotación depende entonces, principalmente, de la eficiencia de la disolución del aire en el efluente.

Las partículas flotadas forman un manto estable en la superficie de la cámara de flotación que es retirada por algún tipo de skimmer (barredor de superficie).

Los lodos sedimentados se retiran por la parte inferior de la cámara.

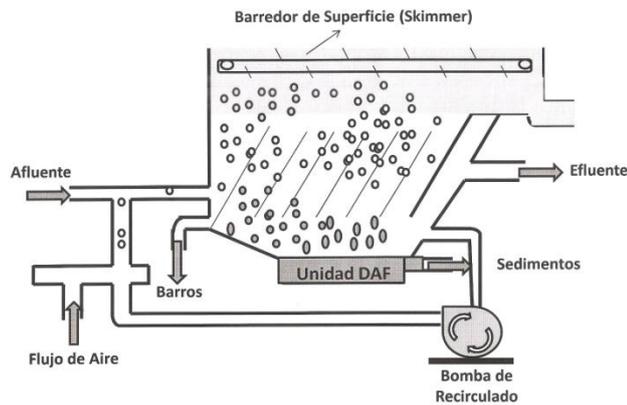


Figura 3.3 Esquema de unidad DAF

3.1.2.2 Desengrasador de placas inclinadas

Son unidades que requieren poco espacio y utilizan la gravedad para remover sólidos de las aguas residuales.

Los paquetes de placas onduladas están conformados por capas montadas paralelamente una a la otra, que generalmente se encuentran colocadas con un ángulo de 45° respecto a la dirección del flujo de las aguas residuales a tratar.

Separan las grasas por ruptura de moléculas en las placas coalescentes. Cuando el agua residual entra al separador, la velocidad es reducida, permitiendo que los sólidos se precipiten al fondo y posteriormente la grasa sea arrastrada nuevamente hacia la superficie. De allí se retira con algún tipo de skimmer. La Figura 3.4 muestra este tipo de desengrasador.

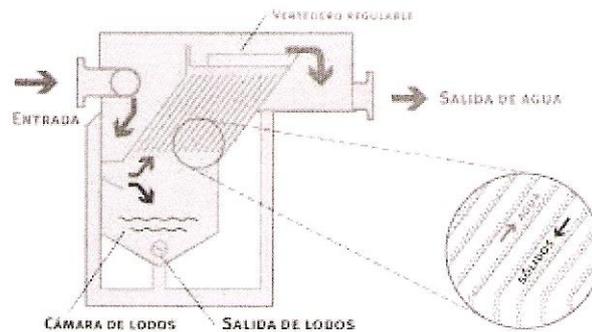


Figura 3.4 Desengrasador de placas inclinadas

3.1.3 Estanque de compensación o ecualizador

Consiste en una pileta de acopio de todas las aguas residuales, que permite la homogenización de las mismas, antes de pasar al tratamiento biológico. También sirve para poder enviar un caudal constante a las unidades siguientes.

Este ecualizador puede ser con aireación o no. Generalmente se aplica aire mediante difusores conectados a sopladores de aire, a fin de mantener la mezcla y el oxígeno requerido para que se establezcan condiciones aerobias en el sistema.

De ser necesario, en esta etapa se ajusta el pH.

3.1.4 Tratamiento biológico

El tratamiento biológico tiene como objetivo estabilizar la materia orgánica que aún se encuentra presente en el agua residual. Para ello se utilizan microorganismos, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre la materia orgánica.

Los diferentes tipos de tratamientos biológicos pueden clasificarse en sistemas aerobios o anaerobios, dependiendo de si poseen o no inyección de O_2 ; o anóxicos, en los cuales hay ausencia total de O_2 .

También pueden clasificarse según el estado de los microorganismos en cultivos fijos y en cultivos en suspensión.

Se describirán los tipos de tratamientos biológicos más utilizados para los efluentes del tipo de los de la faenadora de estudio, para luego realizar un análisis comparativo de ventajas y desventajas de cada uno.

3.1.4.1 Lodos activados

Es uno de los procesos más usados porque su funcionamiento es bastante sencillo, el sistema básico consiste simplemente en un tanque de aireación, un tanque sedimentador, un tanque para almacenar lodos y una recirculación de lodos. Se representa esquemáticamente en la Figura 3.5.

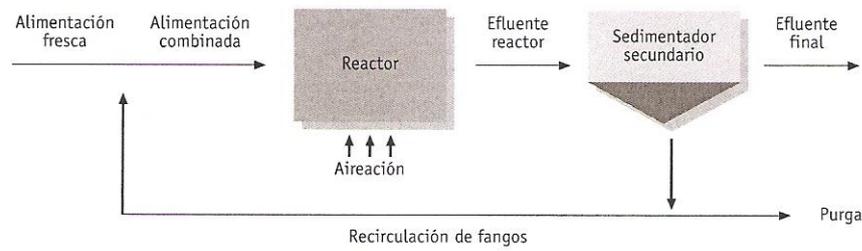


Figura 3.5 Sistema básico de lodos activados

El agua residual se pone en contacto en un medio aireado con flóculos biológicos previamente formados, en los cuales se adsorbe la materia orgánica y es degradada por las bacterias presentes [11]. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza una recirculación de parte de los lodos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior del reactor (biomasa), además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos.

Dentro de los parámetros básicos de funcionamiento, un parámetro muy importante es el de la aireación. La solubilidad del oxígeno en el agua es pequeña (en torno a 8-9 mgO₂/l dependiendo de la presión y temperatura) por lo que será necesario asegurar el suministro a los microorganismos, utilizando aireadores superficiales o difusores. El valor mínimo de operación aconsejable de concentración de OD es de 2 mg/l. El consumo eléctrico en esta operación será importante dentro de los costos de operación del proceso.

Otro parámetro clave en el proceso es la relación A/M o intensidad de carga, denominada I. Se refiere a la relación entre la carga orgánica alimentada y la cantidad de microorganismos disponibles en el sistema. Es un parámetro de diseño fundamental, teniendo un valor óptimo entre 0,3-0,6 para las condiciones más convencionales de funcionamiento.

La denominada “edad celular” también es un parámetro importante. Se refiere al tiempo medio que permanecen los lodos (flóculos, microorganismos) en el interior del sistema. En condiciones normales de operación, suele tener un valor de 5-8 días.

Pueden existir algunas modificaciones en la forma de operar con respecto al sistema básico, las que se sintetizan a continuación:

- Aireación prolongada: se suele trabajar con relaciones A/M más pequeñas (mayores tiempos de residencia), consiguiendo mayores rendimientos en la degradación de materia orgánica. Tiene además como ventaja, una baja generación de lodos. Se suele utilizar cuando se pretenden eliminar compuestos de nitrógeno simultáneamente con la materia orgánica.
- Contacto estabilización: en el reactor de aireación se suele trabajar con menores tiempos de residencia pretendiendo que solo se lleve a cabo la adsorción de materia orgánica en los flóculos. La verdadera degradación se realiza en otro tanque de aireación insertado en la recirculación de lodos, Figura 3.6, donde la concentración de lodos es mucho más elevada que en el primer reactor. Es interesante esta opción cuando buena parte de la materia orgánica a degradar se encuentra como materia en suspensión.

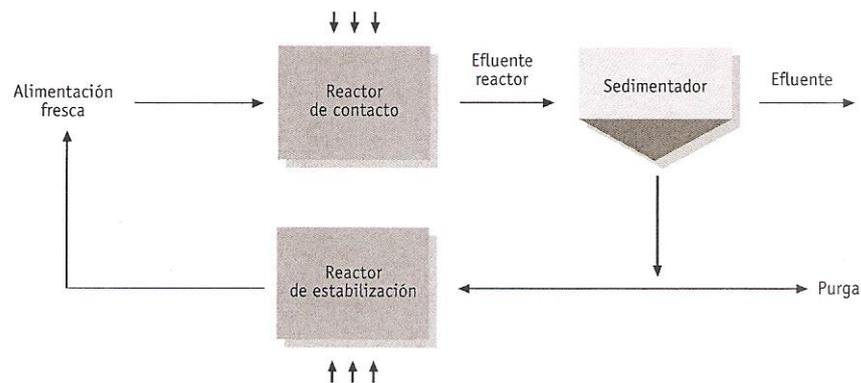


Figura 3.6 Sistema de lodos activados con reactor de estabilización

- Reactores discontinuos secuenciales (SRB): todas las operaciones (aireación y sedimentación) se llevan a cabo en el mismo equipo, incluyendo una etapa de llenado y terminado con la evacuación del agua tratada. Es una opción muy válida para situaciones en las que se dispone de poco espacio, y son muy versátiles en cuanto a las condiciones de operación (habitualmente se utilizan columnas de burbujeo como reactores).

3.1.4.2 Filtros biológicos

Otra forma de conseguir concentraciones suficientes de microorganismos, sin necesidad de recirculación, es favoreciendo su crecimiento en la superficie de sólidos. Se evitan de esta manera los posibles problemas en la sedimentación y recirculación de lodos, frecuentes en los procesos clásicos de lodos activados. Sin embargo el aporte de oxígeno será de nuevo un factor importante, debiendo estar bien distribuido en el líquido o manteniendo en movimiento en el sistema.

- Filtros percoladores/lechos bacterianos: Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica, con formas especiales para desarrollar gran superficie de contacto. Sobre esta superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, mojando la superficie al descender por el lecho. Al mismo tiempo, circula aire que asciende de manera natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente. Por lo general también se realiza una recirculación de parte del efluente limpio una vez producida la separación. Un esquema sencillo de este sistema se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Esquema de filtro percolador

El parámetro de diseño más importante es la velocidad de carga orgánica, teniendo rangos de aplicación en la industria desde 30 a 10.000 kg DBO₅/día y

100 m³ de reactor, siendo los tamaños muy variables (desde 2 hasta 10 m de altura).

Los rellenos que se realizan con piedras trituradas producen una superficie dura, durable y químicamente resistente para el crecimiento de la bio-película. Suelen utilizarse pedazos de roca de 50-100 mm, que generan un área superficial específica de 50-65 m²/m³ con porosidad entre 40-50%. También es posible utilizar rellenos de plástico o cerámico de varias formas, para aumentar el área superficial y la porosidad, pudiendo conseguir hasta 200 m²/m³ y porosidad de hasta 95%.

- **Contactores Biológicos Rotatorios (RBC): Biodiscos:** Consisten en una serie de placas o discos, soportados en un eje y parcialmente sumergidos (40%) en un tanque que contiene el agua residual. El eje junto a los discos gira lentamente. Sobre la superficie de los discos crece la bio-película, que sucesivamente, se moja con el agua residual y entra en contacto con el aire, produciéndose la degradación de la materia orgánica. Son fáciles de manejar y convenientes cuando se tratan bajos caudales.

Normalmente el tamaño es de entre 1 y 3 m de diámetro, están separados por 10 o 20 cm, y con velocidades de giro de 0,5 - 3 rpm.

3.1.4.3 Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización suelen ser una de las alternativas más elegidas para el tratamiento de efluentes por tener bajo costo y ser de sencilla operación. No solo son capaces de tener muy buena reducción de materia orgánica, sino que también pueden ser usadas para el retiro de nitrógeno y fósforo, reducción de metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos, y destrucción de patógenos.

Las lagunas de estabilización utilizan la relación simbiótica algas-bacterias para la degradación de la materia orgánica. Un esquema de esta relación puede observarse a continuación en la Figura 3.8.

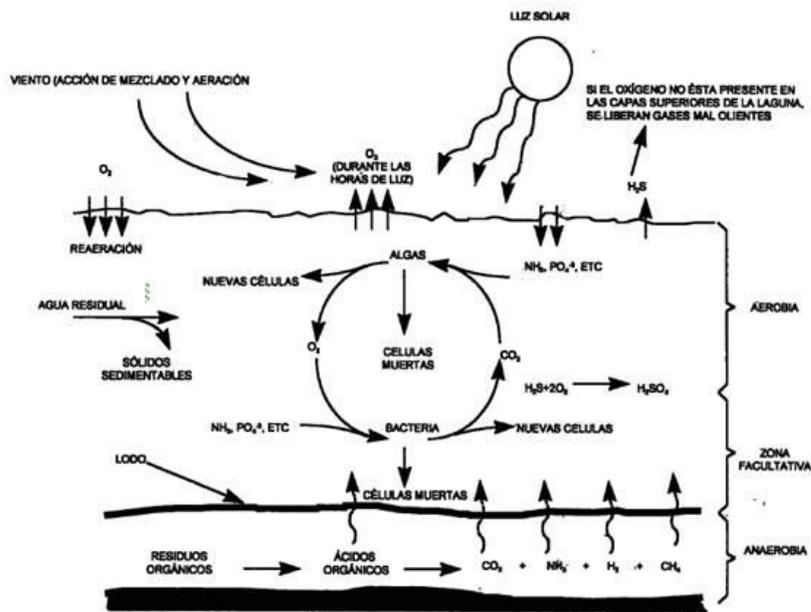


Figura 3.8 Equilibrio dinámico bacterias-algas en una laguna de estabilización

Los microorganismos presentes en una planta de tratamiento de aguas residuales pueden dar lugar a muchos cambios bioquímicos. Las principales reacciones biológicas que se observan en una laguna de estabilización comprenden los siguientes fenómenos [12]

- Oxidación de materia orgánica por bacterias aerobias.
- Nitrificación de las proteínas y de otros compuestos nitrogenados por bacterias aerobias.
- Reducción de la materia orgánica por bacterias anaerobias presentes en los depósitos y estratos líquidos del fondo.
- Oxigenación de los estratos líquidos superficiales, por las algas.

Actualmente se aceptan ciertos hechos básicos relativos a la oxidación de los residuos orgánicos:

- El oxígeno disuelto se reduce durante la estabilización de la materia orgánica.
- La rapidez de la oxidación es independiente de la cantidad de oxígeno disuelto disponible.
- El tiempo y número de organismos es importante.
- Los cambios del contenido de oxígeno pueden servir para medir la cantidad y el carácter de la materia orgánica oxidable.

La forma más común de clasificar las lagunas de estabilización es la siguiente:

a) Anaerobias:

Son aquellas que operan con cargas orgánicas de modo tal que no exista oxígeno molecular libre a través de todo su volumen o los procesos de fermentación ácida y metanogénica predominan en la camada de lodo y no en el líquido sobrenadante. Pueden alcanzar una profundidad de hasta seis metros, con el objetivo de mantener el calor y las condiciones anaerobias.

b) Aerobias:

Son lagunas que permiten la penetración de la luz en toda su profundidad. Las lagunas aerobias aceleradas tienen una profundidad de 0,3 a 0.5 m y son mezcladas mecánicamente de modo que todas las algas estén expuestas a la iluminación solar, evitando asimismo, la formación de una camada de lodo en el fondo. Son proyectadas para maximizar la producción de algas. Otro tipo de lagunas aerobias pueden alcanzar una profundidad de 1,5 m y se utilizan para elevar al máximo la producción de oxígeno.

c) Facultativas:

Son aquellas donde ocurre una estabilización aerobia en una zona donde la penetración de la luz es efectiva y una fermentación (ácida y metánica) anaerobia en los lodos depositados en el fondo, representado en la Figura 3.9.

En el modelo dinámico de este tipo de lagunas, ocurre la transferencia de fases como la mezcla producto del viento, la acción de la irradiación solar, sedimentación, desprendimiento de gases, proceso de fotosíntesis de las algas, etc.

En estas lagunas existen tres zonas bien diferenciadas:

Zona superficial: donde existen bacterias aerobias y algas en relación simbiótica.

Zona Inferior: en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaeróbicas.

Zona Intermedia: la descomposición de efectúa por acción de las bacterias facultativas.

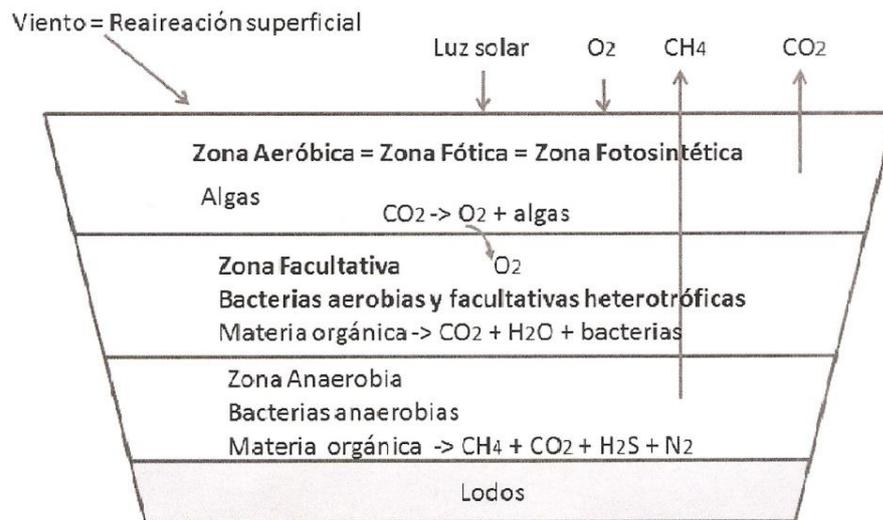


Figura 3.9 Zonas de una laguna facultativa

d) Maduración:

Son utilizadas para el tratamiento terciario de efluentes de estaciones de oxidación biológica, tales como filtros biológicos, lodos activados y lagunas facultativas. La finalidad es producir un efluente de alta calidad a través del control de la concentración de nitratos y fosfatos y en pequeñas proporciones, una reducción adicional de materia orgánica.

e) Aireadas:

Son aquellas en la cuales se introduce O_2 por medio de equipos de aireación. Por lo general suelen ser lagunas aireadas aeróbicas o lagunas aireadas facultativas.

3.1.4.4 Humedales

Una alternativa de tratamiento que está siendo poco a poco más conocida por sus bajos costos de instalación y operación, son los denominados humedales artificiales.

