



Instituto de Investigación
e Ingeniería Ambiental



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

PROYECTO FINAL INTEGRADOR PARA EL TÍTULO DE
INGENIERÍA AMBIENTAL

“Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria curtidora vegetal”



Autor:

Tomas Ehrenfeld
Legajo CYT-4914
Ingeniería Ambiental

Tutora:

Ing. Ruth Rodriguez

Buenos aires, 8 de junio de 2020

Resumen

El presente documento busca resolver la problemática generada a partir de la futura instalación de una nueva industria curtidora vegetal que será emplazada en la ciudad Mariano Acosta, Partido de Merlo, Buenos Aires, Argentina.

La industria de curtición está asociada a grandes producciones de residuos tanto sólidos como líquidos. Existe la creencia popular que la curtición vegetal no es contaminante debido a que no se utiliza cromo durante su proceso productivo. Lejos de ser cierto, los efluentes generados a partir de la producción de curtido vegetal presentan altas cargas orgánicas de mayor resiliencia que los efluentes de curtido al cromo debido a la presencia de sintanos y taninos.

Durante este proyecto se desarrolló el diseño de una planta de tratamiento que permite lograr una correcta gestión de los efluentes líquidos generados a partir de la producción de curtido vegetal. Se realizó la memoria descriptiva, memoria de cálculo y cómputos y presupuestos de una planta de tratamiento que incluye el pretratamiento, tratamiento primario, 2 alternativas viables de tratamiento secundario y el tratamiento terciario. Adicionalmente, se analizó la factibilidad técnica, operativa y comercial de realizar el aprovechamiento del efluente generado por la alternativa de tratamiento biológico de tren de lagunas como insumo para una planta de recuperación de alga *Espirulina*. Al tener esta alga un alto valor comercial, se llevo adelante el dimensionamiento y cómputos de presupuesto e inversión para la construcción de una planta de concentración del alga.

Se realizó una comparación de las alternativas propuestas para el tratamiento secundario y se seleccionó la que se consideró más viable en términos económicos y operativos. Al final del trabajo se presentan los planos realizados indicativos de las dimensiones de las unidades diseñadas.

Una vez seleccionada la alternativa de tratamiento secundario se realizó un estudio de impacto ambiental para el desarrollo de la planta de tratamiento de efluentes incluyendo las instancias de construcción, operación y un potencial cierre.

Durante la realización de este proyecto se participó en el Programa de Becas de Formación Profesional en el marco del Plan Estratégico de Formación de Ingenieros (PEFI) donde se realizó el desarrollo del proyecto “Vulnerabilidad y adaptación de proyectos de ingeniería ambiental a la variabilidad y cambio climático” bajo la tutoría de la Licenciada en ciencias de la atmósfera y directora de la carrera de Ing. Ambiental en la UNSAM, Diana Mielnicki. Durante el proyecto se logró informar sobre la ocurrencia de eventos climáticos extremos y particularmente, cómo estos afectan a plantas de tratamiento de efluentes. Además, se informó sobre metodologías y planes de mitigación para minimizar, reducir y en algunos casos evitar los impactos de los eventos extremos sobre las plantas de tratamiento de efluentes.

Finalmente, se logró realizar exitosamente la consigna propuesta por la cátedra para alcanzar el título de grado de Ingeniería Ambiental logrando un correcto diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria de curtición.

Índice

Capítulo 1: Introducción	7
1.1 Exordio.....	7
1.2 Objetivos.....	8
Capítulo 2: Marco teórico	9
2.1 Historia del curtido	9
2.2 Industria del cuero en la actualidad	10
2.3 Proceso de curtido	10
2.3.1 Etapa de Ribera	10
2.3.2 Etapa de curtido	12
2.3.3 Etapa de Acabado	13
2.4 Marco legal	14
Capítulo 3: Estudios preliminares.....	16
3.1 Ubicación	16
3.2 Cuenca Reconquista.....	17
3.2 Proceso productivo de Oderot S.A.	17
3.3 Efluentes del proceso de curtido	18
3.3.1 Efluentes Líquidos	18
3.3.2 Efluentes sólidos	20
3.3.3 Efluentes gaseosos	21
Capítulo 4: Memoria descriptiva	22
4.1 Pretratamiento	22
4.1.1 Rejas	22
4.1.2 Tamiz rotativo	22
4.1.3 Ecualizador.....	23
4.2 Tratamiento primario	24
4.2.1 Coagulación	24
4.2.2 Floculación	25
4.2.3 Sedimentación.....	26
4.3 Tratamiento secundario	26
Laguna anaeróbica.....	27
Laguna facultativa	27
Laguna aeróbica.....	27
4.4 Concentración de Espirulina	27
4.5 Tratamiento terciario	28
4.6 Esquema y diagrama de flujo de PTE	28

Capítulo 5: Memoria de cálculo	30
5.1 Consideraciones sobre el efluente	30
5.2 Pretratamiento	31
5.2.1 Rejas	31
5.2.2 Tamiz rotativo	34
5.2.3 Ecualizador.....	34
5.3 Tratamiento primario	38
5.3.1 Coagulación	38
5.3.2 Floculación	40
5.3.3 Sedimentación.....	42
Zona de entrada	42
Zona de sedimentación.....	43
Zona de salida	45
Zona de barros	47
Sistema de remoción de lodos	48
5.4 Propuestas de tratamiento secundario	48
5.4.1 Alternativa 1: Reactor de lodos activados	49
Diseño del reactor.....	50
Diseño del equipo de aireación	53
Diseño del sedimentador secundario	56
Zona de decantación	57
Zona de barros.....	58
Zona de salida.....	60
5.4.2 Alternativa 2: Tren de lagunas de estabilización con producción de Espirulina	62
Tipos de lagunas	62
Selección de tren de lagunas.....	64
Diseño de laguna anaerobia	65
Diseño de laguna facultativa	66
Diseño de laguna aerobia con producción de Espirulina	69
Recuperación de Espirulina a partir de medio líquido	74
5.5 Tratamiento terciario	78
5.5.1 Cámara de cloración.....	78
5.5.2 Dosificado de cloro	80
Capítulo 6: Cómputos, presupuestos y análisis de alternativas	81
6.1 Inversión inicial	81
6.2 Costos operativos	83

6.3 Comparación y selección de alternativa	85
Capítulo 7: Vulnerabilidad y adaptación de proyectos de ingeniería ambiental a la variabilidad y cambio climático.....	87
7.1 Introducción a la problemática ambiental de los eventos extremos	87
7.2 Cambios climáticos y eventos climáticos extremos en la zona de estudio.....	89
7.2.1 Temperatura y olas de calor	90
7.2.2 Precipitaciones y rachas secas.....	92
7.3 Posibles impactos de eventos climáticos extremos en una planta de tratamiento	95
7.3.1 Precipitaciones e inundaciones	96
7.3.2 Temperatura.....	99
7.3.3 Sequía.....	100
7.4 Análisis de datos climáticos	102
7.4.1 Análisis de precipitaciones	106
7.4.2 Análisis de rachas secas	107
7.4.3 Análisis de temperaturas y olas de calor.....	109
7.5 Conclusiones	110
Capítulo 8: Evaluación de Impacto Ambiental	112
8.1 Descripción del Proyecto	112
8.2 Área de influencia	113
8.3 Línea de Base Ambiental	114
8.3.1 Medio Físico	114
Meteorología.....	114
Ruido	115
Calidad de Aire	115
Geología	116
Hidrología	116
8.3.2 Medio Biológico	118
Región Fitogeográfica.....	118
Ecorregión	118
Fauna y flora.....	119
8.3.3 Medio Socioeconómico y Cultural.....	120
Historia y contexto	120
Acceso.....	121
Población.....	121
Economía	121
8.4 Identificación y evaluación de impactos ambientales	122

8.4.1 Identificación	122
Posibles impactos sobre el ambiente	122
Acciones potencialmente generadoras de impactos	122
Factores potencialmente impactados.....	123
8.4.2 Metodología.....	123
8.4.3 Matriz	125
Construcción.....	126
Operación	126
Cierre.....	126
8.5 Análisis de riesgos	127
8.6 Plan de prevención y mitigación.....	128
8.7 Plan de seguimiento y monitoreo	131
8.8 Conclusiones	132
Conclusiones generales del proyecto.....	133
Bibliografía.....	134
Glosario, datos útiles, tablas y anexos	137
ANEXO I: Tamiz rotativo Balik GT 2055.....	137
ANEXO II: Difusor burbuja fina RG-300	138
ANEXO III: Tamiz oscilante DZJX S4920-B	139
ANEXO IV: Pulverizador Galaxie 4440	140
ANEXO V: Costos y presupuestos	142
ANEXO VI: Planos	147

CAPÍTULO I

Introducción

1.1 Exordio

Los efluentes líquidos obtenidos a partir de los procesos operativos y productivos de las industrias curtidoras son ampliamente conocidos por ser altamente contaminantes. Esto se debe a que estos efluentes presentan una composición compleja, debido a la presencia de residuos propios de las pieles y de restos de los productos químicos que se utilizan en algunos de los muchos procesos a los que se someten estas pieles. Si estos líquidos fueran volcados a un curso de agua natural sin un tratamiento previo, se estaría aportando una alta carga contaminante sobre el mismo, resultando en un importante impacto negativo sobre el medio ambiente. Es por esta razón, que es necesario reducir la carga contaminante de los efluentes líquidos generados durante la etapa productiva de las industrias curtidoras previo a su vuelco, para así evitar impactos negativos sobre el ambiente y lograr el cumplimiento de la normativa local y nacional.

En la actualidad, muchas marcas se publicitan como ambientalmente amigables debido a que utilizan un proceso productivo de cuero conocido como curtido vegetal, donde se reemplaza el Cromo por taninos vegetales y sintéticos. La realidad es que no está comprobado que este proceso sea ambientalmente amigable en ningún aspecto. Pese a que no haya presencia de Cromo en los efluentes líquidos producidos, los taninos vegetales utilizados son altamente resilientes. Esta característica de los taninos vegetales los convierte en un problema, ya que es difícil su eliminación mediante tratamientos biológicos. De esta manera, los efluentes generados durante los procesos de curtido vegetal, contienen una carga de DQO mucho mayor que los efluentes generados por el proceso de curtido al Cromo. Además, existen estudios que indican que no se encontraron diferencias significativas respecto a las huellas de carbono, agua y energía entre los procesos de curtido al vegetal y curtido al Cromo (Laurenti, Redwood, Puig, & Frostell, 2016).

