



Universidad del Bío-Bío  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería en Maderas  
Escuela Ingeniería Civil Química



**MEJORAMIENTO EN DISEÑO, GESTIÓN Y OPERACIÓN DE  
LA PLANTA DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS  
DE ASMAR PROVENIENTES DEL PROCESO DE  
LIMPIEZA QUÍMICA**

Informe de Habilitación Profesional presentado en conformidad a los requisitos  
para obtener el título de Ingeniero Civil Químico

**MIGUEL IGNACIO LEYTON ROJAS.**

Profesor Tutor: Jorge Saavedra M.  
Ingeniero Supervisor: Nicolás Lisperguer M.

Concepción, 23 de agosto del 2021

## RESUMEN

En este trabajo se estudiaron consideraciones técnicas y económicas en términos de rediseño, sistema operacional y gestión, en la planta de RILes (Residuos Industriales Líquidos) de la empresa ASMAR Talcahuano, para la optimización en el flujo del RIL, cumplir con todos los límites estipulados del D.S. N° 90 y un manejo controlado en mantención de equipos e insumos. En este contexto, para el rediseño de sectores críticos de la planta de RILes, se incorporaron tramos de cañerías, válvulas y bombas. Para los insumos químicos que afectaban el proceso de coagulación se realizó el método de Prueba de Jarras. También, se elaboraron planillas de mantención de equipos e insumos en bodega. Como resultados, en la planta de RILes se obtuvo un incremento de 69% en agua tratada. Además, al implementarse en planta las dosificaciones empleadas en el método de Prueba de Jarras, se logró cumplir con todos los parámetros estipulados por el D.S. N° 90. Asimismo, no hubo detención en la planta de RILes por fallas en equipos o falta de insumos mediante el uso diario de planillas. Con este trabajo, se concluyó que era indispensable, para una optimización de la circulación en el flujo del RIL respecto a su condición original, un cambio del diseño de la planta de RILes. Igualmente, visto que todos los RILes poseen diferentes cargas de contaminantes, no deben emplearse como referencia dosificaciones de productos químicos utilizadas en otras plantas de RILes, porque la dosificación óptima es específica en cada caso. Por último, la implementación de un sistema de gestión a la planta de RILes fue esencial, ya que contribuyó a evitar la detención en el proceso por falta de insumos o fallas en equipos.

## **AGRADECIMIENTOS Y/O DEDICATORIA.**

En primer lugar quiero agradecer a Dios por darme fuerzas, guiarme en la vida y ayudarme a todos los días ser una mejor persona.

Agradecer a mi madre Claudia Rojas y mi padre Miguel Leyton que siempre me han brindado su apoyo incondicional para llegar a ser la persona de hoy en día, siempre han estado en las buenas y en las malas conmigo, dándome una mano en cada momento.

A mi hermana Bárbara Leyton, mi compañera de vida, por el amor infinito que me entrega todos los días y darme la tranquilidad de que tengo a una persona que pase lo que pase siempre estará ahí conmigo.

A todos mis amigos de la vida, que me han apoyado, brindado alegría y aconsejándome en cada momento que lo necesitaba; por hacerme feliz día a día y por todos los recuerdos bonitos que me han generado a lo largo de este camino.

También quiero agradecer a todo el personal del Taller 57 de la Empresa ASMAR Talcahuano, los cuales me acogieron y confiaron en mi, respecto a las propuestas que se iban presentando para ponerlas en práctica.

No dejar de lado al apoyo de mis compañeros y amigos de la universidad que siempre han estado ahí apoyándome y otorgándome alegría para hacer de estos años universitarios los mejores de mi vida.

Y por último y no menos importante, darles las gracias a todos los profesores de la Universidad del Bío-Bío que me aportaron con parte de sus conocimientos, en especial a mi profesor guía Dr. Jorge Saavedra, por toda la disponibilidad y apoyo para haber realizado este presente trabajo.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	ii
TABLA DE CONTENIDOS	iii
NOMENCLATURA	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO SITUACIÓN PROBLEMA	3
3. MARCO REFERENCIAL	5
3.1. Descripción del proceso de limpieza química.	5
3.2. Descripción histórica del proceso de la planta de tratamiento de RILes de ASMAR Talcahuano.	7
3.3. Normativas vigentes aplicables a los RILes generados por ASMAR.	13
3.4. Proceso de coagulación – floculación.	15
3.5. Métodos para la determinación óptima de coagulantes.	17
3.6. Caracterización del Bioreactor MBBR.	20
4. OBJETIVOS	23
4.1. Objetivo general	23
4.2. Objetivos específicos	23
5. METODOLOGÍA	24
5.1. Metodología para el rediseño en sectores críticos de la planta de RILes	24
5.2. Metodología para la evaluación del sistema operacional histórico	25
5.3. Metodología para la incorporación de un sistema de gestión	29
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1. Resultados para el rediseño en sectores críticos de la planta de RILes	30
6.2. Resultados para la evaluación del sistema operacional histórico	33
6.3. Resultados para la incorporación de un sistema de gestión	42
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
8. REFERENCIAS	46
9. ANEXOS	49

## NOMENCLATURA

RILes: Residuos Industriales Líquidos.

RIL crudo: Residuos Industriales Líquidos no tratados.

D.S.: Decreto Supremo.

Biorreactor MBBR: Biorreactor de Biopelícula de Lecho Móvil  
(*Moving Bed Biofilm Reactor*).

SPL: Supervisor Primera Línea.

RISes: Residuos Industriales Sólidos.

CAT: Centro de Acopio Temporal.

PLC: Computador Lógico Programable (*Programmable Logic Computer*).

ORP: Potencial Oxido Reducción (*Oxidation Reduction Potential*).

PTR: Planta de Tratamientos de Residuos líquidos.

Lodos: Residuos semi-sólidos provenientes del tratamiento de agua.

FeCl<sub>3</sub>: Cloruro Férrico.

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

µm: micrómetro.

RPM: Revoluciones Por Minuto.

GPH: Galones Por Hora.

Ca(OH)<sub>2</sub>: Hidróxido de Calcio.

NaOH: Hidróxido de Sodio.

PACl: Policloruro de Aluminio.

NaClO: Hipoclorito de Sodio.

PAC: Polímeros de Amonio Cuaternario.

*Biocarriers*: Soportes inertes.

*Biofilms*: Biopelículas.

ppm: partes por millón.

SAAM: Surfactantes aniónicos.

HCl: Ácido Clorhídrico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujos en planta de RILes ASMAR Talcahuano.	9
Figura 2: Biorreactor MBBR, (a) antes y (b) después de implementación del sistema de dosificación de antiespumante.	30
Figura 3: Esquema de recirculación para el agua de descarte del filtro de prensa hacia estanque agua clarificada.	32
Figura 4: Esquema de desagüe para agua de lodo prensado.	32
Figura 5: Resultados Prueba de Jarras para las muestras 1, 2 y 3 con diferentes dosificaciones de $\text{Ca(OH)}_2$ empleadas en la Tabla 4, pasados 20 minutos de reposo.	34
Figura 6: Resultados Prueba de Jarras para las muestras 4, 5 y 6 con diferentes dosificaciones de $\text{Ca(OH)}_2$ empleadas en la Tabla 4, pasados 20 minutos de reposo.	34
Figura 7: Resultados Prueba de Jarras para las muestras 7, 8 y 9 con diferentes dosificaciones de $\text{Ca(OH)}_2$ empleadas en la Tabla 4, pasados 20 minutos de reposo.	35
Figura 8: Resultados Prueba de Jarras con diferentes dosificaciones de $\text{Ca(OH)}_2$ empleadas en la Tabla 4, pasados 1 hora de reposo.	35
Figura 9: (a) Muestra de salida de RIL del sedimentador primario después de aplicar a nivel de planta la Prueba de Jarras y cambio de bomba y (b) muestra inicial del proceso sin los análisis mencionados.	36
Figura 10: Resultados Prueba de Jarras para la muestra 2 de $\text{Ca(OH)}_2$ con dosificación empleada en la Tabla 4 y (a) sin aplicación de NaOH v/s (b) con aplicación de NaOH, pasado 20 minutos de reposo.	37
Figura 11: Resultados Prueba de Jarras para la muestra 2 con dosificación empleada en la Tabla 4 de $\text{Ca(OH)}_2$ (a) sin agitación v/s (b) con agitación pasado 20 minutos de reposo.	38
Figura 12: Resultados Prueba de Jarras para (a) con PAC v/s (b) sin PAC, pasado 20 minutos de reposo.	39
Figura 13: RIL tratado por PTR, (a) antes y (b) después de implementación a nivel planta de los resultados del método de Prueba de Jarras.	40

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Valores de contaminantes de RIL crudo y RIL tratado por la PTR.	12
Tabla 2: Límites máximos permitidos por el D.S. N° 90 para cuerpos de agua dentro de la zona de protección litoral.	14
Tabla 3: Dosificaciones seleccionadas para la Prueba de Jarras con $\text{Ca(OH)}_2$ .	27
Tabla 4: Configuración de muestras para Prueba de Jarras con $\text{Ca(OH)}_2$ .	27
Tabla 5: Contaminantes para el agua de descarte del filtro de prensas.	31
Tabla 6: Dimensionamiento diario de la muestra 2 con dosificación de $\text{Ca(OH)}_2$ empleado en la Tabla 4 a nivel planta.	35
Tabla 7: Dimensionamiento diario de HCl a nivel de la planta.	37
Tabla 8: Valores de agua tratada con las dosificaciones de productos químicos óptimos determinados por Prueba de Jarras.	40
Tabla 9: Ahorro mensual a nivel de planta de insumos químicos analizados por el método de Prueba de Jarras.	42
Tabla 10: Gastos mensuales de insumos en la PTR.	43

## 1. INTRODUCCIÓN.

ASMAR es una empresa del Estado, del área de la industria naval, donde su actividad principal es satisfacer las necesidades de reparación, construcción de buques y artefactos para la Armada de Chile y terceros.

En la maestranza de limpieza química, los componentes de buques como cañerías, intercambiadores de calor, válvulas, evaporadores, entre otros, pasan por un proceso de limpieza química, que genera RILes (Residuos Industriales Líquidos) con alta carga de contaminantes. Durante el 2020 se construye, producto del proceso de lavado químico, una PTR (Planta de Tratamiento de RILes) para remover la mayor cantidad de contaminantes del RIL.

El proceso que se aplica para los RILes, provenientes de la maestranza de limpieza química hacia la PTR, es un tratamiento físico-químico-biológico de flujo continuo. En el sedimentador primario, se le agrega al RIL el agente coagulante Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) y para incrementar el pH, el producto químico Hidróxido de Sodio (NaOH). Para el sedimentador secundario, se le adiciona como coagulante el químico de Polímeros de Amonio Cuaternario (PAC). Además, para remover agentes patógenos, se le aplica Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaClO}$ ). En el caso del tratamiento biológico secundario, mediante un biorreactor MBBR (Biorreactor de Biopelícula de Lecho Móvil, del inglés *Moving Bed Biofilm Reactor*), se aplica una mezcla sinérgica de microorganismos del género *Bacillus* especialmente seleccionados y adaptados para degradar compuestos orgánicos presentes en los RILes. Para el control de espuma se agrega agente antiespumante.



Si bien, la planta de tratamiento de RILes se encuentra en funcionamiento actualmente, presenta falencias de diseño, provocando una pérdida continua de RIL semi-tratado y mayor requerimiento en manejo operacional. Adicionalmente, se encuentran falencias en el sistema de operación, causando que algunos parámetros se encuentren fuera del límite máximo permisible descrito en el D.S. N °90. Igualmente se detectan deficiencias en el sistema de gestión causando reiterativamente la detención en planta por fallas en equipos o falta de insumos.

En el capítulo del Planteamiento del Problema, se presentan los desafíos de la PTR y la solución propuesta a cada problema planteado. Luego, se presenta una Revisión Bibliográfica del proceso de limpieza química que genera el RIL crudo, el proceso de operación histórica de la planta de RILes, las normativas vigentes para los RILes de ASMAR, entre otros aspectos investigativos. Posteriormente, se describen los Objetivos de este trabajo, donde apuntan a la solución de los problemas planteados, los resultados y beneficios en la PTR. Seguido a esto, se muestran los Métodos y Materiales que se utilizaron para lograr cada uno de los objetivos planteados. También, se analizan los Resultados y Discusiones, considerando los aspectos más relevantes de acuerdo a los objetivos propuestos. Para finalizar, en Conclusiones se presentan las respuestas asociadas a las problemáticas planteadas de este informe, Recomendaciones y/o Sugerencias para una mejora continua en la PTR en cuanto a diseño, gestión y operación.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente la maestranza de limpieza química de ASMAR Talcahuano de Chile, incorporó una planta de tratamiento de RILes para minimizar la generación de contaminantes, tales como, metales pesados, aceites y productos químicos que provienen de la limpieza de componentes de buques para cumplir con los límites estipulados en el D.S. N° 90.

Para desarrollar lo anterior, la PTR (Planta de Tratamiento de RILes) cuenta con equipos e insumos, a saber, coagulantes, antiespumantes, desinfectantes y estabilizadores de pH que, para su correcto funcionamiento deben ser agregados en dosis óptimas considerando aspectos técnicos y económicos.

Hoy en día, en cuanto al RIL tratado y manejo operacional, no existe un diseño técnico para un funcionamiento óptimo de la PTR. Por ejemplo, en el sedimentador secundario se provoca una pérdida continua de RIL semi-tratado y en el estanque del filtro de prensa se produce un rebalse de RIL crudo que un operador debe extraer mediante una manguera.

Por otro lado, la planta de RILes presenta falencias en cuanto al sistema operacional, ya que al aplicar el RIL crudo proveniente de la limpieza química a la PTR, con las dosificaciones de productos químicos aplicados al proceso históricamente, éstos no llegan a cumplir con las exigencias de la Tabla 4 del D.S. N° 90.

En casos extremos se ha llegado a detener la PTR por problemas de falta de insumos y fallas de equipos. La ausencia de un controlador espuma en el biorreactor MBBR (Biorreactor de Biopelícula de Lecho Móvil, del inglés *Moving Bed Biofilm Reactor*), se provocó la inundación con agua de los sopladores de aire, su incendio e impidiendo procesar agua durante 5 días.

En este contexto, que en este trabajo se realizaron consideraciones técnicas para el rediseño de sectores críticos del proceso, mediante la adición de bombas, válvulas y cañerías, para una óptima circulación del RIL y un menor requerimiento en manejo operacional manual en la planta de tratamientos.

También, mediante el método de Prueba de Jarras adaptado a la planta de tratamientos de RILes ASMAR, de acuerdo a la cantidad de agua a tratar por jornada, se evaluaron las dosificaciones óptimas de productos químicos que afectan en el proceso de coagulación ( $\text{Ca(OH)}_2$ , NaOH y PAC).

Por último, para evitar la detención de la planta, como ha ocurrido por falta de algún insumo o fallas de algún equipo en reiteradas ocasiones, se realizó el manejo mediante planillas de todos los insumos requeridos por la planta de tratamiento y la mantención de equipos.

### **3. MARCO REFERENCIAL.**

#### 3.1. Descripción del proceso de limpieza química.

El proceso de limpieza química se basa en la aplicación de productos químicos para la eliminación de cualquier incrustación, óxidos, aceites, grasas y pinturas de piezas provenientes de buques.

##### 3.1.1. Descripción de tinajas con productos químicos.

En las tinajas utilizadas para los procesos de desoxidado ferroso y no ferroso, decapado, despinturante y desengrasante, se utilizan los productos ASM-85, DECRUST-D, Care Strip AL y Orange Emulsifier, respectivamente, todos producidos por la compañía ECOLAB.

Observación: Todos estos antecedentes han sido recopilados a partir de documentos archivados de la empresa.

##### 3.1.2. Método de operación del proceso de limpieza química.

El método de operación de la maestría, parte con el SPL (Supervisor de Primera Línea) el cual identifica el trabajo requerido por el cliente, el número de piezas recibidas, el nombre y el centro de costo. Las piezas deben venir con tarjeta de identificación, desarmadas, libres de abrazaderas, gomas plásticas, revestimientos y aislamiento térmico.

Una vez aceptado el trabajo de las piezas, según el requerimiento de la tarjeta de identificación, existen 2 tipos de proceso de limpieza química que destacan, los cuales son:

- Grado A: Las piezas, sopladas y lavadas interiormente con agua caliente, son sumergidas en la tina de desoxidado ferroso. Dependiendo de las condiciones en que se encuentre la pieza, transcurrido el tiempo necesario, se procede al proceso de

neutralizado/lavado con agua fría y solución inhibidora (producto ASM-91). Un segundo lavado con neutralizador y agua a una temperatura máxima de 70°C, dejando pasar el chorro inhibidor por dentro de la pieza, es realizado. El proceso termina, para las piezas de amoniaco y enfriamiento con el secado por soplador a presión.