Los humedales son ecosistemas naturales que pueden ayudar a remover contaminantes de manera física, química o biológica. Son tierras donde el agua cubre el suelo o está presente ya sea en o cerca de la superficie del suelo durante casi todo el año. La cantidad de saturación de agua es el principal factor determinante de la forma en el que el suelo desarrolla los tipos de plantas y animales que viven en el suelo. Los humedales

naturales actúan como biofiltros, capaces de remover contaminantes del agua tales como sedimentos e incluso metales pesados.

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen atractivos para el tratamiento de aguas residuales:

- Fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo o raíces de plantas que viven en ellos
- Utilizan y transforman la materia orgánica por intermedio de los microorganismos
- Logran niveles de tratamiento aceptables con bajo consumo de energía y poco mantenimiento.

Casi todos los tratamientos de aguas residuales se basan, hasta cierto punto, en procesos naturales tales como gravedad o biodegradación; los humedales se basan principalmente en componentes naturales para mantener las operaciones principales del tratamiento y utilizar escasamente equipo mecánico. Es por ello que tienen bajo costo de operación y mantenimiento, además de necesitar mucho menos energía que los tratamientos convencionales. Cabe resaltar que generan menos lodos y proveen un hábitat para ciertas especies, sin embargo este tratamiento, al igual que las lagunas de estabilización, tiene un horizonte pequeño porque se necesita una extensión de terreno muy grande.

Los humedales artificiales son sistemas pasivos de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (normalmente de menos de 1 m) con plantas propias de zonas húmedas (macrófitos acuáticos) y en los que los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos, permitiendo la degradación de la materia orgánica de forma natural y participando en la reducción de un número determinado de bacterias.

Según la mayoría de los autores existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales: Sistemas de Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS).

Los Sistemas de Flujo Libre (FWS) se asemejan mucho a los humedales naturales. En ellos, un filtro de baja permeabilidad (como arcilla, bentonita, etc.) se tiende en el fondo para evitar contaminación del subsuelo. El agua se encuentra expuesta a la atmósfera y los niveles de agua son generalmente poco profundos (entre 0,1 y 0,6 m). La idea principal de este sistema es que el agua fluya a través de los tallos y las raíces de las

plantas que se han sembrado en el humedal, para que al tener contacto, se cree una biopelícula donde los microorganismos se queden. Un sistema de este tipo se observa en la Figura 3.10.

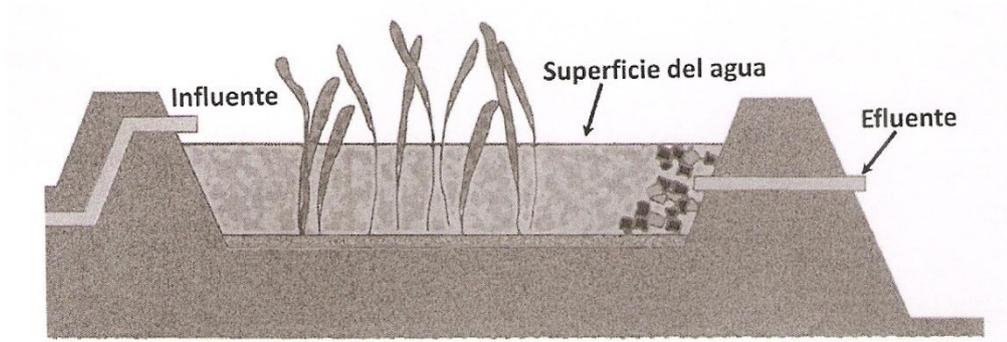


Figura 3.10 Humedal con sistema de flujo libre

En los Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS), las aguas residuales fluyen a través de un filtro de gravas, arenas o cualquier otro medio permeables, donde las plantas son sembradas. En estos sistemas, las aguas residuales se mantienen debajo de la superficie gracias al filtro, evitando posibles problemas de mosquitos y olores. El lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto pueden requerir un área menor. La viabilidad económica del sistema dependerá del costo de conseguir y poner el material granular en el lecho. Se observa en la Figura 3.11.

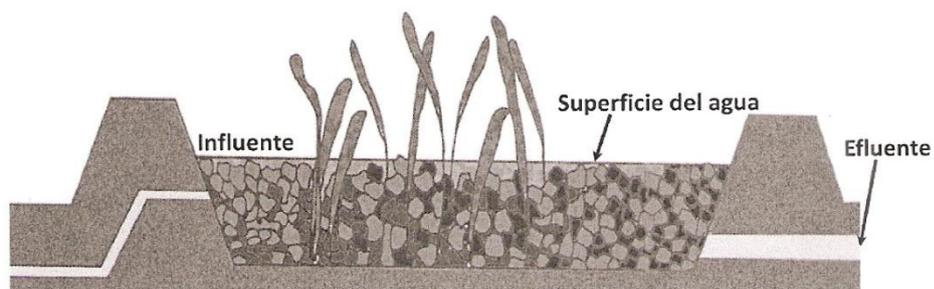


Figura 3.11 Humedal con sistema de flujo subsuperficial

En general, los componentes principales de los humedales son las plantas, los suelos y los microorganismos. Las plantas proporcionan superficies para la formación de películas bacterianas, facilitan la filtración y adsorción de los constituyentes del agua residual, permiten la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controlan el crecimiento de algas al limitar la penetración de la luz solar.

Los humedales en general tienen un muy buen rendimiento, pueden tratar con eficiencia niveles altos de carga orgánica, sólidos sedimentables y nitrógeno (rendimientos superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. No ocurre lo mismo con la eliminación de fósforo que es mínima en estos sistemas.

Los humedales aún no son una opción muy recurrida en el mundo porque no se tienen perfectamente medidos los alcances de los mismos, a diferencia de todos los tipos de tratamientos biológicos propuestos anteriormente.

3.1.5 Comparación de los tipos de tratamiento biológico

Se confeccionó una tabla comparativa con las ventajas y desventajas de los 4 tipos de tratamiento biológico para la faenadora de pollos, a fin de interpretar el porqué de la selección del tratamiento actual de la empresa. Ver Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de los tratamientos biológicos descritos

	Ventajas	Desventajas
Lodos Activados	Altas eficiencias de remoción (85-95% sólidos en suspensión y 98-99,5% microorganismos)	Alto costo por obra civil y equipamiento
	Bajo requerimiento de terreno	Alto costo de operación y mantenimiento
	Lodos parcialmente estabilizados	Alta capacitación a los operadores
	Efluente parcialmente nitrificado	Requiere un área de depósito para los lodos residuales
Filtros Biológicos	Altas eficiencias de remoción (75-85% sólidos en suspensión y 95-99% microorganismos)	Alto costo por obra civil y equipamiento
	Bajo requerimiento de equipos electromecánicos	Alto costo de operación
	Efluente parcialmente nitrificado	Alta capacitación a los operadores
	Efluente para reúso agrícola	Producción de lodos inestables
Lagunas de Estabilización	Bajo costo por obra civil	Requieren grandes extensiones de terreno
	Bajo costo de operación y mantenimiento	Necesitan de sol y temperaturas constantes para tener un buen desempeño
	Capacitación nula de operadores	Pueden despedir olores indeseables
Humedales	Remueven hasta un 70% de sólidos y microorganismos	Aún están en etapa de estudio y evaluación
	Muy bajo costo de obra civil	Requiere una remoción periódica de exceso de vegetales
	Muy bajo costo de operación y mantenimiento	Es utilizado mejor donde hay disponibilidad de plantas nativas

3.1.5.1 Lagunas de estabilización y mejor tecnología disponible

Es muy importante destacar, que de las alternativas de aplicación viables para el tratamiento biológico de los efluentes de la faenadora de pollos, la planta diseñada y ejecutada incluye el reúso de los efluentes para riego de especies forestales en un área restringida. Esto ‘cierra’ el circuito de los efluentes, pudiendo decir que se encuadra

dentro de los conceptos de ‘mejor tecnología disponible’, tal como persiguen actualmente en las políticas ambientales internacionales, y contribuye al desarrollo sostenible.

Según lo dispuesto en el V Programa de Acción Medioambiental de la Unión Europea, se define como mejor tecnología disponible a aquella que cumple con los siguientes puntos:

- La que evite la emisión de sustancias potencialmente contaminantes siempre que sea posible; o bien
- La que reduzca dicha emisión al mínimo, cuando su eliminación no sea posible, siendo un objetivo importantísimo entonces emplear técnicas de recuperación y reciclado.

La definición se completa recurriendo a otros dos factores: rendimiento energético y uso racional de los recursos [13].

En tal sentido, podemos asegurar que la empresa ha realizado las inversiones necesarias para el tratamiento de los efluentes de la planta de faena, incluyendo así los costos reales de los recursos ambientales dentro de los costos de producción.

Aquí tal vez convenga recordar para la labor de un Ingeniero Químico o Ambiental el origen del concepto BAT. Tal como se define en la Sección 5 (1) del Acta de la EPA (Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica) de 1992, la mejor tecnología disponible (BAT) es "la más eficaz y avanzada etapa en el desarrollo de una actividad y sus métodos de operación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para proveer, en principio, la base de los valores límite de emisión, y en el caso de directiva sobre las emisiones de una actividad industrial otras condiciones adicionales de licencia, diseñadas para prevenir o eliminar o, cuando ello no sea posible, reducir en general una emisión y su impacto en el medio ambiente como un conjunto", en donde las siglas significan:

B "mejor", en relación a las técnicas, los medios más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto;

A “técnicas disponibles”, son las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en la clase de actividad correspondiente especificada en el primer anexo del Acta de 1992 de la EPA y sus enmiendas, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costos y ventajas, si las técnicas se utilizan o

producen en el Estado, siempre y cuando sean razonablemente accesibles para la persona que desarrolla la actividad;

T “Técnicas” incluye tanto la tecnología utilizada como la forma en que la instalación esté diseñada, construida, gestionada, mantenida, operada y desmantelada [14].

3.2 Planta de tratamiento de efluentes

Durante los años en los en que la faenadora comenzó con el diseño y ejecución de su planta de tratamiento de efluentes, fue modificando el tipo de tecnología empleada. Como tratamiento primario, colocaron rejillas, un tamiz rotativo, un equipo DAF y construyeron un ecualizador previo al tratamiento biológico. Dentro del primer proyecto de tratamiento habían colocado un biofiltro con rotación, proyectando duplicar la faena y por lo tanto colocar un segundo biofiltro. Al ver que la operación de la planta era complicada y teniendo un continuo crecimiento en la faena, ajustaron el tratamiento primario con más unidades y optaron por rediseñar el tratamiento biológico a un sistema de lodos activados, con un sedimentador secundario final. La operación de esta planta tampoco era sencilla, tenía sus costos de mantenimiento electromecánico y requería personal capacitado operándola gran parte del día. El ajuste y puesta a punto les llevó bastante tiempo, con la contrapartida de que la producción seguía aumentando. Fue por ello, que en el año 2011 adquirieron un terreno apto para la construcción de un sistema de lagunas de estabilización, lo cual les ha simplificado enormemente la operación de la planta de tratamiento, con el beneficio extra de poder reutilizar los efluentes para riego de especies forestales.

3.2.1 Diseño actual

La planta actual de tratamiento de efluentes, se compone de dos partes: un tratamiento primario dentro del predio de la planta de faena; y un tratamiento secundario con reúso de los efluentes para riego, ubicado a 6 km del lugar.

A continuación se describirá brevemente el esquema de la planta actual de tratamiento de efluentes:

De la planta industrial de faena salen dos líneas de efluentes. Una de limpieza general, con algunos restos de plumas, patas, huesos, etc., que llega por canaletas a un pozo de bombeo para luego ingresar a un tamiz rotativo. La segunda línea corresponde a los restos de vísceras, y llega a un segundo tamiz rotativo por vía aérea.

Los efluentes de ambos tamices se unen y son enviados a un separador de grasas por Flotación por Aire Disuelto (DAF). De ahí pasan a un tanque compensador con aireación, para luego ser bombeados a las lagunas de estabilización.

Los residuos generados en los tamices y el separador de grasas, se retiran de la planta de faena para su tratamiento y disposición final. Parte de ellos se envía a la planta de elaboración de alimentos balanceados y otra se lleva a un sector destinado para realizar compostaje con otros residuos de algunos criaderos de la zona

El diagrama de flujo de las unidades de tratamiento mencionadas se puede ver en la Figura 3.12.

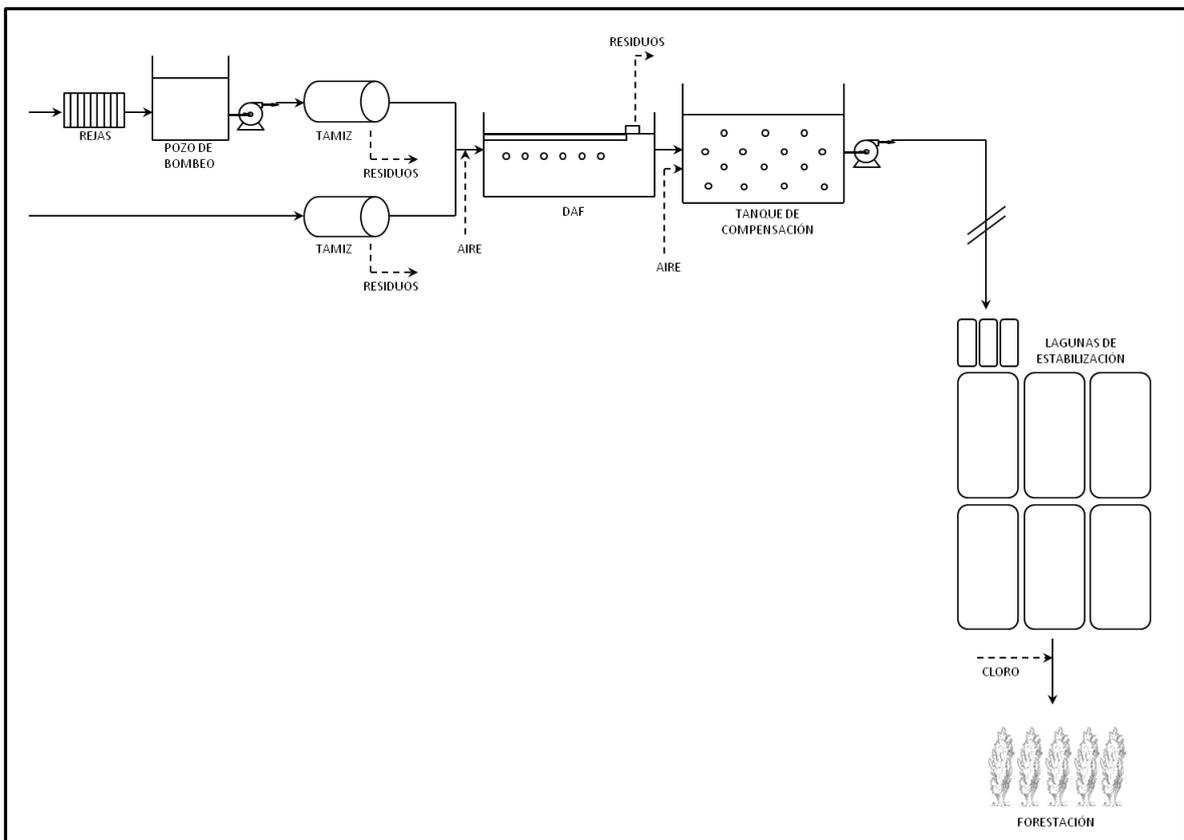


Figura 3.12 Diagrama de flujo de la planta de tratamiento

En las siguientes figuras, se observan fotografías de las distintas etapas del tratamiento de efluentes:



Figura 3.13 Tamices rotativos



Figuras 3.14 y 3.15 Residuos de cada tamiz



Figuras 3.16 y 3.17 Unidad DAF (Flotación por Aire Disuelto)



Figura 3.18 Residuos del DAF



Figura 3.19 Tanque compensador con aireación



Figuras 3.20 y 3.21 Vistas de las lagunas de estabilización

En los próximos apartados, centraremos nuestra atención en el tratamiento biológico y el reúso de los efluentes descargados para riego.

