



UNIVERSIDAD DE CHILE – FACULTAD DE CIENCIAS – ESCUELA DE PREGRADO

**“PROPUESTA A NIVEL DE DISEÑO PARA LA MEJORA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS
INDUSTRIALES DE VIÑA MONTGRAS”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de

Químico Ambiental

MARCELA PAZ CAMPS DE LA MAZA

Director del Seminario de Título:	Ing. Matías Lema Mehech
Co – Director del Seminario de Título:	Sr. José Hurtado Navarro
Profesor Patrocinante:	M. Sc. Julio Hidalgo Carvajal

Abril 2017
Santiago - Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

“PROPUESTA A NIVEL DE DISEÑO PARA LA MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES DE VIÑA MONTGRAS”

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Sra.

Marcela Paz Camps de la Maza

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Química Ambiental.

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Director Seminario de Título: Ing. Matías Lema Mehech _____

Presidente Comisión: Dr. Richard Toro Araya _____

Evaluador y corrector: Dra. Isel Cortés Nodarse _____

Profesor Patrocinante: M.Sc. Julio Hidalgo Carvajal _____

Santiago de Chile, 12 de mayo 2017

Biografía



Un día dos de septiembre del año 1991 Marcela llega a la familia Camps de la Maza, como cuarta hija de Mané y Luchín, y hermana de Cristóbal, María Jesús y Rocío. Como la más pequeña de la familia, sus hermanos la cuidaban y jugaban con ella desde pequeña, ayudados por los abuelos maternos.

El año 1996 ingresó a Pre – Kinder en el Liceo Experimental Manuel de Salas, donde pasó toda su vida escolar básica y media. Desde que comenzaron los cursos de química se sintió interesada en esa área de la ciencia, motivándose desde siempre por la protección y cuidado del medio ambiente.

Hoy, junto a su nueva familia, Simón, espera poder seguir en el curso de las ciencias ambientales, dedicándose especialmente al cuidado de los recursos naturales de los chilenos, siempre desde el enfoque del servicio público que la familia supo motivar.

Dedicatoria

Con mucho cariño dedico este trabajo a todos quienes han aportado con un granito de arena en mi formación.

A mi familia, que siempre ha estado ahí, para aguantarme y ayudarme. A mi papá Luchín y mi mamá Mané, quienes con esfuerzo y trabajo lograron tener cuatro hijos felices haciendo lo que cada uno ama. A mis hermanos Cristóbal, María Jesús y Rocío, quienes desde donde estén me cuidan y protegen. A mi abuela Tencha que me recibió con comida y siestas cuando el estudio me sobrepasaba. A mi abuelo que está en el cielo. A mis abuelos que no conocí. A mi familia grande, siempre cercana. Los primos de vida y los primos de sangre, todos han hecho este proceso más ameno y llevadero con su presencia.

Al Simón, mi compañero de vida, mi mejor amigo, mi marido. Por la infinita paciencia y ayuda. Por las horas de estudio y todo el amor que me entrega día a día. A su familia que me ha acompañado en todo este proceso, las comidas, risas, paseos y conversaciones necesarias. A sus amigos, que ahora son también mis amigos.

A mis amigas del colegio, Las Niñas, la Ari, las que siguen ahí superando la adversidad de la Universidad y los años de estudio.

A mis amigas de la U, las Spice Girls, con quienes compartimos horas de estudio y trabajos, apoyándonos cada vez que lo necesitamos.

Al Balonmano, del colegio, de JGM y de la Selección de la Universidad. Todas siempre entregaban sonrisas para disfrutar de mejor manera la vida Universitaria.

A todos los profesores que me guiaron en este proceso, especialmente mi profesora de química del colegio, la Ale, quien me mostró el lindo mundo de la química.

A la vida que a veces nos golpea. Al planeta Tierra que nos permite vivir en él, y por el cual debemos luchar. Gracias.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a viña Montgras por permitirme realizar mi Seminario de Título con ellos. En especial quisiera agradecer al señor Ricardo Araneda gerente de operaciones, señor Matías Lema sub-gerente aseguramiento de calidad y al señor José Hurtado gestión ambiental y prevención de riesgos, por el espacio para realizar el presente trabajo.

También quisiera agradecer la ayuda del profesor guía, M. Sc. Julio Hidalgo Carvajal, quien me entregó las herramientas y ayuda necesaria para desarrollar este trabajo. Además, me dió la confianza necesaria para desarrollar este trabajo por mi cuenta fuera de la Facultad.

Finalmente, quisiera agradecer a todos los funcionarios y profesores que colaboraron en mi desarrollo dentro de la Facultad de Ciencias, especialmente a la profesora M. Sc. Sylvia Copaja, quien me dio un espacio para desarrollar mi Unidad de Investigación y me ayudó en la elección de un nuevo profesor guía acorde a las necesidades de este trabajo.

Índice de Contenidos

Biografía	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de Contenidos.....	v
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras.....	viii
Lista de Abreviaturas.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes Generales	1
1.1.1 Industria vitivinícola en Chile	1
1.1.2 Proceso productivo y generación de residuos líquidos	2
1.1.3 Características de los residuos líquidos	4
1.1.4 Normativa chilena aplicable para descarga y uso de Riles	6
1.1.5 Tratamientos Aplicables a RILes vitivinícolas	7
1.2 Antecedentes Específicos.....	13
1.2.1 Antecedentes de la Viña Montgras.....	13
1.3 Objetivo General.....	15
1.4 Objetivos Específicos.....	15
II. METODOLOGÍA	16
2.1 Caracterización de la situación actual	16
2.1.1 Obtención de antecedentes de la empresa	16

2.1.2	Análisis de eficiencia de la planta de tratamiento.....	16
2.2	Alternativa para modificar la PTR	18
2.3	Dimensionamiento del sistema piloto	19
2.4	Implementación del sistema piloto.....	21
2.5	Dimensionamiento de los equipos principales y elaboración del diagrama de flujos.....	23
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1	Caracterización de la situación actual	25
3.2	Alternativa para mejorar la PTR.....	29
3.3	Dimensionamiento del sistema piloto	32
3.4	Elaboración del sistema piloto	33
3.5	Dimensionamiento de equipos y parámetros de operaciones en el diseño de la mejora propuesta para la planta de tratamiento de RILes	37
3.6	Elaboración de planos conceptuales	39
3.7	Proyecciones y Recomendaciones.....	40
IV.	CONCLUSIONES	42
V.	BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	46
ANEXO 1.	Fotografía del sistema actual de tratamiento de Residuos Líquidos .	46
ANEXO 2.	Datos parámetros efluente piscina de Residuos Líquidos	48
ANEXO 3.	Dimensionamiento sistema piloto	49
ANEXO 4.	Dimensionamiento sistema propuesto	51
ANEXO 5.	Diagrama de flujos sistema propuesto	55

Índice de Tablas

Tabla 1. Caracterización de los Residuos Líquidos Industriales de la industria vitivinícola, según los índices de contaminantes generados.....	6
Tabla 2. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua superficial	7
Tabla 3. Límites máximos permitidos para el uso de Residuos Líquidos en riego	7
Tabla 4. Métodos utilizados para el análisis de muestras	17
Tabla 5. Métodos utilizados para el análisis de las muestras de lodos de la piscina de RILes	22
Tabla 6. Comparación de alternativas para mejorar la planta de tratamiento de RILes actual, en base a los criterios establecidos	29
Tabla 7. Dimensiones de equipos y parámetros de operación principales en el diseño del sistema piloto.....	32
Tabla 8. DBO ₅ para los tiempos de retención hidráulica con caudal de aire de 2,05 l/min, para el sistema piloto	34
Tabla 9. Análisis de Lodos de la piscina de Residuos Líquidos	35
Tabla 10. Dimensiones de equipos y parámetros de operación principales propuestos en el diseño de la mejora a la planta de tratamiento de RILes.	37
Tabla 11. Diseños propuestos en base al volumen del estanque de aireación de lodos activados para el diseño de la propuesta de la planta de tratamiento de RILes.	38

Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de la producción de vides para la vinificación en la Región de O'Higgins. Cantidad de hectáreas plantadas para la vinificación en la región de O'Higgins	2
Figura 2. Elaboración y residuos. Resumen del proceso de elaboración de vino y sus residuos asociados	3
Figura 3. Fotografía separador de sólidos.....	14
Figura 4. Fotografía piscina de residuos líquidos	14
Figura 5. Etapas seguidas para la elección de la tecnología de tratamiento más conveniente a implementar	18
Figura 6. Diagrama planta de tratamiento de RILes actual	25
Figura 7. DBO5, sólidos suspendidos y NTK medidos durante el año 2015. Gráficos realizados con los análisis de los parámetros medidos durante el año 2015. Los parámetros fueron comparados con las normas DS N°90 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001) y la Guía SAG (SAG, 2004). ...	26
Figura 8. Sistema de lodos activados. Esquema reactor de mezcla completa con recirculación y purga desde la línea de recirculación.....	31
Figura 9. Fotografía del sistema piloto implementado en terreno. En la fotografía A se muestra el sistema general en funcionamiento y en la figura B se muestra el sistema funcionando desde arriba.....	33
Figura 10. Diagrama de flujo del sistema propuesto	39

Lista de Abreviaturas

DBO₅:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DIA:	Declaración de Impacto Ambiental
DS 90:	Decreto Supremo N° 90
NTK:	Nitrógeno Total Kjeldahl
PTR:	Planta de Tratamiento de RILes
RILes:	Residuos Líquidos Industriales
SS:	Sólidos Suspendidos Totales
T (°C):	Temperatura en grados Celsius
TRH:	Tiempo de Retención Hidráulico

RESUMEN

Durante el proceso de elaboración de vino en una planta vitivinícola se generan residuos líquidos que se caracterizan por poseer alta carga orgánica y sólidos suspendidos, lo que hace imprescindible su paso por una planta de tratamiento previa descarga a un cuerpo de agua superficial.

En este Seminario de Título se desarrolló una propuesta para modificar la planta de tratamiento de residuos líquidos que actualmente posee viña Montgras, para aumentar su capacidad de tratamiento y depuración de contaminantes, permitiendo así descargar el efluente a un cuerpo de agua superficial cercano (canal). Actualmente viña Montgras posee una piscina de aireación para el tratamiento de sus residuos líquidos. Se realizó un diagnóstico de este sistema de tratamiento, donde se analizaron los contaminantes más importantes, DBO_5 , Sólidos suspendidos y Nitrógeno total, los que fueron comparados con la normativa pertinente (DS N°90). Se observó que todos estos parámetros exceden los máximos establecidos en la norma. Las diferencias fueron cuantificadas y su variación temporal fue analizada con datos históricos de la viña. Se observó el valor más alto para el mes de junio, justo después de la época de vendimia. Luego, se realizó una revisión bibliográfica de alternativas tecnológicas para modificar la planta. Las alternativas fueron comparadas en consideración de los resultados del diagnóstico y de acuerdo a criterios técnicos y económicos, y se determinó, con ayuda de criterio experto técnico, que la tecnología más adecuada para las necesidades de la viña es el tratamiento aerobio con lodos activados. Así, se desarrolló el diseño conceptual (incluyendo pruebas piloto) de una mejora basada en esta tecnología para la planta de tratamiento de residuos líquidos, obteniendo el dimensionamiento de los equipos principales del sistema y un diagrama de flujos del proceso propuesto. Se determinó que con un estanque de lodos activados de 36 metros cúbicos, sometido a un flujo de aire de 1.476 litros por minuto debería ser posible cumplir con los requisitos legales para descargar el efluente de la viña Montgras a un cuerpo de agua superficial.

ABSTRACT

At wineries, waste water with a high concentration of organic pollutants and suspended solids is produced. This makes it necessary to have a treatment plant.

In this work, a proposal to change the current waste water treatment plant of Montgras winery was developed. The improvements were designed to increase its treatment capacity and its pollutant reduction efficiency. This, to allow to discharge the effluent of the plant to a watercourse. First, a diagnosis of the current operation of the waste water treatment plant was performed. Most important pollutants were analyzed: BOD₅, Total Suspended Solids, and Total Nitrogen, which were compared with the corresponding regulation (DS N° 90). The results exceed the regulation for all the pollutants. These differences were quantified and its changes over time were assessed with historical data from the winery. The highest value was in June, just after vintage time. Then, a literature review was conducted to identify technologies to improve the plant. Techno-economic features of the alternatives were compared with regard of the results of the diagnosis, and the most suitable technology to improve the waste water treatment plant was selected: Aerobic treatment with activated sludge. The conceptual design, and pilot tests, of an improvement based on this technology was developed. The sizing of the required equipment was determined, along with a flowchart of the proposed process. A 36 cubic meters activated sludge reactor with an air flow of 1.476 liters per minute is required. With the proposed improvements, the winery would be able to discharge its treated waste water to a watercourse.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1 Industria vitivinícola en Chile

La industria vitivinícola en Chile tiene una larga trayectoria que se inicia con la llegada de los españoles, quienes introdujeron la especie *Vitis vinífera* a América para elaborar vinos de misa, durante el siglo XVI (Valderrama, 2008). Desde entonces, fueron surgiendo cambios, debido a nuevas cepas y técnicas, que convirtieron la producción de vinos en un gran negocio.

En Chile, durante los años 80 se produjo la modernización de las maquinarias y mejora de tecnologías, generándose la primera exportación de vinos de calidad. En los años 90, las empresas chilenas se consolidaron en el mercado internacional, llegando en el año 2005 a más de 90 países (Valderrama, 2008), (SAG, 2004). En los últimos años, Chile ha logrado posicionarse como el quinto país exportador mundial de vinos, lo cual le significa tener mayores exigencias medioambientales por parte de los países importadores. Esto provoca la necesidad de hacerse cargo de los residuos generados por la industria productiva, donde surge la necesidad del manejo y control específicamente de los residuos líquidos.

Según datos del SAG (SAG, 2014), el 100% de las vides plantadas en la Región de O'Higgins se destina a vinificación, con un total de 47.382,07 hectáreas. En la misma región, al año 2010, la producción de vinos llegó a 261.611.981 L. En la Figura 1 se muestra la evolución de la cantidad de hectáreas plantadas para la vinificación en la región de O'Higgins.