En el caso de piezas hidráulicas, después de un preservado con petróleo, son selladas en los extremos con polietileno y cinta adhesiva de papel.

- Grado B: Toda pieza, con el fin de eliminar la mayor cantidad de impurezas, debe ser sometida a un proceso de lavado con agua fría/caliente. Luego, dependiendo de las condiciones de la pieza, es depositada en la tina desengrasante por el tiempo necesario. Posteriormente, las piezas se lavan nuevamente en frío con hidrolavadoras para luego depositarlas en la tina de despintado. Una vez cumplido el tiempo óptimo, la pieza es lavada nuevamente y pasa a la tina de desoxidado. En esta etapa se realiza, para someterlas a la tina correspondiente, se requiere la separación entre los productos ferrosos y no ferrosos. Los elementos ferrosos, trascurrido el tiempo de reposo en la tina y con el objetivo de alcanzar un pH neutro y sacar el exceso de ácido, se sacan y se lavan inmediatamente con solución neutralizante y agua fría. Finalmente, después de ser lavados con una solución neutralizante, a una temperatura máxima de 70°C, son secados con aire a presión.

En el caso de elementos no ferrosos, después del tiempo necesario, son retirados de la tina y lavados con una solución neutralizante con agua fría. A continuación, con solución neutralizante a una temperatura máxima de 70°C, se lavan por proyección. Luego, las piezas son abrillantadas para darles una protección anticorrosiva. Finalmente, se neutralizan con agua fría, enjuagadas con agua caliente y secadas con aire presurizado.

El SPL, una vez aplicado el proceso de limpieza química correspondiente del elemento y para que el producto pueda ser entregado en óptimas condiciones al cliente, debe verificar que las piezas no presenten agentes contaminantes, tales como, aceites, grasas, pinturas u óxidos.

En cuanto a los RISEs (Residuos Industriales Sólidos) peligrosos como paños contaminados, aerosoles, baldes, entre otros, son almacenados en depósitos identificados para ser entregados al CAT (Centro de Acopio Temporal), y en cuanto a los RILEs (Residuos Industriales Líquidos) son tratados por la nueva planta incorporada al sistema.

Observación: Todos estos antecedentes fueron recopilados desde documentos archivados de la empresa.

### 3.2. Descripción histórica del proceso en la planta de tratamiento de RILEs, ASMAR Talcahuano.

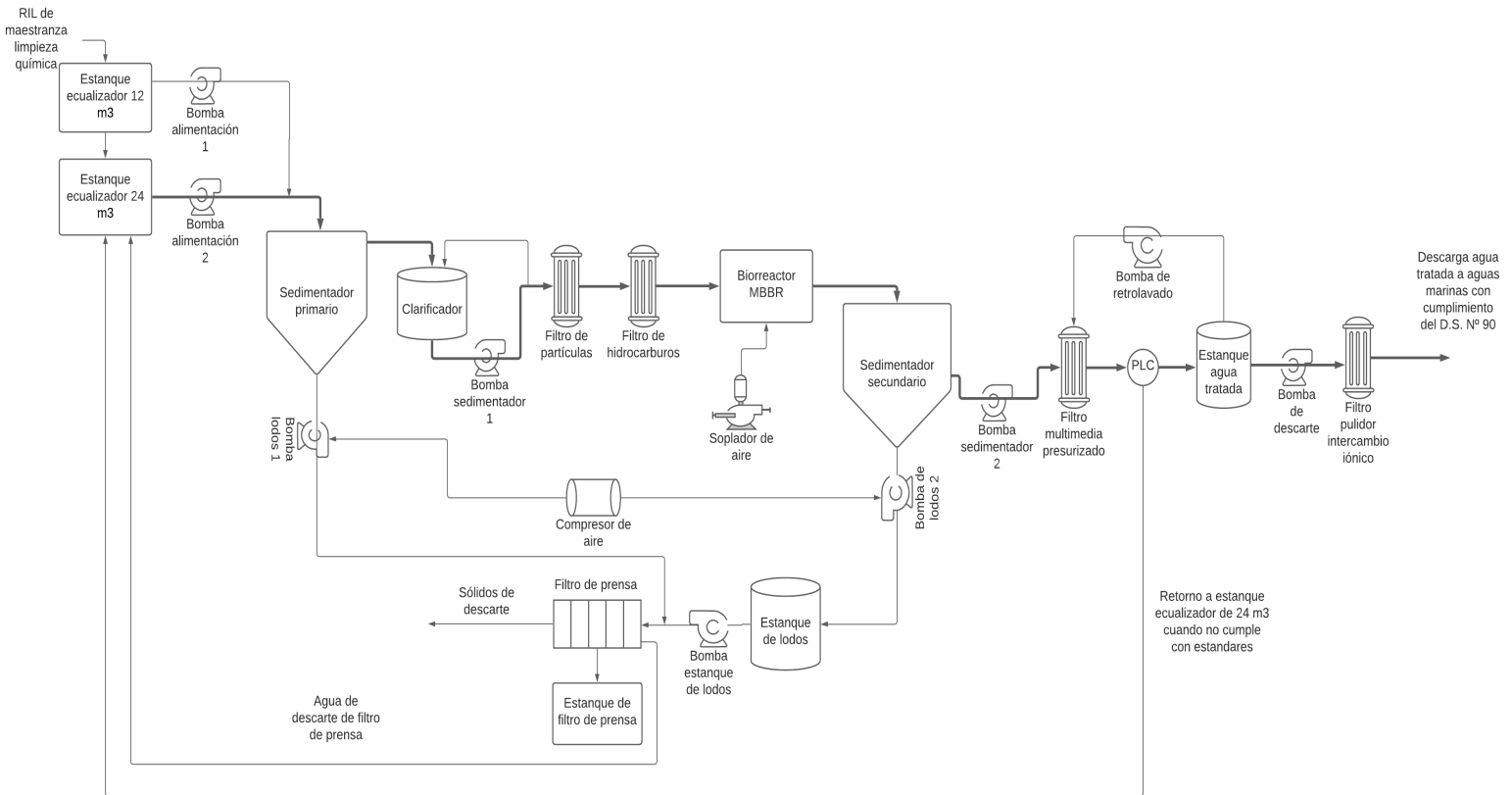
Como se mencionó, el agua ocupada para el proceso de limpieza química genera RILEs con alta carga de contaminantes, tales como, metales pesados, aceites de piezas, productos químicos de tinajas, entre otros, que no cumplen con la normativa chilena. Es por esto, que para reducir el impacto ambiental del proceso, ASMAR incorporó una planta de RILEs con el objetivo de minimizar la carga de contaminantes en el agua.

#### 3.2.1. Etapas del proceso destinado al tratamiento de RILEs.

En esta sección, se describen las funciones de cada uno de los equipos dentro del tratamiento y se exhibe el diagrama de flujos del proceso (ver Figura 1):

- a. Estanques de ecualización: Se acumulan los diferentes RILEs de forma controlada para estabilizar las concentraciones de contaminantes. También es el punto de retorno de los descartes de agua en la PTR.
- b. Sedimentador primario: Remueve, con ayuda de un coagulante a base de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Hidróxido de Calcio), más NaOH (Hidróxido de Sodio) para incrementar el pH del RIL en el sedimentador, la mayor parte de los metales pesados del agua de limpieza química.
- c. Filtro de partículas: Filtro de polipropileno que retiene las partículas más pequeñas de metales y otros sólidos suspendidos mayores a 50  $\mu\text{m}$ .

- d. Filtro de hidrocarburos: Filtro de bolsa relleno de fibras de polipropileno, que disminuye la carga orgánica del agua aumentando la naturaleza hidrófoba del material, eliminando del 85 al 95% de los aceites.
- e. Biorreactor MBBR (Biorreactor de Biopelícula de Lecho Móvil, del inglés *Moving Bed Biofilm Reactor*): Es un biorreactor de lecho móvil aeróbico, que utiliza bacterias liofilizadas del género *Bacillus*, adheridas a *biocarriers* de pellet para su crecimiento en el medio, ocupando un antiespumante de aceite vegetal. En este equipo se eliminan los jabones y tensoactivos del agua, disminuyendo metales, DBO y DQO.
- f. Sedimentador secundario: Separa los fangos orgánicos del agua clarificada con ayuda del producto químico PAC (Polímeros de Amonio Cuaternario).
- g. Filtro multimedia presurizado: Retiene, mediante un lecho de varias capas (antracita, arena y garnet), las partículas y sólidos suspendidos hasta niveles de 5 -15  $\mu\text{m}$ .
- h. Filtro pulidor de intercambio iónico: Termina de atrapar, mediante resinas de carbón activado, todos los remanentes metálicos pesados como iones de fierro, cobre o magnesio que quedan en el RIL.
- i. PLC (Computador Lógico Programable del inglés, *Programmable Logic Computer*): Ayuda con el registro de la calidad del agua que se está procesando hacia el estanque de agua tratada. Registra los valores de temperatura, pH, conductividad y ORP.
- j. Estanque agua tratada: Se acumula el agua con los niveles de calidad adecuados a la legislación chilena.
- k. Estanque de lodos: Se depositan los lodos provenientes del sedimentador secundario.
- l. Filtro de prensas: Retiene todos los lodos, tanto del estanque de lodos, como los del sedimentador primario.



**Figura 1:** Diagrama de flujos en planta de RILes ASMAR Talcahuano. (Elaboración propia).

Observación: Todos estos antecedentes se recopilaron mediante entrevistas con el SPL de la maestranza.



### 3.2.2. Mantenimiento rutinario de la PTR.

- a. Cuando el nivel del estanque de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Hidróxido de Calcio) se encuentre cercano al 30%, se deberá agregar al estanque de preparación de 100 L, 6 kg de componente en polvo. Completar con agua tratada.
- b. Cuando el nivel del estanque de NaOH (Hidróxido de Sodio) se encuentre entre un 20 a 25%, se deberá agregar al estanque de preparación de 100 L, 6 kg de componente cristalino. Completar con agua tratada.
- c. Cuando el nivel del estanque de PAC (Polímeros de Amonio Cuaternario) se encuentre entre un 20 a 25%, se deberá agregar al estanque de preparación de 100 L, 7 L de componente. Completar con agua tratada.
- d. Cuando el nivel del estanque de NaClO (Hipoclorito de Sodio) se encuentre entre un 20 a 25%, se deberá agregar al estanque de preparación de 100 L, 10 L de componente. Completar con agua tratada.
- e. Una vez por semana se deberán agregar al biorreactor MBBR, para incrementar el desarrollo microbiano, 5 frascos de bacterias liofilizadas de 25 ml cada una.
- f. Recambio de filtro de partículas cada 2 semanas o cada 15 m<sup>3</sup> de agua tratada.
- g. Recambio de filtro de hidrocarburos cada 1 mes.
- h. Retro-lavado del filtro multimedia presurizado cada 2 semanas.
- i. Vaciado de estanque de lodos cada 1 semana o cuando el estanque se encuentre en el 60% de su capacidad máxima.
- j. El recambio del filtro pulidor de intercambio iónico, visto por el totalizador de agua que se instaló a la salida de todo el proceso, se realiza cuando el volumen agua tratada llega a los 200 m<sup>3</sup>.
- k. El retiro de los lodos del filtro de prensa, que se percibe cuando el agua empieza a rebalsar por encima de las placas, se hace cuando las placas llegan a su capacidad máxima.

Observación: Todos estos antecedentes fueron recopilado mediante entrevistas con encargado de capacitación proporcionado por la empresa CONECTA, constructora de la planta de RILes.

### 3.2.3. Guía de monitores y control de la PTR.

#### a. Control de pH en el sedimentador primario.

El ajuste se hace a través de la inyección de una solución de NaOH.

Rango pH deseado: 8,0 – 9,8.

pH óptimo: 9,2.

El pH se visualiza mediante el PLC.

#### b. Control de oxígeno disuelto del biorreactor MBBR.

Éste se realiza al interior del biorreactor MBBR midiendo en los 4 vértices de este, sacando el promedio de las 4 mediciones, mediante un analizador de oxígeno disuelto portátil.

Un nivel fuera de rango se ven los resultados al día siguiente.

Rango deseado: 5 – 8 ppm.

Rango óptimo: 6 ppm.

#### c. PLC.

Mediante sensores de calidad, controla el agua tratada. En caso de no cumplir con los parámetros, el agua tratada se recirculará al estanque ecualizador de 24 m<sup>3</sup> y pasará nuevamente por todos los procesos hasta que cumpla con los estándares y poder ser depositada en el tanque de agua tratada.

Parámetros aceptables de descarga:

pH: 6 – 9.

Temperatura: 5 – 35 °C.

Conductividad: 5000 – 50 uS/cm.

Observación: Todos estos antecedentes fueron recopilado desde documentos archivados de la empresa CONECTA.

3.2.4. Valores de contaminantes de los RILes de ASMAR proceso limpieza química.

La empresa OPTIMUS AQUA SPA realizó un control de las muestras de aguas residuales, donde se midieron diferentes tipos de contaminantes para la determinación del nivel de remoción que presentaba la PTR con respecto al RIL crudo generado por el proceso de limpieza química, los cuales se visualizan en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Valores de contaminantes de RIL crudo y RIL tratado por la PTR.

<b>Contaminantes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra RIL crudo</b>	<b>Muestra RIL tratado por la PTR</b>
Aceites y grasas	mg/L	262	<5
Aluminio	mg/L	2,86	0,029
Arsénico	mg/L	0,09	0,018
Cadmio	mg/L	0,49	<0,001
Cianuro	mg/L	<0,02	<0,02
Cobre	mg/L	64,23	1,18
Cromo hexavalente	mg/L	<0,03	0,001
Cromo total	mg/L	0,16	0,016
DBO5	mgO2/L	3819	43,4
DQO	mg/L	9550	151
Estaño	mg/L	<0,03	0,21
Fluoruro	mg/L	<0,2	0,79
Fósforo	mg/L	72,6	6,39
Hidrocarburos totales	mg/L	15	5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	<0,2	0,23
Hierro disuelto	mg/L	133,18	1,76
Manganeso	mg/L	3,67	0,18
Mercurio	mg/L	<0,0005	0,0001
Molibdeno	mg/L	<0,02	0,015

<b>Contaminantes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra RIL crudo</b>	<b>Muestra RIL tratado por la PTR</b>
Níquel	mg/L	7,04	1,5
pH	Unidad	2,1	6
Plomo	mg/L	0,6	<0,1
Surfactantes aniónicos (SAAM)	mg/L	0,1	0,33
Selenio	mg/L	<0,001	0,005
Sólidos sedimentables	mg/L/h	10	0,1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	900	245
Sulfuros	mg/L	<0,2	0,1
Zinc	mg/L	32	2,56

Fuente: Hidrolab, informe emitido el 15 de marzo del 2021.

### 3.3. Normativas vigentes aplicables a los RILes generados por ASMAR.

Los RILes generados por ASMAR posterior a su tratamiento, son descargados a cuerpos de agua dentro del límite de protección litoral, por lo que deben cumplir la siguiente normativa:

a) D.S. N° 90, Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de RILes a aguas marinas y continentales superficiales, Ministerio de Obras Públicas (2001). Esta norma de emisión establece la concentración máxima de contaminantes permitida para RILes descargados a los cuerpos de agua marinos y continentales superficiales de la República de Chile por las fuentes emisoras. La presente norma se aplica en todo el territorio nacional y deberá ser cumplida por la fuente emisora a contar del quinto año de la entrada en vigencia del presente decreto (Presidencia, D.E.L.A., 2001).