3.2.1.1 Ubicación del sistema de lagunas de estabilización

Como se explicó anteriormente, el sistema de lagunas de estabilización requiere muy poco mantenimiento y operación en planta, pero una gran extensión de terreno para su construcción. Es por ello que la empresa adquirió para tal fin un terreno ubicado a unos 6 km de la planta industrial, al noreste del casco urbano de la localidad de Cipolletti, y del otro lado del Canal Principal de riego. Se observan la ubicación de la planta industrial, lagunas y traza de la cañería de conducción, en la imagen satelital de la Figura 3.22:

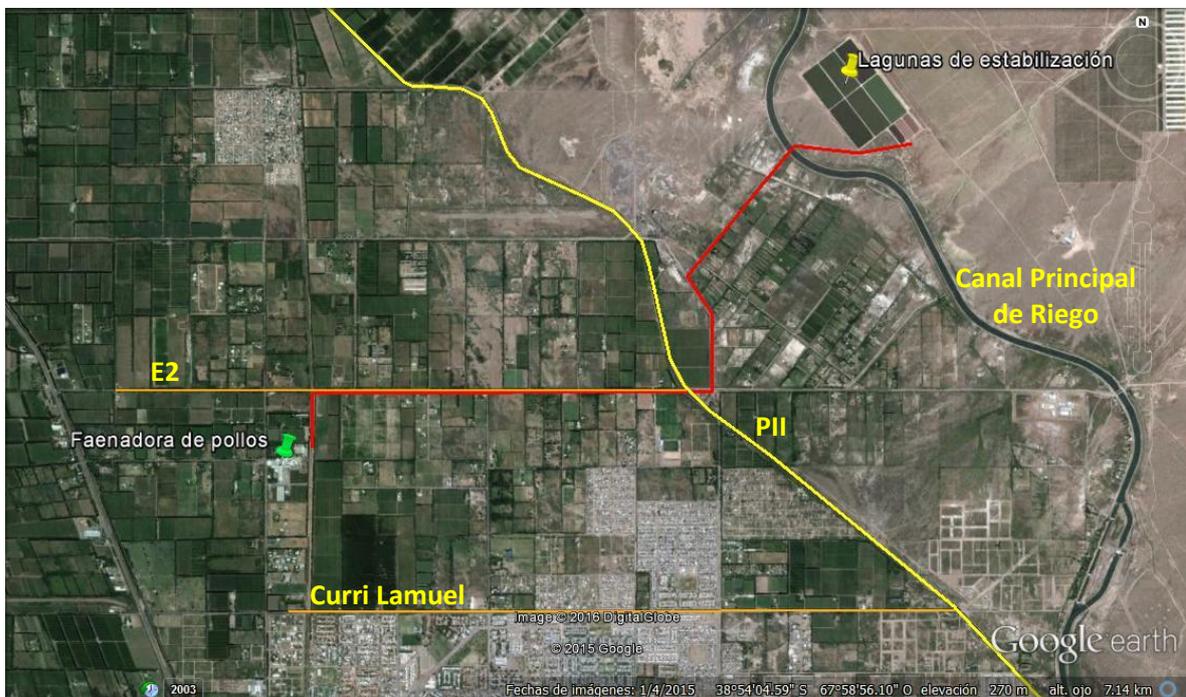


Figura 3.22 Imagen satelital del sistema de la lagunas de estabilización y traza de la cañería de conducción

3.2.1.2 Descripción del sistema

Los efluentes de la planta de faena, luego de haber pasado por el tratamiento primario, se bombean al predio en el cual se encuentra el sistema de lagunas, mediante dos bombas de 150 m³/h cada una, que trabajan alternadamente. El caño de conducción es de PVC y tiene 0,300 m de diámetro, y se encuentra protegido con un caño camisa de acero de 0,450 m de diámetro. El cruce del Canal Principal lo realiza a través de una

pasarela colgante construida para tal fin. Los efluentes ingresan a una cámara repartidora de caudales, constituida por un compartimento de entrada y tres compartimentos de salida, tipo vertederos. El sistema de tratamiento está compuesto por lagunas de estabilización dispuestas, por razones operativas y constructivas, de tres trenes paralelos, conformados cada uno por tres lagunas en serie: anaerobia de alta carga, facultativa primaria y facultativa secundaria o final. Las lagunas están impermeabilizadas con geomembrana HDPE 40 lisa de 1000 µm de espesor.

Desarrollando un poco más las características generales de los tipos de lagunas, según fueron descriptas en el apartado de los tipos de tratamientos biológicos, podemos decir que para las diversas etapas de la depuración del efluente, las lagunas construidas funcionan del siguiente modo [15]:

La **laguna anaerobia de alta carga** remueve un porcentaje importante de la carga orgánica presente como sólidos suspendidos y es medida en términos de Demanda Biológica de Oxígeno⁵ (DBO), mediante dos mecanismos: sedimentación y degradación biológica por la acción de microorganismos.

El proceso biológico desarrollado da origen a la descomposición de la materia orgánica, con formación de ácidos orgánicos solubles y gases: metano y dióxido de carbono, básicamente, y trazas de compuestos que contienen azufre y amoníaco.

Los sólidos suspendidos orgánicos que sedimenten, sufren una digestión a lo largo de un prolongado período, concentrándose en el fondo de esta laguna.

La extracción del barro acumulado en estas lagunas se deberá efectuar luego de varios años de funcionamiento, cuando se verifique una disminución en la eficiencia total del sistema, ya sea en términos de remoción de DBO como en Sólidos Suspendidos. Se estima que no será necesario hasta luego de diez años.

En este caso en particular de la faenadora de pollos, las partículas muy pequeñas de grasa que escapan del tratamiento primario, forman una fina película en la superficie de

⁵ Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

Se puede medir en cualquier momento, a la hora, al primer día o al séptimo, pero se ha estandarizado la medición a 5 días, llamada DBO₅.

esta laguna, que mantiene una temperatura relativamente templada en el líquido y controla la liberación de gases y compuestos volátiles formados al ambiente.

La **laguna facultativa primaria** se caracteriza por la presencia de una zona aeróbica en el estrato superior, donde existe la simbiosis entre algas verdes y bacterias, y de una zona anaerobia en el fondo. Existen dos mecanismos de incorporación de oxígeno al estrato superior: la fotosíntesis, llevada a cabo por las algas y, en menor medida la aireación superficial a través del viento.

La condición aeróbica en la superficie se logra aplicando una baja carga orgánica y adoptando una profundidad relativamente baja, o sea, maximizando el área superficial expuesta a la luz solar.

En el estrato superior, las bacterias, en régimen aeróbico, oxidan la materia orgánica con producción de dióxido de carbono - carbonato ácido; las algas utilizan el dióxido de carbono y los nutrientes existentes en el efluente para producir oxígeno a través de la fotosíntesis.

Asimismo, la cantidad relativamente pequeña de los sólidos suspendidos orgánicos sedimentables formados por el crecimiento bacteriano, como los que pudieran cruzar en el efluente desde la laguna de alta carga, se van a digerir en forma anaeróbica concentrándose en el fondo de esta laguna. Se estima que la acumulación llevará demasiado tiempo como para necesitar alguna vez realizar la limpieza de esta laguna.

El régimen aeróbico existente en las capas superiores produce la oxidación de gases y vapores generados en el fondo, lo que evita olores en el ambiente.

La **laguna facultativa secundaria final** tiene, por finalidad producir una remoción adicional de materia orgánica, de modo tal de asegurar que el efluente tratado cumpla con los límites de vuelco permisibles durante todo el año.

En este caso, la cantidad de barro sedimentado en el fondo será despreciable, frente al tamaño de la misma, ya que el efluente que cruza de la laguna anterior tendrá escasa concentración de sólidos suspendidos y la generación de biomasa será muy baja, en función de las cargas orgánicas a tratar.

De la bibliografía consultada [16, 17, 18], se puede inferir que la selección del sistema diseñado se fundamenta principalmente en las características del efluente, la

disponibilidad y ubicación del terreno para el proyecto, y la simplicidad de operación del sistema.

Las lagunas facultativas son la variante más simple, en cuestiones operativas, de los sistemas de lagunas, requiriendo una amplia extensión de terreno y grandes tiempos de residencia para que los procesos naturales de estabilización de la materia orgánica ocurran. Asimismo, son más efectivas donde las condiciones climáticas son favorables, necesitando altas temperaturas y vientos para ayudar a los procesos biológicos. Por lo general, este tipo de lagunas, con tiempos de retención superiores a 20 días y temperaturas relativamente bajas, permiten una remoción de la DBO por encima del 70%.

Las lagunas anaeróbicas permiten una remoción de un 50% a 60% de la DBO, en una extensión de terreno menor, requiriendo más profundidad que una laguna facultativa. El terreno necesario diseñando una laguna anaeróbica seguida de una facultativa, es aproximadamente 2/3 del requerido si fueran dos lagunas facultativas en serie.

Este tipo de lagunas generalmente emanan olores al ambiente, que en este caso serán mitigados por la fina película de grasa que se formará en la superficie, debido a la calidad del efluente pretratado de la faenadora de pollos. Y si los hubiera, no serán un gran problema por la ubicación física del sistema de tratamiento (lejos de la zona urbana).

3.2.1.3 Verificación del sistema de lagunas de estabilización existente

El objetivo específico de la implementación de la nueva planta de tratamiento de efluentes de la faenadora fue encuadrar la calidad del efluente tratado con los límites permisibles de vuelco establecidos en la legislación vigente, que desde octubre del 2015 se encuentran reglamentados en la Resolución 1423/15. Para el diseño del proyecto original realizado en el año 2011, se utilizaron los valores guías estipulados por el DPA, fundamentados en legislaciones internacionales.

3.2.1.3.1 Dimensionamiento

Para el cálculo del sistema se tomarán como parámetros de diseño los resultados del estudio de caracterización realizado por la empresa.

Parámetros de diseño:

- a) Faena: 120.000 aves/día
- b) Efluente pretratado con las siguientes características:
 - Caudal unitario total: 22 l/ave
 - Volumen diario total de efluente resultante: $120.000 \text{ aves} * 0,022 \text{ m}^3/\text{ave} = 2640 \text{ m}^3/\text{día}$
 - Caudal máximo: $150 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Caudal medio: $110 \text{ m}^3/\text{h}$
 - DBO₅ del efluente de ingreso al sistema: 2750 mg/l
 - Carga orgánica resultante: $2640 \text{ m}^3/\text{día} * 2750 \text{ mg/l} * 0,001 \text{ kg/g} = 7250 \text{ kg DBO}_5/\text{día}$
 - Temperatura: 30 °C

Descripción del proceso y cálculos para cada laguna:

Antes de comenzar con el dimensionamiento de cada una de las lagunas involucradas en este proceso, se realizará una breve descripción de las características hidráulicas y cinéticas involucradas en estos tipos de tratamiento [19].

Las lagunas de estabilización tienen el comportamiento de un reactor biológico, en el cual ocurren las reacciones químicas y biológicas.

La cinética de remoción de DBO en una laguna, generalmente responde a una ecuación de primer orden, en donde la constante de velocidad se define como una función exponencial de la temperatura. El tipo de régimen hidráulico determinará la concentración de DBO₅ efluente de la misma.

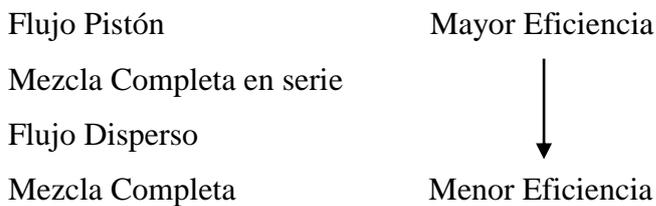
Los principales tipos de reactores y características de flujo son las siguientes:

- Flujo Pistón: las moléculas de agua residual pasan a través de la laguna y son descargadas en el mismo orden que entran. Las partículas conservan su identidad y permanecen en la laguna un tiempo igual al tiempo teórico de retención. Este tipo de flujos se produce en lagunas alargadas con una alta relación longitud-anchura, sin dispersión longitudinal.
- Mezcla Completa: tiene lugar cuando las partículas que entran a la laguna son inmediatamente dispersadas por todo el volumen. Las partículas salen del tanque en función a su población estadística. La mezcla completa se lleva a cabo en

lagunas circulares o cuadradas si el contenido se encuentra uniforme y continuamente distribuido.

- Mezcla Completa en Serie: se utilizan para modelar un régimen hidráulico que existe entre los regímenes ideales de flujo pistón y mezcla completa. En cada laguna de la serie el comportamiento es de mezcla completa, pero si el sistema se representara infinitas veces podríamos obtener un flujo pistón, con entrada y salida continuas.
- Flujo Disperso: es una mezcla intermedia entre los extremos de flujo tipo pistón y mezcla completa. En la realidad, la mayoría de las lagunas se representa con este flujo, pero son muy difíciles de modelar matemáticamente, por lo que se prefiere adoptar modelos hidráulicos ideales.

La eficiencia de remoción de DBO, para reacciones biológicas de cinética de primer orden, disminuye, según el régimen hidráulico, en este orden:



Aunque la cinética de remoción de DBO sea la misma para los diferentes regímenes hidráulicos, la concentración de la DBO₅ en el efluente varia, según la cinética de primer orden, ya que la tasa de remoción es más elevada cuando la concentración de DBO₅ es más elevada en la laguna.

En función de los diferentes modelos hidráulicos, se tienen para la estimación de la concentración en el efluente final de DBO₅ soluble, las fórmulas de la Figura 3.23:

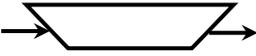
Régimen Hidráulico	Esquema	Ecuación para la concentración de DBO ₅ soluble en el efluente
Flujo Pistón		$S = S_0 * e^{(-K*t)}$
Mezcla Completa		$S = \frac{S_0}{(1 + K * t)}$
Mezcla Completa en Serie		$S = \frac{S_0}{\left[1 + K * \frac{t}{n}\right]^n}$
Flujo Disperso		$S = S_0 * \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 * e^{a/2d} - (1-a)^2 * e^{-a/2d}}$ $a = \sqrt{1 + 4K * t * d}$

Figura 3.23. Fórmulas para el cálculo de la DBO₅ efluente según el sistema hidráulico

Siendo:

S₀ (mg/l): concentración total de DBO₅ que ingresa

S (mg/l): concentración de DBO₅ efluente

K (días⁻¹): coeficiente de remoción de DBO

t (días): tiempo de retención total

n: número de lagunas en serie

d: número de dispersión = D/U*L = D*t/L²

D (m²/día): coeficiente de dispersión longitudinal

U (m/d): velocidad media de recorrido en el reactor

L (m): distancia longitudinal de recorrido en el reactor

Usualmente se adopta el modelo de mezcla completa para el dimensionamiento de lagunas, debido a las siguientes razones:

- Los cálculos son más simples
- Parten de la base de un porcentaje de remoción más conservador, ya que tiene baja eficiencia con respecto a los otros modelos hidráulicos.

Para el dimensionamiento de las lagunas, uno de los parámetros más importantes de diseño es el factor o tasa de biodegradación de la materia orgánica soluble o en

suspensión. Este factor puede ser determinado por algunos métodos empíricos, racionales o teóricos.

Hay procesos prácticos de diseño, usualmente utilizados para corroborar resultados, y hay modelos matemáticos basados en la cinética de las reacciones. Todos ellos simplifican la complejidad del sistema a diseñar, es por ello que siempre que sea posible, se buscará fortalecer el diseño en los métodos empíricos fundados en la práctica.

Para los cálculos, se utilizarán los conceptos de la bibliografía citada hasta ahora [16, 17, 18, 19], incorporando alguna más relativa al diseño de lagunas de estabilización.

Los tres principales criterios de diseño son:

- tiempo de retención
- tasa de aplicación volumétrica
- tasa de aplicación superficial

El criterio de tiempo de retención se basa en el tiempo necesario para la reproducción de las bacterias, ya sea para lagunas anaeróbicas o facultativas. El criterio de tasa de aplicación volumétrica se establece en función de las necesidades de un determinado volumen de laguna para la estabilización de la carga DBO aplicada. Generalmente se utiliza en el diseño de lagunas anaeróbicas. El criterio de tasa de aplicación superficial, se basa en tener una determinada área de exposición solar para que el proceso de fotosíntesis de la laguna facultativa ocurra. Asimismo está basado en la necesidad de oxígeno para que ocurra la estabilización de la materia orgánica.

Laguna anaerobia de alta carga

La estabilización anaeróbica se desenvuelve en dos etapas:

- Descomposición de la materia orgánica y formación de ácidos (a través de bacterias acidogénicas)
- Formación de metano (a través de bacterias metanogénicas)

Debe destacarse que la remoción de la DBO no ocurre en la primera etapa, en ésta únicamente la materia orgánica se convierte en otras formas (ácidos). Recién en la

segunda etapa, la materia orgánica en forma de ácidos se convierte en gas metano, lográndose de esta manera la remoción de la DBO.

Las bacterias metanogénicas son bastante sensibles a las condiciones ambientales, en caso de que su tasa de reproducción se reduzca, habrá acumulación de ácidos de la primera etapa con las siguientes consecuencias: interrupción de la remoción de DBO₅ y desprendimiento de malos olores (provenientes de los ácidos).

Por lo tanto, es fundamental que se garantice el equilibrio entre ambas comunidades bacterianas para que ocurran ambas etapas. Para ello es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- Ausencia de oxígeno disuelto (las bacterias metanogénicas son estrictamente anaeróbicas)
- Temperatura adecuada del líquido (mayor a 15°C)
- pH adecuado (aproximadamente 7)

Para el cálculo de esta laguna se utilizó la ecuación de Vincent, ya que es el modelo matemático, con aportes empíricos, más utilizado para zonas con climas tropicales y subtropicales [20]:

$$t = \left[\left(\frac{S_0}{S} \right) - 1 \right] * \left[\frac{1}{K * \left(\frac{S}{S_0} \right)^n} \right] \quad (3.1)$$

Siendo:

S₀ (mg/l): DBO₅ que ingresa a la laguna

S (mg/l): DBO₅ efluente de la laguna (líquido tratado)

K (días⁻¹): constante cinética de degradación de materia orgánica

t (días): permanencia hidráulica en la laguna ó tiempo de retención

n: constante adimensional = 4,8 (para Temperaturas > 20°C)

La constante cinética de degradación de la materia orgánica K, es función de la temperatura [20], siendo:

$$K_1 = K_2 * \theta^{(T_1 - T_2)} \quad (3.2)$$

Según Gloyna, $K = K(22^\circ\text{C}) * \theta^{(T_L - 22)}$ con $K(22^\circ\text{C}) = 6 \text{ días}^{-1}$

T_L es la temperatura mínima media de la laguna en invierno.

En este caso particular de la faenadora de pollos, se tomó $T_L = 15^\circ\text{C}$, para lo cual se consideró que el efluente entra a 30°C , la temperatura mínima media de invierno es 5°C , y la fina película de grasa que se forma en la superficie impide que se escape todo el calor del líquido.

Un valor usual de θ es 1,05, según Eckenfelder, Gloyna.

De esta manera, de la Ecuación 3.2 obtenemos: $K(15^\circ\text{C}) = 6 * 1.05^{(15-22)} = 4,26$

Consideraremos una remoción de DBO del 60%, entonces $S = 1100 \text{ mg/l}$

Por lo tanto, de la Ecuación 3.1

$$t = \left[\left(\frac{2750}{1100} \right) - 1 \right] * \left[\frac{1}{4,26 * \left(\frac{1100}{2750} \right)^{4,26}} \right]$$

$$t = 28,6 \text{ días}$$

El cálculo del volumen requerido se realiza a través de:

$$V = t * Q \tag{3.3}$$

Donde

V: volumen requerido para la laguna (m^3)

t: tiempo de retención

Q: caudal de efluente ($\text{m}^3/\text{día}$)

Por lo tanto,

$$V = (28,6 * 2640) \text{ m}^3$$

$$V = 75504 \text{ m}^3$$

y es el volumen total requerido para remover un 60% de la carga orgánica del efluente pretratado de la faenadora de pollos.