Oderot S.A. es una industria curtidora vegetal que se encuentra actualmente realizando el emplazamiento de una nueva planta ubicada al norte del partido de Mariano Acosta, Gran Buenos Aires, Argentina. Los efluentes generados a partir de su proceso productivo serán vertidos al Río Reconquista.

El Río Reconquista, es uno de los cuerpos de agua con mayor renombre respecto a problemáticas ambientales en el Conurbano Bonaerense. Pese a que se data con más de 400 años de historia de este río, jamás se logró poner en práctica un modelo que permitiera preservar y valorar el recurso hídrico y promover el crecimiento urbano en condiciones de dignidad y sustentabilidad. La principal razón por la cual el Río Reconquista se encuentra

altamente afectado no es la escasez de normas, sino la dificultad en implementar políticas adecuadas (Defensoría del Pueblo de la Nación, 2007).

Debido a que el cuerpo de agua que se utilizará como receptor de los efluentes producidos por Oderot S.A. se encuentra considerablemente afectado, es que debe llevarse a cabo un vuelco que cumpla con la normativa, de manera evitar contribuir al daño ambiental del río.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de una planta de tratamiento de efluentes que permita que se realice un vuelco de los efluentes generados al Río Reconquista sin que esto implique un daño ambiental asociado. De esta manera, el tratamiento propuesto resultará en el cumplimiento de los parámetros definidos en la Resolución 336/03 para vuelco en cuerpos receptores.

Adicionalmente, en el contexto del Programa de Estímulo para la Formación de Ingenieros (PEFI), se desarrollará un capítulo exclusivo al tema “Vulnerabilidad y adaptación de proyectos de ingeniería ambiental a la variabilidad y cambio climático”. El mismo tendrá como objetivo desarrollar un estudio sobre el impacto de los eventos climáticos extremos en el diseño de plantas de tratamiento de efluentes.

Capítulo 2

Marco teórico

El curtido es el proceso que transforma piel animal putrescible, en cuero imputrescible mediante el tratamiento con productos que logran detener la descomposición de las pieles. De esta manera, el cuero es capaz de ser utilizado de manera indefinida para fines tales como abrigos, calzados y revestimiento de objetos, entre otros.

2.1 Historia del curtido

El curtido es un proceso tan antiguo como la historia del hombre. Durante la edad prehistórica ya se utilizaban pieles para tanto vestimenta como para objetos decorativos, utensilios y hasta armas defensivas como escudos y parapetos. Esto se debe a que los animales constituían la base de la alimentación y la materia prima para muchos objetos de las sociedades cazadoras-recolectoras primitivas. En sus primeras etapas, el curtido era realizado mediante tratamiento con humo o bien productos vegetales y grasas de origen animal (Del Valle Pantojo, 2006).

En la antigüedad clásica ya se encuentran referencias a actividades comerciales del cuero. En ciertos textos griegos se hace mención de trabajadores del gremio de la piel. En el año 313, se dedicó un artículo al cuero en el Edicto Diocleciano, norma promulgada por el emperador romano, que dictaba los precios máximos de más de 1300 productos en donde se distinguía entre el cuero lujoso y aquellos usados por guarnicioneros y zapateros (Rodríguez Becerra, 1985).

En la edad media se estableció una fuerte industria del cuero en España, debido al florecimiento del arte del cuero en la ciudad de Córdoba y en la región de Andalucía, donde se produjeron los famosos cordobanes y guadamecés, así como cortinas, alfombras, cojines, tapizados y revestimiento de muebles.

A partir del siglo XVIII se comenzaron a hacer los primeros experimentos del cuero, que lograrían un cambio drástico en la calidad y en la velocidad en la que estos se producían. Hasta la fecha, el curtido de los cueros era realizado en tanques de inmersión con corteza de roble como agente tanino. Las pieles eran reposadas en estos tanques por períodos de 6 meses. En el siglo XVIII se empezaron a utilizar otros agentes taninos como quebracho, mimosa, abeto y otros. En el siglo XIX sucede el hallazgo de mayor importancia de la revolución industrial respecto a la producción de cueros. Un químico norteamericano, Augusto Schultz, descubrió que las sales de cromo producían un cuero de calidad superior respecto a los cueros obtenidos por el proceso de curtido vegetal. El cuero curtido al cromo, presentaba mayor resistencia y los tiempos de curtido se reducían considerablemente. A

partir de estas ventajas, se realizaron estudios más profundos que lograron el perfeccionamiento de este proceso (Trucco, 1949).

Otra invención que marcó la industria del cuero fueron los tambores de curtición. Hasta el siglo XIX, la curtición se hacía sumergiendo las pieles por períodos determinados en piletas con soluciones de tanino crecientes. Este proceso tiene una duración aproximada de 8 semanas. A partir del siglo XIX, el proceso de curtición se empezó a realizar mediante contenedores giratorios donde se cargaban las pieles junto con la solución de taninos. El movimiento giratorio permite una absorción más rápida de los agentes de curtición y esto permite reducir el tiempo de curtido de 8 semanas a tan solo algunos días.

2.2 Industria del cuero en la actualidad

Hoy el cuero es uno de los productos más comercializados en el mundo. El cuero, junto con los productos derivados del cuero ocupan un lugar destacado en la economía mundial, con un valor comercial estimado en 100 mil millones dólares por año (United Nations Industrial Development Organization, Future Trends in the World Leather, 2010).

Actualmente, el 50% del cuero producido es utilizado para fabricación de calzado. El otro 50% se reparte entre mueblería, vestimenta, industria automovilística y talabartería respectivamente.

Las fuentes de piel animal para producción de cuero provienen en su mayoría de ganado bovino. La piel bovina ocupa un 65% del total de piel utilizada en la producción de cueros. Argentina es uno de los mayores productores de piel de bovina, junto con China, India, Brasil y Estados Unidos (MAHI, 2019). Argentina es el quinto productor de cuero a nivel mundial, aportando un 3.5% de la producción anual global de cuero (Bruinsma, 2003).

2.3 Proceso de curtido

El proceso productivo del cuero es similar tanto para el cuero curtido al vegetal, conocido como Wet White (WW), como para el cuero curtido al cromo, conocido como Wet Blue (WB). Las diferencias radican en los insumos utilizados durante la etapa de curtido, y por ende, en los efluentes generados a partir de estos procesos. Sin embargo, las etapas de preparación para curtido de las pieles y las etapas de post-curtido son similares. Las distintas etapas a las que se someten las pieles son separadas en 3 categorías: Etapa de Ribera, Curtido y Acabado.

2.3.1 Etapa de Ribera

Los procesos que suceden durante la etapa de ribera tienen como finalidad dejar a las pieles en condiciones óptimas para el proceso de curtido. Durante la etapa de ribera se realiza tanto la limpieza de las pieles como la degradación de componentes que, si no son removidos, interferirían en el proceso que les confiere estabilidad a las pieles y las transforma en cuero imputrescible. Para lograr esto se usan una gran cantidad de químicos y un gran volumen de agua.

Remojo

La etapa de ribera es la etapa en la cual se preparan las pieles para el curtido. Las pieles son un subproducto de la industria matadero. Para facilitar el transporte y evitar la descomposición de las pieles, estas son saladas desde el lado interno antes de ser transportadas. De esta manera, el primer proceso durante la etapa de ribera es el remojo de las pieles, durante 3 a 5 horas, para eliminar la sal y lograr la rehidratación de las mismas.

Debido a que se emplean grandes volúmenes de agua y tensoactivos para la remoción de sal y material biológico, el remojo es la primera etapa que genera efluentes que deben ser tratados.

Pelambre

El proceso de pelambre busca eliminar todas las partes innecesarias de la piel como lo es el pelo, la epidermis, los nervios, la capa de grasa subcutánea, etc. También sirve para dilatar los poros de manera que estos faciliten la absorción de los químicos utilizados durante la etapa de curtición. Durante el pelambre se somete a la piel a un tratamiento con altas concentraciones de sulfuro de sodio e hidróxido de calcio (cal). De esta manera, se logra separar el pelo de la piel, se hidrolizan las proteínas que no sean colágeno y se saponifican las grasas.

El efluente producido por este proceso es altamente alcalino, con pH cercanos a 13 y contiene una gran cantidad de sulfuros, así como una alta carga orgánica de sólidos sedimentables y suspendidos.

Descarnado

El descarnado tiene por objetivo la eliminación total de los residuos de carne y tejido graso todavía presentes en la piel. Este proceso puede ser manual o mecánico. Luego del descarnado, la piel se encuentra sin ningún residuo indeseado. La piel de bovino luego del descarnado es referida como tripa.

Un subproducto de este proceso es grasa transformable en sebo, por lo que muchas curtiembres incluyen una planta productora de sebo, al ser esta una manera de revalorizar un desecho del proceso productivo. El efluente generado por esta etapa es agua con materia orgánica.

Dividido

Durante el dividido se realiza un corte transversal a la tripa de manera de obtener 2 piezas del mismo espesor. Se refiere a la parte superior de la tripa como cuero flor, producto de mayor valor, y a la inferior como descarnado, de menor valor. Este proceso logra un mayor rendimiento del cuero y no tiene generación de efluentes significativos.

Desencalado y purga enzimática

Durante este proceso se busca eliminar toda la cal y el sulfuro que reside en la piel de manera que esta se encuentre en óptimas condiciones para el proceso de curtido. El calcio de la cal es eliminado mediante acomplejamiento con ácidos orgánicos. En este proceso se busca también dejar únicamente la estructura colagénica de la piel, que terminará siendo el cuero. Por esta razón, en esta etapa se realiza un tratamiento enzimático con enzimas de tipo tripsina, de manera de hidrolizar las proteínas no deseadas.

Todo esto se logra mediante múltiples lavados por lo que este proceso genera efluentes líquidos con pH aproximado 8, sulfuros y sales.

Desengrasado

En algunos tipos de pieles como es el caso de los terneros, es necesario un procedimiento de desengrase, mediante el uso de disolventes orgánicos desengrasantes como los alcoholes grasos etoxilados para evitar entorpecer el proceso de curtido, originando erupciones y formaciones de manchas. Los efluentes generados por este proceso mayormente contienen disolventes, tensioactivos y materia orgánica.