La Tabla N° 4 del D.S. N° 90/01 describe los límites máximos que pueden contener los RILes, al momento de ser descargados a cuerpos de agua dentro de la zona de protección litoral. La tabla actualmente vigente se presenta a continuación:

**Tabla 2:** Límites máximos permitidos por el D.S. N° 90 para cuerpos de agua dentro de la zona de protección litoral.

<b>Contaminantes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Expresión</b>	<b>Limite máx. permisible</b>
Aceites y grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN-	0,5
Cobre	mg/L	Cu	1
Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100 ml	1000 -70 *
Índice de fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo hexavalente	mg/L	Cr 6+	0,2
Cromo total	mg/L	Cr total	2,5
DBO5	mgO2/L	DBO5	60
DQO	mg/L	DQO	
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Fluoruro	mg/L	F-	1,5
Fósforo	mg/L	P	5
Hidrocarburos totales	mg/L	HCT	10
Hidrocarburos volátiles	mg/L	HCV	1
Hierro disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,1
Níquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
pH	Unidad	pH	6,0 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2
Surfactantes aniónicos (SAAM)	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01

<b>Contaminantes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Expresión</b>	<b>Limite máx. permisible</b>
Sólidos sedimentables	mg/L/h	S Sed	5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SS	100
Sulfuros	mg/L	S2 -	1
Zinc	mg/L	Zn	5
Temperatura	°C	T°	30

Fuente: D.S. N°90/2001.

Se debe tener la siguiente anotación:

\* = En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NPM/100 ml.

b. Norma Chilena 2313, Aguas Residuales – Métodos de Análisis. Indica el método a utilizar para determinar contaminantes presentes en aguas residuales.

De no poder implementar dichos procedimientos se ha de recurrir a un laboratorio externo, que cuente con las metodologías antes descritas (ORD N°558/98) (Presidencia, D.E.L.A., 2001).

### 3.4. Proceso de coagulación – floculación.

El proceso de coagulación – floculación, es una etapa importante del tratamiento de aguas residuales, y es, utilizada en éste en más del 95% de las veces. Este proceso no solo es apto para la remoción de partículas inorgánicas, sino también para la remoción de los patógenos que se encuentran unidos a dichas partículas, mejorando significativamente la calidad del agua y, en consecuencia, la salud humana (Fúneque & Yate *et al.*, 2018).

El fenómeno coagulación–floculación, proceso físico-químico resultante de la adición de aditivos químicos al agua residual, favorece la sedimentación de materia coloidal no sedimentable y/o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de coágulos o flóculos.

A estos aditivos químicos se le denominan coagulantes, que logran la desestabilización en la partícula coloidal, las cuales están cargadas eléctricamente y presentan una doble capa eléctrica que le da estabilidad al sistema (Cabrera, Fleites & Contreras *et al.*, 2009).

Un modelo de la doble capa fue propuesto para interpretar la distribución de cargas eléctricas alrededor de cada coloide. El coloide en este modelo supone la existencia de una carga negativa cerca de la cual, hay una capa de iones positivos fuertemente fijados llamada “Capa de *Stern*”. Alrededor de la capa *Stern*, se encuentran otros iones positivos atraídos por el coloide, pero repelidos por dicha capa, e iones negativos que son atraídos por la capa *Stern*, pero a su vez repelidos por el coloide. Un equilibrio dinámico de cargas positivas y negativas se constituye alrededor de la capa de *Stern*, conocida como “Capa Difusa”. La presencia de iones positivos en la capa difusa disminuye proporcionalmente a medida que la distancia desde el coloide aumenta, hasta que las concentraciones de iones son las mismas que el equilibrio en el agua. Es ahí, donde la capa de *Stern* junto con la capa difusa se denominan doble capa eléctrica (Ghernaout, Ibraheem, Wahib, Boucherit, Ait, Aichounit & Abdallah *et al.*, 2015).

De acuerdo con la teoría de la doble capa eléctrica, se plantea que los agentes coagulantes deben poseer cargas contrarias al ión determinante del potencial de la partícula en las aguas residuales (generalmente negativas), y por supuesto, a mayor carga tendrá mejores características coagulantes.

En cuanto a la floculación, consiste en la unión entre los coágulos ya formados, con el fin de aumentar su volumen y peso, de forma que facilite la decantación. Este fenómeno, consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas, dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de éstos (Cabrera, Fleites & Contreras *et al.*, 2009).

Los coagulantes inorgánicos, entre numerosos tipos de coagulantes – floculantes existentes, destacan el Sulfato de Aluminio y Cloruro Férrico, comúnmente utilizados en los tratamientos de aguas residuales, por su alta capacidad de coagulación-floculación debido a que forman compuestos complejos hidratados.

Los floculantes orgánicos sintéticos por otra parte, polímeros solubles en agua, basados en unidades repetidas de varios monómeros, clasificados en aniónicos, catiónicos, anfóteros (actúan como ácido si cede un catión, o como base si capta un electrón) y no iónico, poseen una capacidad de floculación que principalmente es influenciada la naturaleza de las cargas, peso molecular y la densidad de la carga. Entre estos floculantes, los mas efectivos son las poliacrilamidas ligeramente aniónica con masas moleculares muy elevadas.

Por último, están los coagulantes naturales, los cuales en su mayoría son de origen vegetal con presencia de agentes coagulantes activos, como carbohidratos, taninos y proteínas. Estos se consideran, visto su biodegradabilidad e inocuidad ambiental, una fuente alternativa con un gran potencial (Bravo *et al*, 2017).

### 3.5. Métodos para la determinación óptima de coagulantes.

#### 3.5.1. Potencial Zeta.

La separación entre la capa *Stern* y la capa difusa, se denomina Potencial Zeta. Dicho potencial se puede evaluar mediante el uso del Medidor Zeta, que consta de un microscopio para observar el movimiento de las partículas a través de una celda de vidrio llamada celda de electroforesis. Los electrodos en cada extremo de la celda crean un campo eléctrico. Los coloides con carga positiva, se moverán hacia el ánodo y los coloides negativos, hacia el cátodo. La velocidad y dirección del coloide, están relacionados con su Potencial Zeta y éste a su vez con la dosis correcta de coagulante. El objetivo, es disminuir las fuerzas repulsivas hasta que las colisiones de partículas causen aglomeración y alcancen el tamaño / densidad de partícula correcto, conduciendo a la mejor coagulación-floculación. De hecho, este "valor correcto" puede ser negativo, cero o positivo, pero frecuentemente negativo. El Potencial Zeta generalmente se



expresa en mV, donde un valor correcto puede estar en el rango de -10 a -5 mV para aguas residuales (Ghernaout, Ibraheem, Wahib, Boucherit, Ait, Aichounit & Abdallah *et al.*, 2015).

Otra forma de medir el Potencial Zeta, es mediante el instrumento *Streaming Current* el cual consta de un sensor y un procesador de señales. La cámara del sensor es cerrada con una entrada y salida para la muestra de agua que contiene a las partículas coloidales. Dentro de la cámara se encuentra un pistón que se mueve dentro de un cilindro. Es el movimiento de las partículas cargadas en el espacio entre la pared del pistón y el cilindro (llamado anillo) lo que analiza la carga iónica. En la pared del cilindro y el pistón, las partículas se adhieren a la superficie. A medida que el agua fluye por el anillo, las paredes del cilindro y el pistón se recubren de partículas. El movimiento del pistón en el cilindro provoca el movimiento del fluido en el anillo y, en consecuencia, el cizallamiento del fluido. Hay dos planos de corte, uno cerca de la pared del cilindro y el otro cerca de la pared del pistón. Esencialmente, dos capas de carga se mueven entre sí. El movimiento de carga entre el electrodo superior e inferior constituye una corriente eléctrica. Esta corriente depende de la velocidad del fluido y la densidad de carga. Si el movimiento del pistón es constante, entonces la magnitud de la densidad de carga es proporcional a la magnitud de la carga de iones y está determinada por la amplitud (pico) y altura de la señal de corriente alterna. Esta señal puede enviarse mediante una lectura, a un registrador de gráficos o a un sistema de control para la alimentación de productos químicos (Muzi *et al.*, 2014).

### 3.5.2. Probetas graduadas.

En este método, donde se extraen muestras frescas de RIL en probetas de vidrio con distintos tipos y dosis de coagulante, cada cierto rango de tiempo se observa la altura de los lodos sedimentados con respecto a la zona clarificada y se puede obtener la velocidad de sedimentación (Oliva, Giacoman & Pérez *et al.*, 2008).

### 3.5.3. Demanda catiónica.

Método que consta de una muestra líquida con la cantidad, en ppm, de polímero catiónico estándar requerido para neutralizar la carga superficial de las partículas coloidales. Mientras mayor sea la cantidad de coloides aniónicos en suspensión, mayor será la demanda catiónica de la muestra (Reyes & Schuffenegger *et al.*, s.f.).

### 3.5.4. Aparato Prueba de Jarras.

La Prueba de Jarras, consta de un agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia simultáneamente en 6 vasos precipitados. Este ensayo trata de reproducir las condiciones que promueven en una planta de tratamientos el proceso de coagulación-floculación. Con esta prueba se identifica la configuración más efectiva para la sedimentación, respecto a factores como: pH, dosis de coagulante, tiempo de sedimentación, velocidad y tiempo de agitación (Madueño *et al.*, 2018).

Los tipos de respuestas se ven afectados por:

- a. El tiempo y la velocidad de agitación durante la coagulación - floculación, así como el tiempo de sedimentación.
- b. La cantidad del agente coagulante o floculante agregado.
- c. La cantidad sólidos suspendidos que contenga el agua.

Este método consiste en añadir RIL crudo fresco a probetas graduadas. Luego se anotan en una base de datos, la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Una vez especificadas las dosis, se añade la cantidad de coagulante en los vasos correspondientes, se ponen en agitación rápida e intensa por 1 minuto y por otros 15 minutos una agitación lenta. Después, se detienen los agitadores y se espera permitir que el coágulo o floculo se asiente durante al menos unos 10 minutos, luego se determina el color y la turbiedad del sobrenadante, es decir, el líquido por encima de los coágulos o flóculos (Fúneque & Yate *et al.*, 2018).

Existen diferentes variables que influyen en la optimización del proceso de coagulación, entre las cuales destacan:

- a. pH: Es la variable más influyente en el proceso de coagulación, dado que si éste se desarrolla fuera del rango de pH, disminuye la solubilidad del coagulante en el agua y se van a requerir concentraciones más altas del mismo, además, tomará mayor tiempo para la formación de coágulos.
- b. Turbiedad: La concentración de coagulante aumenta con la turbiedad del agua y para cada turbiedad hay una dosis óptima de coagulante.
- c. Agitación y mezcla: La eficiencia del proceso está determinada por la agitación de la mezcla de agua residual con el coagulante, que asegura que la concentración de éste sea uniforme en toda la solución; la intensidad y tiempo de mezcla determinan la distribución adecuada de coagulante.
- d. Dosis de coagulante: La dosis óptima de coagulante es de vital importancia considerando que cantidades muy pequeñas de coagulante, impiden la neutralización total de carga del coloide por lo que la formación de coágulos es mínima; mientras que dosis muy altas de coagulante invierten la carga de las partículas coloidales haciendo que se formen gran cantidad de coágulos pequeños que se tardan demasiado en sedimentar (Fúneque & Yate *et al.*, 2018).

### 3.6. Caracterización del Biorreactor MBBR.

Los biorreactores MBBR, siempre que haya suficiente tiempo de retención, han demostrado ser eficaces en la eliminación de hasta 90% de DQO y 95% de DBO con nutrientes de la corriente de efluente en condiciones óptimas. Es una forma rentable de actualizar el sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que es eficiente, compacto y fácil de operar. El rendimiento de los biorreactores MBBR depende del porcentaje de medios proporcionados en el reactor, el área de superficie del *biocarriers*, el oxígeno disuelto y la carga orgánica (García & Gutiérrez *et al.*, 2018).

La degradación de los efluentes de la planta de tratamientos de RILes químicos, es realizada por los microorganismos en un biorreactor MBBR. Estos actúan sobre los compuestos específicos contenidos en los efluentes para transformarlos en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Éstos son los responsables de la remoción de la DBO, DQO, sólidos suspendidos, compuestos fenólicos totales y la toxicidad que tenga un efluente. El MBBR usa *biocarriers* para maximizar la superficie usada por la película activa en el biorreactor (Riquelme *et al*, 2006).

Estos biorreactores poseen una insignificante pérdida de biomasa, no necesitan una limpieza periódica y optimiza el funcionamiento del sistema de tratamientos secundarios. El mecanismo de reactor de lecho móvil, requiere de aireación artificial para proveer el oxígeno necesario para la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. El sistema representa la integración del sistema de lodos activados y el proceso de lecho fluidizado (Riquelme *et al*, 2006).

La tecnología de MBBR, utiliza un lecho móvil de plástico que se mantiene suspendido y en continuo movimiento en el volumen útil del reactor. Tal movimiento puede generarse a partir de aireación o agitación mecánica, así mismo, en la superficie de los soportes se adhiere la biomasa que va creciendo a lo largo del tratamiento. Esta es una tecnología avanzada de tratamiento de aguas residuales con alta tasa de eficiencia, bajo costo de capital, operacional, de mantenimiento y reemplazo; único procedimiento de operación confiable y robusto (García & Gutiérrez *et al*, 2018).

Los principales componentes de un bioreactor MBBR son:

a. Soportes plásticos de *biofilm*: Estos tipos de lecho móvil son realizados con plásticos de alta densidad, generalmente los portadores de *biofilm* que se utilizan para MBBR poseen canales a lo largo del interior de los anillos, es allí donde las biopelículas se desarrollan y van quedando adheridas. Es muy común que se genere una espuma sobre la superficie del agua durante el funcionamiento del MBBR, pero es una fase normal y requerida para el desarrollo de la biopelícula.

b. Sistema de aireación: El sistema MBBR emplea en la mayoría de casos sistemas de aireación, los cuales funcionan como inyectoras de oxígeno y generadores de movimiento del lecho. La aireación es un proceso esencial en muchos procesos de tratamiento de aguas residuales, pues es ésta la que genera transferencia de oxígeno dentro del medio líquido, permitiendo que muchos procesos de oxidación aerobia se lleven a cabo.

c. Agentes antiespumantes: Los antiespumantes son agentes tensoactivos, que actúan por medio de tensiones superficiales intermedias para lograr desestabilizar la espuma y liberar el aire retenido en la emulsión, esto se realiza mediante la reducción de la tensión superficial del líquido, lo que separa el líquido del gas denominada lamela. La función de los antiespumantes es evitar la formación de burbujas y/o su destrucción, permitiendo procesar mejor el producto, además, de evitar pérdida de éste por desbordamiento. En la actualidad, para satisfacer distintas necesidades y exigencias industriales desde el punto de vista toxicológico y ecológico, existen varios tipos de antiespumantes que pueden ser utilizados en biorreactores MBBR. Éstos son generalmente mezclas de compuestos de origen vegetal, siliconados u orgánicos cuyo uso en particular dependerá de su compatibilidad con el medio (Tapia *et al*, 2019).

d. Microorganismos: Estos microorganismos, que asimilan la materia orgánica y los nutrientes disueltos en el agua residual para su propio crecimiento, se agregan entre ellos cuando se reproducen y formando flóculos macroscópicos con suficiente masa crítica que permite posteriormente su separación por flotación, decantación, filtración u otros procesos. (Ecopreneur inc., s.f.).

#### **4. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Esta sección tiene por finalidad dar a conocer los objetivos del trabajo que se presentarán a continuación:

##### **4.1. OBJETIVO GENERAL.**

Rediseñar el proceso, la gestión y la operación, en planta de tratamientos de residuos líquidos de la maestranza de limpieza química ASMAR Talcahuano, apuntando a la optimización de la planta.

##### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Identificar sectores críticos del proceso en la planta de RILes y rediseñarlos para obtener una optimización en cuanto a manejo operacional y flujo del RIL.
- Evaluar el sistema operacional en cuanto a las dosificaciones óptimas de productos químicos mediante el método de Prueba de Jarras, para cumplir con la normativa estipulada por el D.S. N° 90.
- Establecer un nuevo sistema de gestión para adecuado manejo en equipos e insumos en la planta de RILes.

## 5. METODOLOGÍA.

### 5.1. Metodología para el rediseño en sectores críticos de la planta de RILes.

Para mejorar el proceso de la planta de RILes, se realizó un cambio en el diseño de la misma, apuntando a la optimización del manejo operacional y del flujo del RIL, que se detallan a continuación:

#### 5.1.1. Recursos materiales y equipamiento.

- Bomba dosificadora de 0,6 GPH.
- Colorímetro portátil multiparamétrico DR900.
- 1 Válvula.
- Antiespumante a base de emulsiones de silicona.
- 2 matraces de 250 ml.
- Cronómetro.

#### 5.1.2. Procedimiento.

- Incorporación de bomba dosificadora para antiespumante.