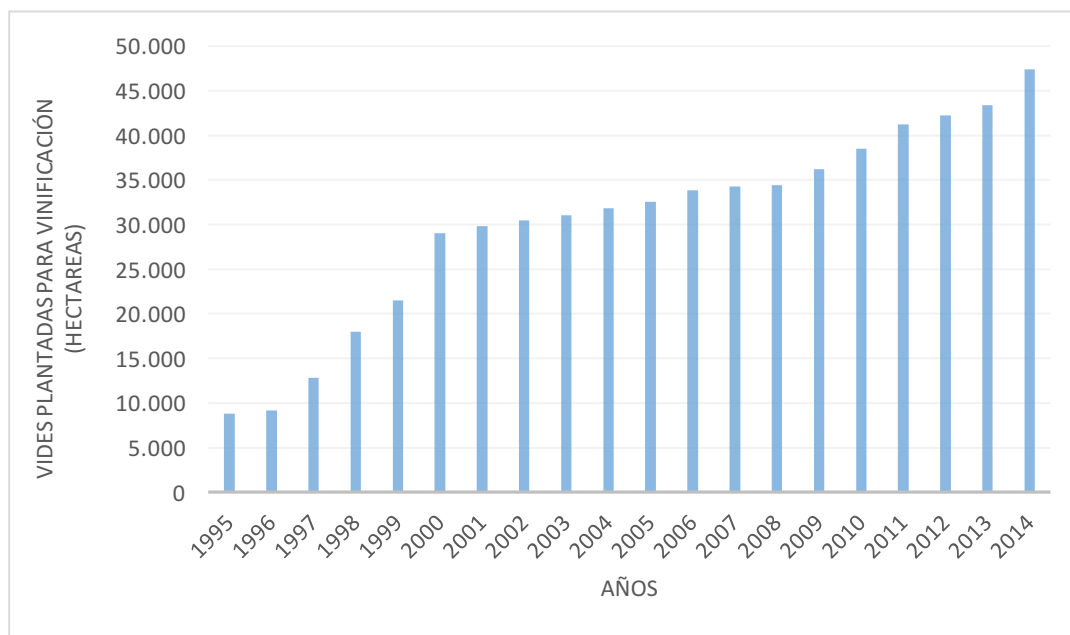


Figura 1. Evolución de la producción de vides para la vinificación en la Región de O'Higgins. Cantidad de hectáreas plantadas para la vinificación en la región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Servicio Agrícola Ganadero (SAG, 2014)

En esta figura se puede apreciar el importante crecimiento que ha tenido la producción de vides en la Región de O'Higgins, donde en casi veinte años se ha cuadruplicado la cantidad de hectáreas destinadas a vinificación.

1.1.2 Proceso productivo y generación de residuos líquidos

Para conocer de donde provienen estos residuos, primero se debe comprender el proceso productivo del vino. Las etapas del proceso de producción de vino se pueden resumir, de manera general, en las siguientes etapas:

Vendimia (recepción, selección y despalillado) y **vinificación** (fermentación) que ocurren entre los meses de marzo a junio, aproximadamente.

Prensado (separación de orujos del vino), **envasado**, **etiquetado** y **despacho**, que ocurren durante la primavera (Seguel, 2004).

Debido a la naturaleza estacional del proceso productivo, las descargas de residuos industriales líquidos (RILes) son emitidas de la misma manera. Así, estos son emitidos principalmente durante el período de vendimia (Seguel, 2004). Las principales fuentes generadoras de RILes durante el proceso de vinificación son aguas utilizadas para operaciones de limpieza e higienización de equipos y materiales, derrames y reacciones en medio acuoso. En la Figura 2 se resume el proceso productivo y los RILes generados.

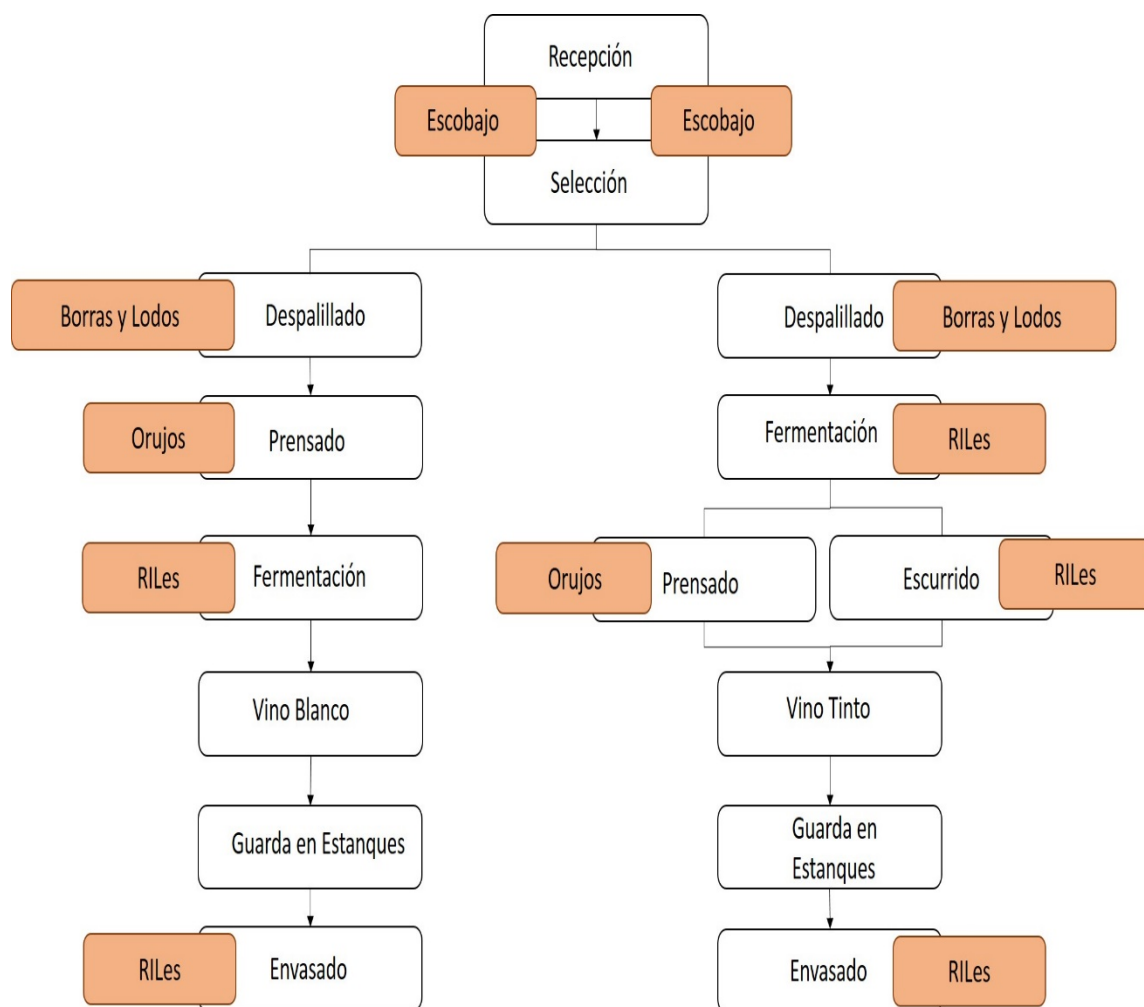


Figura 2. Elaboración y residuos. Resumen del proceso de elaboración de vino y sus residuos asociados

Fuente: (Trujillo, 2011) (Viña Montgras, 2007)

Una vez que la uva es recibida y seleccionada, ocurre el despalillado, que consiste en separar los granos del escobajo (estructura leñosa del racimo de uva). Esto es molido para extraer el jugo de la uva y obtener el mosto, el cual es macerado durante algunas horas para obtener colorantes y aromas que influyen en la calidad del vino. Luego se aumenta la temperatura para la fermentación alcohólica. Aquí las levaduras convierten el azúcar en alcohol etílico mediante un proceso anaeróbico.

Finalizada la fermentación, los orujos (hollejo de la uva) son prensados y separados del vino, para luego pasar a la fermentación maloláctica. A continuación, el vino es guardado en estanques que pueden ser barricas o cubas de acero o cemento, donde ocurre el envejecimiento del producto durante el tiempo que sea necesario según el tipo de vino que se desee producir. Finalmente se realiza clarificación, filtrado y estabilización del producto, para eliminar sólidos presentes (borras) generados en el proceso de vinificación a partir de la actividad metabólica de las levaduras del vino evitando la turbidez y decantación de estas partículas en las botellas.

1.1.3 Características de los residuos líquidos

El agua proveniente de la limpieza de equipos es la principal fuente de RILes. Estos se caracterizan por poseer una alta carga orgánica, generada por la presencia de azúcares, alcohol etílico, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, además de levaduras y bacterias, otorgándole una alta carga de materia orgánica y sólidos suspendidos y disueltos (Seguel, 2004).

Los RILes vitivinícolas no poseen metales pesados, sin embargo, poseen un alto contenido de materia orgánica, lo que complica su descarga directa a cauces naturales sin previo tratamiento.

La presencia de oxígeno disuelto en las aguas naturales es vital para mantener las distintas formas de vida dentro del cuerpo de agua. El vertido de aguas residuales no tratadas genera un consumo de oxígeno adicional debido a la estabilización de la materia orgánica, produciendo un efecto negativo sobre la vida acuática (Droste, 1997). Una descarga a un cuerpo de agua superficial sin previo tratamiento provocaría una rápida multiplicación de microorganismos que agotan el oxígeno disuelto, perjudicando la flora y fauna propia del curso de agua al cual son incorporados. Esto

se debe a la descomposición de la materia orgánica, la cual puede provocar la disminución de la concentración del oxígeno disuelto, lo que trae consigo la eutrofización del agua (Knobelsdorf Miranda, 2005). Si a esto sumamos los sólidos suspendidos descargados directamente, estos impiden el paso de luz necesaria para la fotosíntesis, dificultando a su vez la oxigenación de las aguas.

Los parámetros mediante los cuales se caracteriza la calidad de los RILes de la industria vinícola se mencionan a continuación.

1.1.3.1 Demanda bioquímica de oxígeno

El principal parámetro de caracterización de calidad de los RILes es la determinación de la concentración de la materia orgánica. El método de determinación de materia orgánica mediante su oxidación biológica se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO.

La prueba que mide la demanda de oxígeno en el ambiente del agua debido a los contaminantes orgánicos, durante un período de incubación de 5 días, se denomina DBO₅ (Green & Perry, 2008). Esta prueba indica la cantidad de oxígeno consumido en 5 días a través de procesos biológicos descomponiendo materia orgánica. El resultado se expresa en mg/L, indicando los miligramos de oxígenos necesarios para degradar un litro de muestra. Este parámetro tiene una amplia utilización para la determinación de cargas residuales en instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento (Cortés & Montalvo, 2010).

1.1.3.2 Sólidos en suspensión

Otro parámetro relevante para caracterizar un RIL son los sólidos suspendidos, que son las partículas que se mantienen dispersas en el agua y no sedimentan por gravedad cuando está en reposo. Este parámetro determina la penetración de la luz en el agua residual. Estos se miden mediante una filtración de la muestra, donde el residuo filtrado es posteriormente secado a 105 ° C evaporando el agua. De este proceso se obtienen los sólidos suspendidos secos, los que son masados y de donde se obtiene la relación de ellos en la muestra de agua, generalmente en miligramos por litro de muestra.

1.1.3.3 Nitrógeno total Kjeldahl

Por último, El nitrógeno total Kjeldahl corresponde al nitrógeno total, que se refiere a la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal, el cual se mide mediante el método Kjeldahl.

En la Tabla 1 se resumen los índices de caracterización de los contaminantes con su rango de variación de concentración.

Tabla 1. Caracterización de los Residuos Líquidos Industriales de la industria vitivinícola, según los índices de contaminantes generados

Parámetro	DBO ₅ (mg/l) ⁽¹⁾	SS (mg/l) ⁽²⁾	NTK (mg/l) ⁽³⁾	pH	T (°C)
Valor	256 – 13600	364 – 1385	39,2 – 58,1	4,93 – 6,36	9 – 25

Fuente: (SAG, 2004)

⁽¹⁾ **DBO₅**: Demanda bioquímica de oxígeno

⁽²⁾ **SS**: Sólidos suspendidos

⁽³⁾ **NTK**: Nitrógeno total Kjeldahl

1.1.4 Normativa chilena aplicable para descarga y uso de Riles

La descarga de RILes al medio ambiente se rige por normativas ambientales que buscan proteger los cuerpos de agua, suelos y atmósfera. Estas normativas son las siguientes:

- Para el caso de **descarga de RILes a cuerpos de agua** deben cumplir con el DS N° 90, “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales”, (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001). Los valores de los parámetros que deben ser cumplidos para poder descargar a cuerpos de agua superficial para el caso en estudio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua superficial

Parámetro	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	NTK (mg/l)	pH	T (°C)
Valor	35	80	50	6,0 – 8,5	35

Fuente: DS N°90 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001)

- Si los **residuos quieren ser reutilizados para riego luego de ser tratados** deben cumplir con la Guía “Condiciones básicas para la aplicación de RILes de agroindustrias en riego” (SAG, 2004) y con la NCh 1.333, norma de calidad según el uso dado en el cuerpo de agua usado como receptor (Ministerio de Obras Públicas, 1978). Los valores de los parámetros que para este caso se deben cumplir se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Límites máximos permitidos para el uso de Residuos Líquidos en riego

Parámetro	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	NTK (mg/l)	pH	T (°C)
Valor	410	80	30	5,5 – 8,5	35

Fuente: Guía condiciones aplicación RILes agroindustriales en riego (SAG, 2004)

1.1.5 Tratamientos Aplicables a RILes vitivinícolas

Las opciones de tratamientos de RILes, enfocadas específicamente en residuos provenientes de la industria vitivinícola son numerosos. Según la definición realizada en Ioannou, Puma, & Fatta-Kassinos, 2015, estas opciones pueden dividirse en:

1.1.5.1 Fisicoquímicos

Estos tratamientos han sido satisfactoriamente aplicados al pre tratamiento de RILes en viñas. En general poseen una gran eficiencia en la reducción de la turbidez, pero bajo rendimiento en la reducción de materia orgánica. Ejemplos de estos, entre otros, son:

1.1.5.1.1 Precipitación química con agentes quelantes

Esta tecnología es utilizada principalmente para remover metales pesados de aguas residuales. En países donde la norma de descarga de metales pesados es más severa, resulta importante su utilización. En un reactor se adiciona un reactivo químico a los RILes, por ejemplo 2,4,6 – trimercaptotriazina (TMT), los que reaccionan formando un precipitado con los metales que pueda contener. Luego se sedimenta, descartando los lodos que contendrán los metales por abajo del reactor. Por la parte superior se descartan los RILes tratados.