Como existen tres lagunas anaerobias en paralelo, nos da un volumen de 25168 m³ cada una.

La profundidad de la laguna anaerobia debe ser importante, para garantizar que predominen las condiciones anaerobias, evitando que la misma opere como laguna facultativa. Los valores que usualmente se adoptan se encuentran en el intervalo:

$$H = 4,0 \text{ a } 5,0 \text{ m}$$

Se adopta una profundidad de 5 m y se estima un espesor de fondo de acumulación de barro de 0,15 m, el tirante útil de líquido será $H_L = 4,85 \text{ m}$.

El área superficial de cada laguna será: $V/H_L = 25168/4,85 = 5198,3 \text{ m}^2$.

Se denomina tasa de aplicación volumétrica a la relación:

$$L_v = \frac{L}{V} \quad (3.4)$$

Siendo L: carga orgánica aplicada diariamente (kg DBO₅/día)

La tasa de aplicación volumétrica es función de la temperatura. Las zonas de más temperatura, permiten una tasa mayor (menor volumen). La consideración de la carga volumétrica también es importante, ya que puede variar bastante la relación entre caudal de efluente y concentración de DBO₅ (carga = concentración * caudal).

Usualmente se utilizan tasas de aplicación volumétrica dentro del siguiente intervalo, recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS):

$$L_v = 0,1 \text{ a } 0,3 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 \text{ día}$$

Si calculamos nuestra tasa de aplicación volumétrica (Ecuación 3.4) con el resultado obtenido de volumen de cada laguna, obtenemos:

$S_v = 7250/75504 = 0,096 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 \text{ día}$, lo cual podría decirse que es aceptable según la recomendación.

Lagunas Facultativas

Tal como fue expuesto anteriormente, en estas lagunas la estabilización de la materia orgánica se produce por una serie de mecanismos que ocurren en tres zonas diferenciadas:

Zona anaeróbica: la materia orgánica en suspensión sedimenta formando una capa de lodo en el fondo, que sufrirá la descomposición por acción de los microorganismos anaeróbicos, convirtiéndolo en gases carbónico, agua, metano y otros.

Zona aeróbica: la materia orgánica es oxidada por la respiración aeróbica, y para ello se necesita oxígeno que es suministrado por la acción de la fotosíntesis de las algas. Se genera así, un equilibrio entre el consumo y producción de oxígeno y gas carbónico.

Zona facultativa: existen diversos tipos de bacterias responsables de la estabilización de la materia orgánica, que pueden sobrevivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

Las principales condiciones ambientales que generan influencias en el proceso de estas lagunas se observan en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 Influencia ambiental en lagunas facultativas

FACTOR	INFLUENCIA
Radiación solar	Velocidad de fotosíntesis
Temperatura	Velocidad de fotosíntesis
	Tasa de descomposición bacteriana
	Solubilidad y transferencia de gases
	Condiciones de mezcla
Viento	Condiciones de mezcla
	Reaireación atmosférica (mecanismo de menor importancia)

Fuente: Lagoas de estabilização. Marcos Von Sperling. Belo Horizonte – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais (2006). [16]

Laguna Facultativa Primaria

Para el cálculo de esta laguna se utilizó la ecuación de cálculo de Gloyna, que es de carácter conservativo ya que considera el régimen fluidodinámico de mezcla completa (menor eficiencia)

$$S = \frac{S_0}{1 + (K * t)} \quad (3.5)$$

Siendo:

S_0 (mg/l): DBO₅ que ingresa a la laguna

S (mg/l): DBO₅ efluente de la laguna (líquido tratado)

K (días⁻¹): constante cinética de degradación de materia orgánica

t (días): permanencia hidráulica en la laguna ó tiempo de retención

Nuevamente, la constante cinética de degradación de la materia orgánica K , que es función de la temperatura, y se calculó con la Ecuación 3.2:

$$K_1 = K_2 * \theta^{(T_1 - T_2)} \quad (3.2)$$

Pero para este caso de laguna facultativa primaria, según Gloyna, Eckenfelder y otros,

K (20°C) = 0,17 a 0,22 días⁻¹ y θ varía entre 1,04 y 1,09.

Si adoptamos valores conservativos, podemos definir K (20°C) = 0,17 días⁻¹ y $\theta = 1,06$.

Para el caso de estas lagunas, al tener menos profundidad, la temperatura mínima media del la laguna en invierno T_L debe estimarse con algún método empírico. Para el cálculo se utilizó la temperatura ambiente media en el mes más frío del año T_a , y en este caso particular se utilizó las siguientes ecuaciones desarrolladas empíricamente para zonas cercanas:

$$\text{Melipilla (Chile): } T_L = 1,404 * T_a - 0,236 \quad (3.6)$$

$$\text{Mendoza (Argentina): } T_L = 0,869 * T_a + 2,395 \quad (3.7)$$

Para una temperatura mínima media de invierno de 5°C, se obtiene

Melipilla (Chile): $T_L = 1,404 * 5 - 0,236 = 6,8^\circ\text{C}$

Mendoza (Argentina): $T_L = 0,869 * 5 + 2,395 = 6,7^\circ\text{C}$

Tomando el promedio de ambas temperaturas calculadas, podríamos utilizar $T_L = 6,75^\circ\text{C}$. Debido a que la localidad de Cipolletti se encuentra en una zona algo más al sur que las utilizadas para el cálculo, y sabiendo que esta es una zona más fría, se adoptará un valor de T_L algo menor, para ser conservativos en el diseño. El valor que se tomará en este caso es $T_L = 6,5^\circ\text{C}$.

De esta manera, de la Ecuación 3.2: $K(6,5^\circ\text{C}) = 0,17 * 1,06^{(6,5-20)} = 0,0774 \text{ días}^{-1}$

En la figura 3.24, se representa el tiempo de retención necesario para obtener un porcentaje de remoción de DBO a una determinada temperatura, para el caso ideal de mezcla completa. Podemos estimar, que mientras más baja sea la temperatura (como lo es en este caso $T_L = 6,5$), se necesitarían tiempos de residencia superiores a 40 días para obtener una eficiencia de remoción del orden del 80%, lo cual implica grandes extensiones de terreno para una profundidad media de 1,5 m necesaria para el buen funcionamiento de estas lagunas.

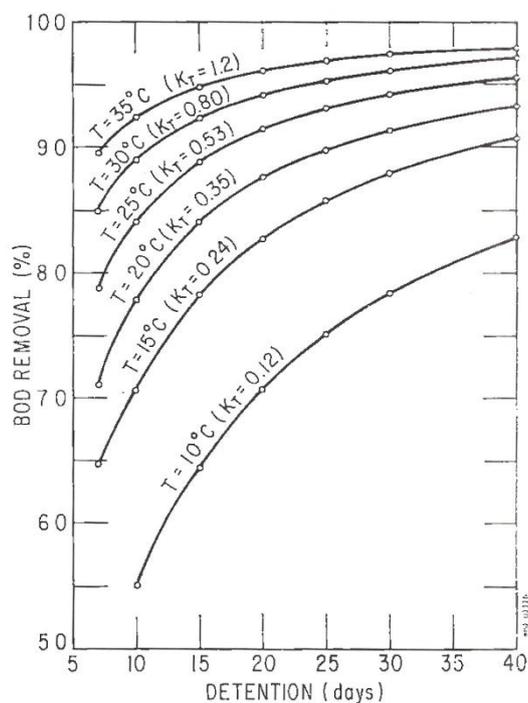


Figura 3.24 Remoción de DBO en lagunas facultativas

Fuente: Waste Stabilization Ponds. Earnest F. Gloyna, D. Eng. World Health Organization – Geneva (1971) [20]

Es por ello, que para este diseño se consideró una remoción de DBO del 80%, a fin de minimizar la necesidad de extensión de terreno. Partiendo del dato de DBO₅ del efluente de salida la laguna anaerobia $S_o = 1100$ mg/l, entonces $S = 220$ mg/l.

De la Ecuación 3.5 obtenemos

$$t = \frac{1}{K} * \left(\frac{S_o}{S} - 1 \right) \quad (3.8)$$

Por lo tanto, calculando

$$t = \frac{1}{0,0774} * \left(\frac{1100}{220} - 1 \right)$$

$$t = 51,7 \text{ días}$$

El cálculo del volumen requerido se realiza nuevamente a través de la Ecuación 3.3:

$$V = (51,7 * 2640) \text{ m}^3$$

$$V = 136488 \text{ m}^3$$

Como existen tres lagunas facultativas primarias en paralelo, nos da un volumen de 45496 m^3 cada una.

La profundidad de las lagunas facultativas depende principalmente del volumen requerido y el área disponible, ajustándose generalmente en el intervalo:

$$H = 1,5 \text{ a } 3,0 \text{ m}$$

Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, se recomienda que la profundidad esté por encima de 1,20 m.

Para este diseño, suponemos que no hay restricciones de terreno, y se adoptó un $H = 1,5$ m, despreciando la capa de lodos acumulados.

De esta manera, el área superficial de cada laguna será: $A = V/H_L = 45496/1,5 = 30330,7 \text{ m}^2$.

Se denomina tasa de aplicación superficial a la relación:

$$L_s = \frac{L}{A} \quad (3.9)$$

Siendo L: carga orgánica aplicada diariamente (kg DBO₅/día)

La tasa de aplicación superficial es función de la temperatura local, la latitud, la exposición solar, la altitud y otras variables. Generalmente, para climas tropicales, se puede adoptar una tasa relativamente alta (menor área de laguna), del orden de los 300 kg DBO₅/ha día. Para zonas más frías se requieren tasas del orden de los 100 kg DBO₅/ha día.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la tasa de aplicación superficial para lagunas facultativas, en una zona de clima templado, esté dentro del intervalo:

$$L_s = 200 - 400 \text{ kg DBO}_5/\text{ha día}$$

Si calculamos nuestra tasa de aplicación superficial con el resultado obtenido de área de cada laguna ($30330,7 \text{ m}^2 = 3,033 \text{ ha}$), de la Ecuación 3.9 obtenemos:

$L_s = (2640 * 0,001 * 1100) / (3 * 3,033) = 319,2 \text{ kg DBO}_5/\text{ha día}$, estando dentro del intervalo de la recomendación.

Como la DBO total efluente, tiene en cuenta el contenido de sólidos suspendidos y algas que se escapan en el líquido tratado, en función a la tasa de aplicación superficial, las normas ENOHSA (Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento) nos indican que la relación DBO total/ DBO soluble ~ 2,0

Por lo tanto, la DBO efluente de esta laguna es:

$$\text{DBO total} = \text{DBO soluble} * 2,0 = 220 * 2,0 = 440 \text{ mg/l}$$

Laguna Facultativa Secundaria

Para el cálculo de esta laguna, se utilizó nuevamente la ecuación de Gloyna (Ecuación 3.5):

$$S = \frac{S_0}{1 + (K * t)} \quad (3.5)$$

Siendo:

S_0 (mg/l): DBO₅ que ingresa a la laguna

S (mg/l): DBO₅ efluente de la laguna (líquido tratado)

K (días⁻¹): constante cinética de degradación de materia orgánica

t (días): permanencia hidráulica en la laguna ó tiempo de retención

La temperatura del líquido de la laguna será similar a la de la laguna facultativa primaria: $T_L = 6,5$ °C.

La constante cinética de degradación de la materia orgánica K , en función de la temperatura, se calculará nuevamente con la Ecuación 3.2:

$$K_1 = K_2 * \theta^{(T_1 - T_2)} \quad (3.2)$$

Pero para este caso de laguna facultativa secundaria, según Gloyna, Eckenfelder y otros, K (20°C) = 0,14 a 0,18 días⁻¹ y $\theta = 1,06$.

Si adoptamos valores conservativos, podemos definir K (20°C) = 0,14 días⁻¹, resultando de la Ecuación 3.2: K (6,5°C) = 0,14 * 1,06^(6,5-20) = 0,0638 días⁻¹

Considerando una remoción de DBO del 80%, y partiendo del dato de DBO₅ del efluente de salida la laguna facultativa primaria $S_0 = 440$ mg/l, entonces $S = 88$ mg/l.

Cabe destacar que el límite de descarga del parámetro DBO₅, establecido en la Resolución N°1423/15 [Anexo 2], es de 100 mg/l. Podemos decir, que para realizar los cálculos de las dimensiones de la laguna basados en una remoción del 80%, posee un margen adecuado de seguridad. No obstante, si se quisiera, podría fijarse una remoción del 85% y quedar más cubiertos con una DBO₅ teórica de descarga de 66 mg/l.

Por lo que de la Ecuación 3.5 obtenemos

$$t = \frac{1}{K} * \left(\frac{S_0}{S} - 1 \right) \quad (3.8)$$

calculamos entonces,

$$t = \frac{1}{0,0638} * \left(\frac{440}{88} - 1 \right)$$

$$t = 62,7 \text{ días}$$

El cálculo del volumen requerido según la Ecuación 3.3 es:

$$V = (62,7 * 2640) \text{ m}^3$$

$$V = 165528 \text{ m}^3$$

Siendo tres lagunas facultativas secundarias en paralelo, el volumen de cada laguna es de 55176 m³.

Considerando una profundidad de 1,50 m (despreciando la capa de lodos acumulados), el área superficial de cada laguna será: $A = V/H_L = 55176/1,5 = 36748 \text{ m}^2$.

Para lagunas facultativas primarias, la tasa de aplicación superficial se calcula a partir de la DBO afluente, el caudal y el área; y para lagunas facultativas secundarias se calcula a partir de la tasa de aplicación superficial de la laguna primaria, con la siguiente ecuación:

$$L_s = 0,765 * L_s(\text{laguna facultativa primaria}) - 0,8 \quad (3.10)$$

$L_s = (0,765 * 319,2) - 0,8 = 243,39 \text{ kg DBO}_5/\text{ha día}$, estando dentro del intervalo de la recomendación de la OMS.

3.2.1.3.2 Comparación de resultados

En la Tabla 3.3 se observan los volúmenes de cada laguna del sistema, según los cálculos de esta tesis, los del proyecto de la empresa y las dimensiones de las lagunas construidas.

Tabla 3.3 Comparación de volúmenes para cada laguna

Tipo de Laguna	Volumen unitario calculado en esta tesis (m ³)	Volumen unitario calculado por la empresa (m ³)	Volumen unitario construido por la empresa (m ³)
Anaerobia	25168	25168	19200
Facultativa Primaria	45496	61600	78000
Facultativa Secundaria	55176	44000	73500

Si comparamos los volúmenes de ambos diseños, pueden observarse que existen algunas diferencias entre los calculados por la empresa y el presente trabajo de verificación.

El diseño de lagunas anaeróbicas por el método cinético, no permite incorporar muchos aportes arbitrarios del diseñador, razón por la cual se obtuvo el mismo resultado.

En cambio, en el diseño de lagunas facultativas, es posible introducir criterios de diseño que tienen que ver en parte con los resultados que se esperan obtener. Para el caso del diseño de la laguna facultativa primaria, en el cálculo realizado en esta tesis, se tomó como suposición que el porcentaje de remoción de la materia orgánica sería del 80%; y en el cálculo de la empresa, el parámetro que se fijó fue un tiempo de residencia $t = 70$ días por tener amplia disponibilidad de terreno.

La diferencia en los volúmenes de diseño de la laguna facultativa secundaria, es principalmente consecuencia de los resultados de DBO_5 del efluente de la laguna anterior.

La diferencia de los volúmenes de las lagunas construidas con los de diseño, se atribuyen a la proyección de aumento de producción futura y a cuestiones operativas y características específicas del terreno para la construcción.

3.2.1.4 Funcionamiento y operación del sistema de lagunas de estabilización

3.2.1.4.1 Análisis del funcionamiento

El sistema de lagunas tardó aproximadamente dos años en completarse con el efluente, no habiendo tenido hasta la fecha descarga alguna para riego. Esto es a causa de la gran superficie de las lagunas facultativas, que junto con las condiciones climáticas de la zona, ocasionan altas pérdidas de efluente por evaporación.

Probablemente en el diseño, no hayan considerado la posibilidad de tener temperaturas tan altas (tanto en verano como en invierno), ya que no es el comportamiento normal estadístico de años anteriores.

A esto se suma el aporte al dimensionamiento de la proyección de aumento de producción, lo cual hace que se piense en un sistema más grande que el necesario para el momento, a fin de contemplar el desarrollo futuro de la faenadora.

Podría decirse, que actualmente, el sistema de lagunas de estabilización se encuentra sobredimensionado, lo cual es concordante con los cálculos de las lagunas facultativas del apartado anterior. Expresado en términos porcentuales, se observa que el volumen unitario construido para las lagunas facultativas primarias, es un 27% y un 71% mayor que los diseños de la empresa y de la presente tesis respectivamente. Para las lagunas facultativas secundarias, el volumen unitario construido es un 67% y un 33% mayor que los calculados en los diseños de la empresa y la presente tesis. Cabe mencionar que para el caso de las lagunas anaerobias, en la construcción se consideró un volumen 24% menor a los calculados por la empresa y en esta tesis, estimando que pudo deberse a cuestiones específicas del terreno disponible.

Al no tener descarga de efluentes, no se ha realizado el proceso de cloración.

Tampoco se ha podido analizar la calidad de los efluentes de la propiamente dicha descarga del sistema, porque no existe rebalse de las lagunas facultativas secundarias hacia la cámara de muestreo final. Para ir haciendo el seguimiento del proceso, y en este caso inferir alguna conclusión sobre el funcionamiento del sistema, se han realizado análisis a la entrada al sistema y en la última laguna de uno de los trenes, tomando como representativo de los tres al que primero terminó de llenarse. Los puntos de muestreo son en la cámara repartidora y en la salida de la laguna facultativa secundaria, y se pueden ver en el esquema de la Figura 3.25. Cabe destacar en este punto, que los resultados obtenidos a la salida de la laguna facultativa secundaria podrían llegar a representar una condición más desfavorable que la que se pudiera obtener en una muestra tomada en una cámara de muestreo y aforo, en la cual los efluentes tendrían escorrentía permanente (no estancos).