Con respecto al diseño de la planta, primero se evaluó las distintas alternativas de sistema de dosificación y tipos de antiespumantes para un problema de espuma que surgía en el biorreactor MBBR. Se probó con la instalación de una bomba dosificadora de 0,6 GPH (la cual se ocupaba históricamente para la inyección de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), para la dosificación de un antiespumante a base de emulsiones de silicona, donde la dosificación adecuada se calculó de acuerdo a la concentración y dilución en agua del antiespumante recomendada por el proveedor, la capacidad de almacenamiento de RIL en el biorreactor MBBR y las condiciones de la bomba dosificadora (ver Anexo 1).

- Incorporación de recirculación del RIL del filtro de prensa.

Se analizaron los parámetros de fósforo, hierro disuelto y sólidos suspendidos totales para el RIL de descarte del filtro de prensa. Para esto, se extrajo una muestra de RIL, y mediante el colorímetro portátil multiparamétrico DR900 se midieron dichos parámetros. Por último, se tomó el tiempo en llenar un matraz de 250 ml, para el caudal expulsado por el filtro.

- Incorporación de desagüe para estanque de filtro de prensa.

El estanque de filtro de prensa presentaba un problema de rebalse de agua que era depositada por la extracción de líquido en el lodo, por lo que fue necesario el estudio de diseño para extraer el líquido almacenado en dicho estanque.

- Incorporación de válvula para detención de RIL del sedimentador secundario.

Se analizó el tramo desde la bomba de lodo del sedimentador secundario hacia el estanque de lodos, ya que por problemas de gravedad había un flujo continuo de RIL semi-tratado almacenado en el sedimentador secundario que iba hacia el estanque de lodos. Se calculó el flujo de pérdida, registrando el tiempo en llenar un matraz de 250 ml. Por último, se investigaron diferentes tipos de válvulas para poder seleccionar la más efectiva y poder detener el flujo de RIL semi-tratado del sedimentador secundario.

## 5.2. Metodología para la evaluación del sistema operacional histórico.

Se evaluó la factibilidad operacional de la planta de RILes con respecto al RIL generado por el proceso de limpieza química y las dosificaciones de productos químicos que usados en las sedimentaciones del proceso, como se muestra más abajo:

### 5.2.1. Recursos materiales y equipamiento.

- Bidón plástico graduado.
- Programa computacional Excel.
- Cronómetro.



- 12 Matraces de 250 ml.
- pH-metro portátil.
- Pesa digital.
- Probeta.
- Bomba dosificadora 2,4 GPH.
- Guantes de látex.
- Antiparras.
- Agitador portátil.

#### 5.2.2. Procedimiento.

- Registros diarios de RIL tratado por la planta y RIL procesado por limpieza química.

En cuanto a la factibilidad de la planta, se realizó un análisis comparativo entre el RIL generado por la maestranza de limpieza química v/s el RIL tratado por la planta de RILes durante 3 meses. Para esto fue necesario del diseño de 2 planillas, donde en la primera de ellas (ver Anexo 2), se registró el caudal diario tratado por la planta de RILes, gracias a un totalizador de agua instalado a la salida del filtro pulidor de intercambio iónico. En cuanto a la segunda planilla (ver Anexo 3) fue confeccionada con el fin de registrar el RIL generado a diario por la maestranza de limpieza química. Para poder estimar el RIL de este último, fue necesario de un bidón plástico graduado donde se aplicó agua expulsada de una hidrolavadora por 1 minuto vista desde un cronómetro. Con el resultado del ensayo y gracias a un horómetro instalado en la hidrolavadora, se pudo calcular el RIL generado en el proceso de limpieza química (ver Anexo 4).

- Método Prueba de Jarras para la determinación de dosificaciones óptimas.

Para las dosificaciones de insumos químicos, tanto para el sedimentador primario como el sedimentador secundario, se realizó el método de Prueba de Jarras en un laboratorio adaptado a la planta de RILes ASMAR, para posteriormente implementarlo a nivel de la planta.

❖ Sedimentador primario.

- Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ): Para el caso de la preparación de la Lechada de Cal, se aplicaron 3 diferentes concentraciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en 200 ml de agua (ver Tabla 3). Para la inyección de la Lechada de Cal a 200 ml de RIL crudo, de igual manera se probó a 3 distintas dosificaciones, éstas fueron estipuladas de acuerdo a la capacidad de la bomba dosificadora de 2,4 GPH en una jornada de 8 horas para un caudal tratado de 1660 L (ver Anexo 5).

**Tabla 3:** Dosificaciones seleccionadas para la Prueba de Jarras con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Preparación Lechada de Cal (g) en 200 ml de agua	15	20	30
Inyección de Lechada de Cal (ml) en 200 ml de RIL crudo	8	7	5

La configuración para los ensayos fue realizada en base a un diseño factorial  $2^3$ , donde midió el pH de cada solución con un pH-metro portátil, como se muestra en la Tabla 4:

**Tabla 4:** Configuración de muestras para Prueba de Jarras con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

	Hidróxido de Calcio (g)	Inyección Lechada (ml)	pH solución
Muestra 1	15	8	12,5
Muestra 2	20	8	12,6
Muestra 3	30	8	12,7
Muestra 4	15	7	11,7
Muestra 5	20	7	12,1
Muestra 6	30	7	12,4
Muestra 7	15	5	11,1
Muestra 8	20	5	11,6
Muestra 9	30	5	12,0

Cada muestra se dejó sedimentar durante 20 minutos debido que en referencias bibliográficas ocupaban dicho tiempo para la sedimentación en ensayos de laboratorio.

Por último, una vez seleccionada la mejor muestra, se calculó la dosificación a nivel planta.

- Ácido Clorhídrico (HCl): Se trabajó con la dosificación de HCl para la mejor muestra de la Tabla 4, a nivel laboratorio y posteriormente a nivel de la planta para estabilizar el pH del agua clarificada, puesto que todas las muestras se encontraban sobre los límites estipulados por el D.S N° 90.

- Hidróxido de Sodio (NaOH): Puesto que la planta de tratamientos históricamente ocupaba la misma razón de NaOH con  $\text{Ca(OH)}_2$ . Se prepararon 2 muestras para el mejor resultado de la Tabla 4, donde en una de ellas se aplicó NaOH con la misma configuración de la mejor muestra de  $\text{Ca(OH)}_2$  y se dejó sedimentar durante 20 minutos.

- Agitación: Se evaluó la importancia de la agitación del RIL crudo con la Lechada de Cal, debido a que el sistema actual no presenta un sistema de agitación previo a la sedimentación, por lo que para la mejor muestra de la Tabla 4, se realizó una prueba con agitación mediante un agitador portátil por 5 minutos a una velocidad de 25 RPM, comparándola con una sin agitar y se dejó sedimentar durante 20 minutos.

❖ Sedimentador secundario.

- Polímeros de Amonio Cuaternario (PAC): Para el caso del producto químico PAC, igual se realizó una Prueba de Jarras, extrayendo 200 ml de muestra del biorreactor MBBR en una probeta de 250 ml, mezclándolo con 2 ml de Polímero de Amonio Cuaternario (ver Anexo 6), comparándola con una muestra sin la aplicación de dicho producto químico y se dejó sedimentar durante 20 minutos.

Observación. Cada experimento se realizó con el uso de guantes de látex y antiparras para el cuidado personal.

### 5.3. Metodología para la incorporación de un sistema de gestión.

Para una mejor gestión de la planta de RILes, se realizaron planillas para mantener un orden en cuanto a insumos disponibles y manejo en mantenciones de equipos, los cuales se detallan a continuación:

#### 5.3.1. Recursos materiales y equipamiento.

- Programa computacional Excel.

#### 5.3.2. Procedimiento.

- Registro de mantención de equipos.

Para la mantención correcta de los equipos, se confeccionó una planilla de mantención de equipos, donde se registró cada vez que era necesario realizar un recambio de filtros, retro lavado del filtro multimedia presurizado, extracción de lodos del estanque de lodos, etc. (ver Anexo 7).

- Registro de insumos necesarios para la planta de RILes.

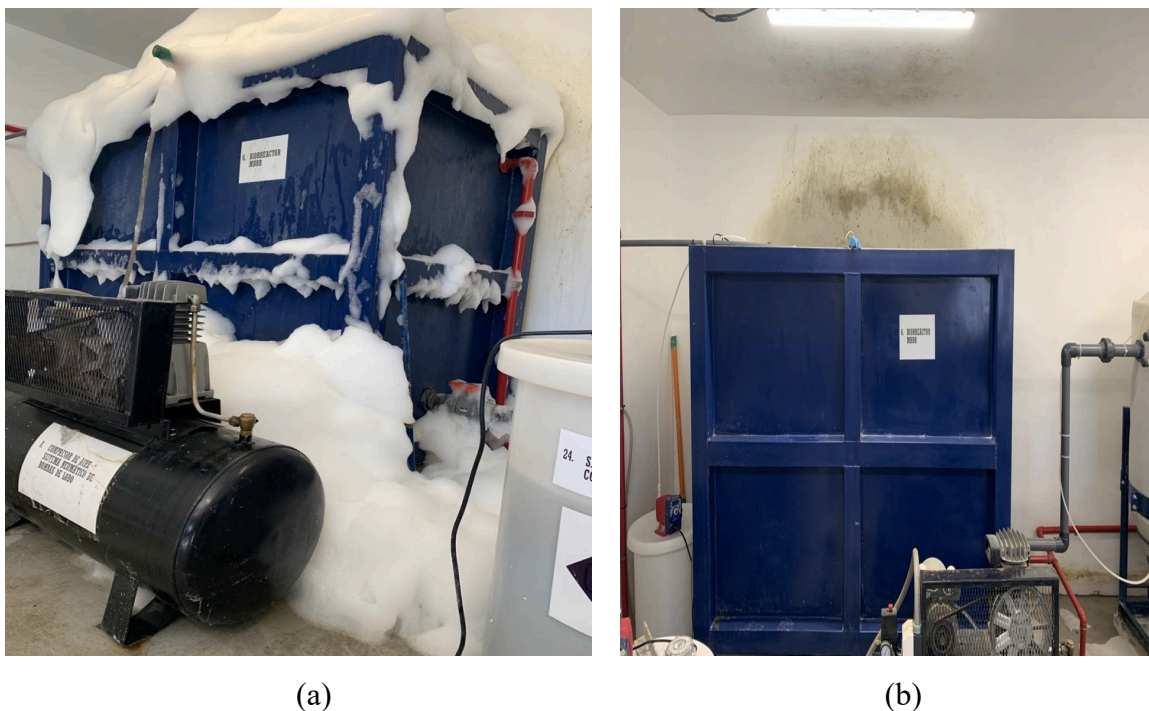
Para tener una estimación clara de los insumos necesarios para el funcionamiento adecuado de la planta de RILes, se realizó un análisis cuantitativo de insumos almacenados en bodega e insumos faltantes, los cuales fueron codificados para una mejor gestión al momento de requerir alguno de ellos, todos éstos fueron registrados mediante una planilla de insumos en el programa computacional Excel, donde diariamente se fue chequeando las cantidades de cada insumo que salían de bodega (ver Anexo 8).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 6.1. Resultados para el rediseño en sectores críticos de la planta de RILes.

- Incorporación de bomba dosificadora para antiespumante.

Al implementar un sistema de dosificación de antiespumante a base de emulsiones de silicona al biorreactor MBBR por medio de una bomba dosificadora de 0,6 GPH, se puede constatar en la Figura 2 que se resuelve el problema de generación de espuma al utilizar un producto químico eficiente según las especificaciones del proveedor y capacidad del biorreactor MBBR.



**Figura 2:** Biorreactor MBBR, (a) antes y (b) después de implementación del sistema de dosificación de antiespumante.

Antes de la implementación del sistema de dosificación de antiespumante, se requería de un trabajador que aplicara por 20 minutos cada 1 hora (al momento de la activación de sopladores

de aire) aceite vegetal como antiespumante, el cual ayudaba a reducir el nivel de espuma, pero se necesitaban 250 ml de aceite vegetal por cada hora y no eliminaba en su totalidad la espuma del biorreactor MBBR.

En términos económicos se tiene:

Aceite vegetal: \$87.000 por mes.

Antiespumante a base de emulsiones de silicona: \$57.200 por mes.

Ahorro mensual de antiespumante: \$29.800.

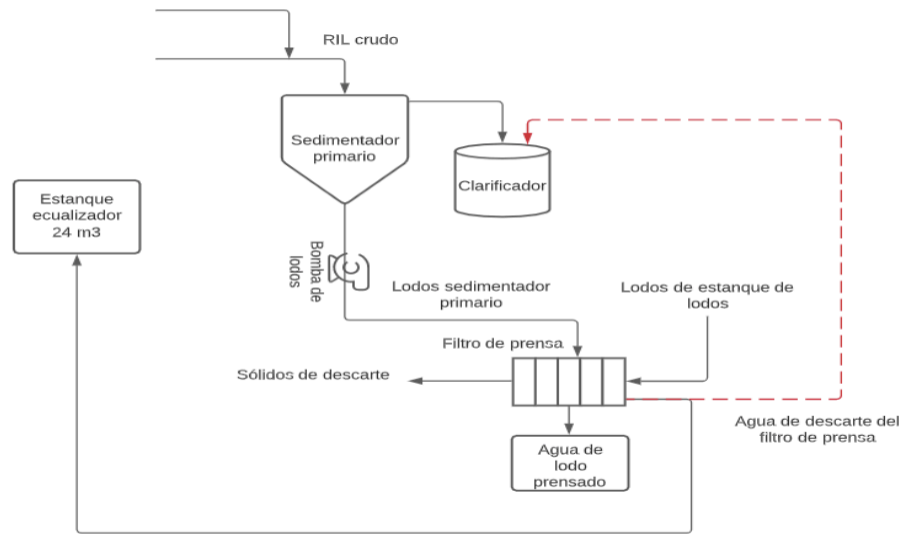
- Incorporación de recirculación del RIL del filtro de prensa.

Para el análisis del agua de descarte del filtro de prensa, los resultados de los parámetros medidos por el equipo colorímetro portátil multiparamétrico DR900, fueron los siguientes:

**Tabla 5:** Contaminantes para el agua de descarte del filtro de prensa.

Contaminante	Unidad	Valor medido	Límite D.S. 90 Tabla 4
Sólidos suspendidos totales	mg/L	3	100
Hierro disuelto	mg/L	2,33	10
Fósforo	mg/L	1,9	5

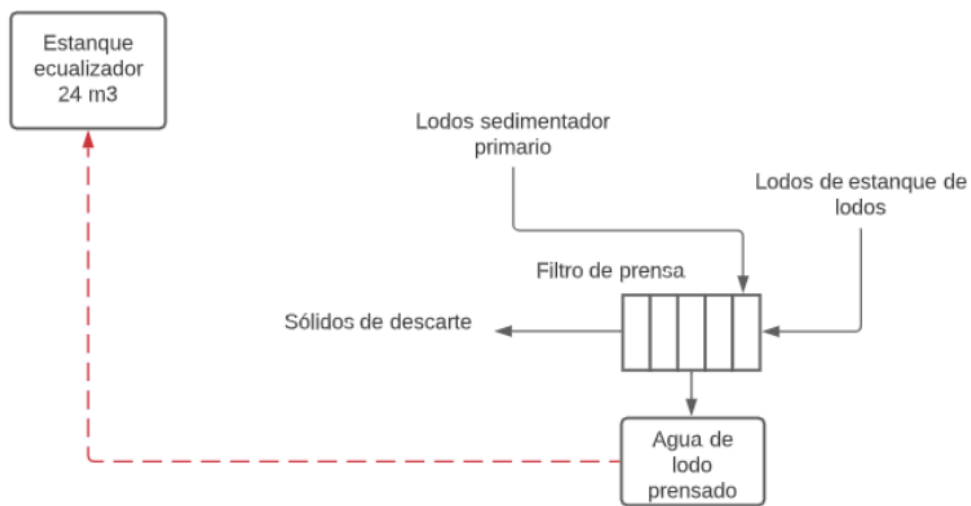
La Tabla 5, muestra que todos los contaminantes medidos por el colorímetro DR900 se encontraron por debajo de los límites permisibles estipulados en la Tabla 4 del D.S. N° 90. Vistos estos resultados, se diseñó un sistema de cañerías para que el RIL de descarte del filtro de prensa, sea aprovechado y enviado al estanque de agua clarificada (ver Figura 3), sin retorno al proceso previo, aumentando en 0,033 m<sup>3</sup> el agua tratada en una jornada de 8 horas (ver Anexo 9).



**Figura 3:** Esquema de recirculación para el agua de descarte del filtro de prensa hacia estanque agua clarificada.

- Incorporación de desagüe para estanque de filtro de prensa.