Este tratamiento no es eficiente en la remoción de la materia orgánica, reduciéndola en un 9%, aproximadamente (G. Andreottola, M. Cadonna, P. Foladori, G. Gatti, F. Lorenzi, 2007). Sin embargo, para la remoción de sólidos suspendidos se obtiene un porcentaje de 90 %. Además, resulta ser un tratamiento muy costoso, considerando la necesidad de reactivos químicos.

1.1.5.1.2 Coagulación

El objetivo de esta tecnología es la remoción de sólidos suspendidos y mejorar la remoción de compuestos orgánicos. En este sistema, se adiciona un agente coagulante (el más recomendado resulta ser el Quitosano, el cual es de carga positiva y forma un aglomerado generado por las diferencias de carga con los sólidos suspendidos que poseen cargas negativas). Estos aglomerados pueden ser eliminados por sedimentación o filtración del líquido (L. Rizzo, G. Lofrano, 2010).

Este método posee un porcentaje de remoción de compuestos orgánicos de 73% y de sólidos suspendidos de 80%. La utilización de un agente coagulante hace que el costo de operación aumente.

1.1.5.2 Biológicos

Los métodos biológicos se caracterizan por utilizar microorganismos para degradar y disminuir la materia orgánica presente en el agua residual. Estos métodos se dividen según la presencia o ausencia de oxígeno, lo que condiciona el tipo de microorganismos empleados:

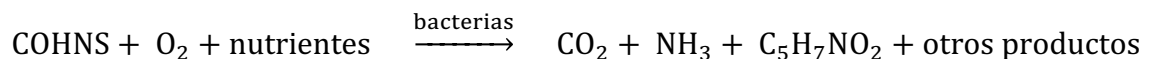
1.1.5.2.1 Aerobios

Estos métodos se basan en el metabolismo de microorganismos, los que utilizan oxígeno para degradar la materia orgánica que se encuentra disponible en el RIL. Dentro de estos se encuentran, entre otros:

- **Lodos activados**

La tecnología de lodos activados consiste en un tratamiento aerobio basado en la capacidad de microorganismos de utilizar materia orgánica de desecho como alimento (Eddy & Metcalf, 1996). Durante el crecimiento y mezcla del residuo dentro del reactor, durante un periodo de tiempo denominado tiempo de retención hidráulico (TRH), los organismos flocculan formando una masa activa con una alta capacidad de absorción de la materia orgánica, lo que se denomina lodos activados (SINIA, 1999). En el reactor de aireación ocurre una reacción de oxidación y síntesis celular que es realizada por el cultivo bacteriano, la cual se muestra en la Ecuación 1. Luego del reactor de aireación el RIL tratado sigue hacia un sedimentador, donde se separan los sólidos suspendidos del resto del líquido.

Ecuación 1. Oxidación y síntesis de materia orgánica



Además, las bacterias utilizan el oxígeno disuelto para la oxidación bioquímica del contenido de materia orgánica a dióxido de carbono (CO_2) generando energía. Esta reacción se muestra en la Ecuación 2 (Eddy & Metcalf, 1996), (Knobelsdorf Miranda, 2005), (Peña Guzmán, 2012).

Ecuación 2. Respiración endógena



La eliminación de la materia orgánica presente en el agua residual se produce siguiendo estas reacciones, a través de las siguientes etapas (Knobelsdorf Miranda, 2005):

1. Atrapamiento de las partículas en la estructura del floculo de los lodos activados.
2. Adsorción del material coloidal.
3. Biosorción (absorción y almacenamiento celular de compuestos orgánicos solubles de elevado peso molecular).
4. Asimilación y acumulación intracelular de sustancias fácilmente biodegradables.
5. Respiración endógena de la biomasa.

El porcentaje de remoción de compuestos orgánicos se encuentra entre un 90 – 95 %, y la remoción de sólidos suspendidos se encuentra entre un 85 – 95 %.

- **Reactor por lotes en secuencia**

Los reactores por lotes en secuencia mejor conocidos como SBR por su sigla en inglés, *Sequential Batch Reactors*, son un tipo de proceso similar al de los lodos activados. El sistema tiene el mismo principio de funcionamiento, con la diferencia en que este es un sistema cerrado, es decir, no tiene un flujo constante de entrada y salida.

Posee un alto porcentaje de remoción de compuestos orgánicos, llegando a un 97,5 %. Debido a que es un proceso sofisticado, posee un alto nivel de mantención, y resulta ser muy costoso en su implementación, pero para su operación posee un bajo costo (US-EPA, 1999).

1.1.5.2.2 Anaerobios

Procesos que degradan contaminantes en ausencia de oxígeno, como por ejemplo:

- **Digestión anaerobia**

En esta tecnología la degradación de la materia orgánica es realizada por microorganismos que funcionan en ausencia de oxígeno. Este proceso ocurre en cuatro etapas:

- (i) Hidrólisis: En esta primera etapa las bacterias transforman proteínas, carbohidratos y grasas en aminoácidos y azúcares más simples.
- (ii) Acidogénesis: Luego, los aminoácidos y azúcares son transformados en intermediarios, tales como, ácidos, cetonas, alcoholes, además de la generación de hidrógeno y dióxido de carbono.
- (iii) Acetogénesis: En la tercera etapa, bacterias acetogénicas transforman el resultado anterior en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.
- (iv) Metanogénesis: Finalmente, los microorganismos metanogéneos forman metano y dióxido de carbono.

El porcentaje de remoción de compuestos orgánicos se encuentra entre un 85 – 95 %. Cabe destacar que de esta tecnología es posible obtener biogás a partir del metano generado, pero su utilización requiere un manejo adecuado en el sistema (C. Ruiz, M. Torrijos, P. Sousbie, J.L. Martinez, R. Moletta, J. Delgenes & Lieber, n.d.).

- **Reactor anaerobio de flujo ascendente**

Esta tecnología mejor conocida como UASB por su sigla en inglés, *Upflow Anaerobic Sludge Blankets*, consiste en un estanque cerrado que opera en un régimen continuo y con flujo ascendente (de abajo hacia arriba del reactor). En este sistema se forman gránulos debido a los microorganismos anaerobios que degradan la materia orgánica.

El porcentaje de remoción de compuestos orgánicos es de aproximadamente 90%. Al igual que en la digestión anaerobia se genera biogás, el cual puede ser utilizado. Este proceso requiere de mantención constante (M. Keyser, R. Witthuhn, L. Ronquest, 2003).

1.1.5.3 Filtros de membrana y procesos de separación

Estos sistemas generan alta calidad del producto al remover los contaminantes. Ejemplos de estos son:

1.1.5.3.1 Nano filtro de membrana

En esta tecnología la remoción de contaminantes ocurre debido a una separación mecánica entre las moléculas y el RIL al pasar a través de una membrana.

Este proceso es principalmente utilizado para el tratamiento de residuos líquidos con exceso de fósforo. En cuanto a los sólidos suspendidos, estos generan interferencia en el sistema, debido a que tapan la membrana (R. Ferrarini, A. Versari, 2001).

Este sistema ha sido utilizado hasta ahora a escala de un sistema piloto.

1.1.5.3.2 Osmosis reversa

Esta tecnología está basada en el principio de la osmosis, donde la aplicación de una alta presión sobre el residuo líquido hace que este pase a través de una membrana, donde se encuentra agua pura.

Este tratamiento tiene rendimientos de remoción de 97 % para compuestos orgánicos y 94 % para sólidos suspendidos, generando un buen efluente además de ser de fácil operación. Sin embargo, los costos de operación son altos debido a la necesidad de presión y la limpieza de la membrana.

1.1.5.4 Procesos de oxidación avanzados

Estos procesos logran la descomposición de compuestos recalcitrantes, compuestos químicamente muy estables generalmente muy difíciles de degradar. Estas metodologías aún son procesos experimentales y pilotos.

1.1.5.5 Combinación de procesos biológicos y procesos de oxidación avanzados

Estos son procesos que combinados aumentan la efectividad de cada método por separado. La obtención de buenos resultados depende de la correcta combinación de procesos seleccionados. Estos procesos son aún experimentales y se encuentran en desarrollo (Ioannou et al., 2015).

La elección del método más adecuado depende del caso en estudio. La decisión debe considerar la factibilidad técnica del método para cada caso particular, además de las consideraciones económicas de instalación, mantenimiento y ejecución del sistema, que deben ser analizadas por un equipo experto.

1.2 Antecedentes Específicos

1.2.1 Antecedentes de la Viña Montgras

La viña Montgras fue fundada en el valle de Colchagua, Isla Yáquil, el año 1993 por los hermanos Eduardo y Hernán Gras Díaz y Cristián Hartwig Bisquertt. Desde el año 1993 en adelante, la viña ha tenido un gran crecimiento, obteniendo certificaciones internacionales de calidad de sus productos y de prácticas sustentables para la elaboración, como la certificación entregada por *Wines of Chile* el año 2011. Al año 2014 logra situarse como la viña chilena nº10 en el ranking de exportaciones de vino embotellado y envasado. Entre los años 2009 y 2014 las ventas de la viña aumentaron en un 57%, con un crecimiento proyectado al 2015 de un 13% (Montgras, 2014).

1.2.2 Tratamiento de RILes

El crecimiento sostenido de la producción de vinos aumenta la capacidad requerida para tratar los residuos líquidos. Según datos de viña Montgras, por cada litro de vino producido, se generan dos litros de residuos líquidos (Viña Montgras, 2007).

Actualmente, viña Montgras posee una Planta de Tratamiento de RILes (PTR) que no satisface los requerimientos de la viña. Esta consiste en un tratamiento de tipo biológico y aeróbico. Posee un separador de sólidos y una piscina de aireación donde se tratan los residuos y una vez finalizado el tratamiento, son dispuestos en un estanque para su posterior utilización para riego de los viñedos. Este sistema posee una deficiencia en la depuración de la materia orgánica y sólidos suspendidos totales, lo que genera preocupación para la viña y la necesidad de modificar el sistema de tratamientos. En las siguientes imágenes se puede observar el sistema de tratamiento que actualmente utiliza la viña.



Figura 3. Fotografía separador de sólidos



Figura 4. Fotografía piscina de residuos líquidos

Debido a que no es necesario para la viña regar los viñedos durante todo el año, es necesario tratar adecuadamente los RILes para que estos puedan ser descargados a un cuerpo de agua cercano, específicamente a un canal. Para poder hacer esto, se deben tratar los residuos de acuerdo a los requerimientos de la

normativa aplicable en este caso (DS N° 90), lo cual hace necesario modificar la PTR actual.

Viña Montgras encarga análisis mensuales de sus residuos líquidos contenidos en la piscina de RILes, midiendo los parámetros más relevantes del RIL, los que son indicadores de la calidad del efluente de la piscina. Estos parámetros son DBO_5 , sólidos suspendidos, NTK, fósforo total, pH y temperatura.

1.3 Objetivo General

Realizar el diseño conceptual de una modificación para la planta de tratamiento de RILes de viña Montgras para permitir la descarga de sus efluentes a un cuerpo de agua superficial (canal) proponiendo cambios para superar los problemas presentados por el actual sistema de tratamientos.

1.4 Objetivos Específicos

1. Caracterizar la situación actual de los efluentes de la PTR mediante un análisis cuantitativo de los parámetros fisicoquímicos relevantes sobre la base del DS N° 90.
2. Diagnosticar y sugerir sobre las condiciones actuales de operación y los procedimientos asociados a la PTR.
3. Diseñar una propuesta de mejora a la PTR mediante el diseño del proceso más adecuado para ella.
4. Implementar un sistema piloto sobre la propuesta planteada.
5. Elaborar un diagrama de flujo y dimensionamiento de los equipos principales para el anexo a la PTR.

II. METODOLOGÍA

2.1 Caracterización de la situación actual

2.1.1 Obtención de antecedentes de la empresa

Para establecer el panorama de la situación actual, primero se realizó una revisión bibliográfica general sobre procesos de producción de vinos y procesos de tratamiento de RILes con carga orgánica. Luego, se realizó una visita de reconocimiento a las instalaciones de viña Montgras, incluyendo la planta de producción y la planta de tratamiento de RILes en estudio. Finalmente, se recopiló la documentación que posee la empresa respecto al diseño y operación de la planta de RILes actual además de los análisis del efluente del sistema actual.

2.1.2 Análisis de eficiencia de la planta de tratamiento

Con estos datos, se realizó un análisis de los parámetros considerados relevantes para el estudio. Estos parámetros se miden en el efluente del sistema de tratamiento. Los parámetros que mensualmente mide la viña, son la DBO₅, sólidos suspendidos totales, pH, temperatura, fósforo, nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y caudal. Estos son medidos y analizados mensualmente por el Laboratorio Servicios de Análisis de la Universidad de Playa Ancha, donde son encargados por viña Montgras. De estos parámetros, la DBO₅, los sólidos suspendidos y el NTK son considerados relevantes para este estudio. La metodología de estos análisis se desarrolla de acuerdo a la NCh 2313, según el detalle que se muestra en la Tabla 4 y la descripción de los métodos es presentada a continuación de la misma tabla.