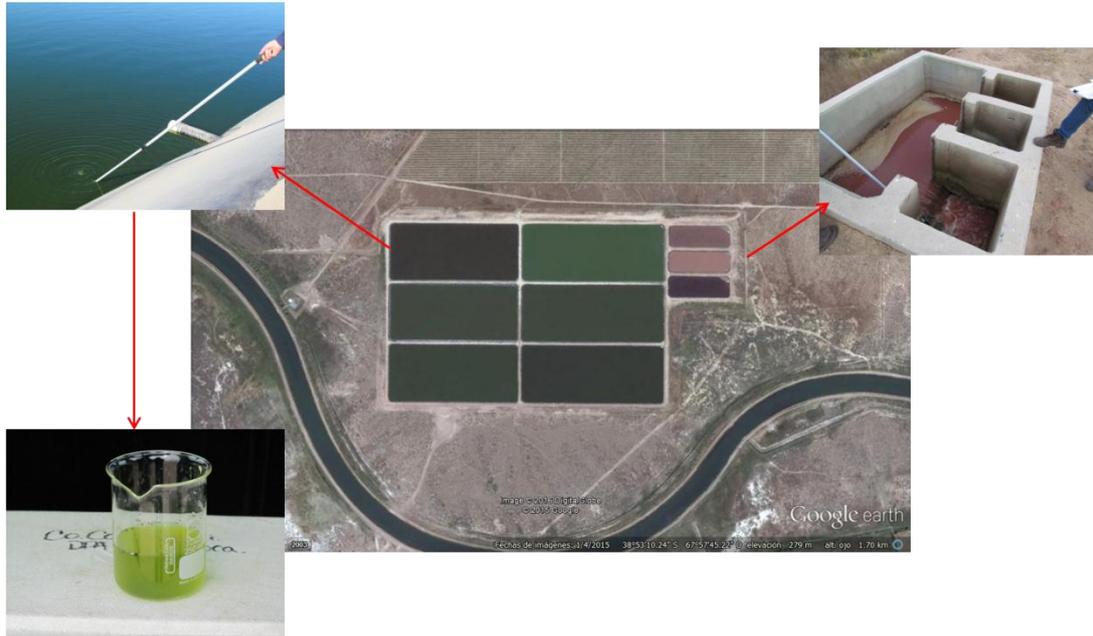


Figura 3.25 Esquema de sitios de muestreo

Los resultados de los análisis realizados hasta la fecha se presentan en las Tablas 3.4 y 3.5:

Tabla 3.4 Resultados de la Cámara Repartidora

Parámetros	Fecha				Valores Máximos (*)
	14/10/2014	22/04/2015	15/09/2015	08/01/2016	
pH		6,9	7	6,76	6 - 9
Cond. Eléctrica (μS/cm)		1500	1500	1660	2000
SS en 10' (mg/l)		s.d.	1	0,9	-
SS en 2 hs (mg/l)		s.d.	6	6	5
DQO (mg/l)		1044	1680	2341	500
DBO ₅ (mg/l)		s.d.	516	680	100
Grasas y Aceites (mg/l)		s.d.	308	579	10

Tabla 3.5 Resultados de la segunda laguna facultativa

Parámetros	Fecha				Valores Máximos (*)
	14/10/2014	22/04/2015	15/09/2015	08/01/2016	
pH	9,3	9,1	8,6	9,8	6 - 9
Cond. Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1800	2600	2100	2200	2000
SS en 10' (mg/l)	< 0,1	s.d.	0	0	-
SS en 2 hs (mg/l)	< 0,1	s.d.	0	0	5
DQO (mg/l)	342	442	470	370	500
DBO ₅ (mg/l)	54	s.d.	125	101	100
Grasas y Aceites (mg/l)	10	s.d.	63	63,6	10

Donde: s.d. sin datos

(*) son los valores máximos recomendados de parámetros físico-químicos para su reutilización en riego forestal establecidos en la Resolución N° 1423/15 – Reúso [Anexo 2].

De los resultados expuestos, pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- En todos los casos en que los Sólidos Sedimentables fueron medidos, se verificó una remoción del 100%.
- Para el parámetro DQO se verificó una remoción de casi el 60% en abril del 2015, incrementándose hasta llegar al 85% en enero de este año. En todos los muestreos realizados, se verificó que el valor de DQO cumple con el valor máximo establecido para reúso de la reglamentación.
- La remoción en el parámetro DBO₅ también ha ido en incremento, llegando actualmente al 85%. Con respecto al cumplimiento del valor máximo recomendado, se observa que en los casos en que el parámetro DBO₅ fue analizado, siempre estuvo levemente por encima del valor reglamentado.
- El parámetro Grasas y Aceites ha tenido una importante remoción, registrando un valor de casi el 90% en el último muestreo. A pesar de ello, se ha encontrado que los valores medidos de este parámetro, superan ampliamente el valor máximo recomendado establecido en la legislación vigente.
- En todos los casos se verifica un aumento considerable en los parámetros pH y Conductividad Eléctrica, entre la entrada al sistema y la última laguna. Como consecuencia de que las algas utilizan CO₂ en su actividad fotosintética se producen valores de pH elevados. Además, al aumentar el pH cambian los

componentes de la alcalinidad, y así la alcalinidad del carbonato y el hidróxido tienden a predominar [19]. El aumento de Conductividad eléctrica es consecuencia de la acumulación de sales en las algas, provenientes de la desestabilización de la materia orgánica.

3.2.1.4.2 Control de los acuíferos subterráneos

Dentro de los proyectos de tratamiento de efluentes de este tipo, el DPA exige la construcción de una red freaticométrica, a fin de controlar la calidad de las aguas subterráneas. Al final de la construcción de las obras, se toma una muestra (blanco) de cada freaticómetro y se analizan parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. De esta manera, con los sucesivos controles que se realicen, es posible detectar cualquier eventual afectación por alguna pérdida o rotura de membrana de impermeabilización de las lagunas.

La empresa construyó una red freaticométrica perimetral al sistema de lagunas, con 5 pozos de monitoreo de entre 6 m y 7 m de profundidad, denominados F1, F2, F3, F4 y F5. Se observa la ubicación de los mismos en la Figura 3.26.

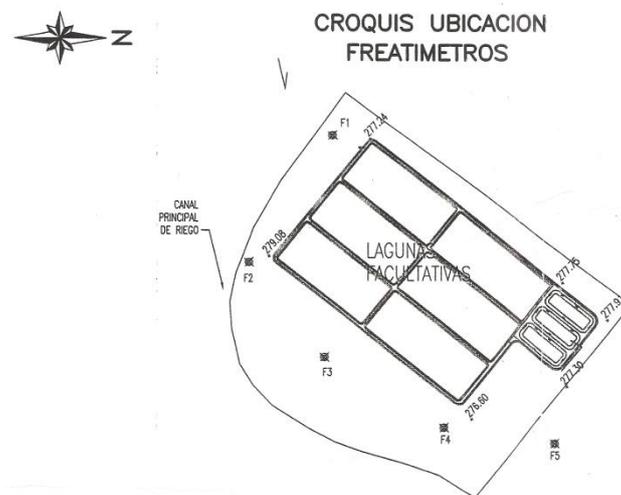


Figura 3.26 Ubicación de freaticómetros

En los análisis realizados en abril del 2012 (blanco) y los realizados en septiembre del 2015 [Anexo 3], se ha podido observar que el agua de la napa freática posee un alto contenido de sólidos disueltos totales, detectando principalmente sales inorgánicas con altas concentraciones de algunos constituyentes como el Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ y Na^+ , y en menor

proporción presencia de Ca^{++} , Mg^{++} y CO_3^{-} . Esto se traduce en los elevados valores de conductividad eléctrica, por encima de 25.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos. Cabe destacar que durante el muestreo del 2015 se pudo observar presencia de vegetación, típicamente halófila, que es un indicador de existencia de sales en napa y suelos.

El lugar geográfico de ubicación del sistema de lagunas se conoce como barda norte de Cipolletti, siendo la misma una zona aluvional, con suelos erosionados hídricamente y un alto contenido salino. Las características específicas de salinidad obtenidas en los análisis de agua subterránea, se corresponden con las de los suelos torrifluentes típicos, ubicados en este caso dentro de la región geomorfológica de mesetas y vertientes del NO de la provincia de Río Negro [21].

Es por ello que se atribuye la presencia de sales inorgánicas de los análisis, a las características del suelo y del agua subterránea de ese lugar, pudiendo concluir, que hasta la fecha, no ha habido ningún indicio de afectación directa en las aguas subterráneas, por el efluente de las lagunas.

3.2.1.4.3 Mantenimiento del sistema de lagunas

El mantenimiento requerido para este sistema normalmente es muy simple, requiriendo algunas tareas periódicas y otras tareas a largo plazo. Esto consiste en tareas de rutina como el corte de vegetación en las orillas y en taludes del suelo; y la eventual y muy espaciada en el tiempo, remoción de los sólidos sedimentados.

Para el caso en que se deban extraer los barros acumulados en las lagunas anaerobias de alta carga, que para ello se estima que deben tener más de diez años operativas, se procederá de la siguiente manera [15]: en la época del año que resulte más favorable el nivel de evaporación, se pondrá fuera de servicio una de estas lagunas, deteniendo, mediante el uso de compuertas, el ingreso a la misma, para conducirlo a las restantes. Luego se bombeará la fase líquida contenida en la misma, a la laguna facultativa siguiente en el sistema, hasta alcanzar la capa del barro acumulado en su fondo, utilizándose bombas portátiles de motor sumergido sustentadas desde una plataforma. El residuo semisólido se deshidratará por evaporación, dadas las condiciones climáticas locales favorables, hasta adquirir el contenido de humedad adecuado para su extracción con equipos de tipo vial, cargándose en camiones para su disposición final en áreas a

forestar o para rellenos, dada su condición de mineralización resultante de los largos períodos de digestión.

Las extracciones de barros se harían de a una laguna por vez, para no deteriorar la calidad del efluente tratado.

3.2.1.4.4 Seguridad

El sistema de lagunas y las plantaciones de sauces se encuentran en su propiedad privada. El sector de lagunas se encuentra delimitado con cerco perimetral, y es necesario ingresar por un portón con candado que manejan los responsables y operadores autorizados por la empresa. A su vez, esta fracción delimitada y las plantaciones están dentro de un terreno mayor, que también está delimitado por cerco perimetral, y para su ingreso se debe pasar por un portón con guardia permanente.

En la guardia cuentan con chalecos salvavidas y sogas que se entregan a los organismos de control o visitantes que ingresan, siempre acompañados por alguien de la empresa, por cualquier eventualidad o situación que ocurra con riesgos de caída en las lagunas.

4 Reúso

Tal como se ha mencionado en los apartados anteriores, la empresa diseñó un sistema de tratamiento de lagunas con reúso de los efluentes para riego de especies forestales en área restringida.

Para ello, realizaron una forestación de 44 ha de sauces (*Salix sp.*) y 2500 m de eucaliptus (*Eucalyptus sp.*) perimetrales en la planta de tratamiento, que será regada con los efluentes descargados del sistema de lagunas. A pesar de que actualmente no están teniendo descarga de efluentes, y utilizan agua del canal principal para regar, no descartan la idea principal del diseño para un futuro en que tengan aumento de producción, y por lo tanto de caudales de efluentes.

Se puede observar parte de la forestación en las imágenes de las Figuras 4.1 y 4.2:



Figuras 4.1 y 4.2 Forestación

Se abordará el siguiente tema, desde la proyección de que a futuro se regará la forestación con los efluentes tratados, que fue plantada para tal fin.

Una de las principales características a tener en cuenta en un proyecto de riego, tiene que ver con el sistema que se utilizará para distribuir el agua, existiendo varias posibilidades. Las alternativas más utilizadas en la zona son [22]:

- a) Riego por inundación o manto, en donde se inunda completamente el sector a regar.

- b) Riego por surcos, se distribuye el agua en el terreno cultivado en divisiones horizontales definidas por surcos, separadas por bordos de tierra a una distancia variable.
- c) Riego presurizado por aspersión, se trata de imitar las precipitaciones, procurando la mayor uniformidad posible.
- d) Riego presurizado por goteo, consiste en la aplicación de riegos frecuentes o muy frecuentes de poca magnitud, que mantienen una alta humedad en el suelo en la zona de raíces del cultivo.

Se pueden observar los diferentes tipos de riego en la Figura 4.3:

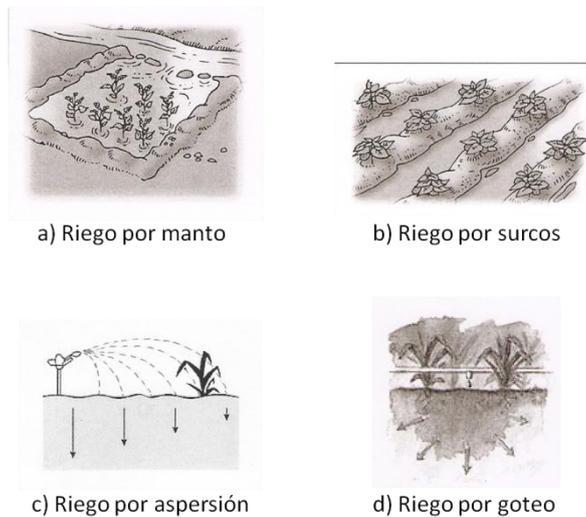


Figura 4.3 Tipos de riego

Se considerará utilizar la tecnología de riego presurizado por goteo, por varias razones [23, 24]:

- Permite mantener una aplicación de agua constante.
- Posee una eficiencia de riego cercana al 95%, quedando una posibilidad de sólo el 5% de afectación de algún cuerpo receptor subterráneo.
- Se evita el contacto directo de las personas o animales con el agua, como así también la posibilidad de transporte de algún patógeno a las ciudades vecinas por acción del viento.
- Permite la aplicación de químicos a través de un inyector de fertilizantes, en caso de requerirlos, para corregir deficiencias al agua o del suelo.

- Al mojar solamente la banda angosta alrededor del árbol, evita la proliferación excesiva de malezas.

Y como punto más fuerte, *esta tecnología permite un uso racional del recurso hídrico, y por lo tanto un ahorro considerable del mismo.*

Como cualquier tecnología, el riego presurizado por goteo también tiene desventajas que es necesario tomar en cuenta. Unos de estos problemas más comunes, es el taponamiento de los goteros por problemas de presencia de materia orgánica en el agua, especialmente cuando se utilizan aguas superficiales; hierro, particularmente en el caso de aguas subterráneas; y algas, como es en el caso de efluentes provenientes de lagunas de estabilización. El riego por goteo exige en el efluente, una concentración de sólidos menor de 50 mg/l para evitar la obstrucción de los dispositivos de regulación y entrega del agua [23].

Generalmente se utilizan filtros de arena o carbón activado para retirar materia orgánica y/o algunas sales de las fuentes de agua superficial y subterránea.

4.1 Algas. Alternativas de remoción

El sistema de tratamiento con lagunas de estabilización, genera un efluente con alto contenido de algas, producto de la estabilización de la materia orgánica, que necesitan ser retiradas antes de implementar este tipo de sistema de riego.

Existen varios métodos potencialmente aplicables a la remoción de algas de los efluentes de lagunas de estabilización, pero el estudio de éstos aún no ha sido desarrollado en profundidad y muchos se encuentran en etapa experimental. Solo se sabe con seguridad que los procesos convencionales de sedimentación por acción de la gravedad no son eficientes, ya que las algas poseen diámetros del orden de los $10^{-6} - 10^{-5}$ m ~ 1 μ m [25].

De la investigación sobre las posibilidades y alternativas para la remoción de algas, se encontraron algunos resultados positivos en dos trabajos de investigación publicados. Se hará una breve descripción de los métodos teóricos junto con las experiencias analizadas:

4.1.1 Incorporación de coagulantes con sedimentación

El proceso de coagulación, se produce por la adición de un producto químico a una dispersión coloidal, como lo son las algas en los efluentes de lagunas de estabilización, que causa la desestabilización de las partículas por una reducción de las fuerzas que tienden a mantenerlas separadas. Para lograr una distribución uniforme del producto químico y aumentar las oportunidades de contacto entre las partículas, una mezcla rápida es muy importante. A partir de las partículas desestabilizadas, se produce un segundo proceso denominado floculación, en el cual se forman flóculos por la unión de las partículas coloidales, que por ser de mayor tamaño y más peso pueden sedimentar gravitacionalmente.

En la coagulación la fuerza primaria involucrada es de tipo electrostático o interiónico, pero en la floculación intervienen mecanismos de formación de puentes químicos o enlaces físicos.

La forma en que se produce la desestabilización de la suspensión dependerá del coagulante que se utilice, pudiendo resumir los mecanismos de desestabilización en cuatro casos: compresión de la capa doble de iones, adsorción para neutralización de cargas, captura con el precipitado, y adsorción para permitir el enlace entre partículas.

El mecanismo que se emplea comúnmente en el tratamiento de aguas residuales, como es el caso de los efluentes con presencia de algas, es el de captura con el precipitado. Para ello, se utilizan sales metálicas como el Sulfato de Aluminio o Cloruro Férrico, en cantidades suficientes como para precipitar los OH^- , como los que se encuentran asociados a las algas, y las partículas coloidales son capturadas por este precipitado. Este tipo de coagulación también se conoce como coagulación por *barrido* [25].

Existe una investigación realizada por la Universidad Popular del Cesar – Colombia [26] en la cual se realizaron experiencias, con tres tipos de coagulantes diferentes, buscando remover no sólo nitrógeno y fósforo sino también algas. Se utilizó el efluente proveniente de un sistema de lagunas de la ciudad de Valledupar (Colombia), y las pruebas de laboratorio se hicieron en sistema tipo batch.