Para el problema del estanque del filtro de prensas, se instaló un sistema de cañerías, permitiendo que el caudal depositado en dicho estanque, fuera descartado al estanque equalizador de 24 m<sup>3</sup> y no de la necesidad de requerir de un trabajador que esté al pendiente que el estanque no se rebalsará y debiendo descartarlo mediante una manguera o balde.



**Figura 4:** Esquema de desagüe para agua de lodo prensado.

- Incorporación de válvula para detención de RIL del sedimentador secundario.

Con respecto a la pérdida de RIL semi-tratado del sedimentador secundario, se instaló una válvula anti-retorno en forma vertical, antes del ingreso del estanque de lodos, para que cuando se detuviera la bomba de lodos del sedimentador secundario, la válvula anti-retorno se cerrara por gravedad, impidiendo que el RIL siga fluyendo hacia el estanque de lodo; generando un incremento de 1,25 m<sup>3</sup> de agua tratada por jornada (ver Anexo 10).

## 6.2. Resultados para la evaluación del sistema operacional histórico.

- Registros diarios de RIL tratado por la planta y RIL procesado por limpieza química.

Para el análisis del RIL generado por el proceso de limpieza química, la planilla entregó como resultado un promedio de 1,41 m<sup>3</sup>/día de RIL crudo generado durante los 3 meses. Por otro lado, la planilla de caudal tratado por la planta de RILes, dio como resultado un promedio de 0,98 m<sup>3</sup>/día de RIL tratado.

Como se puede comparar, el caudal proporcionado por el proceso de limpieza química era mayor al caudal tratado por la planta de RILes en un 44%, generando en diversas ocasiones, tener que depositar RIL crudo en tinas vacías de 8 m<sup>3</sup> para evitar la inundación de la planta y la maestranza.

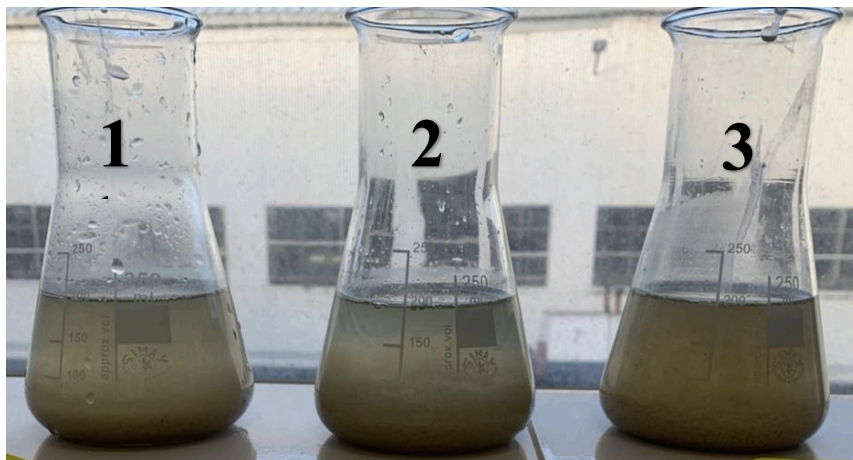
Este déficit en el RIL tratado por la planta de RILes, se debía a la pérdida continua de RIL semi-tratado y fallas en equipos por falta de criterios de diseño. Además, en muchas oportunidades se tuvo que detener la planta de RILes por falta de insumos. Sumado a esto, las válvulas de las bombas de los estanques ecualizadores que permitían el ingreso del RIL crudo a la planta, se debían ajustar a un menor porcentaje de abertura, para que el proceso de coagulación en el sedimentador primario con la bomba dosificadora de 0,6 GPH utilizada históricamente para la inyección de Lechada de Cal, proporcionara parte del efecto de coagulación.



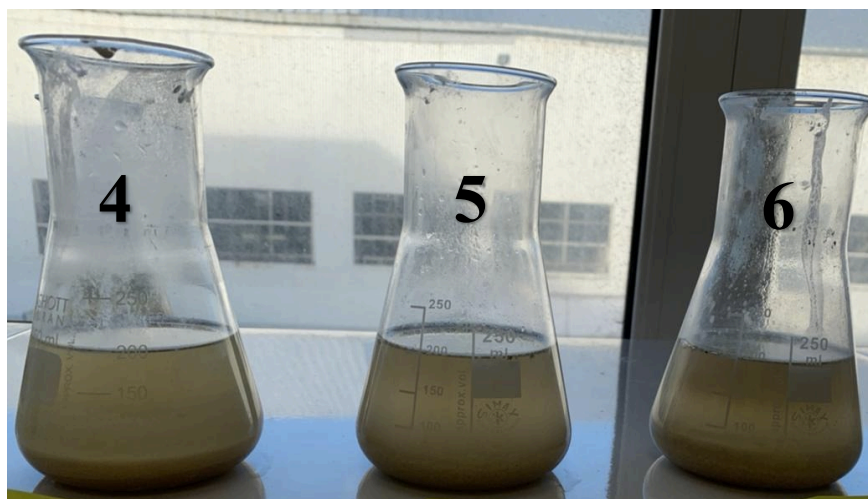
- Método Prueba de Jarras para la determinación de dosificaciones óptimas.

❖ Sedimentador primario.

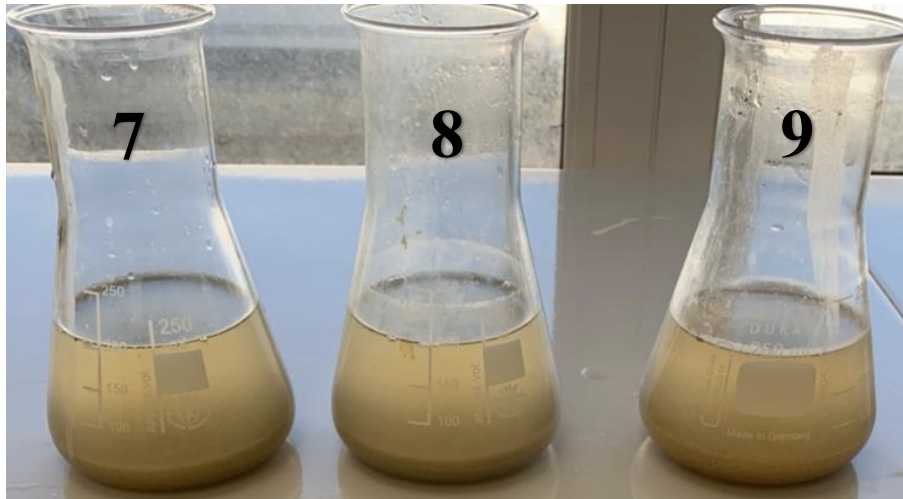
- Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ): Con respecto al sistema de dosificaciones del insumo químico  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , la muestra 2 de la Tabla 4 es la que entregó visualmente mejores resultados de clarificación del sobrenadante respecto a las otras muestras pasado 20 minutos de reposo, como lo corroboran las Figuras 5, 6 y 7 respectivamente:



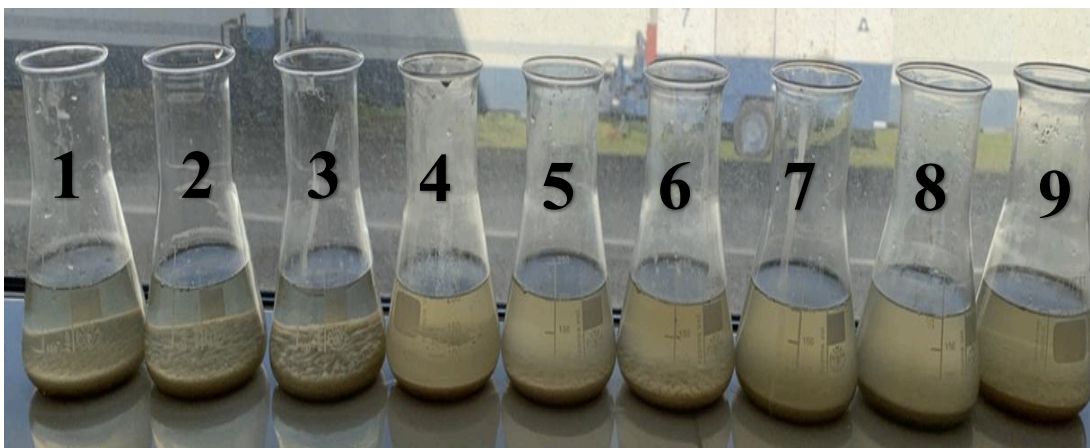
**Figura 5:** Resultados Prueba Jarras para las muestras 1, 2 y 3 con diferentes dosificaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  empleadas en la Tabla 4, pasado 20 minutos de reposo.



**Figura 6:** Resultados Prueba Jarras para las muestras 4, 5 y 6 con diferentes dosificaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  empleadas en la Tabla 4, pasado 20 minutos de reposo.



**Figura 7:** Resultados Prueba Jarras para las muestras 7, 8 y 9 con diferentes dosificaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  empleadas en la Tabla 4, pasado 20 minutos de reposo.



**Figura 8:** Resultados Prueba Jarras con diferentes dosificaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  empleadas en la Tabla 4, pasado 1 hora de reposo.

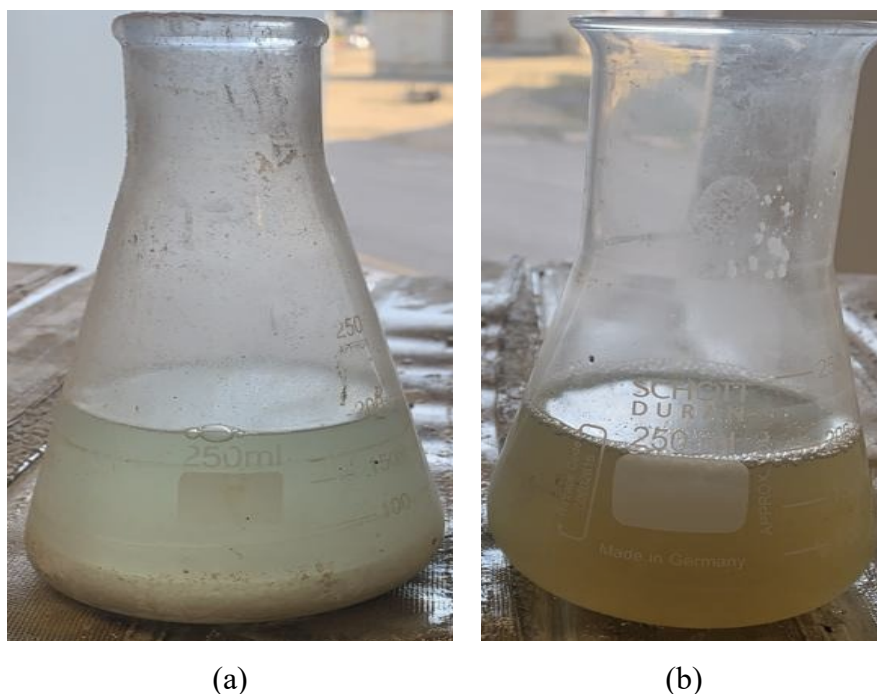
Para dimensionar la muestra 2 a nivel planta, se resume en la Tabla 6:

**Tabla 6:** Dimensionamiento diario de la muestra 2 con dosificaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  empleadas en la Tabla 4 a nivel de la planta.

Preparación Lechada de Cal.	
200 ml de agua	20 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$
70 L de agua	7 kg de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Inyección Lechada de Cal.	
70 L de Lechada de Cal	7 kg de $\text{Ca(OH)}_2$
66,4 L de Lechada de Cal	6,64 kg de $\text{Ca(OH)}_2$

El mayor problema del  $\text{Ca(OH)}_2$ , era la capacidad de inyección de la bomba dosificadora histórica, ya que podía inyectar un máximo de 18,168 L para tratar por 8 horas 1660 litros de RIL crudo (ver Anexo 11), impidiendo la neutralización total de carga para el coloide, provocando que la formación de coágulos fuera mínima. Mientras que al cambiar la bomba dosificadora, se logró incrementar un 266% la inyección de Lechada de Cal, resultando un incremento del 69% en agua tratada y a la vez una mejor coagulación como lo confirma la Figura 9:



**Figura 9:** (a) Muestra de salidas de RIL del sedimentador primario después de aplicar a nivel de planta la Prueba de Jarras y cambio de bomba y (b) muestra inicial del proceso sin los análisis mencionados.

- Ácido clorhídrico (HCl): Como se visualiza en la Tabla 4, la muestra 2 tornaba a un pH 12,7, lo que se encontraba por encima del D.S. N° 90 (pH entre 6,0 – 9,0). Por dicho motivo,

resultó que al agregar 1 ml de HCl sin dilución a la muestra 2, esta última reducía su pH a 8,3, adecuándose así a la normativa chilena.

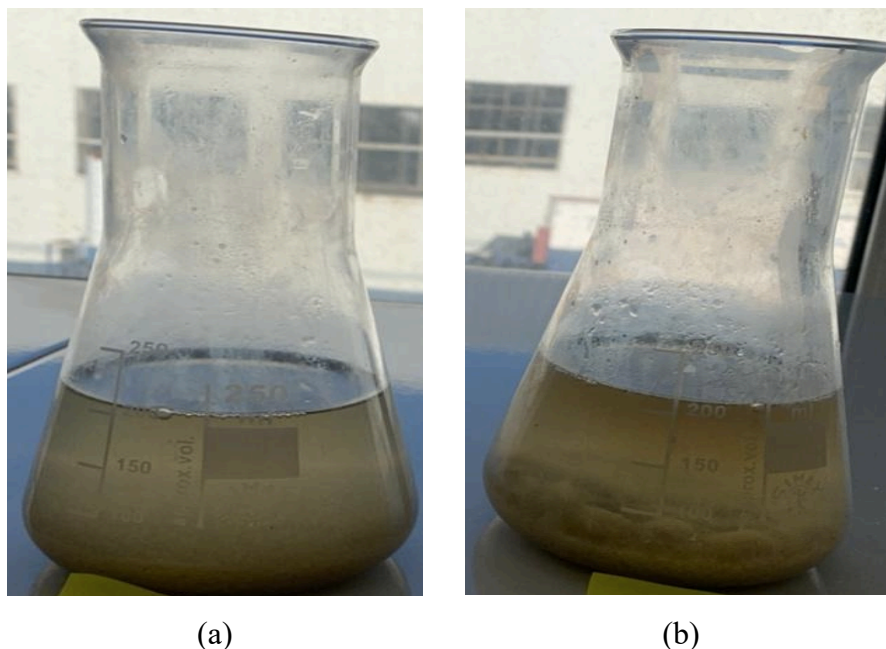
Para llevar a cabo la dosificación a nivel de planta de este insumo, se resume en la Tabla 7:

**Tabla 7:** Dimensionamiento diario de HCl a nivel de la planta.

0,2 L de RIL crudo	0,001 L de HCl
1660 L de RIL crudo	8,3 L de HCl

Donde la dosificación empleada se debió inyectar al biorreactor MBBR, puesto que las bacterias del género *Bacillus* crecen en un pH óptimo entre un rango de 5.5 - 8.5 (ver Anexo 12).

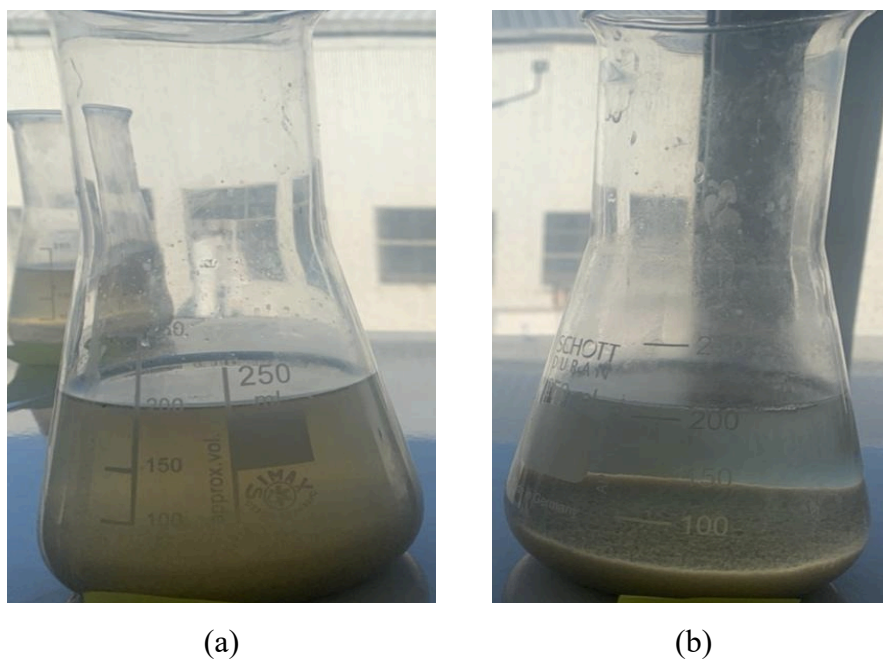
- Hidróxido de Sodio (NaOH): Al realizar la Prueba de Jarras de la forma en la que se aplicaba antes del estudio, es decir, en la misma proporción que  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Para el ensayo con la muestra 2 de la Tabla 4, entregó resultados como lo muestra la Figura 10:



**Figura 10:** Resultados Prueba de Jarras para la muestra 2 de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  con dosificación empleada en la Tabla 4 y (a) sin aplicación de NaOH v/s (b) con aplicación de NaOH, pasado 20 minutos de reposo.