Tabla 4. Métodos utilizados para el análisis de muestras

Parámetro	Método
DBO ₅	NCh 2313/05, Of 05
Sólidos suspendidos totales	NCh 2313/03, Of 95
Nitrógeno total Kjeldahl	NCh 2313/28, Of 98

Fuente: NCh 2313 (Ministerio de Obras Públicas, 1995) y (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 1998)

Para la determinación de la DBO₅ se realiz un test empírico, donde el laboratorio determina los requerimientos de oxígeno del agua residual. Esta metodología consiste en medir la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos mediante la utilización de la materia orgánica presente en la muestra. Para esto, una botella con cierre hermético es llenada con muestra, donde se adiciona la cepa de microorganismos y se incuba a 20 °C por cinco días. Se mide el oxígeno disuelto al inicio y al final de la incubación, y a partir de esa diferencia se determina la DBO.

Para determinar los sólidos suspendidos totales, la muestra de agua residual es agitada y filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio estándar. El residuo retenido en el filtro es secado a 103 – 105 °C hasta masa constante. La diferencia de masa del filtro antes de filtrar y después de secar la muestra filtrada representa los sólidos suspendidos totales.

El método Kjeldahl para determinar el nitrógeno total determina el nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal presente en la muestra. En presencia de ácido sulfúrico, los sulfatos de potasio y cobre actúan como catalizadores, convirtiendo el nitrógeno orgánico en amonio (sulfato de amonio). Al añadir una base, el amonio se convierte en amoníaco y se destila en un medio alcalino, donde luego el amoníaco es atrapado en el indicador de ácido bórico. Finalmente, el amoníaco atrapado en el ácido bórico es determinado mediante titulación con ácido.

Con el objetivo de comparar las mediciones de los parámetros con la normativa aplicable al caso (DS 90 de descarga de RILes a cuerpos de agua superficial y la guía

SAG para riego con aguas provenientes de tratamientos de residuos líquidos (SAG, 2004)), se graficaron los parámetros considerados relevantes para comprobar el funcionamiento del sistema de tratamientos actual de la viña. Se consideraron mediciones mensuales para el año 2015. Dentro del gráfico se incluyó el valor máximo indicado por cada norma pertinente, para permitir la comparación. Con este insumo, se obtuvo un diagnóstico del funcionamiento actual de la planta de tratamiento.

2.2 Alternativa para modificar la PTR

La elección de la alternativa tecnológica más conveniente para implementar en la planta de tratamiento de RILes se realizó en tres etapas consecutivas (Figura 5).

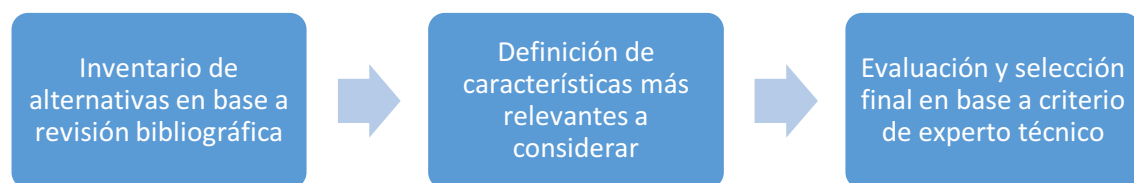


Figura 5. Etapas seguidas para la elección de la tecnología de tratamiento más conveniente a implementar

Primero, se realizó una revisión bibliográfica para analizar las distintas tecnologías reportadas en la literatura para el tratamiento de RILes ricos materia orgánica. Se analizó el principio de operación de cada tecnología y su desempeño.

Luego, se definieron los siguientes criterios para comparar las alternativas encontradas:

- (i) factibilidad técnica de su aplicación para el caso en estudio,
- (ii) rendimiento en la remoción de DBO_5 ,
- (iii) madurez de la tecnología y frecuencia de uso en aplicaciones industriales del tipo en estudio y
- (iv) costos.

Una vez recogida esta información se consideró el criterio de experto técnico para seleccionar el tratamiento más adecuado y que sea compatible con las condiciones actuales de la planta de tratamiento de RILes, los requerimientos de la viña y los requerimientos ambientales de descarga de RILes a cuerpos de agua (DS N° 90). La aplicación de criterio experto técnico se refiere en ingeniería a consultar la opinión de un profesional con amplia experiencia en el área en estudio. En este caso, un profesional con experiencia en el desarrollo de proyectos de tratamiento de residuos industriales líquidos, en particular, de la industria vitivinícola.

2.3 Dimensionamiento del sistema piloto

Una vez seleccionado el sistema de tratamiento a utilizar se desarrolló un piloto. Para esto, fue necesario dimensionar el caudal de aire necesario para agregar al sistema, el cual fue calculado considerando el volumen de RIL a tratar, una aireación de 6 horas y se consideró el valor máximo de DBO₅ medido durante el año 2015, mediante las ecuaciones que se muestran a continuación (Eddy & Metcalf, 1996).

Se calculó los miligramos de materia orgánica en forma de DBO₅ contenidos en el volumen total del sistema piloto con la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Contenido de materia orgánica en el volumen del estanque de lodos activados

$$MO = \text{Volumen}_{\text{Estanque}} [L] * DBO_5 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Considerando que para tratar un miligramo de materia orgánica se requieren 1,5 miligramos de Oxígeno, se calculó la cantidad de Oxígeno necesaria para tratar el contenido total de materia orgánica para el volumen del sistema piloto, como se muestra en la siguiente ecuación.

Ecuación 4. Oxígeno necesario para tratar el volumen total del estanque de lodos activados

$$O_2 = \text{Miligramos MO} * \text{Relación } O_2/\text{MO}$$

Considerando la Masa Molar se obtuvo la cantidad de miligramos de Oxígeno en moles. Con esto, utilizando la Ley de los gases ideales, se calculó el volumen de Oxígeno necesario, como se muestra a continuación.

Ecuación 5. Ley de los gases ideales

$$V = \frac{n R T}{P}$$

Donde,

P = Presión atmosférica[atm]	R = constante de los gases=0,082 $\left[\frac{\text{atm L}}{\text{mol K}}\right]$
V = Volumen de Oxígeno [l]	T =Temperatura [°K]
n = Moles de Oxígeno	

Luego, considerando que el porcentaje de oxígeno en el aire es de aproximadamente 21 %, se calculó el volumen de aire necesario para contener el volumen de oxígeno calculado, como se muestra en la Ecuación 6.

Ecuación 6. Volumen de aire para el volumen de Oxígeno necesario

$$\frac{V_{\text{Aire}} [\text{l}]}{V_{\text{Oxígeno}} [\text{l}]} = \frac{100\%}{21\%}$$

Finalmente, considerando el TRH del sistema se calculó el caudal de aire necesario a inyectar al sistema con la siguiente ecuación.

Ecuación 7. Caudal de aire necesario para inyectar al sistema

$$Q_{\text{Aire}} = \frac{V_{\text{Aire}} [l_{\text{aire}}]}{\text{TRH} [h]}$$

2.4 Implementación del sistema piloto

Se simuló el estanque de aireación con un contenedor de plástico de 120 L de volumen total. La aireación del sistema se realizó mediante tuberías de PVC de 20 mm de diámetro instaladas en el fondo del estanque, con pequeños agujeros de aproximadamente 2 mm de diámetro, para simular difusores de aire de burbuja fina. Las tuberías se conectaron a un soplador mediante las mismas tuberías de PVC con el fitting adecuado, y además se incluyó un rotámetro para controlar el flujo de aire incorporado al sistema.

Se agregaron 50 L de RIL al sistema y se comenzó con el régimen de aireación requerido para degradar la materia orgánica contenida en este. Se aireó el sistema con un caudal de aire de 2,05 L/min, previamente calculado. Se tomaron muestras con botellas para muestras de agua de 1 litro para cada una, obteniendo las muestras desde el contenedor de riles pausando la aireación durante unos minutos. Las muestras se tomaron luego de 1, 2, 4 y 6 horas de aireación. La última corresponde al tiempo de retención hidráulico (TRH) para este sistema. El TRH se determinó según las características del RIL a tratar, las exigencias de la norma y criterio experto técnico.

Una vez terminado el período de aireación, las muestras tomadas se enviaron a analizar por el laboratorio a cargo, quien analizó DBO_5 y sólidos suspendidos totales. Con los resultados se obtuvo conclusiones del desempeño del sistema y la aplicabilidad en un diseño a escala real.

El sistema de lodos activados puede utilizar lodos provenientes de la piscina de RILes actual. Estos lodos pueden ser utilizados directamente o con la adición de nutrientes que ayudan a las bacterias descomponedoras de la materia orgánica. Para comprobar el posible uso de los mismos lodos de la piscina actual de RILes como lodos activados, estos fueron enviados a analizar al Laboratorio Servicios y Análisis, de la Universidad de Playa Ancha, donde se analizó pH, temperatura, sólidos fijos y sólidos volátiles, carbono orgánico total, demanda química de oxígeno y coliformes fecales. Las metodologías utilizadas para estos análisis se presentan en la Tabla 5, los principios químicos de estas se presentan a continuación de la misma tabla.

Tabla 5. Métodos utilizados para el análisis de las muestras de lodos de la piscina de RILes

Parámetro	Método
pH	CNA Met. 3 Rev 2006
Temperatura (en terreno)	St Methods 2550 B, 22 ND Ed
Sólidos fijos	CNA Met. 3 Of 2007
Sólidos volátiles	CNA Met. 3 Of 2007
Carbono Orgánico Total	CNA Met. 7 Rev. 2006
DQO	NCh 2313/24 Of 1997 CNA Met. 5 Of 2007
C. fecales	NCh 2635/1 Of 2001

Fuente: Análisis realizados por el Laboratorio Servicios de Análisis de la Universidad de Playa Ancha

El pH se mide potenciométricamente en el sobrenadante de una suspensión en una mezcla muestra : agua de 1 : 2,5.

La temperatura es medida en terreno. Las mediciones de temperatura se realizan con termómetros de mercurio en grados Celcius. Debe tener como mínimo una escala de cada 0,1 °C y debe tener capacidad térmica que permita una rápida calibración.

Los sólidos fijos y volátiles se determinan por calcinación a 550 °C. La muestra se introduce en una mufla, donde se calcina a 550 °C hasta obtener masa constante. Los sólidos remanentes corresponden a los sólidos fijos, mientras que la pérdida de masa entre la muestra antes de ingresar a la mufla y la muestra al salir de ella corresponde a los sólidos volátiles.

El carbono orgánico total se determina mediante una oxidación de la materia orgánica con una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. Después de la reacción se mide colorimétricamente el cromato reducido.

La demanda química de oxígeno se define como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido se expresa en términos del oxígeno equivalente. Como oxidante se utiliza ión dicromato en medio ácido, el cual se reduce a Cr^{+3} en titulación con

sulfato amónico ferroso, determinando la cantidad de dicromato consumido. La materia oxidable se determina en términos del oxígeno equivalente.

Para determinar las coliformes fecales, se realiza una incubación de muestra en un medio específico. Se analiza la densidad de coliformes fecales en términos del número más probable de microorganismos presentes en el cultivo bacteriano.

Con estos resultados, se comprobó si es posible su utilización como lodos activados y la necesidad de adición de nutrientes, esto mediante la comparación con otros estudios.

2.5 Dimensionamiento de los equipos principales y elaboración del diagrama de flujos

En primer lugar se dimensionó el estanque de lodos activados. Para esto se consideró el caudal máximo mensual recibido en la piscina de RILes durante un período de un año, entre los meses de julio 2015 y julio 2016. Además del caudal, se consideró el tiempo de retención hidráulico (TRH) establecido en base a dato experto y bibliografía (Eddy & Metcalf, 1996). El volumen del estanque de lodos activados se calculó con la siguiente ecuación (Green & Perry, 2008).

Ecuación 8. Dimensionamiento del volumen para el estanque de lodos activados

$$V [m^3] = Q \left[\frac{m^3}{h} \right] * TRH [h]$$

La aireación del estanque de lodos activados se calculó de la misma manera en que se calculó el sistema piloto. Se calculó la cantidad de materia orgánica en forma de DBO₅ con la Ecuación 3. Con la Ecuación 4 se calculó la cantidad de oxígeno necesaria para tratar los miligramos de materia orgánica del sistema. Con la Ecuación 5 se obtuvo el volumen de oxígeno necesario y con la Ecuación 6 se calculó el volumen de aire al que corresponde el volumen de Oxígeno calculado. Finalmente con la Ecuación 7 se calculó el caudal de aire necesario a inyectar al sistema en su escala real.

Para dimensionar el sedimentador, lo ideal es hacer una prueba de sedimentación con el RIL con los lodos activados. Aquí, se mide la velocidad de sedimentación de los sólidos, observando cuanto porcentaje de sólido hay presente en el sistema. Este experimento no se pudo realizar para este trabajo, sin embargo, se proponen las dimensiones de volumen y área del sedimentador en base a un escalamiento de un sistema análogo encontrado en la revisión bibliográfica (Petruccioli, Cardoso Duarte, Eusebio, & Federici, 2002).

Con estos cálculos se obtuvo el diseño del anexo a la Planta de Tratamiento de RILes actual, con el dimensionamiento adecuado para su correcto funcionamiento. Este diseño se estableció en un diagrama de flujo del proceso, realizado mediante el software AutoCAD®.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la situación actual

Parte de la información sobre el funcionamiento de la PTR se obtuvo de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) (Viña Montgras, 2007), donde se explica el funcionamiento general del sistema de tratamiento. Para obtener una completa caracterización de la situación actual de la Planta de Tratamiento de RILes se realizó una visita de reconocimiento en terreno. En esta primera visita, se conoció la línea de producción de vino y el procedimiento que se sigue para el tratamiento de los residuos.

La primera etapa de tratamiento corresponde a un tratamiento primario mediante un separador de sólidos, donde se remueve el 80% de los sólidos suspendidos totales con un diámetro mayor a 3 mm. Los residuos líquidos atraviesan este sistema y son enviados a la piscina de RILes (Figura 6) mientras que los residuos sólidos son recibidos en contenedores y posteriormente retirados por la empresa Industrias Vínicas S.A. para ser utilizados para compostaje. En el ANEXO 1 se muestran más imágenes de la piscina actual de RILes.