Los coagulantes utilizados fueron Cloruro Férrico, poli-Cloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio, para los cuales se determinó la dosis óptima y eficiencia en cuanto a la

remoción de parámetros como fósforo, nitrógeno, algas, DBO₅, DQO, SSV⁶ y turbidez. Este tratamiento lo realizaron en dos etapas, la primera aplicando los tratamientos en un equipo de pruebas de jarras y la segunda se simuló en una columna de sedimentación con profundidad igual a la de un sedimentador real, aplicando el coagulante más eficiente determinado en la etapa uno. Todo esto con el fin de establecer de manera más representativa la factibilidad de utilizar el proceso como alternativa de post-tratamiento en el efluente de un sistema de lagunas de estabilización.

El coagulante más eficiente para esta investigación fue el poli-Cloruro de Aluminio, que en cuanto a la remoción de SSV se presentó en un porcentaje promedio de 80%, y de DQO en un porcentaje promedio de 70%, lo que demuestra la eficiencia que posee este tratamiento para la remoción de materia orgánica, y por lo tanto de las algas presentes en este tipo de efluentes.

Para aplicar dicha metodología a la salida de un sistema de lagunas de estabilización, es necesario implementar las unidades de mezcla rápida y floculación.

Generalmente, los coagulantes se adicionan al agua residual a tratar en tanques de mezcla provistos de agitación mecánica, en agitadores ubicados en línea o bien en canales abiertos con régimen turbulento. No obstante, la práctica más generalizada corresponde a agitadores mecánicos. Cuando la reacción química de los coagulantes con la suspensión a desestabilizar es rápida, el tiempo de permanencia requerido para los mezcladores puede variar entre 15 y 60 segundos. Los equipos de mezcla mecánica generalmente están preparados para generar gradientes de velocidad del orden de 300 s⁻¹ o mayores. El requerimiento de potencia de los agitadores mecánicos se ubica en el rango típico de 0,06 a 0,25 HP/1000 m³/día.

Las unidades en las que tiene lugar la floculación, consisten en tanques de mezcla lenta que favorecen la asociación de las partículas. La mezcla puede hacerse en forma mecánica o hidráulica:

- a) Floculadores hidráulicos: tienen la ventaja de su sencillez operativa, sin embargo requieren un caudal a tratar relativamente constante para mantener el gradiente de velocidad en el floculador dentro del rango de diseño. Su principal dificultad reside en la escasa posibilidad de controlar el nivel de agitación.

⁶ SSV: los sólidos suspendidos volátiles son los sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los sólidos suspendidos totales son calcinados a una temperatura de 500 ± 50°C.

b) Floculadores de mezcla mecánica: son más habituales y generalmente utilizan paletas giratorias, agitadores alternativos en los cuales las paletas tienen un movimiento ascendente y descendente en forma vertical, y agitadores con turbinas. Estas paletas generalmente giran a velocidades bajas, de entre 2 y 15 rpm, lo que corresponde a velocidades tangenciales en el rango de 0,3 a 0,7 m/s. Se pueden apreciar los esquemas de dichos floculadores en la figura 4.4.

Los tanques de floculación generalmente presentan tiempos de permanencia que varían entre 10 y 30 minutos. El rango de gradientes de velocidad habitualmente utilizado en la floculación se encuentra entre 10 y 100 s⁻¹. Generalmente la eficiencia es mayor si se utilizan sistemas de tres o más tanques de floculación en lugar de uno solo con igual volumen [25].

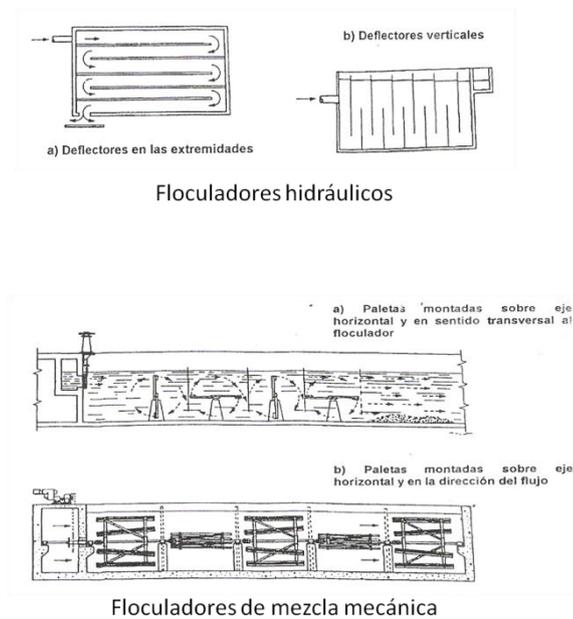


Figura 4.4 Tipos de floculadores

4.1.2 Filtración con lecho rocoso

La filtración a través de un lecho rocoso, consiste en un reactor biológico con un medio fijo, en el cual el efluente de las lagunas se hace pasar a través del medio permeable (las piedras) donde crecen los microorganismos, transformando los compuestos orgánicos de dicha agua residual que fluye sobre el medio fijo.

En estas unidades, los microorganismos se desarrollan sobre la superficie de un sólido, formando una bio-película de espesor variable. El sólido permanece inmóvil en el

interior del equipo, habitualmente una columna pero pudiendo ser también horizontales, constituyendo un lecho fijo. El agua residual se hace circular a través del lecho, donde entra en contacto con la bio-película. Estos sistemas resisten muy bien alteraciones de carga en el agua residual que ingresa, pero no aceptan gran cantidad de sólidos en suspensión.

Un estudio realizado en el Centro de Investigación del Agua, de la Universidad de Zulia – Venezuela [27], muestra los resultados de la eficiencia utilizando un filtro rocoso en el mejoramiento de la calidad del efluente de las lagunas de estabilización de dicha universidad, a través de la evaluación de parámetros físico-químicos y bacteriológicos a la entrada y salida del mismo.

Para el estudio utilizaron un sistema compuesto por un filtro rocoso de flujo horizontal, un tanque elevado, un equipo de bombeo y un conjunto de tuberías para la toma de muestras.

Se trabajó con un filtro rocoso de 2,0 m de ancho por 3,0 m de largo y 1,0 m de altura, y una piedra de 0,025 m de diámetro (granzoncillo). El lecho de piedra alcanzó una altura de 0,8 m, quedando una altura de piedra libre sobre el nivel de agua de 0,1 m, para evitar de esta forma el crecimiento de cianobacterias sobre las piedras húmedas ante la presencia de luz.

El filtro rocoso se alimentó por gravedad, en forma continua, desde un tanque elevado a 2,0 m del nivel del suelo que recibía el efluente de la última laguna de maduración a través de un sistema de bombeo.

Se emplearon dos cargas hidráulicas: 0,75 y 0,50 m³/m³día, tratando de comprobar la teoría de otros investigadores, quienes establecen que a menores cargas hidráulicas, se logra una mayor remoción en el filtro de piedras.

Al comparar los resultados obtenidos en ambas cargas hidráulicas, las mayores remociones son logradas con la menor carga hidráulica 0,50 m³/m³día, obteniéndose para los parámetros de nuestro interés, remociones promedios de 69% para la DQO, 74% para la DBO, 88% y 89% para los SST⁷ y SSV respectivamente; sustentando que la eficiencia del filtro aumenta a medida que la carga es menor.

⁷ SST: los sólidos suspendidos totales son la fracción de sólidos totales retenidos en un filtro con un tamaño de poro específico medido después que ha sido secado a una temperatura específica.

Para la utilización de este tipo de filtros, es necesario contar con una pendiente favorable para permitir la circulación por gravedad, ya que la pérdida de carga a través del filtro puede llegar a ser de 1,5 a 3 m.

La implementación de estas unidades, requiere atención en algunos puntos fundamentales [19]:

- a) Sistema de distribución: la distribución del agua residual debe ser lo más uniforme y continua posible, evitando atascos y paradas. Para obtener una distribución uniforme sobre toda la superficie del filtro, el flujo por unidad de longitud deberá ser proporcional a la distancia del centro del filtro. La pérdida de carga a través del distribuidor puede llegar a ser de hasta 2 m. Generalmente, las boquillas están espaciadas irregularmente, de forma que se consiga más flujo por unidad de longitud cerca de la periferia que en el centro. Las características más importantes que hay que tener en cuenta al elegir un distribuidor, son la robustez de construcción, facilidad de limpieza, resistencia a la corrosión, y otras.
- b) Medio filtrante: debe ser un material que posea una elevada área superficial por unidad de volumen, que sea económico, duradero y que no se obstruya fácilmente. El material más aconsejable suele ser grava o piedra triturada clasificada por tamaños uniformes, generalmente de 0,025 a 0,075 m. Para la remoción de algas, como tratamiento terciario, pueden utilizarse piedras de diámetros bajos, ya que las posibilidades de obstrucción del medio y estancamiento son muy bajas.
- c) Drenaje de salida: deben colocarse extendiéndose de lado a lado, con una pendiente del 1 al 2% hacia el canal colector. Pueden estar abiertos en ambos extremos, de modo de poder inspeccionarlo y evitar que haya obstrucciones.
- d) Ventilación: los drenes de salida deben diseñarse para que fluyan llenos solamente hasta la mitad de su altura, proporcionando así el paso natural de aire que favorecerá la actividad microbiológica dentro del filtro.

En la Figura 4.5 se puede observar un esquema general de un filtro rocoso.

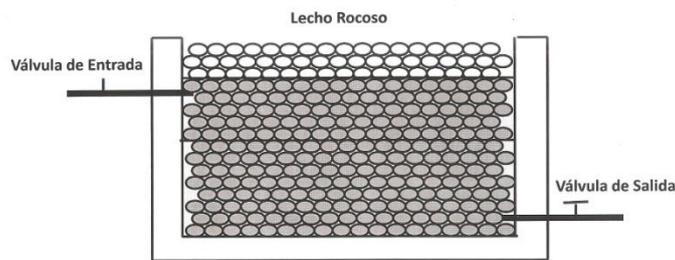


Figura 4.5 Esquema general de filtro rocoso

4.1.3 Aplicabilidad de los métodos al caso particular de la faenadora de pollos

Para realizar la comparación de ambas metodologías, debemos considerar diferentes items, como lo son los factores técnicos, materias primas, equipos, localización de la planta y costos, entre otros [28].

Podemos concluir que la implementación del *filtro rocoso* tiene las siguientes ventajas sobre la *adición de coagulantes*:

- Simplicidad de diseño y construcción: el diseño y construcción de la unidad o unidades de filtración no requiere de la incorporación de tecnología, como lo son el dosificador de coagulantes y el equipo de mezcla rápida.
- Materiales fáciles de conseguir: en la zona del Alto Valle existen varias canteras que se dedican a la extracción y comercialización de rocas, por lo que sería de fácil obtención frente a la compra de coagulantes.
- Baja demanda energética: considerando que existe una diferencia de pendientes entre el sistema de lagunas y la forestación, podría implementarse la circulación por gravedad, sin necesidad de bombeos con requerimiento eléctrico. En el caso de la adición de coagulantes, existen requerimientos eléctricos para el dosificador y el mezclador.
- Simplicidad de operación: al no tener tecnología aplicada al sistema, la operación no requiere de control continuo como en el caso de adición de coagulantes.
- Bajo costo: como es de esperarse, la implementación del filtro rocoso en costos fijos y variables, es mucho menor que la adición de coagulantes, debido a los puntos mencionados en los ítems anteriores.

5 Conclusiones

Desde el año 1992 con la creación de la Ley N° 2391 “Régimen de Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos Provinciales”, actualmente incluida en el Libro Tercero de la Ley Q N° 2952 “Código de Aguas”, la faenadora de pollos ha debido encuadrarse dentro de los requerimientos establecidos en la legislación, realizando un tratamiento y disposición adecuado de sus efluentes.

Del análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA) en los colectores de drenaje monitoreados, en los cuales descargó la faenadora de pollos, se pueden sintetizar las siguientes conclusiones:

- El colector Curri Lamuel evidencia el impacto neto por la descarga de los efluentes de la faenadora, que durante los años en los que descargaron, no contaba con planta de tratamiento de efluentes. El valor de ICA medio está por debajo de 50, lo cual indica una calidad REGULAR.
- El colector E2 tiene un marcado comportamiento de drenaje de riego, razón por la cual durante el año en que la faenadora descargó sus efluentes en él, a pesar de contar con sus primeras unidades de la planta de tratamiento de efluentes, se obtuvieron valores de ICA de 25 y 95, indicando MALA y EXCELENTE calidad en períodos sin riego y con riego respectivamente.
- El comportamiento del colector PII, según el análisis de los resultados de ICA, es muy variado. Esto se debe a que durante los once años en los que la faenadora descargó sus efluentes, pasó por diferentes etapas de ejecución y operación de su planta de tratamiento, y por lo tanto tuvieron muchas fluctuaciones en la calidad de sus efluentes descargados al PII. Además, este colector tiene mucha influencia de los aportes de agua que recibe de los excedentes de riego, ayudándolo en su calidad durante estos períodos.

Puede observarse que a partir del muestreo de agosto del 2012, cuando la faenadora comenzó a enviar sus efluentes al sistema de lagunas de estabilización y dejó de descargar en él, la calidad del mismo se mantuvo en MUY BUENA y EXCELENTE, con un valor de ICA mínimo de 75.

El análisis global de los resultados del ICA en los colectores de drenaje, tanto en períodos con riego como sin él, evidenció el impacto producido por la descarga de los efluentes de la faenadora de pollos.

Del monitoreo realizado en marzo del 2016, se observa que la calidad de los tres colectores sin la descarga de los efluentes de la faenadora, reflejan resultados que la califican como MUY BUENA para el Curri Lamuel y el E2, y EXCELENTE para el PII, ratificando de este manera el impacto que la industria producía en dichos colectores de drenaje.

La selección del sistema de lagunas de estabilización con reúso de los efluentes para riego forestal en área restringida, ha sido considerablemente favorecedora en cuanto a la protección de los recursos hídricos y del ambiente en general.

A pesar de que aún no han tenido descarga de efluentes hacia la forestación plantada para tal fin, se ha corroborado que ningún recurso hídrico, ni siquiera las aguas subterráneas, ha sufrido algún impacto por dichos efluentes, garantizando de esta manera la protección y conservación de los mismos.

Cabe destacar que además, con este sistema de tratamiento biológico, la industria minimiza la producción de gases de efecto invernadero (GEI) liberados a la atmósfera, debido a que el consumo eléctrico es considerablemente menor comparado con el requerido con alguna tecnología de lodos activados o biofiltros.

A su vez, el reúso de los efluentes ‘cierra’ el ciclo de los mismos, contribuyendo al uso racional de los recursos hídricos.

De esta manera, se puede concluir que la selección del sistema de lagunas cumple con los conceptos de aplicación de la mejor tecnología disponible.

Del análisis de la verificación del dimensionamiento y del funcionamiento del sistema de lagunas de estabilización, se concluye que el mismo se encuentra actualmente sobredimensionado, por lo cual se podría llegar a evaluar la posibilidad de desafectar algún tren de lagunas.

Hasta la fecha, a pesar de que el sistema lleva más de tres años en funcionamiento, no han tenido descarga de efluentes ya que la pérdida por evaporación es muy alta.

De la comparación de los resultados de volúmenes calculados para cada laguna, según el proyectista de la empresa y el presente trabajo, se observa que el sistema de lagunas

de estabilización efectivamente construido, es significativamente mayor al calculado en ambos diseños.

De los muestreos realizados a fin de evaluar el funcionamiento del sistema, se verificó que casi todos los parámetros medidos en la última laguna facultativa, cumplen o se encuentran cercanos a los valores máximos recomendados para riego establecidos en la Resolución N°1423/15 – Reúso, destacando que en el muestreo de enero del 2016 se obtuvieron remociones del 100% para los parámetros Sólidos Sedimentables, y de hasta un 85% en los parámetros DQO y DBO₅. La excepción más importante la tienen las Grasas y Aceites, que a pesar de tener una remoción del 90% de las mismas en este tratamiento biológico, superan ampliamente el valor máximo recomendado de 10 mg/l establecido en la legislación vigente. A modo de recomendación surgida del presente trabajo sería conveniente analizar la posibilidad de ampliar o multiplicar la unidad de desengrase del tratamiento primario.

Del análisis de las alternativas de sistemas de riego, en búsqueda de aquella que garantice el uso eficiente y racional del recurso hídrico, considerando la aridez de la zona y la descarga continua de efluentes en el sistema de lagunas, se sugiere utilizar la tecnología de riego presurizado por goteo.

Para la implementación de dicha tecnología, es necesario realizar previamente una remoción de algas, ya que éstas son arrastradas como sólidos suspendidos en el efluente y generan obstrucciones en los conductos del sistema de riego.

Debido a la poca experiencia para esta problemática, se evaluaron dos estudios realizados experimentalmente por universidades de Colombia y Venezuela, concluyendo que para el caso particular de la faenadora en estudio, el más conveniente es el de la colocación de un filtro rocoso a la salida de las lagunas facultativas secundarias. Esto se fundamenta en la simplicidad de construcción y operación, baja demanda energética, facilidad de obtención de la materia prima (rocas), y por lo tanto bajo costo de implementación.

El diseño del filtro rocoso se deja a consideración para una futura ampliación de este trabajo.

6 Anexos

1. Límites máximos admisibles de parámetros de calidad. Resolución 885/15 – Industrias en General.
2. Valores máximos recomendados de parámetros físico-químicos y microbiológicos en efluentes domiciliarios o industriales para su reutilización en riego agrícola-forestal. Resolución 1423/15 – Reúso.
3. Resultados de muestreos de freáticos.