Como se puede observar en la Figura 10, al aplicar NaOH al sistema, éste presenta un déficit en la sedimentación (visualmente) del RIL crudo (tornando a un pH de 13,3), esto debido a como se mencionó en el Marco Referencial, el pH es la variable más influyente en el proceso de coagulación, debido a que, si éste se encuentra fuera del rango, disminuye la solubilidad del coagulante en el agua y tomará mayor tiempo la formación de coágulos.

- Agitación: Al analizar la importancia de la agitación en la mezcla de RIL crudo con Lechada de Cal, ya que otro factor crucial para la coagulación es precisamente la agitación y mezcla, se obtuvo el siguiente resultado pasado los 20 minutos de reposo para la muestra 2 de la Tabla 4:

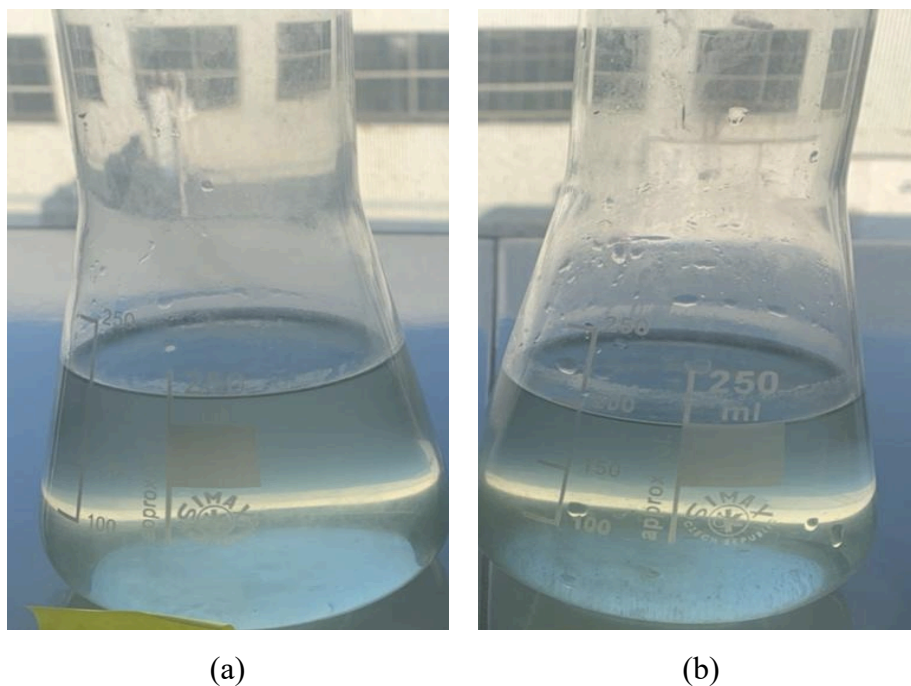


**Figura 11:** Resultados Prueba de Jarras para la muestra 2 con dosificación empleada en la Tabla 4 de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y (a) sin agitación v/s (b) con agitación, pasado 20 minutos de reposo.

Como lo confirma la Figura 11, la importancia de la mezcla entre el RIL crudo y el agente coagulante, es un factor fundamental, ya que es notoria la mejora en la sedimentación, esto se debe a que, al generar agitación al sistema, resulta una concentración del coagulante uniforme en toda la solución, captando así mayor cantidad de coloides en el RIL.

❖ Sedimentador secundario.

- Polímeros de Amonio Cuaternario (PAC): Se pudo ratificar que el producto químico PAC, no ayudaba en la sedimentación de los compuestos orgánicos, como muestra la Figura 12, en donde visualmente no se observan diferencias:

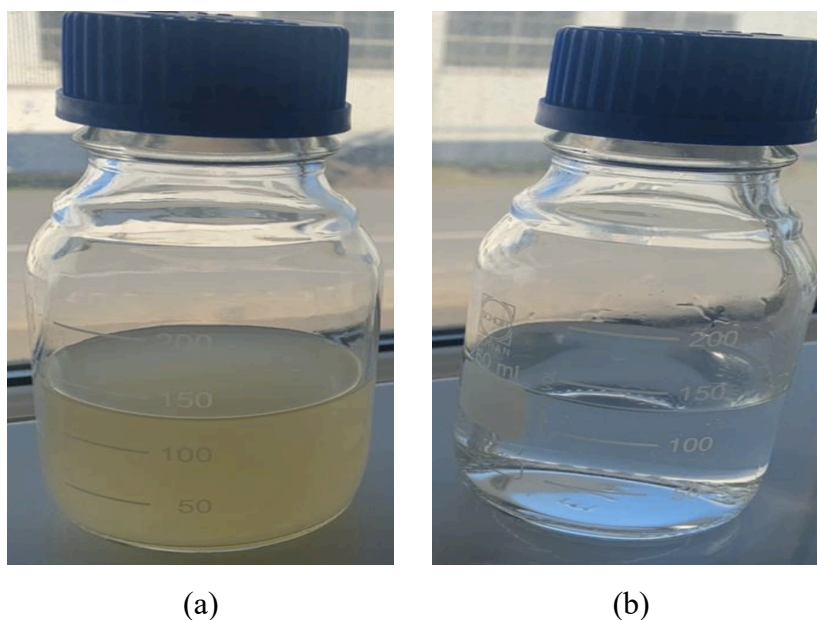


**Figura 12:** Resultados Prueba de Jarras para (a) con PAC v/s (b) sin PAC, pasado 20 minutos de reposo.

Esto se debe a que como menciona (Madueño *et al*, 2018), el PAC es utilizado como desinfectante y alguicida, no como agente coagulante, pero se puede utilizar mezclado con un agente coagulante, ya que las moléculas de Amonio Cuaternario al estar cargadas positivamente y las bacterias exteriormente poseen carga negativa, generaría la atracción de cargas opuestas mejorando el proceso de coagulación y floculación. Además, el PAC debido a su acción desinfectante, permitiría garantizar que los lodos que se generen, ya no continuarían en descomposición, evitando la generación de malos olores y proliferación de patógenos.

❖ Resultados del método de Prueba de Jarras a nivel planta.

Al implementar a nivel de la planta, todas las consideraciones mencionadas por el método de Prueba de Jarras, es decir, la dosificación de la Tabla 4 – muestra 2 para  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , quitar el NaOH y PAC del proceso y alimentar al biorreactor MBBR el producto químico HCl, se logra que el RIL tratado por la planta de RILes, cumpla con todos los parámetros estipulados por el D.S. N° 90, como se constata en la Figura 13 y Tabla 8:



**Figura 13:** RIL tratado por PTR, (a) antes y (b) después de implementación a nivel planta de los resultados del método de Prueba de Jarras.

**Tabla 8:** Valores de agua tratada con las dosificaciones de productos químicos óptimos determinados por Prueba de Jarras.

Contaminantes	Unidad	Expresión	Muestra RIL tratado	Limite máx. permisible
Aceites y grasas	mg/L	A y G	< 5	20
Aluminio	mg/L	Al	0,075	1
Arsénico	mg/L	As	< 0,001	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,003	0,02
Cianuro	mg/L	CN-	< 0,02	0,5

<b>Contaminantes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Expresión</b>	<b>Muestra RIL tratado</b>	<b>Limite máx. permisible</b>
Cobre	mg/L	Cu	0,47	1
Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100 ml	0	1000 -70 *
Índice de fenol	mg/L	Fenoles	< 0,1	0,5
Cromo hexavalente	mg/L	Cr 6+	< 0,01	0,2
Cromo total	mg/L	Cr total	< 0,005	2,5
DBO5	mgO2/L	DBO5	< 5	60
DQO	mg/L	DQO		
Estaño	mg/L	Sn	< 0,05	0,5
Fluoruro	mg/L	F-	< 0,1	1,5
Fósforo	mg/L	P	1,3	5
Hidrocarburos totales	mg/L	HCT	< 5	10
Hidrocarburos volátiles	mg/L	HCV	< 0,1	1
Hierro disuelto	mg/L	Fe	0,45	10
Manganeso	mg/L	Mn	0,018	2
Mercurio	mg/L	Hg	< 0,001	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,012	0,1
Níquel	mg/L	Ni	0,503	2
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	NKT	< 1	50
pH	Unidad	pH	7,27	6,0 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	< 0,01	0,2
Surfactantes aniónicos (SAAM)	mg/L	SAAM	< 0,1	10
Selenio	mg/L	Se	< 0,005	0,01
Sólidos sedimentables	mg/L/h	S Sed	0,2	5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SS	26	100
Sulfuros	mg/L	S2 -	< 0,1	1
Zinc	mg/L	Zn	0,211	5
Temperatura	°C	T°	15,1	30

Fuente: Hidrolab, con emisión de informe el 02 de agosto del 2021.



Como se verifica en la Figura 13 y Tabla 8, el cambio es radical al implementar al sistema las dosificaciones de productos químicos óptimos para el RIL generado esencialmente por el proceso de limpieza química. Esto se debe, a la importancia de realizar un análisis de dosificación para el RIL crudo que va a procesar la planta y no de una estimación de otras plantas, puesto que todos los RILes poseen diferentes concentraciones de contaminantes, por lo que las dosificaciones no son iguales para todas las plantas de tratamiento de RILes.

Por último, al implementar al sistema las dosificaciones determinadas por el método de Prueba de Jarras, trajo consigo un ahorro importante en términos económicos para la empresa como se muestra en la Tabla 9:

**Tabla 9:** Ahorro mensual a nivel de la planta de insumos químicos analizados por el método de Prueba de Jarras.

Insumo químico	Valor mensual (\$)
Ca(OH) <sub>2</sub> (Hidróxido de Calcio)	85.058
NaOH (Hidróxido de Sodio)	595.000
HCl (Ácido Clorhídrico)	211.650
PAC (Polímeros de Amonio Cuaternario)	154.000
Ahorro total (\$) 749.000	

Observación: Solo se consideraron en el ahorro total los productos químicos que se quitaron del sistema, puesto que el Ca(OH)<sub>2</sub> ya estaba dentro del proceso y el HCl era necesario debido a que como se mencionó en el Marco Referencial, el rango de pH óptimo para la coagulación en el sedimentador primario fluctuaba entre 8,0 – 9,8 siendo el óptimo un 9,2 el cual se encuentra fuera del límite permisible descrito por el D.S. N° 90 (pH entre 6,0 – 9,0).

### 6.3. Resultados para la incorporación de un sistema de gestión.

- Registro de mantención de equipos.

En cuanto a la planilla de mantención de equipos, se logró una gestión adecuada a las especificaciones recomendadas por la empresa diseñadora de la planta, donde el operador todos los días antes de empezar la jornada laboral, podía ver en la planilla el equipo que necesitaba mantención, permitiendo al proceso no presentar ninguna falla de equipos durante la confección de la planilla.

- Registro de insumos necesarios para la planta de RILes.

El operador diariamente iba registrando en la planilla los insumos que llegaban o salían de bodega, y podía observar aquellos que se estaban agotando para poder requerirlos con tiempo. Generando durante los 3 meses de gestión, no presentar la ausencia de ningún insumo, y en consecuencia, no detener la planta de RILes o hacer funcionar la planta sin alguno de ellos, pudiendo ocasionar que el RIL tratado no llegue a cumplir con el D.S. N° 90.

Esta última, también ayudó a estipular el precio mensual de cada insumo que se requiere para el funcionamiento optimizado de la PTR como se muestra en la Tabla 10:

**Tabla 10:** Gastos mensuales de insumos en la PTR.

Insumos	Cantidad/mes	Precio unidad (\$)	Precio insumo \$/mes
NaClO (L)	3,33	908	3.024
HCl (L)	240	850	211.650
Bacterias (frascos)	20	1.380	27.600
Antiespumante (20L)	1	57.200	57.200
Ca(OH) <sub>2</sub> (kg)	199,2	427	85.058
Filtro Partículas (unid)	2	10.590	21.180
Filtro Hidrocarburos (unid)	1	181.275	181.275
Filtro Pulidor (unid)	1/8	595.000	74.375
Total mes (\$)			661.362

Observación: El Filtro Pulidor de Intercambio Iónico llevaba 5 meses en funcionamiento aproximadamente, tiempo estimado por SPL.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Conclusiones.

Era necesario un cambio en el diseño para la planta de RILes ASMAR Talcahuano, en cuanto a adición en tramos de cañerías y válvula anti-retorno para un incremento en el agua tratada respecto a la condición histórica.

Al proporcionar una bomba dosificadora y sistema de cañerías, ayudó a dar al proceso un menor requerimiento de manejo operacional manual.

Con el método de Prueba de Jarras, se logró determinar que las dosificaciones de productos químicos aplicados al proceso, no eran los óptimos para el RIL generado por la maestranza de limpieza química.

Al implementar las dosificaciones químicas determinadas por el método propuesto, se logra cumplir con todos los parámetros exigidos por la Tabla 4 del D.S. N° 90.

Fue indispensable la implementación de planillas de mantención de equipos e inventario de insumos, ya que dicha gestión, contribuyó a no presentar ninguna detención en el funcionamiento de la planta de tratamientos por falta de insumos o fallas en equipos.

- Recomendaciones.

Implementar al diseño de la planta de RILes, para mezclar el RIL crudo con el coagulante  $\text{Ca(OH)}_2$  (Hidróxido de Calcio), un estanque homogeneizador antes del sedimentador primario. Esta medida permitirá obtener una mejor y más rápida sedimentación como se observa en la Figura 11.

Evaluar un producto coagulante como el PACl (Policloruro de Aluminio) o el  $\text{FeCl}_3$  (Cloruro Férrico) para sedimentar el compuesto orgánico del sedimentador secundario (ver Anexo 13).

Implementar a nivel laboratorio el aparato de Prueba de Jarras una vez diseñado el estanque homogeneizador. Esto permitirá conocer periódicamente las dosificaciones de insumos químicos y velocidad de agitación óptima.

Implementar en la planta de RILes el instrumento *Streaming Current* para visualizar mediante su pantalla si el RIL necesita o carece del agente coagulante insertado.

Evaluar la adición de un producto floculante como las Poliacrilamidas para favorecer una sedimentación más rápida tanto del compuesto orgánico como del inorgánico.