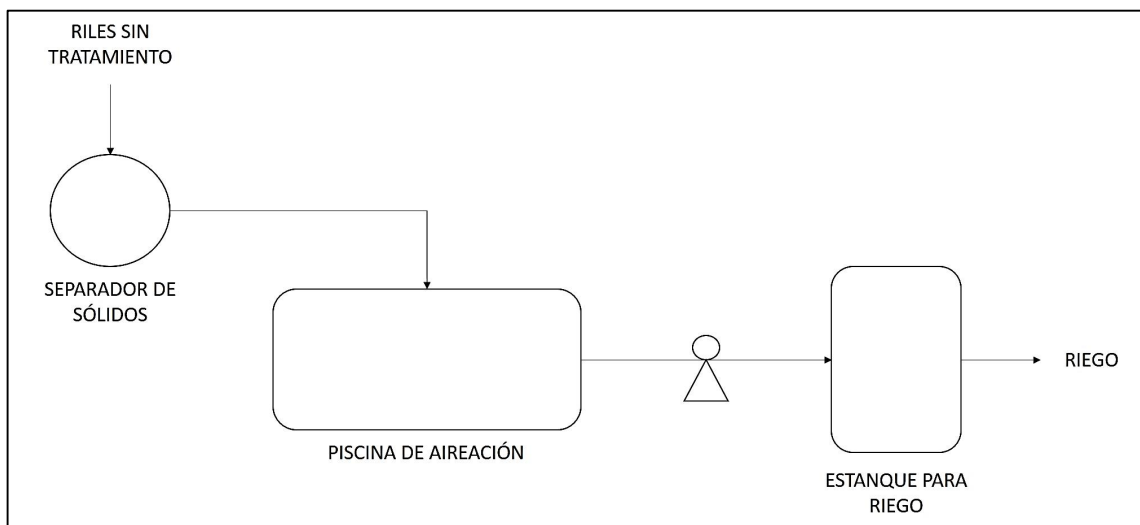


Figura 6. Diagrama planta de tratamiento de RILes actual

En la segunda etapa los RILes ingresan a una piscina impermeabilizada, donde son acumulados para su tratamiento. Este tratamiento consiste en la aireación de los residuos líquidos, mediante la utilización de dos bombas que le inyectan aire para transferir oxígeno al seno del fluido y así lograr disminuir la carga contaminante. Luego de 120 días, los residuos tratados son liberados hacia un estanque, donde son mantenidos hasta su uso para riego.

Los gráficos realizados con los análisis de los parámetros para el año 2015 y su comparación con el DS 90 y la guía SAG se presentan en la Figura 7 (A y B).

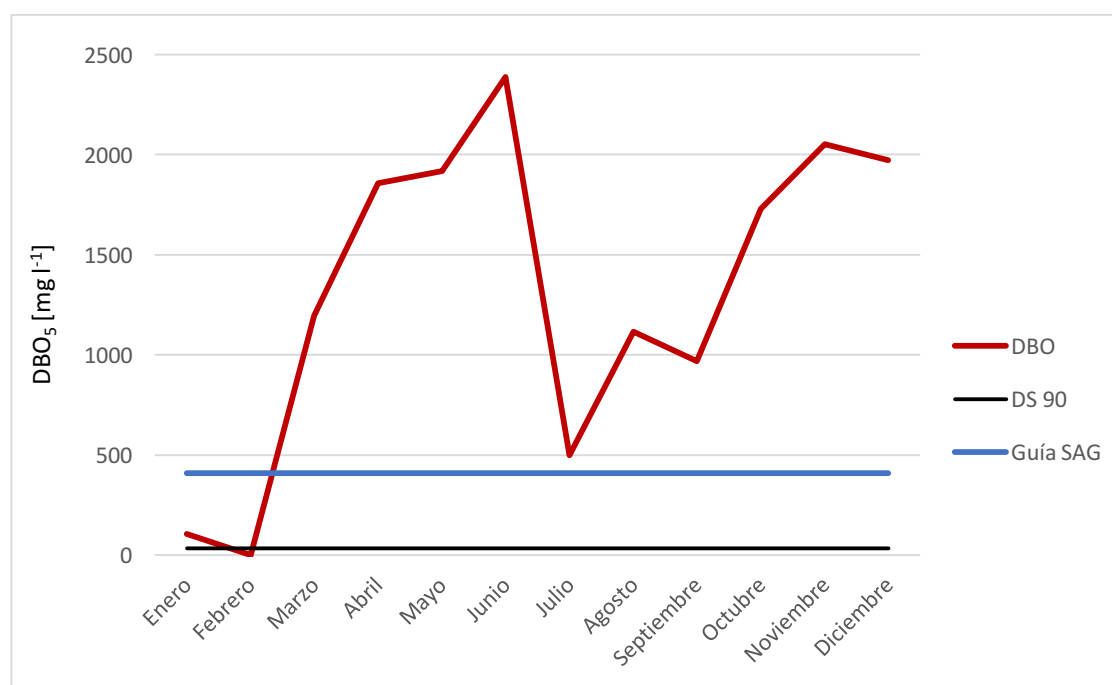


Figura 7A. DBO₅ medido durante el año 2015. Gráficos realizados con los análisis de los parámetros medidos durante el año 2015. Los parámetros fueron comparados con las normas DS N°90 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001) y la Guía SAG (SAG, 2004).

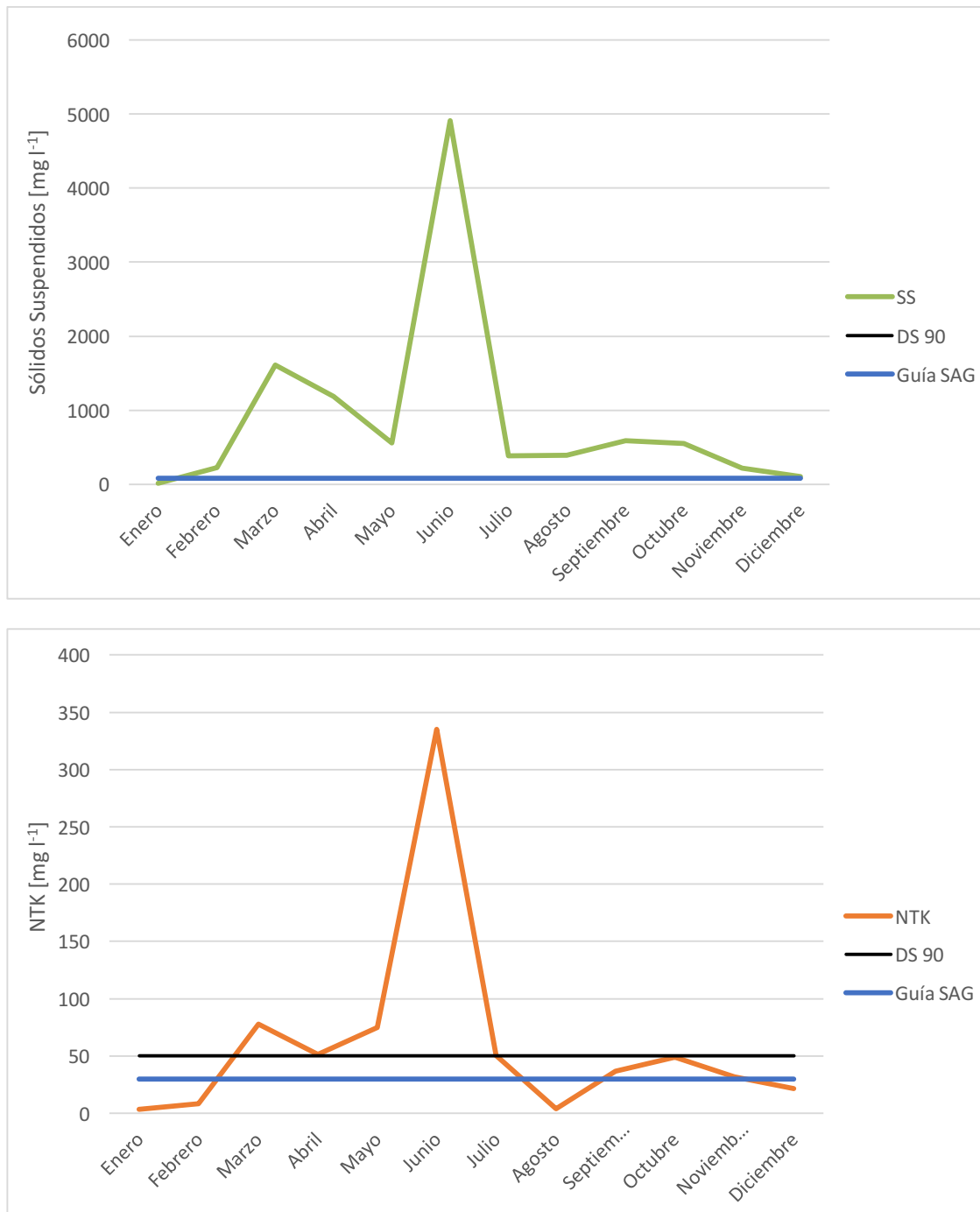


Figura 7B. Sólidos Suspendidos Totales y Nitrogeno Total Kjeldahl medidos durante el 2015. Gráficos realizados con los análisis de los parámetros medidos durante el año 2015. Los parámetros fueron comparados con las normas DS N°90 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001) y la Guía SAG (SAG, 2004)

La Figura 7 se realizó con la información entregada por viña Montgras, presente en el ANEXO 2. En la figura se observa la variación de los parámetros principales analizados. Se observa el punto más alto durante el mes de junio. Para el caso de sólidos suspendidos (Figura 7 B), las normas DS N°90 y Guía SAG son equivalentes, por lo que las líneas en el gráfico se superponen.

Se puede observar como en los tres parámetros estudiados (DBO_5 , sólidos suspendidos y Nitrógeno total Kjeldahl) se excede tanto la norma de riego (SAG, 2004) como la norma de descarga a cuerpos de agua (DS N° 90). Se observa en los tres casos que el punto más alto se produce el mes de junio, justo después de la época de vendimia. En el caso de la DBO_5 se observan valores muy altos, los que indicarían un mal funcionamiento de la PTR actual, justificando la necesidad de encontrar una alternativa que mejore los niveles de los parámetros hasta los límites del DS 90.

Los valores reportados indican una clara deficiencia en el tratamiento que actualmente están recibiendo los residuos líquidos de la viña. Si los residuos de la viña fuesen vertidos directamente a un cuerpo de agua con el tratamiento que reciben hoy, traería consecuencias graves para el medio ambiente acuático que los recibiría. Un exceso de materia orgánica en el cuerpo de agua provoca una necesidad excesiva de oxígeno disuelto, debido a la necesidad de estabilizar esta materia orgánica. Esta necesidad es creada debido a la rápida multiplicación de microorganismos que agotan el oxígeno disuelto, perjudicando la disponibilidad de este para la flora y fauna propias del curso de agua. La descomposición de la materia orgánica, junto con consumir el oxígeno disuelto, puede provocar eutrofización en el cuerpo de agua. La eutrofización también se ve favorecida debido a la presencia de sólidos suspendidos. Estos impiden el paso de la luz dificultando así la fotosíntesis de los organismos fotosintéticos que habitan en el cuerpo de agua. Al impedir la fotosíntesis, la oxigenación de las aguas disminuye, aumentando de esta manera el efecto generado por la materia orgánica.

El exceso de nitrógeno en una descarga de residuos líquidos sin un tratamiento adecuado genera diferentes efectos. Estos son: acidificación de las aguas y favorecer la eutrofización. Además ciertos compuestos nitrogenados son tóxicos para los organismos vivos.

Todas estas condiciones se evitan al poseer un correcto sistema de tratamiento de residuos líquidos.

3.2 Alternativa para mejorar la PTR

La selección de la alternativa para mejorar la planta de tratamiento de RILes fue realizada en base los resultados mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación de alternativas para mejorar la planta de tratamiento de RILes actual, en base a los criterios establecidos

Alternativa tecnológica	Factibilidad técnica*	Rendimiento	Madurez de la tecnología	Costos
Precipitación química	No	Medio	Avanzada	Alto
Coagulación	Si	Alto	Avanzada	Alto
Lodos activados	Si	Alto	Avanzada	Medio
Reactor por lotes en secuencia	No	Alto	Avanzada	Medianamente alto
Digestión anaerobia	No	Alto	Avanzada	Bajo
Reactor anaerobio de flujo ascendente	No	Alto	Avanzada	Bajo
Nano filtro de membrana	No	Medio	Baja	Alto
Osmosis reversa	Si	Alto	Baja	Muy alto

*La factibilidad técnica se refiere a su aplicación considerando las necesidades de Montgras

Fuente: (Ioannou, Puma, & Fatta-Kassinos, 2015)

De los tipos de tratamientos aplicables mencionados anteriormente, se escogió el tratamiento aerobio con lodos activados. Este sistema fue escogido en base a los resultados de la revisión bibliográfica resumidos en la Tabla 6, sumado al criterio experto técnico consultado. Este criterio, consideró experiencias previas del experto técnico consultado, además de casos similares de otras viñas, donde se utiliza el sistema seleccionado (Viña Concha y Toro S.A., 2003).

La Precipitación química fue descartada por no poseer factibilidad técnica para el caso particular de viña Montgras. La coagulación fue escartada por los altos costos que implica su instalación y manejo. El reactor por lotes en secuencia fue descartado

debido a que la viña no posee la factibilidad técnica necesaria para ejecutar un sistema de este tipo. Lo mismo sucede con el sistema de digestión anaerobia y el reactor anaerobio de flujo ascendente. El nano filtro de membrana y la osmosis reversa fueron descartados debido a la falta de experiencia previa en la aplicación de las tecnologías en viñas.

Para este caso particular se propone un proceso aerobio de cultivo en suspensión, proceso de lodos activados de mezcla completa, donde su aplicación principal es la eliminación de DBO carbonosa. El proceso de lodos activados es el más utilizado en el tratamiento de aguas residuales y actualmente es utilizado por otras viñas para el tratamiento de sus residuos líquidos industriales (Viña Concha y Toro S.A., 2003), por lo que se considera idóneo para este caso. Con este procedimiento, el objetivo de este tratamiento es lograr eliminar los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica.

Para el caso en estudio, el residuo orgánico contiene las bacterias aeróbicas necesarias para generar la oxidación de la materia orgánica biodegradable, por lo que no es necesario introducir lodos activados adicionales al sistema.