Piquelado

El piquelado es el último proceso de la etapa de ribera. Este proceso tiene por finalidad acondicionar la piel de manera de que los agentes curtidores logren una mayor penetración y efecto de curtido sobre esta. Para esto se emplean una gran cantidad de ácido, como el ácido sulfúrico y el ácido fórmico, así como grandes cantidades de sal. El pH del efluente de este proceso suele rondar entre 2 y 3 y contiene altas concentraciones de cloruro y sodio.

2.3.2 Etapa de curtido

El curtido es el proceso que transforma la piel putrescible, en cuero imputrescible. El proceso de curtido dependerá del agente curtiente utilizado. En la actualidad, el agente curtidor predilecto es el Cromo, debido principalmente a la calidad de cuero que se logra y la rapidez del proceso. Sin embargo, este trabajo contempla el proceso del curtido vegetal donde se utilizan agentes curtientes provenientes mayormente de corteza vegetal.

El agente curtiente tendrá la misma función en la etapa de curtido, sea este de procedencia mineral, vegetal o sintético. El curtido logra la estabilización de las proteínas de colágeno presentes en la piel. La formación de enlaces químicos entre el agente curtiente y las proteínas de colágeno logran evitar la descomposición enzimática por parte de bacterias presentes en el ambiente. Además de volverse imputrescible, la piel curtida adhiere propiedades termoresistentes e hidrofóbicas.

En el caso de los taninos, agentes curtientes vegetales, la curtición da lugar a la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos fenólicos del tanino y los grupos péptidos del colágeno.

Los taninos son agentes curtientes naturales extraídos de fuentes vegetales como el Castaño, el Quebracho, la Tara y las Nueces de Agallas. En su mayoría consisten de polifenoles. Éstos son extraídos a partir de maderas que son trituradas e infusionadas en autoclaves para lograr disolver a los taninos que retienen estas astillas. El agua es luego evaporada de manera de solidificar los taninos.

Dentro de la etapa de curtido se realizan los siguientes procedimientos:

Curtido

Es el proceso por el cual suceden los procesos descritos anteriormente. Para esto se sumergen las pieles en piletas o tambores rotatorios con una solución acuosa de los taninos

utilizados. Las concentraciones, temperaturas y tiempos de curtido definen la suavidad, textura y color del producto final.

En el caso del curtido al Cromo es necesario que exista una planta de recuperación de cromo o de pretratamiento previo a un tratamiento biológico. En el caso del curtido con taninos no es necesario pretratar este efluente, pero los taninos incorporan al efluente un DQO de difícil degradación biológica.

Escurreado

Proceso mecánico donde se presionan los cueros mediante 2 rodillos para eliminar el exceso de agua. Al presentar las mismas características que el efluente del curtido aplican las mismas medidas que al paso anterior.

Rebajado

Proceso mecánico donde se ajusta el espesor del cuero mediante cuchillas radiales de manera de lograr un espesor uniforme. Este proceso genera sólidos con presencia de Cr^{+3} en el caso de curtido al Cromo y material biológico en el caso de curtidos con taninos.

Recurtido

Las pieles ya curtidas, escurridas y rebajadas son recurtidas en tambores con taninos, sintanos, resinas sintéticas y harinas entre otros productos para lograr una mejora en el producto respecto a la firmeza, color y tacto. El efluente de este proceso tiene un alto DQO.

2.3.3 Etapa de Acabado

Los procesos de acabado serán los que le confieran al cuero ya producido, características necesarias para el uso que se le vaya a dar a cada pieza de cuero. De esta manera estos procesos serán levemente distintos para un cuero que vaya a ser utilizado para zapatos contra un cuero que vaya a ser utilizados en la industria automotriz.

Engrase y teñido

Los cueros serán tenidos con una serie de colorantes dependiendo del color que se quiera lograr. El engrase tiene por finalidad devolver la elasticidad a las fibras del cuero reemplazando la grasa natural original por grasas sintéticas animales modificadas o vegetales. Los efluentes de estos procesos tienen una alta carga de DBO y DQO.

Secado

Es necesario realizar un secado debido a que los cueros se encuentran húmedos de todos los procesos anteriores y presentan un peso 3 veces mayor a su peso seco. Mediante distintos tipos de procesos de secado se logra eliminar tanto el agua libre como parte del agua asociada a colágeno de manera de lograr un cuero hidratado al 14%. Este proceso no implica generación de efluentes.

Acondicionado

El acondicionado logra ablandar los cueros y otorgar una humedad homogénea a lo largo del material.

Terminación o acabado

Este proceso toma el cuero semi-terminado y le confiere las cualidades finales mediante aplicación de lacas y pinturas que le otorgan brillo y color. El efluente generado en esta etapa es de bajo caudal pero alto DQO.

2.4 Marco legal

Con el fin de cumplir con la normativa vigente respecto a los parámetros de vuelco permitidos deben conocerse los límites tolerables respecto a los parámetros del agua a verter.

Dentro de la Provincia de Buenos Aires la Autoridad del Agua (ADA) es la autoridad de aplicación en lo que respecta a la calidad y gestión del agua. En la resolución ADA N°336/03 se establecen los límites admisibles de los parámetros de calidad de agua para las descargas en tanto colectoras cloacales, conductos pluviales o cuerpos de agua superficial, absorción por suelo o descargas a mar abierto.

A continuación, en la Tabla 1: Parámetros de calidad de las descargas límite admisibles. se presentan los límites determinados en dicha resolución para vuelco en aguas superficiales.

Tabla 1: Parámetros de calidad de las descargas límite admisibles.

Parámetro	Unidad	Límite para descarga a cuerpo de agua superficial
Temperatura	°C	≤ 45
pH	upH	6,5-10
Sólidos sedimentables 10 Min	ml/l	Ausente
Sólidos sedimentables 2 Horas	ml/l	≤ 5,0
Sulfuros	mg/l	≤ 5,0
S.S.E.E.	mg/l	≤ 50
Cianuros	mg/l	≤ 0,1
Hidrocarburos Totales	mg/l	≤ 30
Cloro Libre	mg/l	≤ 0,5
Coliformes fecales	NMP/100 ml	≤ 2000
D.B.O.	mg/l	≤ 200
D.Q.O.	mg/l	≤ 500
S.A.A.M.	mg/l	≤ 5,0
Sustancias fenólicas	mg/l	≤ 2,0
Sulfatos	mg/l	NE
Carbono orgánico total	mg/l	NE
Hierro (soluble)	mg/l	≤ 2,0

Manganeso (soluble)	mg/l	$\leq 0,5$
Cinc	mg/l	$\leq 2,0$
Níquel	mg/l	$\leq 2,0$
Cromo total	mg/l	$\leq 2,0$
Cromo Hexavalente	mg/l	$\leq 0,2$
Cadmio	mg/l	$\leq 0,1$
Mercurio	mg/l	$\leq 0,005$
Cobre	mg/l	$\leq 1,0$
Aluminio	mg/l	$\leq 2,0$
Arsénico	mg/l	$\leq 0,5$
Bario	mg/l	$\leq 2,0$
Boro	mg/l	$\leq 2,0$
Cobalto	mg/l	$\leq 2,0$
Selenio	mg/l	$\leq 0,1$
Plomo	mg/l	$\leq 0,1$
Plaguicidas Organoclorados	mg/l	$\leq 0,05$
Plaguicidas Organofosforados	mg/l	$\leq 0,1$
Nitrógeno total	mg/l	≤ 35
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤ 25
Nitrógeno Orgánico	mg/l	≤ 10
Fósforo Total	mg/l	$\leq 10,0$

Capítulo 3

Estudios preliminares

3.1 Ubicación

El predio se encontrará localizado en el extremo norte de la ciudad Mariano Acosta, en el Partido de Merlo, Buenos Aires, Argentina. El predio será emplazado en la zona urbana de Mariano Acosta, a unos 5.3 km su centro urbano y a unos 5 km del centro urbano de la ciudad de Moreno.

El predio tendrá un área aproximada de 20 ha y su frente norte será adyacente al Río Reconquista. Dentro de este predio se realizará todo el proceso productivo de la producción del cuero y se llevará a cabo el tratamiento de los efluentes generados, para que luego sean vertidos al Río Reconquista. La distancia entre el río y la planta de tratamiento es de unos 120 metros.

En la Figura 1 puede visualizarse la localización del predio respecto a los centros urbanos de Moreno y Mariano Acosta. A su vez se muestran las áreas que serán destinadas para cada instalación.