## 8. REFERENCIAS.

- [1] Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales* [Proyecto de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMon?sequence=1>
- [2] Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). *Estudio del proceso de la coagulación floculación de aguas residuales de la empresa textil «Desembarco del Granma» a escala de laboratorio* [Universidad de Oriente]. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
- [3] Cortés, A., Díaz, M., & Salgado, M. (2017). *Bacillus cereus: Alimentos, salud y biotecnología* [Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1122/1/PUB-ARTICULO-3995.PDF>
- [4] Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). *Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales* [Documentos de Trabajo ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771>
- [5] García, F. N., & Gutiérrez, D. (2018). *Diseño y operación de un reactor de lecho móvil aeróbico para tratamiento de agua residual domestica* [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18000/GarciaNathalia%2CGuti%C3%A9rrezDaniela%2C2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- [6] Ghernaout, D., Ibraheem, A., Wahib, M., Boucherit, A., Ait, N., Aichounit, M., & Abdallah, A. (2015). *Controlling Coagulation Process: From Zeta Potential to Streaming Potential* [Universidad de Blida, Blida, Algeria]. [https://www.researchgate.net/publication/316304879\\_Controlling\\_Coagulation\\_Process\\_From\\_Zeta\\_Potential\\_to\\_Streaming\\_Potential](https://www.researchgate.net/publication/316304879_Controlling_Coagulation_Process_From_Zeta_Potential_to_Streaming_Potential)
- [7] Madueño Delgado, R. (2018). *Tratamiento de efluentes de un reactor UASB mediante una mezcla de amonio cuaternario y hierro* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3737/madue%C3%B1o-delgado-rodrigo.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [8] Muzi, S. (2014). *Evaluation of the streaming current detector (SCD) for coagulation control*. Recuperado en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814001362>
- [9] Noreña, F. A. (2002). *Modelo para la dosificación de cal en la planta WIESNER* [Universidad de los Andes ]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15740/u236803.pdf?sequence=1>
- [10] Oliva, J., Giacoman, G., & Pérez, M. (2008). *Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico* [Universidad Autónoma de Yucatán]. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46712202.pdf>
- [11] Pérez, A. (2018). *Evaluación de la influencia del grado de polimerización del policloruro de aluminio como coagulante primario en el tratamiento de agua* [Trabajo de Grado, Universidad de Carabobo]. <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/7005/aperez.pdf?sequence=3>

[12] Presidencia, D. E. L. A. (2001). *DTO-90 07-MAR-2001 Ministerio secretaría general de la presidencia* [Biblioteca del Congreso | Ley Chile]. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>

[13] Reyes, J., & Schuffenegger, J. (s.f.). *Control on-line de coloides en planta SANTA FE*. Recuperado en: [https://www.eucalyptus.com.br/icep02/reyes\\_schuffenegger.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/icep02/reyes_schuffenegger.pdf)

[14] Riquelme, C. P. (2006). *Optimización de un biorreactor de lecho móvil (MBBR) para la biodegradación de un efluente proveniente de la industria de celulosa Kraft* [Seminario de título, Universidad de Concepción]. <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-claudio-parra-2006.pdf>

[15] Tapia, D. C. (2019). “*Efecto del uso de diferentes antiespumantes en la fermentación anaerobia de Mucilago de cacao CCN-51 en diversas concentraciones de la levadura Saccharomyces cerevisiae y su influencia en la producción de bioetanol*” [Trabajo de Titulación, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33464/4/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

[16] Ecopreneur. (s. f.). *Tratamientos Biológicos Aeróbicos*. Recuperado en: <https://www.ecopreneur.cl/tratamientos-biologicos-aerobicos/>

## 9. ANEXOS.

- Anexo 1. Dosificación antiespumante.

El agente antiespumante a base de emulsiones de silicona funciona efectivamente a una concentración de 15 ppm según indicaciones del proveedor Marpro Chile.

1 ppm  $\rightarrow$  0,001 ml/L.

15 ppm  $\rightarrow$  0,015 ml/L.

Tamaño biorreactor MBBR: 3500 L.

Cantidad de antiespumante necesaria para el agua del biorreactor:

0,015 ml/L \* 3500 L = 52,5 ml.

La bomba dosificadora para el antiespumante tiene una capacidad máxima de 0,6 GPH, es decir:

1 GPH  $\rightarrow$  3,785 L/h.

0,6 GPH  $\rightarrow$  2,271 L/h \* 1h/60 min \* 1000 ml/ 1 L = 37,85 ml/min.

Los sopladores funcionan 20 minutos cada una hora, por lo que:

52,5 ml/ 20 min = 2,625 ml/min.

Para que la bomba dosificadora abastezca ese flujo habría que adaptarlo a un porcentaje de:

37,85 ml/min  $\rightarrow$  100 %

2,625 ml/min  $\rightarrow$  6,94 %.

Pero según las indicaciones del fabricante, el agente anti espumógeno se puede diluir hasta 3 veces en agua, por lo que la bomba dosificadora se podría adaptar a:

37,85 ml/min  $\rightarrow$  100 %

7,875 ml/min  $\rightarrow$  20,8 %.



- Anexo 2. Planilla caudal tratado por la planta de RILes.

Jornada	Fecha	Caudal flujómetro (m <sup>3</sup> )	Caudal tratado (m <sup>3</sup> /día)	Observación
Mañana	Lun 12-04-2021	97,4		
Mañana	Mar 13-04-2021	98,579	1,179	
Mañana	Mie 14-04-2021	102,011	3,432	
Mañana	Jue 15-04-2021	105,698	3,687	
Mañana	Vie 16-04-2021	110,053	4,355	
Tarde	Lun 19-04-2021	112,49	2,437	
Tarde	Mar 20-04-2021	115,01	2,52	
Tarde	Mie 21-04-2021	115,01	0	Sopladores malos.
Tarde	Jue 22-04-2021	115,01	0	Sopladores malos.
Tarde	Vie 23-04-2021	115,01	0	Sopladores malos.
Mañana	Lun 26-04-2021	115,01	0	Sopladores malos.
Mañana	Mar 27-04-2021	115,01	0	Sopladores malos.
Mañana	Mie 28-04-2021	115,01	0	Llenado de estanque.
Mañana	Jue 29-04-2021	115,693	0,683	
Mañana	Vie 30-04-2021	117,881	2,188	
Tarde	Lun 03-05-2021	119,392	1,511	
Tarde	Mar 04-05-2021	119,941	0,549	
Tarde	Mie 05-05-2021	121,252	1,311	
Tarde	Jue 06-05-2021	122,606	1,354	
Tarde	Vie 07-05-2021	125,143	2,537	
Mañana	Lun 10-05-2021	126,804	1,661	
Mañana	Mar 11-05-2021	126,804	0	No operativa.
Mañana	Mie 12-05-2021	127,682	0,878	
Mañana	Jue 13-05-2021	127,682	0	No operativa.
Mañana	Vie 14-05-2021	130,095	2,413	
Tarde	Lun 17-05-2021	130,831	0,736	
Tarde	Mar 18-05-2021	132,361	1,53	
Tarde	Mie 19-05-2021	133,401	1,04	
Tarde	Jue 20-05-2021	134,676	1,275	
Tarde	Vie 21-05-2021	134,676	0	Feriado.
Mañana	Lun 24-05-2021	135,237	0,561	
Mañana	Mar 25-05-2021	136,953	1,716	
Mañana	Mie 26-05-2021	137,818	0,865	
Mañana	Jue 27-05-2021	138,848	1,03	

Mañana	Vie 28-05-2021	139,694	0,846	
Tarde	Lun 31-05-2021	139,998	0,304	
Tarde	Mar 01-06-2021	140,544	0,546	
Tarde	Mie 02-06-2021	141,419	0,875	
Tarde	Jue 03-06-2021	141,864	0,445	
Tarde	Vie 04-06-2021	142,347	0,483	
Mañana	Lun 07-06-2021	142,897	0,55	
Mañana	Mar 08-06-2021	143,674	0,777	
Mañana	Mie 09-06-2021	144,001	0,327	
Mañana	Jue 10-06-2021	145,092	1,091	
Mañana	Vie 11-06-2021	145,891	0,799	
Tarde	Lun 14-06-2021	146,548	0,657	
Tarde	Mar 15-06-2021	146,931	0,383	
Tarde	Mie 16-06-2021	147,513	0,582	
Tarde	Jue 17-06-2021	147,513	0	No operativa, problema bomba sedimentador 1.
Tarde	Vie 18-06-2021	147,513	0	No operativa, problema bomba sedimentador 1.
Mañana	Lun 21-06-2021	147,513	0	Feriado.
Mañana	Mar 22-06-2021	147,513	0	No operativa, problema bomba sedimentador 1.
Mañana	Mie 23-06-2021	147,513	0	No operativa, problema bomba sedimentador 1.
Mañana	Jue 24-06-2021	147,513	0	No operativa, problema bomba sedimentador 1.
Mañana	Vie 25-06-2021	147,513	0	No operativa, problema bomba sedimentador 1.
Tarde	Lun 28-06-2021	147,513	0	Feriado.
Tarde	Mar 29-06-2021	148,8	1,287	
Tarde	Mie 01-07-2021	149,2	0,4	
Tarde	Jue 02-07-2021	149,71	0,51	
Tarde	Vie 03-07-2021	150,568	0,858	
Mañana	Lun 05-07-2021	152,39	1,822	
Mañana	Mar 06-07-2021	154,521	2,131	
Mañana	Mie 07-07-2021	156,723	2,202	
Mañana	Jue 08-07-2021	159,05	2,327	
Mañana	Vie 09-07-2021	160,12	1,07	
Tarde	Lun 12-07-2021	161,502	1,382	
Tarde	Mar 13-07-2021	162,661	1,159	
Tarde	Mie 14-07-2021	163,19	0,529	

Tarde	Jue 15-07-2021	164,23	1,04	
Tarde	Vie 16-07-2021	165,044	0,814	

- Anexo 3. Planilla de caudal ocupado por proceso de limpieza química.

Hidrolavadora 1					Hidrolavadora 2			
Fecha	Horometro (h)	h/día	Caudal diario (m <sup>3</sup> /día)	Observación	Horometro (h)	h/día	Caudal diario (m <sup>3</sup> /día)	Observación
Lun 12-04-2021	2101,14				2747,38	0	0	No operando.
Mar 13-04-2021	2105,26	4,12	2,1012		2747,38	0	0	No operando.
Mie 14-04-2021	2106,39	1,13	0,5763		2747,38	0	0	No operando.
Jue 15-04-2021	2107,77	1,38	0,7038		2747,38	0	0	No operando.
Vie 16-04-2021	2109,05	1,28	0,6528		2747,38	0	0	No operando.
Lun 19-04-2021	2112,99	3,94	2,0094		2747,38	0	0	No operando.
Mar 20-04-2021	2113,98	0,99	0,5049		2747,38	0	0	No operando.
Mie 21-04-2021	2116,97	2,99	1,5249		2747,38	0	0	No operando.
Jue 22-04-2021	2118,9	1,93	0,9843		2747,38	0	0	No operando.
Vie 23-04-2021	2120,72	1,82	0,9282		2747,38	0	0	No operando.
Lun 26-04-2021	2120,72	0	0	No operando.	2750,92	3,54	1,8054	
Mar 27-04-2021	2120,72	0	0	No operando.	2755,93	5,01	2,5551	
Mie 28-04-2021	2120,72	0	0	No operando.	2759,45	3,52	1,7952	
Jue 29-04-2021	2120,72	0	0	No operando.	2759,45	0	0	No operando.
Vie 30-04-2021	2120,72	0	0	No operando.	2762,5	3,05	1,5555	
Lun 03-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2768,7	6,2	3,162	
Mar 04-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2768,7	0	0	No operando.
Mie 05-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2772,49	3,79	1,9329	
Jue 06-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2776,2	3,71	1,8921	
Vie 07-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2780,69	4,49	2,2899	
Lun 10-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2781,53	0,84	0,4284	
Mar 11-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2782,62	1,09	0,5559	
Mie 12-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2782,79	0,17	0,0867	
Jue 13-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2784,83	2,04	1,0404	
Vie 14-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2787,12	2,29	1,1679	
Lun 17-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2788,13	1,01	0,5151	
Mar 18-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2790,79	2,66	1,3566	
Mie 19-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2792,13	1,34	0,6834	
Jue 20-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2793,07	0,94	0,4794	

Vie 21-05-2021	2120,72	0	0	Feriado.	2793,07	0	0	Feriado.
Lun 24-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2793,47	0,4	0,204	
Mar 25-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2795,64	2,17	1,1067	
Mie 26-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2798,65	3,01	1,5351	
Jue 27-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2804,44	5,79	2,9529	
Vie 28-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2808,08	3,64	1,8564	
Lun 31-05-2021	2120,72	0	0	No operando.	2808,08	0	0	A bordo.
Mar 01-06-2021	2122,72	2	1,02		2808,08	0	0	A bordo.
Mie 02-06-2021	2126,64	3,92	1,9992		2808,08	0	0	A bordo.
Jue 03-06-2021	2128,79	2,15	1,0965		2808,08	0	0	A bordo.
Vie 04-06-2021	2132,71	3,92	1,9992		2808,08	0	0	A bordo.
Lun 07-06-2021	2136,21	3,5	1,785		2808,08	0	0	A bordo.
Mar 08-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2808,08	0	0	A bordo.
Mie 09-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2838,23	30,15	15,3765	A bordo.
Jue 10-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2840,62	2,39	1,2189	
Vie 11-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2843,55	2,93	1,4943	
Lun 14-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2847,93	4,38	2,2338	
Mar 15-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2851,73	3,8	1,938	
Mie 16-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2859,35	7,62	3,8862	
Jue 17-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2864,39	5,04	2,5704	
Vie 18-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2868,54	4,15	2,1165	
Lun 21-06-2021	2136,21	0	0	Feriado.	2868,54	0	0	Feriado.
Mar 22-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2870,06	1,52	0,7752	
Mie 23-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2871,38	1,32	0,6732	
Jue 24-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2874,23	2,85	1,4535	
Vie 25-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2881,15	6,92	3,5292	
Lun 28-06-2021	2136,21	0	0	Feriado.	2881,15	0	0	Feriado.
Mar 29-06-2021	2136,21	0	0	No operando.	2883,21	2,06	1,0506	
Mie 01-07-2021	2136,21	0	0	No operando.	2884,23	1,02	0,5202	
Jue 02-07-2021	2136,21	0	0	A bordo.	2886,06	1,83	0,9333	
Vie 03-07-2021	2136,21	0	0	A bordo.	2887,9	1,84	0,9384	
Lun 05-07-2021	2136,21	0	0	A bordo.	2890,12	2,22	1,1322	
Mar 06-07-2021	2136,21	0	0	A bordo.	2893,24	3,12	1,5912	
Mie 07-07-2021	2136,21	0	0	A bordo.	2901,16	7,92	4,0392	
Jue 08-07-2021	2136,21	0	0	A bordo.	2905,05	3,89	1,9839	
Vie 09-07-2021	2138,71	2,5	1,275	A bordo.	2906,11	1,06	0,5406	
Lun 12-07-2021	2138,71	0	0	No operando.	2907,13	1,02	0,5202	
Mar 13-07-2021	2138,71	0	0	No operando.	2909,78	2,65	1,3515	
Mie 14-07-2021	2138,71	0	0	No operando.	2910,43	0,65	0,3315	

Jue 15-07-2021	2138,71	0	0	No operando.	2911,64	1,21	0,6171	
Vie 16-07-2021	2138,71	0	0	No operando.	2912,32	0,68	0,3468	

- Anexo 4. Ejemplo de cálculo para caudal diario ocupado por el proceso de limpieza química.

Ejemplo de cálculo para Hidrolavadora 1 en día Martes 13 de abril del 2021.

Para Lunes 12 de abril del 2021, el horómetro marcaba: 2.101,14 h.

Para Martes 13 de abril del 2021, el horómetro marcaba: 2.105,26 h.

Horas diarias: 2.105,26 h – 2.101,14 h = 4,12 h.

Con el experimento del Bidón graduado, se obtuvo un caudal medido de 8,5 L/min.

Por lo que: 8,5 L/min = 510 L/h.

Caudal diario ocupado: 510 L/h \* 4,12 h = 2.101,2 L = 2,1012 m<sup>3</sup>.

- Anexo 5. Capacidad de la bomba dosificadora implementada para el Ca(OH)<sub>2</sub>.

1 GPH → 3,785 L/h.

2,4 GPH (capacidad máxima de la bomba dosificadora) → 9,084 L/h.

Para una jornada de 8 horas, la capacidad de inyección de Lechada de Cal es:

9,084 L/h \* 8 h = 72,672 L.

Para la realización de la Prueba de Jarras, se tiene:

0,2 L de RIL crudo → 0,008 L de Lechada de Cal.

1660 L de RIL crudo → 66,4 L de Lechada de Cal.

Para que la bomba dosificadora abastezca ese flujo habría que adaptarlo a un porcentaje de:

72,672 L → 100 %

66,4 L → 91,4 %.

Observación: Para la realización de la Prueba de Jarras con 9 ml de inyección de Lechada de Cal, se necesitarían 74,7 L de Lechada, lo cual la bomba no puede inyectar ese flujo al menos que se baje el caudal tratado diario o se aumenten las horas de funcionamiento de la planta.

- Anexo 6. Capacidad de la bomba dosificadora de PAC.

1 GPH  $\rightarrow$  3,785 L/h.

0,6 GPH (capacidad máxima de la bomba dosificadora)  $\rightarrow$  2,271 L/h.

Para una jornada de 8 horas, la capacidad de inyección de PAC es:

2,271 L/h \* 8 h = 18,168 L.

Para la realización de la Prueba de Jarras, se tiene:

0,2 L de RIL crudo  $\rightarrow$  0,002 L de PAC.

1660 L de RIL crudo  $\rightarrow$  16,6 L de PAC.

Para que la bomba dosificadora abastezca ese flujo habría que adaptarlo a un porcentaje de:

18,168 L  $\rightarrow$  100 %

16,6 L  $\rightarrow$  91,4 %.