Luego de este tratamiento, el agua residual tratada puede ser vertida al cuerpo de agua cercano, siempre que su efluente cumpla con el DS N° 90.

El sistema de lodos activados propuesto se añade en serie al sistema actual, y consiste en un reactor biológico de mezcla completa de lodos activados con aireación, seguido de un sedimentador con recirculación y purga de lodos (Cabrera, Moreno, Norambuena, & Sandoval, 2011), (Eddy & Metcalf, 1996). En la Figura 8 se muestra un diagrama de flujo del proceso escogido.

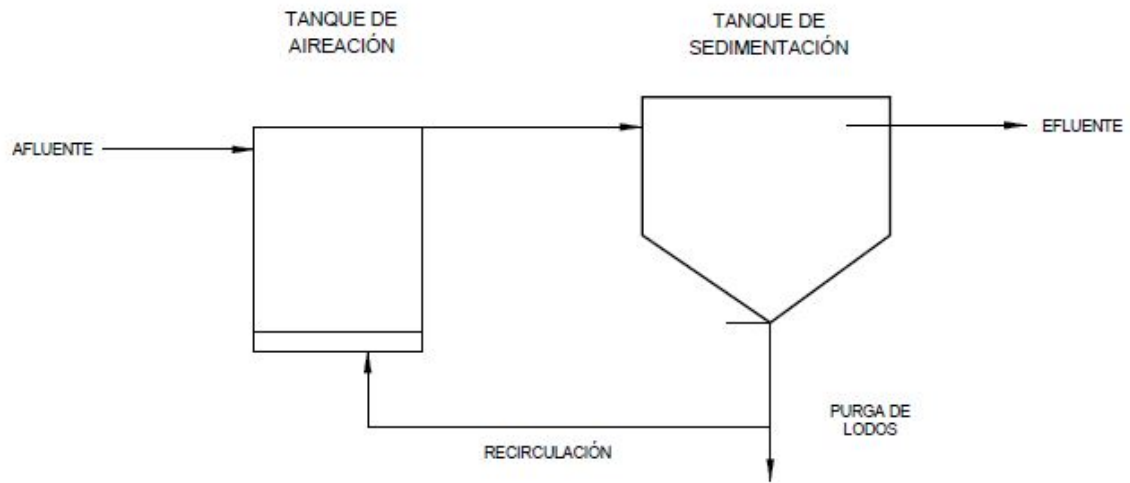


Figura 8. Sistema de lodos activados. Esquema reactor de mezcla completa con recirculación y purga desde la línea de recirculación

Fuente: (Eddy & Metcalf, 1996)

El residuo orgánico es introducido al reactor, un estanque de aireación, donde es agitado y aireado. El oxígeno juega un rol primordial en el tratamiento, pues es este quien se encarga de oxidar a la materia orgánica (Delgado, Rennola, & Lugo, 2006), por ello es importante el sistema de aireación escogido. Este sistema suministrará el oxígeno, evitará el asentamiento de biomasa en el reactor y mantendrá la homogeneidad y la mezcla dentro del mismo. El ambiente aerobio que permite lo mencionado se logra mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos.

Para este caso se sugiere utilizar un equipo de aireación difusa. En este, se instalan difusores de aire sobre la parte inferior del estanque de aireación, los que entregan burbujas de aire. Estas burbujas de aire deben ser lo suficientemente finas como para permitir una buena transferencia de oxígeno hacia el líquido, pues mientras menor sea el diámetro de ellas la superficie de contacto gas – líquido será mayor. Sin embargo, difusores de burbuja fina requieren mayor equipamiento de limpieza para evitar que se obstruya y generan un mayor gasto de energía (Green & Perry, 2008). Además del tamaño de burbuja es importante considerar la profundidad del estanque de aireación. Mientras más profundo sea este mayor será el tiempo de residencia de

las burbujas de aire dentro del sistema, lo que significará una mayor eficiencia en la transferencia de oxígeno y del proceso.

Luego del tiempo necesario para degradar la materia orgánica (tiempo de retención hidráulico, TRH), el RIL tratado sigue hacia un sedimentador. Este paso es esencial para poder separar los sólidos en suspensión del líquido tratado. Aquí, los sólidos son depositados en el fondo del sedimentador pudiendo este proceso ser ayudado mediante un agente floculante (Eddy & Metcalf, 1996). De la biomasa decantada, entre un 15 % a un 20 % de los lodos son recirculados al sistema de lodos activados para mantener una buena concentración de microorganismos, el resto del biosólido es depositado en contenedores plásticos y retirado por una empresa externa cada cierto tiempo. Es muy importante descartar regularmente el exceso de lodos activados desde el sedimentador, de lo contrario la calidad del efluente se deteriorará (Green & Perry, 2008).

3.3 Dimensionamiento del sistema piloto

Las dimensiones del sistema piloto se encuentran en la Tabla 7. Los cálculos desarrollados se encuentran en el ANEXO 3, realizados en base a lo establecido en la metodología.

Tabla 7. Dimensiones de equipos y parámetros de operación principales en el diseño del sistema piloto

Estanque de aireación	V = 50 [l] TRH = 6 [hrs]
Caudal de aireación	Q = 2,05 $\left[\frac{\text{lAire}}{\text{min}}\right]$

Fuente: Elaboración propia

Donde,

V: Volumen [litros]

TRH: Tiempo de retención hidráulico [horas]

Q: Caudal $\left[\frac{\text{lAire}}{\text{min}}\right]$

3.4 Elaboración del sistema piloto

Se elaboró el piloto y se obtuvo el sistema que se muestra en la Figura 9, donde se muestra una fotografía del sistema piloto implementado en funcionamiento.



Fotografía A



Fotografía B

Figura 9. Fotografía del sistema piloto implementado en terreno. En la fotografía A se muestra el sistema general en funcionamiento y en la figura B se muestra el sistema funcionando desde arriba

En la Tabla 8 se muestran los resultados de DBO₅ obtenidos para cada tiempo de aireación del sistema piloto.

Tabla 8. DBO₅ para los tiempos de retención hidráulica con caudal de aire de 2,05 l/min, para el sistema piloto

Muestra	DBO ₅ [mg/l] NCh 2313/5. Of 05	Sólidos Suspendedos Totales [mg/l] NCh 2313/3. Of 95
Muestra inicial: tiempo 0 de aireación	2.388	4.914
Muestra 1: 1 hora de aireación	2.676	130
Muestra 2: 2 horas de aireación	2.508	120
Muestra 3: 4 horas de aireación	2.367	106
Muestra 4: 6 horas de aireación	2.610	116

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos de la aplicación del piloto

De la implementación del piloto como método de validación del sistema, como se puede ver en la Tabla 8, considerando el valor inicial, tanto la DBO₅ como los sólidos suspendidos disminuyeron hasta la Muestra 3. En la Muestra 4 se observa un aumento en ambos parámetros. Esto se atribuye a un error en el protocolo de análisis de las muestras debido a que es el único resultado que va en contra de las otras muestras, además de ser físicamente opuesto a un sistema cerrado como el que se probó para el piloto.

Para hacer andar por primera vez un sistema de lodos activados, se debe acondicionar los lodos con el RIL permitiendo al sistema entrar en régimen. Esto es especialmente importante en este caso, debido a que los lodos que se utilizarán como lodos activados son los mismos que están presentes en la piscina de RILes actual. El acondicionamiento de los lodos es esencial para que los microorganismos que degradarán la materia orgánica se adapten a las condiciones de aireación, temperatura y concentración en el sistema, de lo contrario los microorganismos no podrán utilizar los componentes presentes de manera óptima (Knobelsdorf Miranda,

2005). Para que el sistema entre en régimen de lodos activados se necesitan entre 8 a 10 días, tiempo necesario para que se forme la masa de bacterias capaces de disminuir la DBO₅ a los porcentajes esperados. Así, para obtener mejores resultados se debería ejecutar un piloto considerando el tiempo necesario para que el sistema entre en régimen, además de realizar repeticiones del sistema para obtener más mediciones.

Para que funcionen los lodos activados, deben tener una concentración de entre 3 a 5 gramos de DBO₅ o de sólidos suspendidos por litro de RIL en el estanque de aireación (Spanjers, 2010). Además de la concentración, es importante que los microorganismos que viven en los lodos tengan todos los nutrientes necesarios para desarrollarse y consumir la materia orgánica de los RILes que queremos tratar (Eddy & Metcalf, 1996). Para esto, existe la posibilidad de incorporar nutrientes al estanque de aireación. Los nutrientes que se necesitan agregar principalmente son nitrógeno y fósforo, lo que se puede lograr añadiendo urea para el nitrógeno y MAP (fosfato mono amónico) para el fósforo (Viña Concha y Toro S.A., 2003).

El resultado de los análisis realizados a los lodos de la piscina actual de RILes se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Análisis de Lodos de la piscina de Residuos Líquidos

Parámetro	Método	Resultado
pH	CNA Met. 3 Rev 2006	7,79
Temperatura (en terreno)	St Methods 2550 B, 22 ND Ed	18,5 ° C
Sólidos fijos	CNA Met. 3 Of 2007	150 mg/l
Sólidos volátiles	CNA Met. 3 Of 2007	1.088 mg/l
Carbono Orgánico Total	CNA Met. 7 Rev. 2006	344,6 mg/kg
DQO	NCh 2313/24 Of 1997 CNA Met. 5 Of 2007	1.350 mg/kg
C. fecales	NCh 2635/1 Of 2001	2,3 x 10 ³ NMP/g

Fuente: Resultados obtenidos del análisis realizado por el Laboratorio Servicios de Análisis de la Universidad de Playa Ancha.

Según el análisis de lodos de la piscina de RILes mostrado en la Tabla 9, y de acuerdo a la definición realizada por Knobelsdorf (2005) y Barrios (2009), los lodos no poseen las características necesarias para ser utilizados como lodos activados (Knobelsdorf Miranda, 2005) y (Barrios Pérez, 2009). Para determinar si estos mismos lodos pueden utilizarse como lodos activados se debe hacer un estudio más profundo del tipo y contenido de microorganismos que habitan en los lodos. De esta manera se logrará comprobar si estos contienen una población que permita el buen funcionamiento como lodos activados o no.

En el análisis realizado a los lodos, sólo se miden coliformes fecales, sin embargo, en los lodos deben coexistir diferentes microorganismos, tales como virus, bacterias, micro algas, entre otros, los que no fueron analizados. Por otro lado, cabe mencionar que el análisis se realizó para los lodos de diciembre. En esta época los lodos son más pobres en biomasa, lo que se debe a la estacionalidad del proceso productivo de vino, donde la mayor cantidad de materia orgánica se emite en el periodo de vendimia, es decir, de marzo a junio, aproximadamente.

En cuanto al tipo de bacterias, el 95% de estas deben ser descomponedoras, y deben ser de tres tipos (Knobelsdorf Miranda, 2005):

- **Dispersas**, son bacterias que habitan libres e individualmente en el reactor.
- **Formadoras de floculo**, son bacterias heterótrofas que crecen en aglomeraciones formadas por ellas, las que a su vez facilitan la sedimentación que ocurre en el sedimentador contiguo al aireador.
- **Filamentosas**, son los organismos menos deseados para este sistema, debido a que genera un fenómeno llamado “bulking” o “fango voluminoso” y que genera una mala sedimentabilidad.

A pesar del tipo de bacterias que contengan los lodos, según el contenido de sólidos fijos y sólidos volátiles, los lodos cumplen con las condiciones necesarias para ser utilizados y acondicionados como lodos activados (Barrios Pérez, 2009).

3.5 Dimensionamiento de equipos y parámetros de operaciones en el diseño de la mejora propuesta para la planta de tratamiento de RILes

Las decisiones realizadas para generar el dimensionamiento del sistema de lodos activados, incluyendo las basadas en criterio experto, son expuestas en esta sección. Todas estas decisiones deben ser estudiadas y revisadas por el equipo de ingenieros que ejecute el proyecto.

Las dimensiones calculadas para el proyecto se muestran en la Tabla 10. Los cálculos desarrollados se presentan en el ANEXO 4, realizados en base a lo planteado en la metodología.

Tabla 10. Dimensiones de equipos y parámetros de operación principales propuestos en el diseño de la mejora a la planta de tratamiento de RILes.

Estanque de Lodos Activados	Estanque de aireación	$V_A = 36 \text{ [m}^3\text{]}$
	Caudal de aireación	$Q = 1.476 \left[\frac{\text{[Aire]}}{\text{[min]}} \right]$
Sedimentación	Sedimentador	$V_S = 24 \text{ [m}^3\text{]}$
		$A = 62 \text{ [m}^2\text{]}$
Recirculación	Bomba	15% de la purga de lodos

Fuente: Elaboración propia

Donde,

- V** corresponde al volumen de cada uno de los estanques (V_A al estanque de aireación y V_S al estanque de sedimentación).
- Q** corresponde al caudal de aireación del estanque de lodos activados.
- A** corresponde al área de sedimentación que debe poseer el estanque de sedimentación.

A partir del volumen calculado para el estanque de aireación, se proponen los diseños mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Diseños propuestos en base al volumen del estanque de aireación de lodos activados para el diseño de la propuesta de la planta de tratamiento de RILes.

Diseño	Opción	Dimensiones
Rectangular o Cilíndrica	Opción 1	Largo = 4 [m] Ancho = 4 [m] Altura = 2,25 [m]
	Opción 2	Largo = 3 [m] Ancho = 3 [m] Altura = 4,01 [m]
Cuadrado	Opción 3	Largo = 3,30 [m] Ancho = 3,30 [m] Altura = 3,30 [m]

Fuente: Elaboración propia, en base al volumen calculado para el estanque de lodos activados

De acuerdo al diseño general del sistema, las unidades de aireación y de sedimentación son instaladas en serie al sistema actual. Esto que permite que el anexo propuesto no ocupe un gran espacio en el terreno de la viña. De acuerdo a los resultados obtenidos de la implementación del sistema piloto, las dimensiones planteadas no aseguran la remoción de los contaminantes hasta los límites permitidos, sin embargo experiencias similares de otras viñas respaldan la utilización de un sistema de lodos activados como una buena alternativa para el tratamiento de sus residuos líquidos.