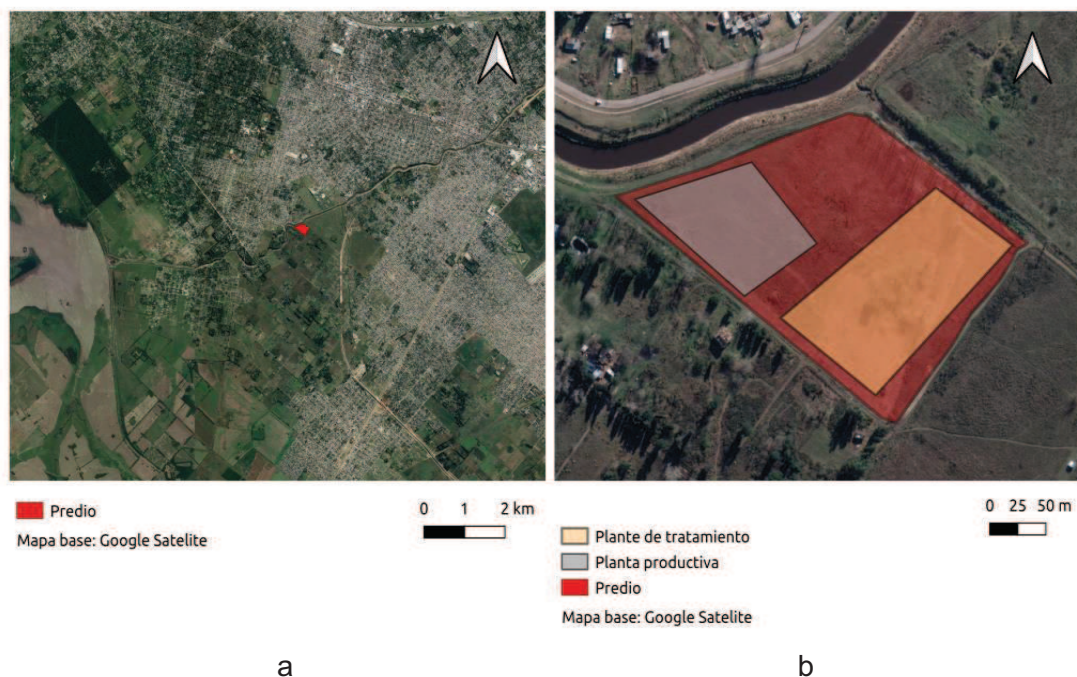
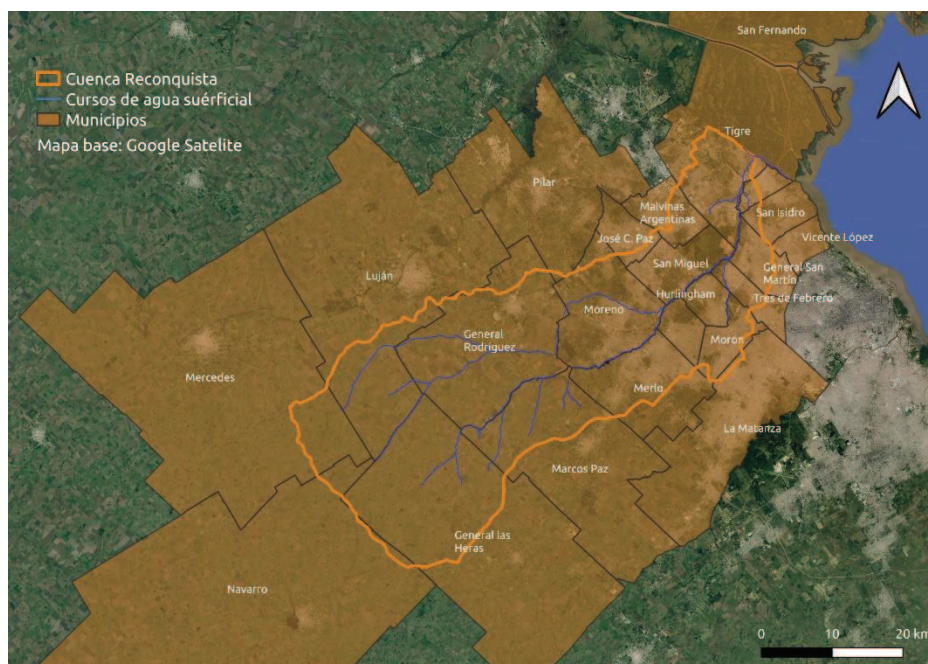


Figura 1: Locación del emplazamiento de la curtiembre. a: Distancias a los centros urbanos de Moreno y Mariano Acosta y b: Instalaciones de la planta. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Cuenca Reconquista

El Río Reconquista nace de la confluencia de los arroyos Durazno, La Horqueta y La Choza que desembocan al Dique Roggero. Este río es el cauce principal de su cuenca. La cuenca Reconquista es la segunda más contaminada del país, luego de la cuenca Matanza-Riachuelo (Defensoría del Pueblo de la Nación, 2007). Esta cuenca comprende unos 134 cursos de agua en total sobre una extensión de 1670 km² y desemboca en el Río Luján.

La cuenca reconquista atraviesa los partidos de Marcos Paz; General Rodríguez; Merlo; Moreno; Ituzaingo; San Miguel; Hurlingham; Tres de Febrero; General San Martín; Tigre; San Isidro y San Fernando. En total, más de 4 millones de personas habitan en esta cuenca. En la Figura 2 puede verse la cuenca Reconquista y los partidos que ésta atraviesa.



*Figura 2: Cuenca Reconquista, cuerpos de agua de la cuenca y partidos que la cuenca atraviesa.
Fuente: Elaboración propia.*

Al encontrarse en la región pampeana no presenta pendientes significativas. El clima es templado-húmedo con inviernos suaves y veranos calurosos. La temperatura media anual es de 18 °C con 1100 mm de precipitación anuales y una humedad relativa del 78%. En esta zona el viento este es el predominante.

3.2 Proceso productivo de Oderot S.A.

Oderot S.A. se encuentra próximo a realizar el emplazamiento de una nueva industria curtidora en la ciudad de Mariano Acosta. La misma será idéntica a la actual existente en la ciudad de Brandsen, ciudad cabecera de su partido homónimo.

Esta nueva industria tendrá una producción de 4000 cueros al día entre los cueros terminados y los semiterminados. En total se dispondrá de unos 500 operarios y 80 empleados entre administrativos, servicios y jerárquicos. La planta se encontrará en operación las 24 horas del día, 7 días a la semana, a partir de 3 turnos de 8 horas: 6-14, 14-22 y 22-6 hs.

En total, la planta productiva tendrá un caudal promedio de 200 m³/h y un caudal pico de 250 m³/h entre todos los procesos generadores de efluentes (procesos productivos, planta productora de sebo, servicios, limpieza y vestuarios).

A continuación, en la Figura 3 se presenta el diagrama de flujo de proceso del proceso productivo de Oderot S.A. En el mismo se indican todos los procesos realizados, a qué etapa corresponden, cuáles son sus insumos y cuáles son los residuos generados.

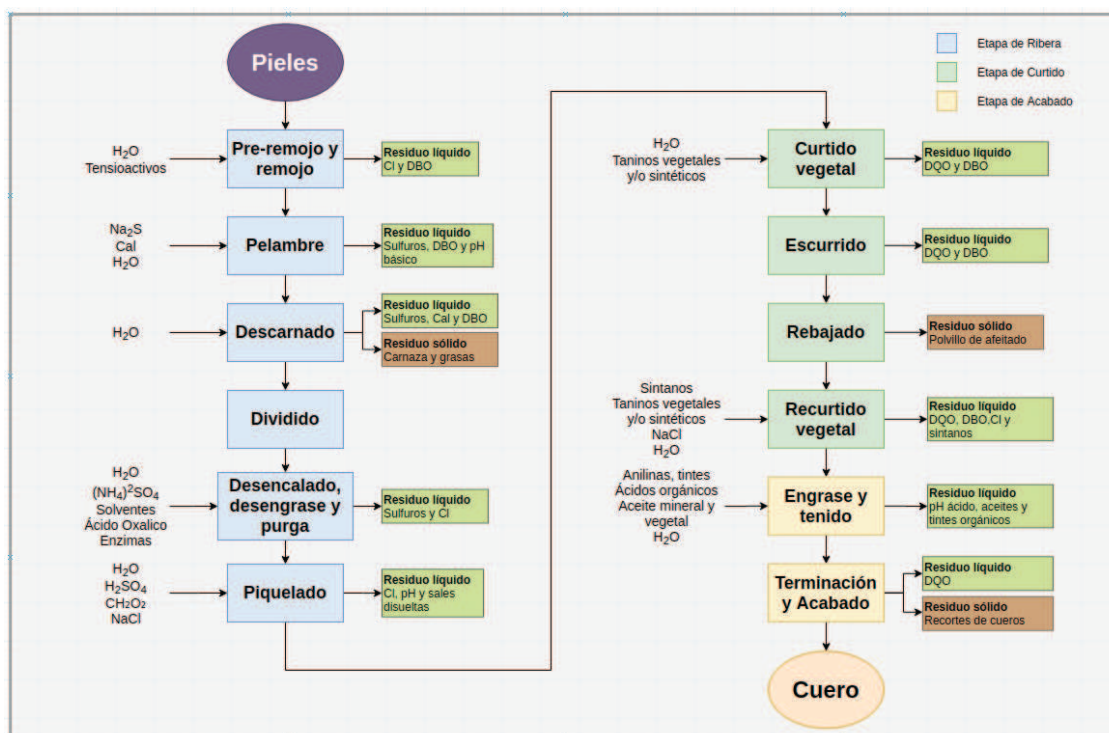


Figura 3: Diagrama de proceso de curtido junto con los insumos necesarios para cada etapa y los efluentes generados. Fuente: elaboración propia.

3.3 Efluentes del proceso de curtido

3.3.1 Efluentes Líquidos

Durante el proceso de curtido de pieles se realizan múltiples procesos en los cuales se utilizan grandes volúmenes de agua. El agua es utilizada tanto para enjuagues y lavados como para proporcionar un medio en el cual sucedan ciertos procesos físicos, químicos y biológicos deseados. A lo largo del proceso de curtido se utilizan una gran cantidad de sustancias químicas, orgánicas, minerales y otros compuestos que aportan una carga contaminante de potencial impacto ambiental.

Entre los parámetros principales que caracterizan los efluentes generados a partir de las industrias de curtición se encuentra el DBO, DQO, Sólidos Suspendidos, Cr³⁺ en el caso del curtido con Cromo, Sulfuros⁻, Nitrógeno total, Cloruros, Sulfatos, Grasas y Aceites, Sólidos Disueltos y pH. En el caso del curtido vegetal, los parámetros característicos son los mismos, pero los taninos y sintanos utilizados aportan un mayor DQO refractario y un aumento en los Sólidos Suspendidos Totales. En la Tabla 2 se detalla el aporte de cada carga contaminante por kg de piel salada húmeda. A su vez se detallan las concentraciones del efluente generado a partir de estas cargas contaminantes, considerando que en promedio se utilizan 25 m³ de

agua por tonelada de piel salada húmeda procesada. Estos valores representan a una industria curtidora típica y fueron publicados por la UNIDO (United Nations Industrial Development Organization, 2016).

Tabla 2: Carga contaminante aportada por kg de piel salada humedad y concentración de efluente producida para un promedio de 25 m³ de agua consumida por tonelada de piel salada procesada (Fuente: UNIDO, 2016).

Parámetro	Carga contaminante (kg/t de piel salada húmeda)	Concentración en efluente para 25 m ³ de agua utilizada / t de piel salada húmeda	
		Unidad	Valor
D.Q.O.	180	mg o ₂ /l	7200
D.B.O.	90	mg o ₂ /l	3600
Sólidos Suspendidos	120	mg/l	4800
Cr ³⁺	5	mg Cr/l	200
S ²⁻	5	mg S/l	200
Nitrógeno total	14	mg N/l	560
Cl	180	mg Cl/l	7200
So ₄ ²⁻	80	mg SO ₄ /l	3200
Grasas y Aceites	10	mg/l	400
Sólidos Totales Suspendidos	400	mg/l	16000
pH		upH	6-9

Por otro lado, dentro de los efluentes líquidos deben considerarse los efluentes cloacales generados a partir de las aguas servidas en los baños de servicio. Estos efluentes aportan mayormente carga orgánica y son tratados en conjunto con los efluentes del proceso productivo.