ANEXO 1

A – Para efluentes en cuerpos superficiales

Parámetros	Unidades	Ríos- Arroyos	Mar abierto	Ría
Generales				
pH	-	6 a 9	6 a 9	6.5 a 9
Temperatura	°C	30	30	30
Conductividad	µS/cm	*	-	-
Sólidos sedimentables en 2 hs	mL/L	1	5	1
Grasas y Aceites	mg/L	30	50	30
Fenoles	mg/L	0,5	2	0,5
Detergentes	mg/L	4	4	4
DBO, 5 días 20° **	mg/L	50	200	50
DQO **	mg/L	250	500	250
Hidrocarburos Totales	mg/L	2	5	2
Iones				
Cianuro	mg/L	0,1	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	-	-
Fluoruros	mg/L	5	-	-
Sulfatos	mg/L	500	-	-
Sulfuros	mg/L	1	1	1
Metales y Metaloides				
Aluminio	mg/L	2	2	2
Arsénico	mg/L	0.005	0,005	0,004
Bario	mg/L	2	1	2
Boro	mg/L	1	1	1
Cadmio total	mg/L	0,01	0	01
Calcio	mg/L	200	-	-
Cobalto	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cobre	mg/L	1	1	1
Cromo Hexavalente	mg/L	0,1	0,1	0,1
Estaño	mg/L	1	-	-
Hierro	mg/L	0,5	-	-
Manganeso	mg/L	0,5	-	-
Molibdeno	mg/L	0,5	-	-
Selenio	mg/L	0,1	-	-
Sodio	mg/L	250	-	-
Mercurio Total	mg/L	0,001	0,001	0,001
Níquel	mg/L	0,5	-	-
Plata	mg/L	0,005	0,005	0,005
Plomo	mg/L	0,03	0,03	0,03
zinc	mg/L	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,05	0,05	0,05

Parámetros	Unidades	Ríos- Arroyos	Mar abierto	Ría
Nutrientes				
Fosforo total	mg/L	5	-	-
Compuestos de Nitrógeno				
Nitratos	mg/L	5		
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	10		
Nitrógeno Total	mg/L	15		
Fitosanitarios				
Fitosanitarios Organoclorados	mg/L	<LD	<LD	<LD
Fitosanitarios Organofosforados	mg/L	0,02	<LD	<LD
Otros				
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	10 ⁻³	-	-
Cloro Libre	mg/L	1	-	-

* La autoridad de aplicación lo informará según el cuerpo receptor

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

Para los casos del uso del cuerpo receptor hídrico LAGO, la Autoridad de Aplicación establecerá los parámetros de calidad y los límites máximos admisibles específicamente para cada caso y en función del tipo de actividad.

ANTECEDENTES

Resolución N° 778/96 –Reglamento General para el control de Contaminación Hídrica-
Provincia de Mendoza

Resolución N° 336/03 - ADA – Provincia Buenos Aires

Decreto N° 2107 – San Juan –Año 2006

Límites Admisibles para Descarga de Efluentes Líquidos - Provincia de Córdoba

Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes Ecuador

Agencia de Protección Ambiental EEUU (EPA)

Decreto 90/2000- Normas de Descarga de Agua 69/98 - Chile.

Reglamento para vertidos de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario – Nicaragua -2009

B – Descarga de efluentes en colectores e infiltración subsuperficial

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

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

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

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

ANTECEDENTES

Resolución N° 778/96 –Reglamento General para el control de Contaminación Hídrica- Provincia de Mendoza

Resolución N° 336/03 - ADA – Provincia Buenos Aires

Decreto N° 2107 – San Juan –Año 2006

Límites Admisibles para Descarga de Efluentes Líquidos - Provincia de Córdoba

Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes Ecuador

Agencia de Protección Ambiental EEUU (EPA)

Decreto 90/2000- Normas de Descarga de Agua 69/98 - Chile.

Reglamento para vertidos de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario – Nicaragua -2009

ANEXO 2

Valores máximos recomendados de parámetros físico-químicos y microbiológicos en efluentes domiciliarios o industriales para su reutilización en riego agrícola-forestal (1)

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR MAXIMO RECOMENDADO	FRECUENCIA DE MUESTREO
A. FISICO - QUIMICOS			
Conductividad	S cm	3000	mensual
pH		6 - 9	mensual
R.A.S		10	mensual
Grasas y Aceites	mg / l	10	mensual
Sólidos sedimentables en 2 hs	ml / l	5	mensual
Sólidos suspendidos totales	mg / l	150	mensual
B. SUSTANCIAS TÓXICAS INORGÁNICAS			
ANIONES			
Cianuros	mg / l	0,1	semestral
Cloruros	mg / l	500	semestral
Fluoruros*	mg / l	1	semestral
Sulfatos	mg / l	600	semestral
Sulfuros	mg / l	1	semestral
CATIONES			
Aluminio*	mg / l	5	semestral
Arsenico	mg / l	0,1	semestral
Bario	mg / l	1	semestral
Boro	mg / l	0,7	semestral
Cadmio	mg / l	0,01	semestral
Calcio	mg / l	250	semestral
Cobalto	mg / l	0,05	semestral
Cobre	mg / l	0,2	semestral
Cromo total	mg / l	0,1	semestral
Hierro Total	mg / l	5	semestral
Manganeso	mg / l	0,2	semestral
Mercurio	mg / l	0,001	semestral
Niquel	mg / l	0,2	semestral
Plata	mg / l	0,05	semestral
Plomo	mg / l	0,2	semestral
Selenio	mg / l	0,02	semestral
Sodio	mg / l	500	semestral
Zinc	mg / l	2	semestral
C. NUTRIENTES**			
Fosforo Total	mg / l	10	bimestral
Nitratos	mg / l	10	bimestral

D. PARAMETROS ORGANICOS (VALORES EXIGIDOS)				
(2)DBO ₅	mg / l	50 _a /100 _b		semestral
DQO	mg / l	250/500		semestral
Detergentes	mg / l	3		semestral
Fenoles	mg / l	0,05		semestral
Fitosanitarios Organoclorados	mg / l	0,05		semestral
Fitosanitarios Organofosforados	mg / l	0,1		semestral
E. PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS (VALORES EXIGIDOS)				
Coliformes termotolerantes	NMP / 100 ml	1000		mensual
Helminetos	Huevos / 1000 ml	< 1		semestral
Salmonella	UFC/ 100 ml	ausente		semestral

(1) Riego de especies forrajeras, oleaginosas o forestales cultivadas en Áreas de Acceso Restringido, con riego gravitacional o localizado (goteo).

(2) Valor para efluentes cloacales / efluentes Industriales.

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

* Se inactivan en suelos alcalinos.

** Valor sujeto a potencial afectación de acuíferos.

Coliformes termotolerantes media geométrica correspondiente a 5 muestras con concentración límite 2000.

Los muestreos serán realizados por los responsables de los establecimientos.

La autoridad de control realizará muestreos semestrales de todos los parámetros. En caso de detectarse en las muestras semestrales parámetros desfasados, deberá incrementarse el muestreo a mensual.

ANEXO 3



(Asociación de Laboratorios Alta Complejidad)
Director: Bqco. Angel J. Kossman

Mengelle 811/801 - (8324) Cipolletti - R.N.
Tel/Fax: (0299) 478-5834/477-4488 - Cel: (0299) 154-842550
industriales@idac-laboratorios.com.ar
administracion@idac-laboratorios.com.ar
idackoss@idac-laboratorios.com.ar

Solicitante: POLLOLIN SA
Domicilio: San Luis S/N

Análisis N° 4-16765
Localidad: Cipolletti
Fecha: 19 de Abril de 2012

Página: 1

DATOS DE LA MUESTRA

Material examinado :Agua
Sitio de extracción :Freatímetro 1
Fecha y Hora de extracción . :19-04-2012 - 14:00 hs
Motivo del Análisis :USO INDUSTRIAL
Domicilio :Nuevas piletas de tratamiento - Cipolletti
Provincia :Río Negro
Responsable de extracción .. :Lic. Barbeito Viviana
Solicitante..... :MAIONCHI Fabián
Fecha recepción de muestra . :19-04-2012

Fecha de Finalización del Análisis :07-05-2012

ANALISIS PARA USO INDUSTRIAL

ANALISIS FISICO QUIMICO PARA USO INDUSTRIAL

pH : 8,0
Método: (Potenciométrico)
Conductividad : 25.000 µS/cm
Método: (Conductimétrico)
Sólidos Disueltos Totales : 14.418 mg/l
Método: (Electroanalítico)
Dureza Total (en CaCO3) : 2.071 mg/l
Método: (Titulométrico)
Cloruros (en Cl) : 3.339 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sulfatos(en SO4) : 13.551 mg/l
Método: (EFM)
Nitratos (en NO3) : 9 mg/l
Método: (EFM)
Nitritos (en NO2) : 1,48 mg/l
Método: (EFM)
Amonio : 0,08 mg/l
Método: (EFM)
Calcio : 569 mg/l
Método: (Titulométrico)
Magnesio : 158,0 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sodio : 9.100 mg/l
Método: (Potom.de llama)
Arsénico : menor que 0,01 mg/l
Método: (Colorimétrico)
Flúor : 1,9 mg/l
Método: (EFM)
Alcalinidad Bicarbonatos : 197 mg/l
Método: (Titulométrico)
D.Q.O. : 1.403 mg/l
Método: (Dicromato- EFM)



ANGEL JORGE KOSSMAN
BIOQUIMICO
MAT. 1965

Certificación ISO 9001:2008

PGIDAC02-AT Rev. 02.

Solicitante: **POLLOLIN SA**
Domicilio: **San Luis S/N**

Análisis N° **4-16766**
Localidad: **Cipolletti**
Fecha: **19 de Abril de 2012**

Página: 1

DATOS DE LA MUESTRA

Material examinado :Agua
Sitio de extracción :Freatímetro 2
Fecha y Hora de extracción . :19-04-2012 - 14:20 hs
Motivo del Análisis :USO INDUSTRIAL
Domicilio :Nuevas piletas de tratamiento - Cipolletti
Provincia :Río Negro
Responsable de extracción .. :Lic. Barbeito Viviana
Solicitante..... :MAIONCHI Fabián
Fecha recepción de muestra . :19-04-2012

Fecha de Finalización del Análisis :07-05-2012

ANALISIS FISICO QUIMICO PARA USO INDUSTRIAL

pH : 7,1
Método: (Potenciométrico)
Conductividad : 28.500 µS/cm
Método: (Conductimétrico)
Sólidos Disueltos Totales : 19.884 mg/l
Método: (Electroanalítico)
Dureza Total (en CaCo3) : 1.766 mg/l
Método: (Titulométrico)
Cloruros (en Cl) : 6.088 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sulfatos (en SO4) : 9.798 mg/l
Método: (EFM)
Nitratos (en NO3) : 2 mg/l
Método: (EFM)
Nitritos (en NO2) : 0,10 mg/l
Método: (EFM)
Amonio : 0,02 mg/l
Método: (EFM)
Calcio : 489 mg/l
Método: (Titulométrico)
Magnesio : 132,5 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sodio : 9.375 mg/l
Método: (Fotom.de llama)
Arsénico : menor que 0,01 mg/l
Método: (Colorimétrico)
Flúor : 1,7 mg/l
Método: (EFM)
Alcalinidad Bicarbonatos : 228 mg/l
Método: (Titulométrico)
D.Q.O. : 1.643 mg/l
Método: (Dicromato- EFM)



MAT. 168 Certificación ISO 9001:2008

PCIDAC02-A3 Rev.02

Solicitante: **POLLOLIN SA**
Domicilio: **San Luis S/N**

Análisis N° **4-16767**
Localidad: **Cipolletti**
Fecha: **19 de Abril de 2012**

Página: 1

DATOS DE LA MUESTRA

Material examinado : Agua
Sitio de extracción : Freatrimetro 3
Fecha y Hora de extracción . : 19-04-2012 - 14:30 hs
Motivo del Análisis : USO INDUSTRIAL
Domicilio : Nuevas piletas de tratamiento - Cipolletti
Provincia : Río Negro
Responsable de extracción .. : Lic. Barbeito Viviana
Solicitante..... : MAIONCHI Fabián
Fecha recepción de muestra . : 19-04-2012

Fecha de Finalización del Análisis : 07-05-2012

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARA USO INDUSTRIAL

pH : 7,7
Método: (Potenciométrico)
Conductividad : 26.700 µS/cm
Método: (Conductimétrico)
Sólidos Disueltos Totales : 16.284 mg/l
Método: (Electroanalítico)
Dureza Total (en CaCO₃) : 1.395 mg/l
Método: (Titulométrico)
Cloruros (en Cl) : 6.913 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sulfatos (en SO₄) : 8.891 mg/l
Método: (EFM)
Nitratos (en NO₃) : 7 mg/l
Método: (EFM)
Nitritos (en NO₂) : menor que 0,025 mg/l
Método: (EFM)
Amonio : menor que 0,02 mg/l
Método: (EFM)
Calcio : 438 mg/l
Método: (Titulométrico)
Magnesio : 73,5 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sodio : 9.125 mg/l
Método: (Fotom.de llama)
Arsénico : menor que 0,01 mg/l
Método: (Colorimétrico)
Flúor : 1,7 mg/l
Método: (EFM)
Alcalinidad Bicarbonatos : 208 mg/l
Método: (Titulométrico)
D.Q.O. : 1.053 mg/l
Método: (Dicromato- EFM)



ANGEL JORGE KOSSMAN
BIOQUÍMICO
MAY 165 Certificación ISO 9001:2008

PG/IDAC09-A3 Rev. 02.

Solicitante: **POLLOLIN SA**
Domicilio: **San Luis S/N**

Análisis N° **4-16768**
Localidad: **Cipolletti**
Fecha: **19 de Abril de 2012**

Página: 1

DATOS DE LA MUESTRA

Material examinado :Agua
Sitio de extracción :Freatímetro 4
Fecha y Hora de extracción . :19-04-2012 - 14:45 hs
Motivo del Análisis :USO INDUSTRIAL
Domicilio :Nuevas piletas de tratamiento - Cipolletti
Provincia :Río Negro
Responsable de extracción .. :Lic. Barbeito Viviana
Solicitante..... :MAIONCHI Fabián
Fecha recepción de muestra . :19-04-2012

Fecha de Finalización del Análisis :07-05-2012

ANALISIS FISICO QUIMICO PARA USO INDUSTRIAL

pH : 7,5
Método: (Potenciométrico)
Conductividad : 26.700 µS/cm
Método: (Conductimétrico)
Sólidos Disueltos Totales : 20.118 mg/l
Método: (Electroanalítico)
Dureza Total (en CaCO₃) : 1.809 mg/l
Método: (Titulométrico)
Cloruros (en Cl) : 3.539 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sulfatos(en SO₄) : 15.612 mg/l
Método: (EFM)
Nitratos (en NO₃) : 4 mg/l
Método: (EFM)
Nitritos (en NO₂) : menor que 0,025 mg/l
Método: (EFM)
Amonio : 0,11 mg/l
Método: (EFM)
Calcio : 474 mg/l
Método: (Titulométrico)
Magnesio : 152,0 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sodio : 8.500 mg/l
Método: (Fotom.de llama)
Arsénico : menor que 0,01 mg/l
Método: (Colorimétrico)
Flúor : 1,4 mg/l
Método: (EFM)
Alcalinidad Bicarbonatos : 314 mg/l
Método: (Titulométrico)
D.Q.O. : 1.403 mg/l
Método: (Dicromato- EFM)



ANGEL JORGE KOSSMAN
BIOQUIMICO

Solicitante: **POLLOLIN SA**
Domicilio: **San Luis S/N**

Análisis N° **4-16769**
Localidad: **Cipolletti**
Fecha: **19 de Abril de 2012**

Página: 1

DATOS DE LA MUESTRA

Material examinado : Agua
Sitio de extracción : Freatímetro 5
Fecha y Hora de extracción . : 19-04-2012 - 15:00 hs
Motivo del Análisis : USO INDUSTRIAL
Domicilio : Nuevas piletas de tratamiento - Cipolletti
Provincia : Río Negro
Responsable de extracción .. : Lic. Barbeito Viviana
Solicitante..... : MAIONCHI Fabián
Fecha recepción de muestra . : 19-04-2012

Fecha de Finalización del Análisis : 07-05-2012

ANALISIS FISICO QUIMICO PARA USO INDUSTRIAL

pH : 7,6
Método: (Potenciométrico)
Conductividad : 35.100 µS/cm
Método: (Conductimétrico)
Sólidos Disueltos Totales : 25.089 mg/l
Método: (Electroanalítico)
Dureza Total (en CaCO₃) : 2.136 mg/l
Método: (Titulométrico)
Cloruros (en Cl) : 8.170 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sulfatos (en SO₄) : 14.623 mg/l
Método: (EFM)
Nitratos (en NO₃) : 927 mg/l
Método: (EFM)
Nitritos (en NO₂) : 16,90 mg/l
Método: (EFM)
Amonio : 0,04 mg/l
Método: (EFM)
Calcio : 525 mg/l
Método: (Titulométrico)
Magnesio : 200,0 mg/l
Método: (Titulométrico)
Sodio : 9.500 mg/l
Método: (Fotom.de llama)
Arsénico : menor que 0,01 mg/l
Método: (Colorimétrico)
Flúor : 1,6 mg/l
Método: (EFM)
Alcalinidad Bicarbonatos : 199 mg/l
Método: (Titulométrico)
D.Q.O. : 1.763 mg/l
Método: (Dicromato- EFM)



ANGEL JORGE KOSSMAN
BIOQUIMICO

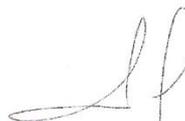
	INFORME DE ENSAYO	MGLP01-F3A - Rev 03
	Mitre 1136 - General Roca - Río Negro Te / Fax: 0298.4421059/ 4431609 www.laboratoriopraxis.com.ar informes@laboratoriopraxis.com.ar Control de calidad Externo INTI y CALIBA	 Organismo Argentino de Acreditación

Descripción de la muestra.....: Agua de Freatímetro

Protocolo N°.....: 5.517
Expediente N°.....: 131.537 (DC-Conc. N° 7)
Solicitante.....: D.P.A. Co.Ca.P.R.Hi.
Dirección del solicitante.....: Gral. Roca
N° de Empadronado.....: **1556**
Sitio de extracción.....: **F 1**
Responsable de extracción.....: Juan Martínez
Condiciones de la muestra.....: buenas
Cantidad de muestra a ensayar.....: 2.000 cc- 2 botellas
Fecha y hora de toma de muestra: 15/09/2015 hs
Fecha y hora de recepción.....: 15/09/2015 12.00 hs
Fecha de procesamiento.....: 15/09/2015
Fecha de finalización del análisis.: 22/09/2015

Análisis Físico-químico:

Determinación	Resultado	Método
*pH	7,65	SM 4500-H B
*Conductividad	36.000 µS/cm	SM 2510 B
*Color	límpida	SM 2120 B
*Turbiedad	1,28 NTU	SM 2130 B
*Alcalinidad Total	1.330 mg/l	SM 2320 B
*Carbonatos (en CaCO ₃)	590 mg/l	SM 2320 B
*Dureza Total (en CaCO ₃)	1.495 mg/l	SM 2340 C
*Sólidos Disueltos totales	23.000 mg/l	SM 2540 C
*Cloruros (en Cl ⁻)	27.300 mg/l	Basado en SM 4500 Cl B
*Sulfatos (en SO ₄ ⁻²)	6.510 mg/l	Basado EN SM 4500 E
*Nitratos (en NO ₃ ⁻)	3,8 mg/l	SM 4500 NO3 E
*Nitritos	0,06 mg/l	Basado en SM 4500 NO2 B
*Amonio	< 0,04 mg/l	Basado en SM 4500 NHE3 ByC
*Calcio	601 mg/l	Basado en SM 3500-Ca D
*Magnesio	218 mg/l	Basado en SM 3500-Mg E
*Sodio	16.800 mg/l	SM 3500-Na D
*Potasio	9,3 mg/l	SM 3500-K D
*Hierro	0,08 mg/l	Basado en SM 4500-Fe D
*Manganeso	0,12 mg/l	Basado en SM 3500-Mn D


Bioq. J. Renan Urdinez
MP 500

Página 6 de 9

Nota N° 1: El presente documento solo puede ser reproducido con la aprobación escrita del Laboratorio.
Nota N° 2: Los resultados solo están relacionados con los ítems ensayados.
Los ensayos y las conclusiones marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación OAA.