3.6 Elaboración de planos conceptuales

Mediante el software AutoCAD ® se realizó el diagrama de flujos del proceso a implementar. Este se muestra en la Figura 10. La figura se muestra en mayor tamaño en el ANEXO 5.

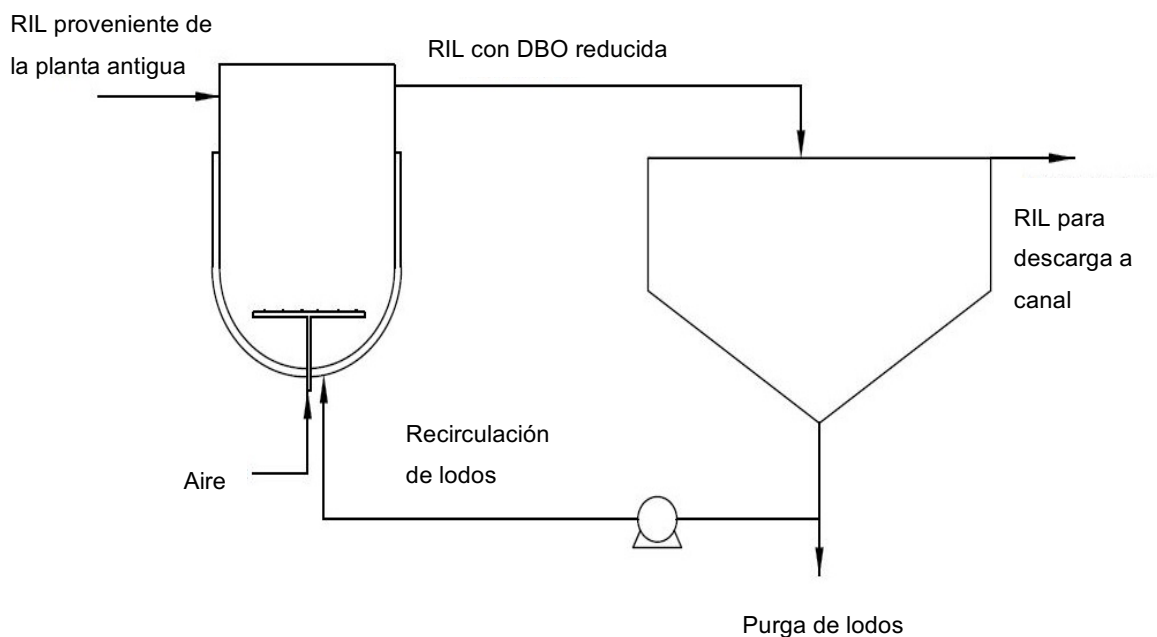


Figura 10. Diagrama de flujo del sistema propuesto

Fuente: Elaboración propia en base al trabajo realizado

El diagrama de flujos muestra el diseño del sistema de lodos activados que debe tener el anexo a la PTR actual de viña Montgras. Se muestran los equipos principales del sistema y las conexiones.

3.7 Proyecciones y Recomendaciones

En la visita en terreno se pudo comprobar la falta de conocimiento sobre el sistema de tratamiento. Esto ocurre por diversos motivos. En primer lugar, no se sabe con exactitud la cantidad de aire que se le entrega a los RILes en la piscina. Sumado a esto, los aireadores fallan constantemente debido a la suciedad de los equipos. Además, se debe hacer una limpieza de lodos desde el fondo de la piscina, ya que en todos sus años de funcionamiento aún no se ha realizado. Todos estos antecedentes explican el mal desempeño del sistema y que los valores de los parámetros se encuentren muy por sobre la norma de riego, que es la medida que aplica en este momento.

De acuerdo a la configuración de la planta, se propone instalar el sistema donde actualmente se encuentra el estanque para riego, lugar por donde sale el efluente de la PTR. Así, se puede utilizar la misma bomba para sacar RILes de la piscina actual al nuevo anexo, considerando para esta decisión que la viña decidió conectar el sistema en serie al actual, mejorando la eficiencia del proceso. En este sentido, según las opciones mostradas en la Tabla 11. Diseños propuestos en base al volumen del estanque) se propone la opción 2, de diseño cilíndrico, debido a que una mayor altura permite un mayor tiempo de residencia de burbuja, lo que favorece la transferencia de aire y la eficiencia del sistema. Además, un diseño cilíndrico evita volúmenes muertos dentro del reactor.

Para que el sistema de lodos activados propuesto a viña Montgras funcione correctamente se sugieren las siguientes indicaciones.

En primer lugar, se sugiere consultar un equipo de ingeniería para desarrollar la ingeniería de detalle e implementar el proyecto propuesto. Además se debe consultar a un equipo técnico que realice la modificación a la Declaración de Impacto Ambiental, requisito necesario para ejecutar el proyecto.

Además de ejecutar el proyecto, se propone capacitar a los colaboradores encargados de la operación de la planta sobre los procedimientos y la importancia del cuidado de los equipos, principalmente de aireación. Una buena mantención del sistema permitirá que este funcione según lo esperado.

Con el objetivo de utilizar los mismos lodos que actualmente tiene la piscina de aireación como lodos activados, resulta conveniente adicionar algunos nutrientes para que las bacterias que descompondrán la materia orgánica logren realizar un trabajo eficiente. Estos nutrientes se adicionan a los RILES, al momento de ingresar al estanque de lodos activados, donde se puede adicionar urea para el nitrógeno y MAP (fosfato mono ácido) para el fosfato. Esto contribuirá a mejorar el rendimiento del sistema, pero no es indispensable debido a la naturaleza de los RILES. Para tener una buena calidad de lodos activados, se sugiere sacar lodos de la piscina de riles en época de vendimia (de marzo a junio), debido a que es en ese momento cuando hay mayor cantidad de biomasa con alto contenido de materia orgánica, donde la DBO_5 llega a niveles máximos para fines de este periodo, y alto contenido de microorganismos. Como se mostró en la Tabla 9, los lodos disponibles en época de no vendimia no poseen las características necesarias para ser utilizados como lodos activados. En esas condiciones el sistema de tratamiento obtiene su mayor eficiencia. De acuerdo a datos encontrados en bibliografía se sugiere una concentración de lodos activados en el reactor de aireación de entre 3 a 5 g/l de RIL, aproximadamente (Spanjers, 2010).

Finalmente, para mejorar el desempeño del sistema, es necesario realizar una mantención completa a la PTR actual. Se sugiere limpiar los lodos de la piscina, pues no se han eliminado desde la construcción de esta. El no realizar esta limpieza hace el proceso de aireación menos eficiente. Además, los aireadores no funcionan correctamente, debido a que deben remover los RILES con más sólidos suspendidos de lo que pueden. Junto con esta limpieza, es necesario conocer la real capacidad de aireación de los aireadores de la piscina, ya que estos son utilizados en su máxima capacidad, sin saber cuál es la real necesidad de los RILES de la piscina.

IV. CONCLUSIONES

- Se observó la necesidad y urgencia que tiene la construcción de un anexo a la PTR actual de viña Montgras. Este anexo debe lograr disminuir los parámetros relevantes que establece el DS 90, permitiendo la descarga del efluente de la planta de tratamiento a un canal cercano, cumpliendo con los límites establecidos en el decreto respecto a DBO_5 y Sólidos Suspendidos, principalmente.
- Del diagnóstico de las condiciones actuales de trabajo se observó que no solo es necesario aplicar un nuevo sistema de tratamiento, sino que también se debe mejorar la condición de manejo de cualquier sistema que se implemente. Si no se cambia la manera de trabajar y se cuida el sistema de tratamiento, no se van a obtener los resultados esperados de este.
- Se determinó que el sistema de lodos activados es el más adecuado para el caso en estudio. Este sistema que se conecta en serie al sistema actual, es de fácil utilización y se ha utilizado por otras viñas en Chile, lo que justifica su selección como método más adecuado para viña Montgras. Además posee alto porcentaje de remoción de contaminantes, siendo esta característica muy relevante para la selección del método, debido a que se espera reducir los contaminantes hasta niveles tan bajos que permitan su descarga directa aun cuerpo de agua superficial sin dañarlo, de acuerdo a las exigencias del DS N°90.
- El sistema piloto no sirvió para comprobar la posible implementación del sistema debido a que fue mal ejecutado. Resulta necesario implementar un nuevo sistema piloto que considere un estudio previo del tipo y contenido de microorganismos presentes en los lodos, además del acondicionamiento de estos al sistema. Esto permitirá comprobar si efectivamente el sistema logra reducir los contaminantes hasta los límites permitidos por el DS N°90.
- Todos los cálculos desarrollados en el dimensionamiento de equipos del sistema propuesto deben ser respaldados por un equipo experto de ingeniería, quienes aplicarán el sistema propuesto para viña Montgras, además de realizar la correspondiente modificación a la Declaración de Impacto Ambiental, exigida por el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Barrios Pérez, J. A. (2009). Aspectos Generales del Manejo de Lodos. Curso sobre manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de Plantas de Tratamiento.
- C. Ruiz, M. Torrijos, P. Sousbie, J.L. Martinez, R. Moletta, J. Delgenes, J. van, & Lier, H. L. (n.d.). Treatment of winery wastewater by an anaerobic sequencing batch reactor, in: *Anaerobic Digestion: Concepts, Limits and Perspectives*. In *9th World Congress on Anaerobic Digestion, Antwerp, Belgium* (pp. 219–224).
- Cabrera, A., Moreno, N., Norambuena, F., & Sandoval, F. (2011). *Tratamiento de RILes en industrias vitivinícolas. Alternativas de tratamiento*.
- Cortés, I., & Montalvo, S. (2010). *Aguas: Calidad y Contaminación. Un Enfoque Químico Ambiental*. Santiago, Chile.
- Delgado, J., Rennola, L., & Lugo, S. (2006). Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vinazas de una destilería. *Revista Ciencia E Ingeniería*, 27(3), 145–151.
- Droste, R. L. (1997). *Theory and practice of water and waste water treatment*. Jhon Wiley and Sons, Inc. Canada.
- Eddy & Metcalf. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tomo I*. (México: Mc).
- G. Andreottola, M. Cadonna, P. Foladori, G. Gatti, F. Lorenzi, P. N. (2007). Heavy metal removal from winery wastewater in the case of restrictive discharge regulation. *Water Sci. Technol.*, 56 (2), 111–120.
- Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th Editio).
- Ioannou, L. A., Puma, G. L., & Fatta-Kassinou, D. (2015). Treatment of winery wastewater by physicochemical, biological and advanced processes: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 286, 343–368. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.043>
- Knobelsdorf Miranda, M. J. (2005). *Eliminación Biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP*. Barcelona.
- L. Rizzo, G. Lofrano, V. B. (2010). Olive mill and winery wastewaters pre-treatment by coagulation with chitosan. *Sci. Technol.*, 45 (16), 2447–2452.
- M. Keyser, R. Witthuhn, L. Ronquest, T. B. (2003). Treatment of winery effluent

with upflow anaerobic sludge blanket (UASB)-granular sludges enriched with *Enterobacter sakazakii*. *Biotechnol. Lett.*, 25 (22), 1893–1898.

- Ministerio de Obras Públicas. Norma Chilena 1333. Sobre requisitos de calidad del agua para diferentes usos (1978).
- Ministerio de Obras Públicas. (1995). Decreto 545 Declara Normas Oficiales de la República de Chile, 1.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Decreto Supremo N° 90 Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, Pub. L. No. DS N° 90 (2001). Chile.
- Montgras. (2014). Montgras. Retrieved March 9, 2016, from www.montgras.cl
- Peña Guzmán, C. A. (2012). *Control de Oxígeno Disuelto en un Tanque de Aireación de una Planta Piloto de Lodos Activados*. Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana.
- Petruccioli, M., Cardoso Duarte, J., Eusebio, A., & Federici, F. (2002). Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor. *Process Biochemistry*, 37(8), 821–829. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00280-1](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00280-1)
- R. Ferrarini, A. Versari, S. G. (2001). A preliminary comparison between nanofiltration and reverse osmosis membranes for grape juice treatment. *Food Process Eng.*, 50 (2), 113–116.
- SAG. (2014). Evolucion de la superficie plantada de vides para vinificación años 1995 - 2014, 4–5.
- SAG, M. de A. (2004). *Guía : Condiciones Básicas para la Aplicación de RILes de Agroindustrias en Riego*.
- Seguel, C. (2004). *Producción más limpia en plantas vitivinícolas orientada a la gestión de residuos líquidos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil*. Santiago, Chile. Universidad de Chile.
- SINIA, C. (1999). *Tecnología de Lodos Activados*. Sinia. Retrieved from http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf
- Spanjers, H. (2010). *Sanitary Enigineering Wastewater Treatment. Lecture 4: Activated sludge process*. Holland: Delft University of Technology. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=zwDcMICfXw>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (1998). *Manual de Aplicación Decreto Supremo N° 609*. Santiago, Chile.
- Trujillo, A. (2011). *Revisión y Modificación de la Declaración de Impacto*

Ambiental y Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de RILES viña Correa Albano. Memoria para optar al título de Químico Ambiental. Santiago, Chile, Universidad de Chile.

- US-EPA. (1999). *Wastewater technology fact sheet. Sequencing batch reactors.*
- Valderrama, C. (2008). *Guía de Prácticas Ambientales para la Vitivinicultura. Memoria para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.* Santiago, Chile, Universidad de Chile.
- Viña Concha y Toro S.A. (2003). *Declaración de Impacto Ambiental. Sistema de Tratamiento Residuos Industriales Líquidos.*
- Viña Montgras. (2007). *Declaración de Impacto Ambiental. Implementación de una Planta de RILES.* Provincia de Colchagua, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile.