A continuación, en la Tabla 3 se presentan los parámetros obtenidos a partir del proceso productivo de la industria curtidora de Oderot S.A. localizada en Brandsen. Se resaltan en rojo los parámetros que no cumplen con la normativa 336/03 del ADA y por lo tanto deben ser tratados previo a su descarga.

Tabla 3: Parámetros del efluente generado por la industria curtidora de Oderot S.A. en la ciudad de Brandsen. (Fuente: Oderot S.A.)

Parámetro	Unidad	Valor máximo permitido	Concentración en efluente
Caudal	m ³ /h		200
DBO ₅	mg/L	50	1.000

DQO	mg/L	250	3.000
Sulfuro	mg/L	1	160
Sulfato	mg/L	N.E.	2.000
Cloruro	mg/L	0,5	5000
Nitrógeno total	mg/L	35	120
Aceites y grasas	mg/L	50	200
Fósforo	mg/L	1	1
Cromo	mg/L	2	-
Sólidos suspendidos	mg/L	1	1.500
Ceniza total	mg/L		6.000
Ceniza en sólidos suspendidos	mg/L		500
Sólidos sedimentables en 2h	ml/L	1	50
pH	mg/L	6,5-10	9

Estos parámetros fueron medidos a partir de todos los efluentes generados homogeneizados, luego de haber pasado por un sistema de rejillas y un tamiz rotativo. Cabe destacar que dentro de este efluente se encuentra homogeneizada la carga aportada por los efluentes generados a partir de las aguas servidas. Teniendo en cuenta que cada operario genera 100 L de efluentes por día y que la planta contará con 580 operarios por día, el efluente generado a partir de las aguas de servicios tendrá un caudal de 58 m³/d, representando el 1,2% del caudal total a tratar.

3.3.2 Efluentes sólidos

Los residuos sólidos generados a partir del proceso productivo del cuero son mayormente obtenidos a partir de las operaciones físicas de las pieles. En su mayoría están compuestos por grandes trozos de cuero, recortes y virutas gruesas, residuos de carnes y restos sólidos de cabello. Algunos de estos residuos sólidos son transportados por el efluente líquido y deben ser separados por algún método físico, por ejemplo rejillas, para no interferir en el proceso del tratamiento de los efluentes líquidos.

En el caso del curtido al cromo, deben tomarse medidas para el manejo de estos residuos ya que contienen metales pesados. En el caso del curtido vegetal, estos residuos pueden ser utilizados para la generación de abono, harinas proteicas para ganado, materia prima para la industria de cosméticos, pegamentos, gelatina y algunos otros usos.

La producción de cuero tiene una eficiencia del 25.5% respecto al peso total de las pieles utilizadas (Aquim, Mariliz, & Trierweiler, 2010). El peso promedio de las pieles bovinas saladas húmedas es de 36 kg por unidad (Garritz, 2001). Oderot S.A. tratará unas 4000

unidades al día, que en peso significan 144 toneladas de piel por día. Al tener una eficiencia del 25.5%, el 74.5% de pieles restantes conformarán un residuo sólido que deberá gestionarse. Esto implica una generación de 107 toneladas de residuos sólidos diarios. Estos residuos serán vendidos como insumo para la producción de harinas utilizadas para alimentación animal.

3.3.3 Efluentes gaseosos

En la industria curtidora no hay una generación de gases que deban ser procesados para cumplir con las normas ambientales. Sin embargo, a lo largo del proceso productivo existe generación de gases contaminantes como el sulfuro de hidrógeno, dióxido de sulfuro, amoníaco, y otros gases productores de malos olores como humos ácidos, fenoles, formaldehidos y polvos finos.

Otra categoría de contaminantes gaseosos que deben tenerse en cuenta son los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), que son generados a partir de la evaporación de solventes orgánicos utilizados en algunas etapas del proceso productivo.

Capítulo 4

Memoria descriptiva

4.1 Pretratamiento

El pretratamiento consiste en una serie de unidades y procesos que logran evitar el ingreso de material no deseado a la planta de tratamiento y también logran la normalización del efluente mediante la mezcla de distintos caudales producidos a partir del proceso productivo. Para lograr este cometido, el pretratamiento de la planta deberá contar con un sistema de rejillas que evite el ingreso de material más grueso no deseado. Luego de las rejillas, se utilizará un tamiz rotativo que permita la eliminación de materia más fina. Por último, se dispondrá de un ecualizador con agitación mecánica y aireación de fondo que permitirá la homogeneización del efluente y además se aprovechará el tiempo de residencia del mismo para oxidar parte de los sulfuros presentes.

4.1.1 Rejillas

El papel principal del cribado es la eliminación de sólidos gruesos que podrían entorpecer el tratamiento del líquido residual y la eficiencia del funcionamiento de los equipos, máquinas e instalaciones, por obstrucciones, depósitos, o por aumentar el consumo de oxígeno en los tratamientos biológicos.

Se utilizarán rejillas mecánicas de manera de reducir problemas operativos y de mantenimiento, así como para mejorar la eficiencia de la remoción. En particular se utilizará una criba de rastrillo recíprocante debido a que presenta un bajo costo de mantenimiento, los accesorios que pueden necesitar mantenimiento se encuentran en la superficie, es decir, no sumergidos, además, este tipo de criba es de simple operación.

Los residuos recolectados por la criba serán depositados en una tolva de almacenamiento para luego ser tratados por una empresa tercerizada.

Otra unidad de rejillas de limpieza automática será instalada en paralelo como canal de derivación para contemplar el caso de que deba someterse a uno de estos sistemas de rejillas mecánicas a un cese de funcionamiento temporal

4.1.2 Tamiz rotativo

Los tamices permiten la retención de sólidos finos que pueden lograr el atascamiento y deterioramiento de unidades utilizadas posteriormente en el tratamiento del efluente. En particular los tamices rotativos presentan mayores rendimientos y diseños más compactos.

En los tamices rotativos el efluente a tratar entra a través de la tubería de entrada situada en la parte superior, trasera o lateral de donde se distribuye uniformemente a lo largo de todo el tambor filtrante de manera continua. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie del cilindro, y son desplazadas hacia las rasquetas debido a la rotación del tambor. Las rasquetas separan las partículas sólidas y las depositan sobre una bandeja de descarga. Esto permite que el equipo pueda trabajar continuamente con un mínimo de mantenimiento mecánico y mantenimiento de limpieza.

En particular se utilizará el ecualizador GT-2055 de la marca Balik. Este tamiz tiene una capacidad de 260 m³/h funcionando con una potencia de 30 KW. Las dimensiones del sedimentador son de 7,5 m de largo, 2,5 m de ancho y 4 m de alto. El tambor presenta un diámetro de 2 m y un largo de 5,5 m.

4.1.3 Ecualizador

El objetivo de la ecualización es minimizar y controlar las fluctuaciones en las propiedades del efluente de manera de obtener las condiciones óptimas para los procesos subsecuentes dentro del tratamiento. El tamaño y el tipo de ecualizador dependen del caudal a tratar y de la variabilidad que presenta el efluente. El ecualizador debe ser capaz de tolerar las fluctuaciones del caudal causadas por las variaciones en los procesos productivos y también debe poder diluir y homogeneizar los picos de contaminantes causados por vertidos de productos o contaminantes puntuales.

Los picos de concentración de contaminantes pueden tener efecto de choque en el tratamiento biológico y de esta manera pueden dañar a la comunidad microbiológica existente en el reactor biológico. Alternativamente, una carga orgánica más alta de lo deseado puede lograr el desequilibrio de los microorganismos presentes en el reactor biológico. El tanque de ecualización también permite minimizar la necesidad de neutralización de pH y de temperatura del efluente. En el caso de la planta de Oderot, la producción ocurre en 3 turnos de 8 horas por lo que existe una continua generación de efluentes. Sin embargo, el ecualizador permite una alimentación continua y estable al proceso de tratamiento de los efluentes.

En el caso del tratamiento de los efluentes del proceso de curtido, puede utilizarse el tiempo de retención del ecualizador para reducir la concentración de sulfuros mediante oxidación asistida por un catalizador. Para lograr esto debe procurarse mantener una mezcla completa y una buena aireación del tanque de ecualización. La mezcla también logra evitar la sedimentación de sólidos en el tanque. Para lograr esto se instalará una grilla fija de difusores Repicky RG-300.

Cuando el efluente abandone la cámara de coagulación, será sometido a un proceso de coagulación/floculación para lograr una correcta separación por gravedad mediante sedimentación. Para lograr un proceso de coagulación exitoso es necesario controlar el pH del efluente previo al agregado del coagulante. Por esta razón durante la homogeneización del efluente se verterá HCL mediante un dosificador volumétrico con el fin de alcanzar el pH de entre 6 y 8.

Se diseñó entonces, un ecualizador cilíndrico de 7 metros de radio y una altura de 8,6 metros, obteniendo un volumen útil de 1323 m³. Se utilizarán 150 difusores Repicky de

manera de mantener la mezcla completa, oxigenar el efluente y favorecer la oxidación de sulfuros durante el tiempo de permanencia del efluente en el ecualizador.

Antes de la unidad del ecualizador se encontrará el primer pozo de bombeo. Este pozo de bombeo logrará una altura de carga del efluente de 6,6 metros con tal de alcanzar la altura del ecualizador ya que este se encontrará 2 metros enterrado.

4.2 Tratamiento primario

Como tratamiento primario se realizará un proceso de sedimentación asistido por un proceso fisicoquímico de coagulación-floculación. La sedimentación asistida por coagulación/floculación logra la remoción de los sólidos que se encuentren suspendidos en el efluente y de esta manera aportan una carga contaminante que puede dificultar la remoción de los mismos durante el tratamiento biológico. De esta manera, el tratamiento primario evita efectos tóxicos sobre la biomasa del tratamiento secundario, así como la acumulación de metales en el barro biológico y ayuda a alcanzar los niveles de vuelco deseados.