Observación: Para la realización de la Prueba de Jarras con 3 ml de inyección de PAC, se necesitaría 24,9 L de PAC, lo cual la bomba no puede inyectar ese flujo al menos que se baje el caudal tratado diario o se aumenten las horas de funcionamiento de la planta.

- Anexo 7. Planilla mantención de equipos.

Fecha	Filtro de partículas	Filtro de hidrocarburos	Retro-lavado filtro multimedia presurizado	Vaciado de estanque de lodos	Limpieza filtro de prensa
Mie 07-04-2021					
Jue 09-04-2021			X		
Vie 10-04-2021				x	
Lun 12-04-2021					
Mar 13-04-2021					
Mie 14-04-2021					
Jue 15-04-2021					
Vie 16-04-2021				x	
Lun 19-04-2021					x
Mar 20-04-2021					
Mie 21-04-2021	x				
Jue 22-04-2021			X		
Vie 23-04-2021				x	
Lun 26-04-2021					
Mar 27-04-2021					
Mie 28-04-2021					
Jue 29-04-2021					
Vie 30-04-2021				x	
Lun 03-05-2021					
Mar 04-05-2021					
Mie 05-05-2021		x			
Jue 06-05-2021			X		
Vie 07-05-2021				x	
Lun 10-05-2021					
Mar 11-05-2021					
Mie 12-05-2021	x				
Jue 13-05-2021					
Vie 14-05-2021				x	
Lun 17-05-2021					x
Mar 18-05-2021					
Mie 19-05-2021					
Jue 20-05-2021			X	x	
Vie 21-05-2021					
Lun 24-05-2021					
Mar 25-05-2021					

Mie 26-05-2021	x				
Jue 27-05-2021				x	
Vie 28-05-2021					
Lun 31-05-2021					
Mar 01-06-2021					
Mie 02-06-2021		x			
Jue 03-06-2021			X		
Vie 04-06-2021				x	
Lun 07-06-2021					
Mar 08-06-2021					
Mie 09-06-2021	x				
Jue 10-06-2021					
Vie 11-06-2021				x	
Lun 14-06-2021					x
Mar 15-06-2021					
Mie 16-06-2021					
Jue 17-06-2021			X		
Vie 18-06-2021				X	
Lun 21-06-2021					
Mar 22-06-2021					
Mie 23-06-2021					
Jue 24-06-2021					
Vie 25-06-2021				X	
Lun 28-06-2021					
Mar 29-06-2021					
Mie 01-07-2021	x				
Jue 02-07-2021					
Vie 03-07-2021				X	
Lun 05-07-2021					
Mar 06-07-2021					
Mie 07-07-2021		x			
Jue 08-07-2021					
Vie 09-07-2021				X	
Lun 12-07-2021					X
Mar 13-07-2021					
Mie 14-07-2021	x				
Jue 15-07-2021			X		
Vie 16-07-2021				X	



• Anexo 8. Planilla insumos bodega.

Fecha	NaClO (L) (88250)	PAC (L)	Bacterias lío-filizadas (frascos) (271849)	Antiespumante (L) (272531)	Ca (OH) <sub>2</sub> (kg) (22546)	NaOH (kg)	Filtro partículas (unid) (272321)	Filtro de hidrocarburos (unid) (272563)	Filtro pulidor (unid) (272730)
Lun 12-04-2021	15	10	126	0	1500	490	0	0	0
Mar 13-04-2021	15	10	126	0	1500	484	0	0	0
Mie 14-04-2021	15	10	126	0	1500	484	0	0	0
Jue 15-04-2021	15	10	126	0	1500	481	0	0	0
Vie 16-04-2021	15	10	126	0	1480	478	0	0	0
Lun 19-04-2021	15	10	121	0	1480	478	0	0	0
Mar 20-04-2021	65	370	121	120	1480	478	5	0	0
Mie 21-04-2021	65	370	121	120	1480	478	4	0	0
Jue 22-04-2021	65	370	121	120	1480	478	4	0	0
Vie 23-04-2021	65	370	121	120	1480	478	4	0	0
Lun 26-04-2021	65	370	116	120	1480	478	4	0	0
Mar 27-04-2021	65	370	116	100	1480	478	4	0	0
Mie 28-04-2021	65	370	116	100	1480	472	4	0	0
Jue 29-04-2021	65	370	116	100	1480	472	4	0	0
Vie 30-04-2021	65	370	116	100	1480	472	4	0	0
Lun 03-05-2021	65	370	111	100	1480	472	4	0	0
Mar 04-05-2021	65	370	111	100	1480	472	4	19	0
Mie 05-05-2021	65	370	111	100	1480	472	4	18	0
Jue 06-05-2021	65	370	111	100	1460	472	4	18	0
Vie 07-05-2021	65	370	111	100	1460	472	4	18	0
Lun 10-05-2021	65	370	106	100	1460	472	4	18	0
Mar 11-05-2021	65	370	106	80	1460	472	4	18	0
Mie 12-05-2021	65	370	106	80	1460	472	3	18	0
Jue 13-05-2021	65	370	106	80	1460	472	3	18	0
Vie 14-05-2021	65	370	106	80	1460	472	3	18	0
Lun 17-05-2021	65	350	101	80	1460	472	3	18	0
Mar 18-05-2021	65	350	101	80	1460	472	3	18	0
Mie 19-05-2021	65	350	101	80	1460	472	3	18	0
Jue 20-05-2021	65	350	101	80	1460	472	3	18	0
Vie 21-05-2021	65	350	101	80	1460	472	3	18	0
Lun 24-05-2021	65	350	96	80	1440	472	3	18	0
Mar 25-05-2021	65	350	96	80	1440	472	3	18	0
Mie 26-05-2021	65	350	96	80	1440	472	2	18	0

Jue 27-05-2021	65	350	96	80	1440	472	2	18	0
Vie 28-05-2021	65	350	96	80	1440	472	2	18	0
Lun 31-05-2021	65	350	91	80	1440	472	2	18	0
Mar 01-06-2021	65	350	91	60	1440	469	2	18	4
Mie 02-06-2021	65	350	91	60	1440	469	2	17	4
Jue 03-06-2021	65	350	91	60	1420	469	2	17	4
Vie 04-06-2021	65	350	91	60	1420	469	2	17	4
Lun 07-06-2021	65	350	86	60	1420	469	2	17	4
Mar 08-06-2021	65	350	86	60	1420	469	2	17	4
Mie 09-06-2021	65	350	86	60	1420	469	1	17	4
Jue 10-06-2021	65	350	86	60	1420	469	1	17	4
Vie 11-06-2021	65	350	86	60	1420	469	1	17	4
Lun 14-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	4
Mar 15-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Mie 16-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Jue 17-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Vie 18-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Lun 21-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Mar 22-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Mie 23-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Jue 24-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Vie 25-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Lun 28-06-2021	65	350	81	60	1400	469	1	17	3
Mar 29-06-2021	65	350	76	60	1400	466	1	17	3
Mie 01-07-2021	65	350	76	60	1400	466	0	17	3
Jue 02-07-2021	65	350	76	60	1380	466	0	17	3
Vie 03-07-2021	65	350	76	60	1380	466	0	17	3
Lun 05-07-2021	65	350	71	60	1380	466	0	17	3
Mar 06-07-2021	65	350	71	60	1380	466	0	17	3
Mie 07-07-2021	65	350	71	60	1380	466	0	16	3
Jue 08-07-2021	65	350	71	60	1380	466	0	16	3
Vie 09-07-2021	65	350	71	60	1360	466	0	16	3
Lun 12-07-2021	65	350	66	40	1360	466	8	16	3
Mar 13-07-2021	65	350	66	40	1360	466	8	16	3
Mie 14-07-2021	55	350	66	40	1360	466	7	16	3
Jue 15-07-2021	55	350	66	40	1360	466	7	16	3
Vie 16-07-2021	55	350	66	40	1360	466	7	16	3

- Anexo 9. Incremento en caudal tratado para agua de descarte filtro de prensa.

Resultado de caudal expulsado por agua de descarte de filtro de prensa:

6 seg  $\rightarrow$  250 ml.

0,1 min  $\rightarrow$  0,25 L.

La bomba de lodos del sedimentador primario funciona 5 min cada 3 h, para 1 jornada se tiene:

3 h  $\rightarrow$  5 min.

8 h  $\rightarrow$  13,33 min.

El caudal incrementado al estanque clarificador por jornada sería:

$$0,25 \text{ L} / 0,1 \text{ min} = 2,5 \text{ L/min} * 13,33 \text{ min} = 33,33 \text{ L} = 0,033 \text{ m}^3.$$

- Anexo 10. Incremento en caudal tratado para RIL de sedimentador secundario.

Resultado de RIL perdido en sedimentador secundario:

6 seg  $\rightarrow$  250 ml.

0,0016 h  $\rightarrow$  0,00025 m<sup>3</sup>.

El caudal incrementado al estanque de agua tratada por jornada sería:

$$0,00025 \text{ m}^3 / 0,0016 \text{ h} = 0,15625 \text{ m}^3/\text{h} * 8 \text{ h} = 1,25 \text{ m}^3.$$

- Anexo 11. Capacidad de inyección de la antigua bomba dosificadora de Ca(OH)<sub>2</sub>.

1 GPH  $\rightarrow$  3,785 L/h.

0,6 GPH (capacidad máxima de la bomba dosificadora)  $\rightarrow$  2,271 L/h.

Para una jornada de 8 horas, la capacidad de inyección de Ca(OH)<sub>2</sub> era:

$$2,271 \text{ L/h} * 8 \text{ h} = 18,168 \text{ L}.$$

- Anexo 12. Características de bacterias del género *Bacillus*.

El género *Bacillus* pertenece a la familia *Bacillaceae*, en la cual se han descrito más de 50 especies; la mayor parte de estos microorganismos son saprofitos (obtienen su energía de materia orgánica muerta) y se encuentran ampliamente distribuidos en el medio ambiente como en el suelo, agua dulce y salada, alimentos, materia vegetal y tracto gastrointestinal de los animales. Los miembros del género se caracterizan por ser bacilos cuyas células vegetativas presentan un intervalo de tamaño de  $0.5 \times 1.2$  a  $2.5 \times 10$   $\mu\text{m}$  de diámetro, son móviles debido a flagelos peritricos, aerobios y anaerobios facultativos (pueden emplear oxígeno pero también tienen la capacidad de producir energía sin la necesidad de este), gram positivos, crecimiento óptimo a pH entre 5.5 - 8.5 y rango de temperatura de 4°C a 48°C. Son capaces de producir endosporas (formas de resistencia a condiciones ambientales o nutricionales adversas). Diferentes especies presentan utilidad para el ser humano, pues son utilizadas como indicadores de desinfección o esterilización; asimismo, son capaces de producir antibióticos, vitaminas, enzimas, intervenir en la solubilización de fosfatos, fijación biológica del nitrógeno, o pueden ser productoras de compuestos anfipáticos denominados biosurfactantes, los cuales han mostrado propiedades fisicoquímicas y biológicas de interés en diversas áreas industriales, tales como la farmacéutica, alimentos y ambiental, entre otras (Cortés, Díaz & Salgado *et al*, 2017).

- Anexo 13. Productos químicos ocupados como coagulantes por ASMAR y tipos de agentes coagulantes inorgánicos ocupados convencionalmente para tratamientos de RILes.

Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

El Hidróxido de Calcio es empleado en tratamiento de aguas residuales con el fin de elevar el pH en el agua y eliminar los metales más pesados presentes en ella con el efecto de coagulación.

La cal puede ser añadida en su forma viva ( $\text{CaO}$ ), en su forma apagada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), siendo más efectiva la segunda, pero requiriendo de su preparación previa y alojamiento en forma de Lechada de Cal antes de la aplicación, por lo general la relación de cal que debe ser aplicada al agua a tratar está determinada por las características de la misma, y se facilita cuando estas permanecen constante a lo largo del funcionamiento.

En otros casos, cuando dichas características son variables en el tiempo, el operador mediante la experiencia previa aproxima las cantidades generando una base de datos en la cual se relacionan la cantidad de cal añadida a un ajuste de pH obtenido y de esta forma basta con saber el pH entrante para conocer la cantidad de Lechada necesaria, la cual se aplica con un dosificador el cual permite controlar el volumen aplicado.

Para la preparación de la Lechada se utiliza un tanque de mezcla rápida, donde la cal sólida se aplica con agua para dar origen a la Lechada, según la planta se establece una concentración la cual se mantiene lista para la aplicación (Noreña *et al*, 2002).

Polímeros de Amonio Cuaternario (PAC).

El catión de amonio cuaternario es un ion poliatómico positivamente cargado de estructura  $\text{NR}_4^+$ , R comenzando en un grupo alquilo o en un grupo arilo. A diferencia del ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y los cationes de amonio primario, secundario o terciario, los cationes de amonio cuaternario están cargados permanentemente, independientemente del pH de la solución.

Estos compuestos muestran una variedad de propiedades físicas, químicas y biológicas y la mayoría de compuestos son solubles en disolventes miscibles en agua. Es utilizado como desinfectante y alguicidas para piscinas, depósitos de agua industriales y estanques de la granja.

Además, el amonio cuaternario, debido a su acción desinfectante, permite garantizar que los lodos que se generen (provenientes de la etapa de floculación), ya no continuarán en

descomposición, garantizando evitar la generación de malos olores y proliferación de patógenos.

Como es conocido, las bacterias exteriormente poseen carga negativa debido a la estructura y composición de su pared celular, ya sea de tipo gram positiva o gram negativa; basados en este principio, al aplicar una mezcla de compuestos catiónicos que funcionará como coagulante y floculante a la misma vez. Esta mezcla generará la atracción de cargas opuestas y a la vez, el amonio cuaternario empleará su acción desinfectante para evitar la proliferación de las bacterias en el lodo remanente y suprimirá por completo su acción patógena (Madueño *et al*, 2018).

Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ).

Se presenta en forma sólida o líquida; esta última es la más utilizada en el tratamiento del agua. La forma sólida es cristalina, de color pardo, delicuescente.

El  $\text{FeCl}_3$  usado como coagulante, tiene ventajas al compararlo con otros, entre las que se destacan su efectividad en amplios rangos de pH y temperatura. Además, genera iones trivalentes de mayor peso molecular, esenciales para el proceso de coagulación. Adicionalmente, estos productos de la hidrólisis de los coagulantes metálicos cargados positivamente neutralizan las cargas negativas de la materia orgánica y forma complejos insolubles. Se ha comprobado que la dosis de  $\text{FeCl}_3$  es más baja que la de la alúmina para obtener los mismos resultados (Madueño *et al*, 2018).

Policloruro de Aluminio (PACl).

El PACl se utiliza como coagulante en el tratamiento de agua para remover sólidos en suspensión y partículas orgánicas, también es utilizado en la industria de papel, textil, cosméticos, petróleo, entre otras; en los últimos años el PACl, ha sido uno de los coagulantes con mayor uso a nivel mundial, ya que no deja residuo de aluminio en el

agua tratada, mejorando ciertas características de la misma para que pueda ser de calidad y apta para el consumo humano.

El PACl es una sal inorgánica de aluminio multinuclear capaz de formar con mayor rapidez y perfección, coágulos con mayor velocidad de sedimentación y poder clarificante logrando remociones más altas de turbiedad respecto a otras sales de aluminio mononuclear como el sulfato de aluminio. El pH óptimo de funcionamiento está entre 5.0 y 9.0 dependiendo del contenido de carbono orgánico disuelto en el agua.

El PACl tiene la ventaja de su fácil manejo y dosificación sin dejar residuos insolubles indeseados, a diferencia de los coagulantes convencionales granulados que deben disolverse y en muchos casos dejan residuos que dañan los equipos dosificadores (Pérez *et al*, 2018).

- Anexo 14. Dosificación de HCl (Ácido Clorhídrico) a nivel planta.

Dosificación en bomba dosificadora de 0,6 GPH:

1 GPH → 3,785 L/h.

0,6 GPH (capacidad máxima de la bomba dosificadora) → 2,271 L/h.

Dosificación diaria de HCl:

0,2 L de RIL crudo → 0,001 L de HCl.

1660 L de RIL crudo → 8,3 L.

Para una jornada de 8 horas, la capacidad de HCl es:

2,271 L/h \* 8 h = 18,168 L.

Para que la bomba dosificadora abastezca ese flujo habría que adaptarlo a un porcentaje de:

18,168 L → 100 %

8,3 L → 46%.