ANEXOS

ANEXO 1. Fotografía del sistema actual de tratamiento de Residuos Líquidos





ANEXO 2. Datos parámetros efluente piscina de Residuos Líquidos

Mes	DBO₅ [mg/l]	SS [mg/l]	NTK [mg/l]	Fósforo Total [mg/l]
Enero	105	10	3,2	0,05
Febrero	< 2	220,8	8,5	2,41
Marzo	1194	1610	77,8	0,21
Abril	1858	1188	51,5	0,32
Mayo	1918	555	74,8	2,96
Junio	2388	4914	335,3	3,36
Julio	500	386	50,5	1,28
Agosto	1117	392	3,7	3,14
Septiembre	967	588	36,6	3,24
Octubre	1730	549	48,9	3,94
Noviembre	2052	213,8	31,6	3,54
Diciembre	1973	101,5	21,5	0,71

ANEXO 3. Dimensionamiento sistema piloto

Las dimensiones del sistema piloto se desarrollaron como se muestra a continuación.

Considerando el volumen del estanque de aireación utilizado de 50 L, el TRH de 6 horas y la DBO₅ más alta medida durante el año 2015, correspondiente al mes de junio, con un valor de 2.388 mg/L más un 10% como factor de seguridad quedando en 2.700 mg/L, se calculó el caudal de aire necesario a inyectar al sistema piloto.

Se calculó los miligramos de materia orgánica en forma de DBO₅ contenidos en el estanque de lodos activados piloto de 50 L.

$$\text{DBO}_5 = \text{Volumen}_{\text{Estanque}} * \text{DBO}_5$$

$$\text{DBO}_5 = 50 \text{ [L]} * 2.700 \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right]$$

$$\text{DBO}_5 = 135.000 \text{ [mg]}$$

Considerando que la relación de miligramos de O₂ requeridos para cada miligramo de DBO₅, se obtuvo la cantidad de oxígeno necesaria para la cantidad de DBO₅ presente en el RIL.

$$\text{O}_2 = \text{Miligramos DBO}_5 * \text{Relación O}_2/\text{DBO}_5$$

$$\text{O}_2 = 135.000 \text{ [mgDBO}_5] * 1,50 \text{ [mgO}_2/\text{mgDBO}_5]$$

$$\text{O}_2 = 202.500 \text{ [mg]}$$

En gramos:

$$\text{O}_2 = 202,50 \text{ [g]}$$

Considerando la Masa Molar, en moles:

$$\text{O}_2 = \frac{202,50 \text{ [g]}}{32 \text{ [g/mol]}}$$

$$\text{O}_2 = 6,33 \text{ [moles]}$$

Considerando la Ley de los gases ideales: $P V = n R T$

Donde,

$$P = \text{Presión [atm]} \quad R = \text{constante de los gases} = 0,082 \left[\frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \right]$$

$$V = \text{Volumen [l]} \quad T = \text{Temperatura [°K]}$$

$$n = \text{Moles}$$

Se calcula el volumen de oxígeno necesario para el sistema.

$$V = \frac{n R T}{P}$$

$$V_{\text{Oxígeno}} = \frac{6,33 \text{ [moles]} * 0,082 \left[\frac{\text{atm l}}{\text{mol K}} \right] * 298 \text{ [°K]}}{1 \text{ [atm]}}$$

$$V_{\text{Oxígeno}} = 154,63 \text{ [lOxígeno]}$$

Considerando que el porcentaje de oxígeno en el aire es de aproximadamente 21 %, se puede calcular el volumen de aire necesario para contener el volumen de oxígeno calculado.

$$\frac{V_{\text{Aire}}}{V_{\text{Oxígeno}}} = \frac{100\%}{21\%}$$

$$V_{\text{Aire}} = \frac{154,63 * 100}{21}$$

$$V_{\text{Aire}} = 736,35 \text{ [lAire]}$$

Finalmente, considerando el TRH de 6 horas, podemos obtener el caudal de aire necesario a inyectar al sistema.

$$Q_{\text{Aire}} = \frac{V_{\text{Aire}}}{\text{TRH}}$$

$$Q_{\text{Aire}} = \frac{736,35 \text{ [lAire]}}{6 \text{ [h]}}$$

$$Q_{\text{Aire}} = 122,73 \left[\frac{\text{lAire}}{\text{h}} \right]$$

En Litros de aire por minuto:

$$Q_{\text{Aire}} = 2,05 \left[\frac{\text{lAire}}{\text{min}} \right]$$

ANEXO 4. Dimensionamiento sistema propuesto

Las dimensiones de los equipos fueron calculadas como se muestra a continuación.

Estanque de lodos activados

Para el sistema se estableció un tiempo de retención hidráulica (TRH) de seis horas. Este es el tiempo que debe estar en aireación los lodos activados y el RIL a tratar.

Considerando el caudal máximo mensual de RILes generados por la viña, se estableció el caudal de residuos a tratar. Este caudal es de 3.657 [m³/mes], valor que corresponde al mes de marzo de 2016.

Con estos dos valores, se pudo calcular el volumen que debe tener el estanque de aireación, como se muestra a continuación:

$$V = Q * TRH$$

$$V = \left(3657 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right] \left[\frac{1 \text{ mes}}{30,42 \text{ días}} \right] \left[\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right] \right) * (6 \text{ h})$$

$$V = 30,06 \text{ [m}^3\text{]}$$

En el diseño del estanque de aireación es necesario considerar un volumen mayor al calculado debido a posibles modificaciones del sistema. Además, la aireación provocará turbulencias, las que pueden generar rebalses no deseados. Debido a esto, es que para el estanque de aireación se calculó un volumen de un 20% más, es decir:

$$V = 36,07 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V = 36 \text{ [m}^3\text{]}$$

Aireación

Para el cálculo de la aireación se consideró el valor de DBO₅ más alto medido durante el año 2015, el cual corresponde a 2.388 [mg/L], medido el mes de junio de 2015. A este valor, se le consideró un 10% más, dando la posibilidad de tener variaciones en el futuro, obteniendo un valor final para los cálculos de 2.700 [mg/L] de

DBO₅. Se calculó los miligramos de materia orgánica en forma de DBO₅ contenidos en el estanque de lodos activados.

$$\text{DBO}_5 = \text{Volumen}_{\text{Estanque}} * \text{DBO}_5$$

$$\text{DBO}_5 = 36068,65 \text{ [l]} * 2700 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

$$\text{DBO}_5 = 97.385.343,72 \text{ [mg]}$$

Considerando que la relación de miligramos de O₂ requeridos para cada miligramo de DBO₅, se obtuvo la cantidad de oxígeno necesaria para la cantidad de DBO₅ presente en el RIL.

$$\text{O}_2 = \text{Miligramos DBO}_5 * \text{Relación O}_2/\text{DBO}_5$$

$$\text{O}_2 = 97.385.343,72 \text{ [mgDBO}_5] * 1,50 \text{ [mgO}_2/\text{mgDBO}_5]$$

$$\text{O}_2 = 146.078.015,58 \text{ [mg]}$$

En gramos:

$$\text{O}_2 = 146.078,02 \text{ [g]}$$

Considerando la Masa Molar, en moles:

$$\text{O}_2 = \frac{146.078,02 \text{ [g]}}{32 \text{ [g/mol]}}$$

$$\text{O}_2 = 4.564,94 \text{ [moles]}$$

Considerando la Ley de los gases ideales: $P V = n R T$

Donde,

P = Presión [atm]

R = constante de los gases = $0,082 \left[\frac{\text{atm l}}{\text{mol K}} \right]$

V = Volumen [l]

T = Temperatura [°K]

n = Moles

Se calcula el volumen de oxígeno necesario para el sistema.

$$V = \frac{n R T}{P}$$

$$V_{\text{Oxígeno}} = \frac{4.564,94 \text{ [moles]} * 0,082 \left[\frac{\text{atm l}}{\text{mol K}} \right] * 298 \text{ [°K]}}{1 \text{ [atm]}}$$

$$V_{\text{Oxígeno}} = 111.548,82 \text{ [lOxígeno]}$$

Considerando que el porcentaje de oxígeno en el aire es de aproximadamente 21 %, se puede calcular el volumen de aire necesario para contener el volumen de oxígeno calculado.

$$\frac{V_{\text{Aire}}}{V_{\text{Oxígeno}}} = \frac{100\%}{21\%}$$

$$V_{\text{Aire}} = \frac{111.548,82 * 100}{21}$$

$$V_{\text{Aire}} = 531.184,88 \text{ [lAire]}$$

Finalmente, considerando el TRH de 6 horas, podemos obtener el caudal de aire necesario a inyectar al sistema.

$$Q_{\text{Aire}} = \frac{V_{\text{Aire}}}{\text{TRH}}$$

$$Q_{\text{Aire}} = \frac{531.184,88 \text{ [lAire]}}{6 \text{ [h]}}$$

$$Q_{\text{Aire}} = 88.530,81 \left[\frac{\text{lAire}}{\text{h}} \right]$$

En Litros de aire por minuto:

$$Q_{\text{Aire}} = 1.475,51 \left[\frac{\text{lAire}}{\text{min}} \right]$$

$$Q_{\text{Aire}} = 1.476 \left[\frac{\text{lAire}}{\text{min}} \right]$$

Sedimentación

Para dimensionar el sedimentador, lo ideal es hacer una prueba de sedimentación con el RIL con los lodos activados. Aquí, se mide la velocidad de sedimentación de los sólidos, observando cuanto porcentaje de sólido hay presente en el sistema. Este experimento no se pudo realizar para este trabajo, sin embargo, se proponen las dimensiones de volumen y área del sedimentador en base a un escalamiento de un sistema análogo encontrado en la revisión bibliográfica (Petruccioli, Cardoso Duarte, Eusebio & Federici, 2002). Las dimensiones calculadas son las siguientes.

Volumen sedimentador:

$$V_{\text{Sedimentador}} = 24,05 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{Sedimentador}} = 24 \text{ [m}^3\text{]}$$

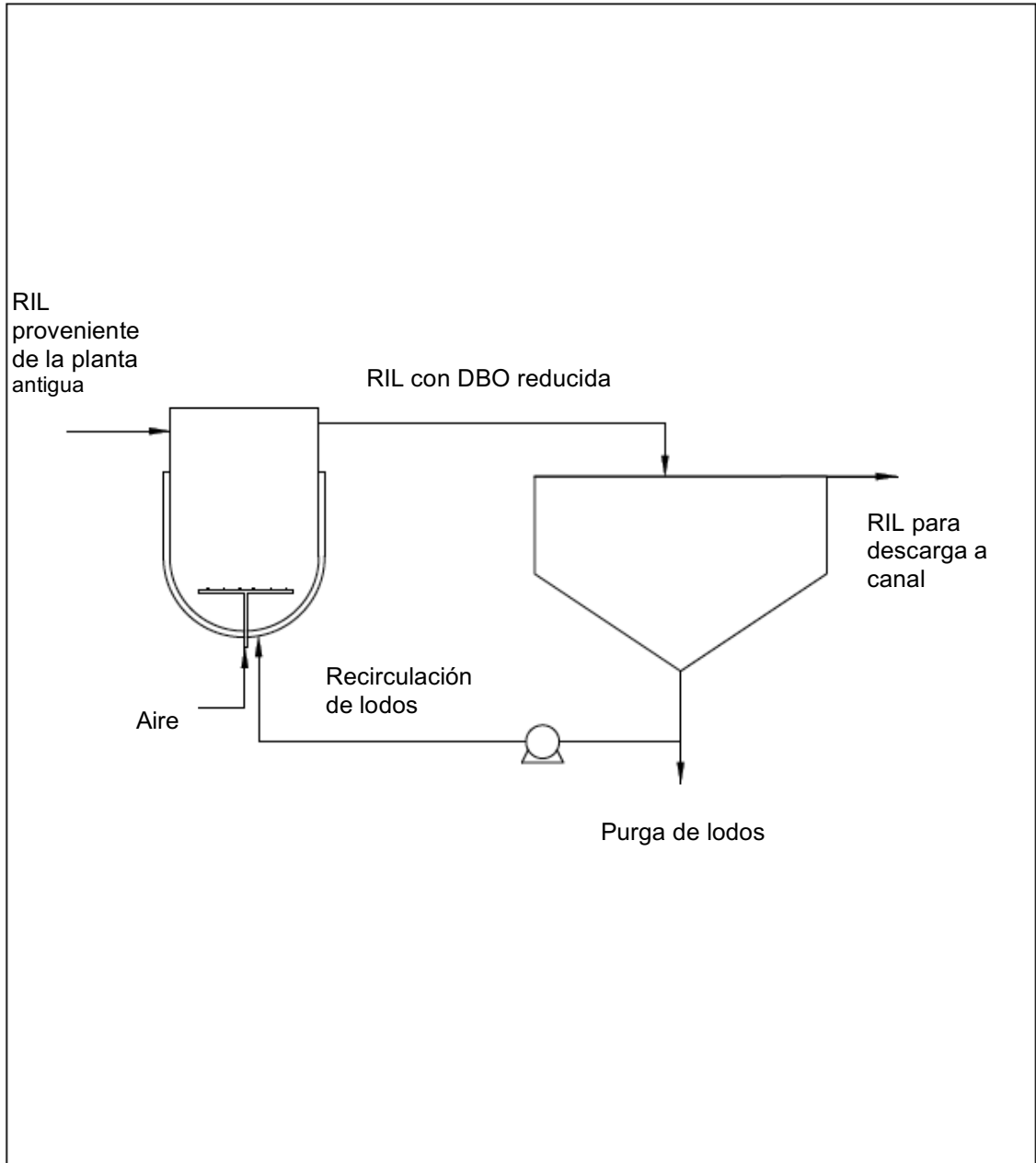
Área superficial:

$$A_{\text{Sedimentador}} = 62,12 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{Sedimentador}} = 62 \text{ [m}^2\text{]}$$

Desde el sedimentador debe haber una línea de recirculación hacia el estanque de lodos activados y una purga de lodos. La purga debe ser igual a la producción de lodos, y la recirculación debe ser del 15% del total de producción de lodos para mantener la concentración en el estanque de aireación.

ANEXO 5. Diagrama de flujos sistema propuesto



Universidad de Chile

Facultad de Ciencias

TEMA: Propuesta de anexo a planta de tratamiento de RILes para viña Montgras

TITULO: Diagrama de flujo sistema de Lodos Activados

		Prof. Patrocinante:	Julio Hidalgo	Seminario de Título	
Fecha:	20/01/2017	Director:	Matias Lema	Titular:	Marcela Camps de la Maza
Plano:	1 de 1	Co director:	José Hurtado		