En particular, se realizará una sedimentación floculenta debido a la concentración de materia suspendida en el efluente. Además, se utilizará un coagulante y un floculante que faciliten la aglomeración y sedimentación de la materia suspendida. En la sedimentación floculenta, las partículas interactúan entre sí uniéndose a lo largo del tiempo. Esta aglomeración aumenta el tamaño de los flóculos y a su vez aumenta la velocidad de sedimentación de los mismos.

El transporte del efluente a través del tratamiento primario será mediado por gravedad, habiendo una diferencia de altura entre unidades de 0,55 metros.

4.2.1 Coagulación

La coagulación es el proceso que logra la desestabilización de las partículas coloidales a partir de la neutralización de sus cargas eléctricas. Esto logra anular las fuerzas repulsivas que presentan los coloides, o bien logra interferir con la hidrofilia de los mismos.

Para realizar la coagulación se utilizará hidroxiclورو de aluminio (PAC) que será dosificado en una cámara de coagulación de mezcla rápida. Para procurar que se realice la mezcla de manera rápida y homogénea se utilizará una turbina de flujo radial de 6 láminas cortas como la que se indica en la figura 4 y el efluente tendrá un tiempo de residencia de 40 segundos dentro del coagulador.

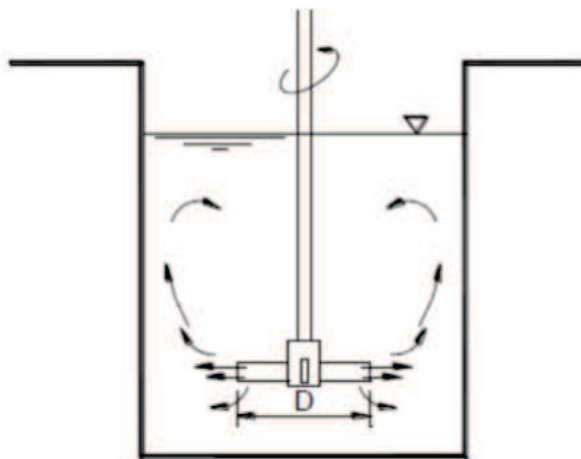


Figura 4: Esquema de tanque de coagulación de mezcla rápida.

De esta manera, se diseñó una cámara de coagulación cubica con un volumen total de 450 litros con una altura de 0,8 metros y un largo y ancho de 0,75 metros.

Debido a que el transporte del efluente será mediado por gravedad a lo largo de todo el tratamiento primario, el coagulador será construido a una altura de 1,55 metros de manera de no desaprovechar la altura adquirida a partir del pozo de bombeo.

4.2.2 Floculación

La floculación logra la agrupación de las partículas una vez que estas no presentan carga eléctrica. De esta manera, las partículas descargadas desarrollan una fuerza de atracción que logra su aglomeración. Una vez que los flóculos presentan mayor tamaño, se ve favorecida la sedimentación de los mismos.

Se utilizarán dos tanques de mezcla con una turbina de flujo axial y 4 láminas conectadas al eje con una inclinación de 45° , ya que estos son recomendados para la mezcla de floculación con coagulante previamente agregado. Cada unidad tratará a la mitad del caudal total. La floculación es asistida por el movimiento lento de las paletas que favorece la mezcla. De esta manera, se logra que las partículas entren en contacto y los flóculos crezcan. Debe procurarse mantener una velocidad de mezcla lenta para no romper los flocs.

Cada unidad dispondrá de un dosificador de cal para lograr aumentar el pH a aproximadamente 7. Esto se debe a que el PAC acidifica el efluente y es necesario aumentar el pH para evitar la solubilidad del aluminio presente en el coagulante. De esta manera, se logra precipitar el aluminio y se obtiene un efluente con pH 7 listo para el tratamiento biológico una vez que haya egresado del tratamiento primario de sedimentación.

Los tanques de floculación serán de sección cuadrada, presentando un volumen de 45 m^3 cada uno, de manera de lograr un tiempo de retención de 25 minutos. Las dimensiones del mismo serán de 3,5 metros de altura con un largo y ancho de 3,6 metros. Estos tanques de floculación estarán enterrados 1,4 m de manera de lograr el transporte de efluente a partir de la gravedad. Cada floculador tendrá una pared en común con su consecuente unidad de sedimentación donde ingresará el efluente a través del desborde del floculador.

4.2.3 Sedimentación

La sedimentación es la separación de partículas suspendidas que presentan densidades mayores que el agua. De esta manera, la sedimentación es entonces una separación por gravedad. Si el proceso de sedimentación es asistido por un proceso previo de coagulación/floculación, la sedimentación permite la eliminación de los coloides y la generación de lodos de concentraciones manejables.

Se diseñaron 2 unidades idénticas de sedimentación donde cada una tratará la mitad del caudal total. Estas unidades estarán inmediatamente después del floculador compartiendo la pared de salida del floculador con la pared de ingreso al sedimentador. Cada unidad rectangular es conformada por 4 partes. Una zona de entrada que permite el ingreso del efluente de manera homogénea y sin cortocircuitos, la zona de sedimentación que es donde ocurre el perfil laminar que permite la separación por gravedad evitando turbulencias, la zona de salida donde el efluente puede salir de la unidad de sedimentación sin generar cortocircuitos y por último un sistema de barro que permite la recolección y eliminación de los barro sedimentados hacia una tolva.

El efluente ingresará a la zona de entrada de cada sedimentador mediante vuelco proveniente de la pared de salida del floculador adyacente. Luego el efluente accede a la zona de sedimentación a través de agujeros de 20 cm de diámetro que se encontrarán distribuidos a lo largo y ancho de la zona de entrada. Estos agujeros se encontrarán entre el primer metro y hasta una altura de 2,8 metros. La zona de sedimentación de cada sedimentador tendrá un volumen total de 200 m³ de manera de permitir que el efluente tenga un tiempo de permanencia de 2 horas. Las dimensiones de la zona de sedimentación serán de 3,5 metros de altura, 3,8 metros de ancho y 15 metros de largo. La zona de salida constará de picos de pato distribuidos a lo largo del último tercio de la zona de sedimentación. Serán construidos 4 vertederos por sedimentador que contendrán en total 34 picos de pato de 5 cm de altura cada uno. La recogida de los barro sedimentados se realizará mediante un sistema de 3 piñones con paletas que arrastraran el lodo hacia una tolva con una tubería de escape que bombeará los lodos hacia una zona de recolección. Los sedimentadores se construirán 2 m enterrados. Luego del sedimentador se encontrará el segundo pozo de bombeo de la planta para lograr transportar el efluente al tren de lagunas.

4.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario seleccionado es un tren de lagunas que aprovecha los beneficios de 3 tipos distintos de lagunas; Anaerobias, Facultativas y Aerobias. Todas las lagunas diseñadas tendrán una relación 2:1 respecto al largo y ancho y serán construidas con paredes a 45° para evitar derrumbes. El transporte del efluente a lo largo del tren de lagunas será mediado por gravedad aprovechando la gran altura de la primera laguna anaerobia. El efluente será transportado a esta primera laguna mediante un pozo de bombeo instalado a la salida del sedimentador. El ingreso del efluente a cada una de las lagunas será realizado por 3 entradas distribuidas a lo ancho de las mismas y el egreso del efluente será también en 3 puntos de salida distribuidos a lo ancho de las mismas, a partir de tubos tipo T de manera de evitar atascamientos de sólidos que pueden llegar a ingresar a las lagunas facultativas y aerobias. Todas las lagunas serán construidas sobre una membrana impermeabilizante de manera de evitar la lixiviación del efluente. Además, la laguna anaerobia utilizará una geomembrana para evitar el escape de gases debido a la producción anaerobia de metano.

Laguna anaeróbica

La laguna anaeróbica será una laguna de 4,5 metros de profundidad y 0,5 ha de área superficial y tendrá una eficiencia aproximada del 50%. Esta laguna será construida con una geomembrana que permita evitar el escape de gases producidos por la fermentación y se utilizarán tuberías que transporten estos gases hasta una antorcha para incinerarlos. Esta laguna será enterrada una altura total de 2 metros de manera de lograr una altura de 2,5 metros sobre el suelo que permitirá realizar el resto del transporte del efluente durante el tren de lagunas por gravedad.

Laguna facultativa

Las lagunas facultativas constarán de 3 lagunas en paralelo donde cada laguna tendrá un área superficial de 3,75 ha y una altura de 1,5 m de manera de simplificar la construcción y operación de cada unidad. La eficiencia de las lagunas facultativas será del 80% aproximadamente. Estas lagunas serán construidas por sobre la superficie para evitar el movimiento de suelos, ya que existe altura suficiente para lograr el transporte del efluente por gravedad.

Laguna aeróbica

Las lagunas aerobias constarán de 3 lagunas en paralelo donde cada laguna tendrá un área superficial de 1,7 ha y una altura de 0,6 m. No se utilizará ningún mecanismo para la aireación de las lagunas ya que la mezcla y oxigenación sucederá a partir del viento debido a la baja altura de la laguna. Como la laguna facultativa, estas lagunas serán construidas en altura en su totalidad. La eficiencia de estas lagunas será del 60% logrando una concentración de DBO de salida de 21 mg/L. Estas serán las últimas lagunas del tren y el efluente será dirigido desde estas 3 lagunas a la planta de concentración de Espirulina a partir de un pozo de bombeo. La concentración de Espirulina lograda en las lagunas se estima en 4,3 g/L y la producción total de será de unas 20 Tn Espirulina/año.

4.4 Concentración de Espirulina

La cosecha de Espirulina se realiza mediante la eliminación de la fracción acuosa del medio de cultivo para lograr la Espirulina seca. Esta concentración del alga se realiza mediante una pre-filtración que logra eliminar en una primera instancia el 98% del volumen de medio utilizando mallas metálicas de 30 micras. Luego se realiza una segunda etapa de filtración donde se logra remover un 85% del medio restante mediante una serie de tamices oscilantes en paralelo. Se utilizará una serie de 8 tamices s4920-B de la marca DJZX. Estos tamices tienen un diámetro efectivo de 2 metros y a 1500 rpm requieren de una potencia de 2,5 kW. En una tercera etapa se realiza un lavado con agua limpia para eliminar el medio alcalino que se encuentra adherido al alga. Por último, se realiza una etapa de secado por pulverización donde se logra obtener el producto seco y esterilizado. Para realizar el secado se utilizarán 2 pulverizadores Galaxie 4440. Estos pulverizadores trabajan a una potencia de 40 kW y sus dimensiones son de 6,5 m de ancho x 7,5 m de largo x 11 m de alto. Cada uno de estos pulverizadores es capaz de evaporar 360 l/h de agua a una temperatura de entrada de 180 C°. El efluente generado por la producción de Espirulina será dirigido al tratamiento terciario.