	INFORME DE ENSAYO	MGLP01-F3A - Rev 03
	Mitre 1136 – General Roca – Río Negro Te / Fax: 0298.4421059/ 4431609 www.laboratoriopraxis.com.ar informes@laboratoriopraxis.com.ar Control de calidad Externo INTI y CALIBA	 OAA Organismo Argentino de Acreditación Laboratorio de Ensayo LE 201

Descripción de la muestra.....: Agua de Freatímetro

Protocolo N°: 5.517
 Expediente N°: 131.537 (DC-Conc. N° 7)
 Solicitante: D.P.A. Co.Ca.P.R.Hi.
 Dirección del solicitante.....: Gral. Roca
 N° de Empadronado.....: **1556**
 Sitio de extracción.....: **F 2**
 Responsable de extracción.....: Juan Martinez
 Condiciones de la muestra.....: buenas
 Cantidad de muestra a ensayar....: 2.000 cc- 2 botellas
 Fecha y hora de toma de muestra: 15/09/2015 hs
 Fecha y hora de recepción.....: 15/09/2015 12.00 hs
 Fecha de procesamiento.....: 15/09/2015
 Fecha de finalización del análisis.: 22/09/2015

Análisis Físico-químico:

Determinación	Resultado	Método
*pH	7,35	SM 4500-H B
*Conductividad	44.100 µS/cm	SM 2510 B
*Color	limpida	SM 2120 B
*Turbiedad	1,08 NTU	SM 2130 B
*Alcalinidad Total	1.500 mg/l	SM 2320 B
*Carbonatos (en CaCO ₃)	690 mg/l	SM 2320 B
*Dureza Total (en CaCO ₃)	1.794 mg/l	SM 2340 C
*Sólidos Disueltos totales	28.200 mg/l	SM 2540 C
*Cloruros (en Cl ⁻)	33.280 mg/l	Basado en SM 4500 Cl B
*Sulfatos (en SO ₄ ⁻)	8.080 mg/l	Basado EN SM 4500 E
*Nitratos (en NO ₃ ⁻)	4,3 mg/l	SM 4500 NO3 E
*Nitritos	0,08 mg/l	Basado en SM 4500 NO2 B
*Amonio	< 0,04 mg/l	Basado en SM 4500 NH3 B y C
*Calcio	681 mg/l	Basado en SM 3500-Ca D
*Magnesio	258 mg/l	Basado en SM 3500-Mg E
*Sodio	27.890 mg/l	SM 3500-Na D
*Potasio	6,4 mg/l	SM 3500-K D
*Hierro	0,09 mg/l	Basado en SM 4500-Fe D
*Manganeso	0,13 mg/l	Basado en SM 3500-Mn D



Bioq. J. Renan Urdinez
MP 500

Página 7 de 9

Nota N° 1: El presente documento solo puede ser reproducido con la aprobación escrita del Laboratorio.
 Nota N° 2: Los resultados solo están relacionados con los Items ensayados.
Los ensayos y las conclusiones marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación OAA.

	INFORME DE ENSAYO	MGLP01-F3A - Rev 03
	Mitre 1136 – General Roca – Río Negro Te / Fax: 0298.4421059/ 4431609 www.laboratoriopraxis.com.ar informes@laboratoriopraxis.com.ar Control de calidad Externo INTI y CALIBA	 OAAV Organismo Argentino de Acreditación Laboratorio de Ensayo L.E. 201

Descripción de la muestra.....: Agua de Freatímetro

Protocolo N°.....: 5.517
Expediente N°.....: 131.537 (DC-Conc. N° 7)
Solicitante.....: D.P.A. Co.Ca.P.R.Hi.
Dirección del solicitante.....: Gral. Roca
N° de Empadronado.....: **1556**
Sitio de extracción.....: **F 3**
Responsable de extracción.....: Juan Martinez
Condiciones de la muestra.....: buenas
Cantidad de muestra a ensayar.....: 2.000 cc- 2 botellas
Fecha y hora de toma de muestra: 15/09/2015 hs
Fecha y hora de recepción.....: 15/09/2015 12.00 hs
Fecha de procesamiento.....: 15/09/2015
Fecha de finalización del análisis.: 22/09/2015

Análisis Físico-químico:

Determinación	Resultado	Método
*pH	7,81	SM 4500-HB
*Conductividad	62.300 µS/cm	SM 2510 B
*Color	límpida	SM 2120 B
*Turbiedad	1,32 NTU	SM 2130 B
*Alcalinidad Total	1.990 mg/l	SM 2320 B
*Carbonatos (en CaCO ₃)	950 mg/l	SM 2320 B
*Dureza Total (en CaCO ₃)	2.691 mg/l	SM 2340 C
*Sólidos Disueltos totales	39.800 mg/l	SM 2540 C
*Cloruros (en Cl ⁻)	47.000 mg/l	Basado en SM 4500 Cl B
*Sulfatos (en SO ₄ ⁻)	11.220 mg/l	Basado en SM 4500 E
*Nitratos (en NO ₃ ⁻)	4,2 mg/l	SM 4500 NO3 E
*Nitritos	0,07 mg/l	Basado en SM 4500 NO2 B
*Amonio	< 0,04 mg/l	Basado en SM 4500 NH3 BrC
*Calcio	1.002 mg/l	Basado en SM 3500-Ca D
*Magnesio	335 mg/l	Basado en SM 3500-Mg E
*Sodio	23.200 mg/l	SM 3500-Na D
*Potasio	7,3 mg/l	SM 3500-K D
*Hierro	0,08 mg/l	Basado en SM 4500-Fe D
*Manganeso	0,47 mg/l	Basado en SM 3500-Mn D



Bloq. J. Renan Urdinez
MP 500

Página 8 de 9

Nota N° 1: El presente documento solo puede ser reproducido con la aprobación escrita del Laboratorio.
Nota N° 2: Los resultados solo están relacionados con los ítems ensayados.
Los ensayos y las conclusiones marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación OAA.

	INFORME DE ENSAYO	MGLP01-F3A - Rev 03
	Mitre 1136 – General Roca – Río Negro Te / Fax: 0298.4421059/ 4431609 www.laboratoriopraxis.com.ar informes@laboratoriopraxis.com.ar Control de calidad Externo INTI y CALIBA	 OAA Organismo Argentino de Acreditación Laboratorio de Ensayo LE 201

Descripción de la muestra.....: Agua de Freatímetro

Protocolo N°.....: 5.517
Expediente N°.....: 131.537 (DC-Conc. N° 7)
Solicitante.....: D.P.A. Co.Ca.P.R.Hi.
Dirección del solicitante.....: Gral. Roca
N° de Empadronado.....: **1556**
Sitio de extracción.....: **F 4**
Responsable de extracción.....: Juan Martinez
Condiciones de la muestra.....: buenas
Cantidad de muestra a ensayar....: 2.000 cc- 2 botellas
Fecha y hora de toma de muestra: 15/09/2015 hs
Fecha y hora de recepción.....: 15/09/2015 12.00 hs
Fecha de procesamiento.....: 15/09/2015
Fecha de finalización del análisis.: 22/09/2015

Análisis Físico-químico:

Determinación	Resultado	Método
*pH	7,68	SM 4500-H B
*Conductividad	45.700 μ S/cm	SM 2510 B
*Color	limpida	SM 2120 B
*Turbiedad	1,16 NTU	SM 2130 B
*Alcalinidad Total	1.390 mg/l	SM 2320 B
*Carbonatos (en CaCO ₃)	599 mg/l	SM 2320 B
*Dureza Total (en CaCO ₃)	1.744 mg/l	SM 2340 C
*Sólidos Disueltos totales	29.300 mg/l	SM 2540 C
*Cloruros (en Cl ⁻)	34.480 mg/l	Basado en SM 4500 Cl B
*Sulfatos (en SO ₄ ⁻²)	8.430 mg/l	Basado en SM 4500 E
*Nitratos (en NO ₃ ⁻)	4,0 mg/l	SM 4500 NO3 E
*Nitritos	0,06 mg/l	Basado en SM 4500 NO2 B
*Amonio	< 0,04 mg/l	Basado en SM 4500 NH3 B/C
*Calcio	641 mg/l	Basado en SM 3500-Ca D
*Magnesio	332 mg/l	Basado en SM 3500-Mg E
*Sodio	15.700 mg/l	SM 3500-Na D
*Potasio	6,4 mg/l	SM 3500-K D
*Hierro	0,07 mg/l	Basado en SM 4500-Fe D
*Manganeso	0,15 mg/l	Basado en SM 3500-Mn D



Bloq. J. Renan Urdinez
MP 500

Página 9 de 9

Nota N° 1: El presente documento solo puede ser reproducido con la aprobación escrita del Laboratorio.
Nota N° 2: Los resultados solo están relacionados con los ítems ensayados.

Los ensayos y las conclusiones marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación OAA.

7 Lista de Figuras

Figura 2.1 Colector PII y afluentes

Figura 2.2 Imagen satelital con ubicación de los puntos de muestreo A, B y C

Figura 2.3 Gráfico del ICA para períodos con riego y sin riego

Figura 2.4 Curri Lamuel - Año 1999

Figura 2.5 E2 - Año 2000

Figura 2.6 PII - Año 2009

Figura 3.1 Tipos de rejas

Figura 3.2 Esquema de un tamiz rotativo

Figura 3.3 Esquema de unidad DAF

Figura 3.4 Desengrasador de placas inclinadas

Figura 3.5 Sistema básico de lodos activados

Figura 3.6 Sistema de lodos activados con reactor de estabilización

Figura 3.7 Esquema de filtro percolador

Figura 3.8 Equilibrio dinámico bacterias-algas en una laguna de estabilización

Figura 3.9 Zonas de una laguna facultativa

Figura 3.10 Humedal con sistema de flujo libre

Figura 3.11 Humedal con sistema de flujo subsuperficial

Figura 3.12 Diagrama de flujo de la planta de tratamiento

Figura 3.13 Tamices rotativos

Figura 3.14 Residuos de cada tamiz

Figura 3.15 Residuos de cada tamiz

Figura 3.16 Unidad DAF (Flotación por Aire Disuelto)

Figura 3.17 Unidad DAF (Flotación por Aire Disuelto)

Figura 3.18 Residuos del DAF

Figura 3.19 Tanque compensador con aireación

Figura 3.20 Vistas de las lagunas de estabilización

Figura 3.21 Vistas de las lagunas de estabilización

Figura 3.22 Imagen satelital del sistema de las lagunas de estabilización y traza de la cañería de conducción

Figura 3.23. Fórmulas para el cálculo de la DBO₅ efluente según el sistema hidráulico

Figura 3.24 Remoción de DBO en lagunas facultativas

Figura 3.25 Esquema de sitios de muestreo

Figura 3.26 Ubicación de freaímetros

Figura 4.1 Forestación

Figura 4.2 Forestación

Figura 4.3 Tipos de riego

Figura 4.4 Tipos de floculadores

Figura 4.5 Esquema general de filtro rocoso

8 Lista de Tablas

Tabla 2.1 Valores de *Ci* y *Pi* para diferentes parámetros

Tabla 2.2 Clasificación de calidad

Tabla 2.3 Resultados ICA

Tabla 2.4 Resultados ICA 2016

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de los tratamientos biológicos descriptos

Tabla 3.2 Influencia ambiental en lagunas facultativas

Tabla 3.3 Comparación de volúmenes para cada laguna

Tabla 3.4 Resultados de la Cámara Repartidora

Tabla 3.5 Resultados de la segunda laguna facultativa

9 Bibliografía

1. Ley Q N°2952 – Código de Aguas. Provincia de Río Negro (1995).
2. Resolución Reglamentaria N°885/15 – Industrias en General. Provincia de Río Negro (2015).
3. Resolución Reglamentaria N°1423/15 – Reúso. Provincia de Río Negro (2015).
4. Utilización de indicadores de calidad del agua en cuencas hidrográficas. Nuñez Recio, Luis Alberto. CONAGUA (2007).
5. Water Quality evaluation by index in Dalamatia. S.G. Nieves. Water Research 33, pp 3423-3430 (1999).
6. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. S. F. Pesce, D. A. Wunderlin. Water Research 34, pp 2915-2926 (2000).
7. Water Quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. S. B. Jonnalagadda, G. Mhere. Water Research 35, pp 2371-2376 (2001).
8. Water Quality Index with missing parameters. Garima Srivastava, Pradeep Kumar. International Journal of Research in Engineering and Technology – Volume: 02 Issue: 04 (2013).
9. Índice de calidad en colectores de drenaje. Caso Particular: Canal de los Milicos R1 - Provincia de Río Negro. Patricia Fernández, Aldo Sisul, Patricia Reyes. Taller de Indicadores en Gestión de Cuencas – Arg Cap Net (2010).
10. Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias. Lesly Da Cámara, Mario Hernández y Luiselena Paz. Disponible en el sitio web: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Mandisplatraaguresaliar.pdf>.
11. Tratamientos avanzados de aguas residuales. Antonio Rodríguez Fernández-Alba, Pedro Letón García, Roberto Rosal García, Miriam Dorado Valiño, Susana Villar Fernández, Juana M. Sanz García. CEIM – Dirección General de Universidades e Investigación. Elecé Industria Gráfica (2006).
12. Fundamentos del tratamiento biológico. Muñoz Cuoto, Rodrigo. Disponible en el sitio web: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/capitulo2.pdf

13. Mejores tecnologías disponibles, desarrollo sostenible y nueva política ambiental europea. José Sanmartín. Cuadernos de Sección. Ciencias Sociales y Económicas 2. (1995) p. 295-314. ISBN: 84-87471-90-0. Donostia: Eusko Ikaskuntza. Disponible en el sitio web: <http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/azkoaga/02/02295314.pdf>.
14. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY ACT, 1992. US Government Printing office (November 1992).
15. Sistema de Tratamiento de Efluentes Líquidos – Pollolín S.A. Estudio Lo Fiego, Ingeniería Sanitaria (2011).
16. Lagoas de estabilização. Marcos Von Sperling. Belo Horizonte – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais (2006).
17. Memorias del curso para ingenieros sobre operación y mantenimiento de lagunas para estabilización de aguas residuales. CEPIS – DTIAPA, Lima-Perú (1980).
18. Normas de Estudio, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales. ENHOSA, ex COFAPYS (1993).
19. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Metcalf – Eddy. Editorial Labor, S.A. (1977).
20. Waste Stabilization Ponds. Earnest F. Gloyna, D. Eng. World Health Organization – Geneva (1971).
21. Inventario integrado de los recursos naturales de la Provincia de Río Negro. Rubén E. Godagnone – Donaldo E. Bran. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Provincia de Río Negro (2009).
22. Proyecto “Los cursos de agua como fuentes de vida para el desarrollo sustentable”. Módulo: Riego. Fundación Hábitat Comahue – Departamento Provincial de Aguas (2006).
23. Ante Proyecto de Reúso de Aguas Tratadas para Riego. Plan Director de Cloacas – Sector Oeste de la Ciudad de Gral. Roca. Secretaría de Obras Públicas y Medio Ambiente – Municipalidad de Gral. Roca, Río Negro (2007).
24. Aspectos técnicos de la agricultura con aguas residuales. Ing. Julio Moscoso. OPS – CEPIS, Lima (1995).
25. Curso de especialización sobre Tratamiento Físicoquímico de Líquidos Industriales: Coagulación – Floculación. Ing. Jorge Durán. AIDIS, Argentina (1997).

26. Evaluación de coagulantes como alternativa para remoción de algas en el efluente del sistema lagunar de Salguero del Municipio de Valledupar. Luis Francisco Ramírez Hernández, Lorena Felicia Sierra Cuello. Grupo de investigación: Ambiente, Ciencia y Tecnología. Universidad Popular del Cesar. Ingeniería Ambiental y Sanitaria. T628 - IA318 (2014).
27. Mejoramiento del Efluente de Lagunas a través de un Filtro Rocoso. Carmen Cárdenas, Tomás Perruolo, Araujo Karelen, Yabroudi Suher. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México (2002).
28. Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos. Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus. McGraw-Hill Chemical Engineering Series. Editorial Geminis S.R.L. para edición castellana (1978).

Otros sitios web consultados:

<http://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Roto-Tamices.pdf>

<http://ecopreneur.com.ar/services-view/flotacion-por-aire-disuelto-d-a-f/>

<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/disenoes.PDF>