4.5 Tratamiento terciario

Para el tratamiento terciario se diseñó una cámara laberíntica que logra un tiempo de permanencia del efluente de 25 minutos. Esto implica una cámara de 36 m^3 , teniendo una altura de 1,5 metros y un largo y ancho de 8,5 y 2,8 metros respectivamente. Se utilizará un dosificador de hipoclorito de sodio para lograr la desinfección y un dosificador de ácido clorhídrico para llevar el efluente a un pH neutro debido al alto pH logrado en la producción de *Espirulina* durante el tren de lagunas. La cámara de cloración será enterrada en su totalidad para evitar la necesidad de un pozo de bombeo en el ingreso del efluente. Luego del tratamiento terciario, el efluente será volcado al Río Reconquista, contando con un pozo de bombeo en caso de que se necesite aumentar la altura para ocasiones excepcionales de niveles del río.

4.6 Esquema y diagrama de flujo de PTE

A continuación, en la figura 5 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra un diagrama de flujo de ambas propuestas. En la figura 6, se presenta un esquema de la planta de tratamiento indicando las unidades detalladas previamente y mostrando las 2 alternativas de tratamiento propuestas.

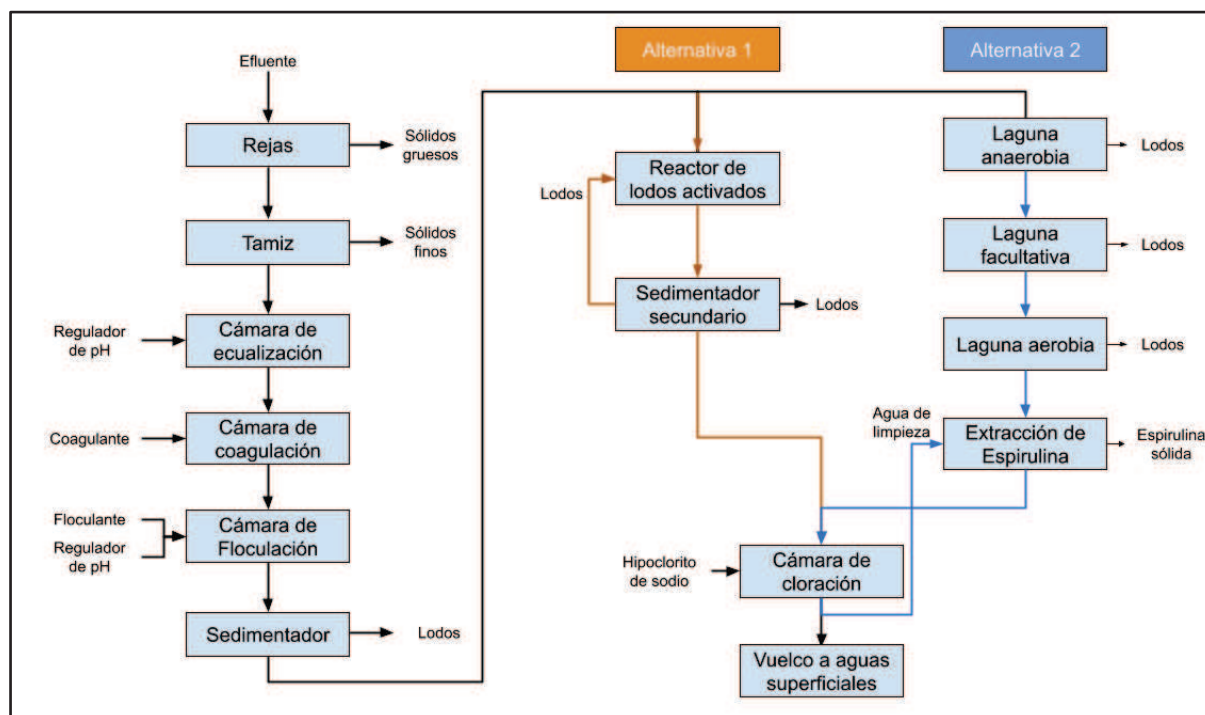


Figura 5: Flujo de procesos de la PTE contemplando ambas alternativas de tratamiento secundario (Fuente: elaboración propia).

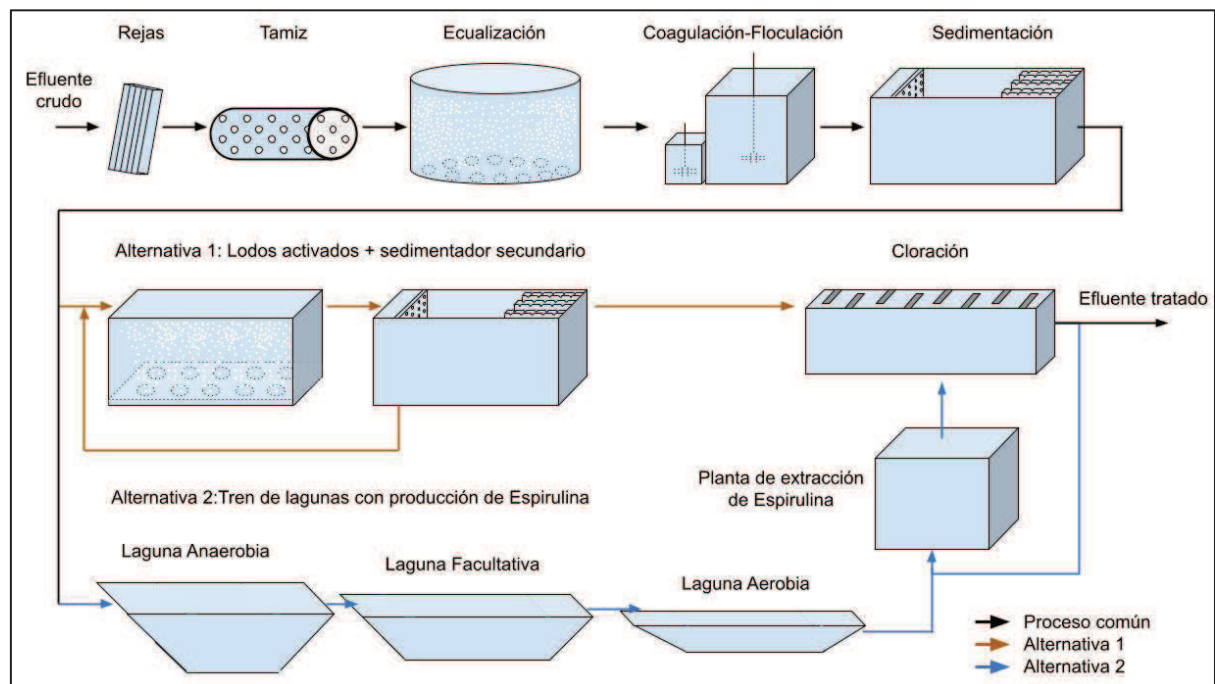


Figura 6: Esquema de ambas propuestas de planta de tratamiento (Fuente: elaboración propia).

Capítulo 5

Memoria de cálculo

5.1 Consideraciones sobre el efluente

En base a las características del efluente mencionadas en el capítulo 3, pueden comentarse unas primeras suposiciones sobre cómo debería ser el tratamiento de estos efluentes para lograr un vuelco que cumpla con la normativa.

Al comienzo de la planta de tratamiento deberán situarse unidades que permitan la separación física del efluente y la materia sólida que sea arrastrada por este. Estos elementos pueden ser restos de pieles, grasa y otros materiales que pueden interferir con las maquinarias utilizadas en el proceso del tratamiento. Tanto las bombas como las cañerías podrían ser afectadas además de entorpecer el tratamiento en sí.

Otro factor que debe contemplarse es que durante el proceso productivo se generan efluentes con componentes químicos y biológicos muy diferentes entre sí. Es por esta razón que debe incluirse un tanque ecualizador que logre la homogeneización del efluente y sus cargas contaminantes. De esta manera, se logra tratar un efluente con composición medianamente estática en el tiempo y, sobre todo, se evitan picos de contaminantes que puedan dañar la comunidad de microorganismos presentes en el tratamiento secundario. Si durante esta etapa se logra una buena oxigenación del efluente, puede aprovecharse el tiempo de residencia para lograr la reducción de la carga de sulfuros que son aportados por los procesos de pelambre, descarnado y desencalado desengrase y purga.

En el capítulo 3 se informaron los valores de ciertos parámetros conocidos del efluente a tratar. Entre estos se encuentra un valor de DQO y de DBO. Si se calcula la relación entre estos parámetros puede estimarse la degradabilidad biológica del efluente. La relación de DQO/DBO del efluente a tratar es de 3, que resulta mayor a 2,5. El valor 2,5 es utilizado como umbral para saber si la carga orgánica del efluente podrá ser degradada biológicamente. Al encontrarse por sobre este valor umbral, sabemos que la carga orgánica presente en el efluente es resiliente al tratamiento biológico y por ende será necesario reducir el DQO refractario mediante otro tipo de tratamiento. Esta carga orgánica refractaria es aportada por los taninos y sintanos vegetales utilizados en el proceso de curtido. Por esta razón será necesario incluir un tratamiento primario que consista de un tratamiento físico químico que permita la sedimentación de estos componentes.

El DQO y DBO persistentes serán degradados mediante un tratamiento biológico secundario y por último se realizará una desinfección como tratamiento terciario para lograr la calidad necesaria para el vuelco a aguas superficiales.

Las ecuaciones, criterios, coeficientes empíricos y aproximaciones utilizadas en el diseño de las unidades que se describen a continuación, fueron consultadas a partir de las siguientes fuentes:

- Eckenfelder, 2001
- Metcalf & Eddy, 2003
- Cátedra “Procesos Industriales” de la UNSAM, 2017, bajo la tutoría de la Ingeniera Ambiental Ruth Rodríguez
- Cátedra “Diseños de Tratamientos Biológicos para Efluentes Líquidos” de la UNSAM, 2018, bajo la tutoría del Ingeniero Ambiental Federico Bailat

5.2 Pretratamiento

5.2.1 Rejas

Para el diseño de las rejas, deben considerarse los siguientes factores de manera de evitar que suceda el atascamiento del efluente al ingreso de la planta: Locación; Velocidad de acercamiento; Distancia entre barras; Pérdida de carga; Manipulación, procesamiento y eliminación de cribado; y Controles.

La velocidad media del efluente deberá ser mayor a 0,4 m/s de manera de evitar la deposición de sólidos en el canal y deberá ser menor a 0,9 m/s de manera de evitar que algunos sólidos traspasen el sistema de rejas. De esta manera se adoptará una velocidad media de 0,6 m/s.

En la tabla 4 se presentan los parámetros, significados y símbolos utilizados durante dimensionamiento de las rejas.

Tabla 4: Símbolos y descripciones de variables utilizadas para el dimensionamiento de las rejas.

Simbología	Significado	Simbología	Significado
QM	Caudal	Wb	Ancho transversal de barras
v	Velocidad de paso	H	Altura total
Ac	Área canal	θ	Ángulo de rejas
Hv	Altura de tirante	Lin	Longitud de inclinamiento
Wc	Ancho del canal	b	Separación entre barras
β	Factor de forma de barra	n	Número de barras
HL	Pérdida de carga	ne	Número de espacios

En la tabla 5 se presentan los valores adoptados durante el dimensionamiento de las rejas.

Tabla 5: valores adoptados para cálculo de rejas.

Variables adoptadas	Valor	Unidad
v	0,6	m/s
Q_M	0,07	m ³ /s
W_c	0,5	m
θ	75	grados
β	2,42	adimensional
b	0,03	m
W_B	0,012	m

Para el dimensionamiento de las rejas se partió del caudal máximo y la velocidad de acercamiento adoptado. A partir de esos valores se estimó el área del canal (A_c) mediante la ecuación 5.1.

$$A_c = \frac{Q_m}{v} \text{ Ecuación 5.1}$$

$$A_c = \frac{0,07 \frac{m^3}{s}}{0,6 \frac{m}{s}} = 0,12 \text{ m}^2$$

Una vez conocido A_c , se determinó la altura del tirante (H_v) mediante la ecuación 5.2.

$$H_v = \frac{A_c}{W_c} \text{ Ecuación 5.2}$$

$$H_v = \frac{0,12 \text{ m}^2}{0,5 \text{ m}} = 0,23 \text{ m}$$

Conociendo la altura del tirante se pudo estimar la pérdida de carga (H_L) mediante la ecuación 5.3.

$$H_L = \beta \left(\frac{W_B}{b} \right)^{4/3} H_v \sin(\theta) \text{ Ecuación 5.3}$$

$$H_L = 2,42 \left(\frac{0,012 \text{ m}}{0,03 \text{ m}} \right)^{4/3} 0,23 \text{ m} \sin(0,52) = 82,55 \text{ mm}$$

De esta manera se comprueba que la pérdida de carga H_L tiene un valor inferior a 150 mm, umbral superior de tolerancia.

La altura total (H) fue entonces calculada a partir de la pérdida de carga, la altura del tirante y se adoptó una cota de seguridad de 1 metro según indica la ecuación 5.4.

$$H = H_v + H_L + \text{cota} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

$$H = 0,23 \text{ m} + 0,082 \text{ m} + 1 \text{ m} = 1,31 \text{ m}$$

A su vez, se calculó la inclinación de las rejillas mediante la ecuación 5.5.

$$L_{in} = \frac{H}{\tan(\theta)} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

$$L_{in} = \frac{1,31 \text{ m}}{\tan(75^\circ)} = 0,35 \text{ m}$$

El número de barras necesarias se calculó mediante la ecuación 5.6.

$$n = \frac{W_C - b}{b + W_B} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

$$n = \frac{0,5 \text{ m} - 0,03 \text{ m}}{0,03 \text{ m} + 0,012 \text{ m}} = 11,2 \rightarrow 11 \text{ barras}$$

El número de espacios será entonces el número de barras más 1 por lo que se obtiene un número de 12 espacios.

Los resultados del diseño de las rejillas se presentan en la tabla 6.

Tabla 6: Valores obtenidos para las variables calculadas para el diseño de las rejillas.

Variable calculada	Valor	Unidad
H _v	0,23	m
H _L	82,55	mm
H	1,31	m
L _{in}	0,35	m
n	11	barras

5.2.2 Tamiz rotativo

Se instalará el tamiz nombre Balik GT 2055 que presenta una luz de malla de 3 mm y permite un caudal de operación de hasta 260 m³/h. Las características del modelo seleccionado son las siguientes:

Tabla 7: Características operativas del tamiz rotativo Balik GT 2055.

		Unidad
Modelo	GT 2055	-
Luz de malla	3-10	mm
Q operativo	260	m ³ /h
Diámetro del cilindro	1800	mm
Longitud del cilindro	5500	mm
Potencia motora	30	kW
Ancho total	2500	mm
Fondo total	7500	mm
Altura total	4000	mm



Figura 7: tamiz rotatorio Balik GT 2055

5.2.3 Ecualizador

Para realizar el dimensionamiento del tanque circular de ecualización se partió de una tabla indicativa del caudal promedio por hora para un día laboral de la planta de Oderot en Brandsen. El promedio de caudal horario fue calculado a partir de mediciones a lo largo de 2 semanas y luego se calculó el promedio correspondiente a cada horario.

Tabla 8: Caudal medio horario calculado a partir de 2 semanas de datos horarios de caudal producido.

hora	m ³ /h	m ³ acumulado	hora	m ³ /h	m ³ acumulado
1	110,0	110,0	13	330,0	2720,0
2	80,0	190,0	14	110,0	2830,0
3	60,0	250,0	15	90,0	2920,0
4	40,0	290,0	16	115,0	3035,0
5	50,0	340,0	17	235,0	3270,0
6	110,0	450,0	18	420,0	3690,0
7	160,0	610,0	19	350,0	4040,0
8	220,0	830,0	20	320,0	4360,0
9	350,0	1180,0	21	160,0	4520,0
10	420,0	1600,0	22	120,0	4640,0
11	380,0	1980,0	23	80,0	4720,0
12	410,0	2390,0	24	50,0	4770,0

A partir de los datos de la tabla 8, y para un caudal medio de 200 m³/h, se puede graficar el volumen de efluente acumulado y el volumen medio acumulado. Luego, a partir de las diferencias máximas y mínimas entre estas series de datos puede calcularse el volumen necesario del tanque de ecualización como la suma de ambas magnitudes. En la figura 8 se presentan los volúmenes medios y reales acumulados.

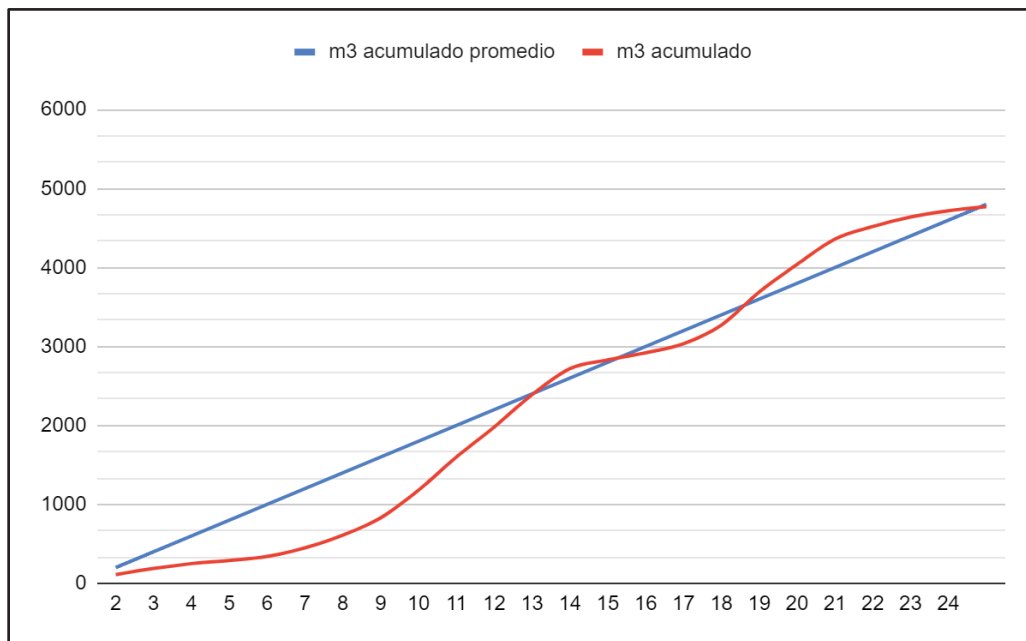


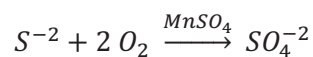
Figura 8: Volumen acumulado real y volumen acumulado medio a lo largo de un día de producción (Fuente: Elaboración propia).

Si se suman las diferencias máximas y mínimas de estas curvas, se obtiene que se necesita un ecualizador de un volumen total de 1115 m³. Debido a que se considera un factor de seguridad de un 15%, se diseñará un tanque de homogenización de 1323 m³. A continuación en la tabla 9 se presentan los parámetros de diseño del tanque de ecualización.

Tabla 9: Parámetros de diseño del tanque de ecualización.

	unidad	
Altura	8,6	m
Radio	7	m
Volumen	1323	m ³
Tiempo de Permanencia	6,62	h

Para lograr la oxidación de los sulfuros provenientes del proceso de pelambre, es necesario proveer una cantidad de O₂ que facilite dicha oxidación y también es necesaria la presencia de sulfato de manganeso como catalizador. El proceso químico de oxidación de azufre en el ecualizador, sigue entonces la reacción:



Según Salas, la cinética de reacción de la oxidación de sulfuros es de primer orden, y la tasa de eliminación sigue la siguiente ecuación diferencial (Salas, 2005):

$$-r_s = -\frac{dC_s}{dt} = 0,5 * C_s \text{ Ecuación 5.7}$$

Integrando la ecuación diferencial 5.7 obtenemos la concentración de sulfuros para un tiempo t. De esta manera, la oxidación de sulfuros está dada por la ecuación 5.8

$$C_s(t) = C_{s_0} e^{-0,5 t} \text{ Ecuación 5.8}$$

Dado que el tiempo de permanencia en el ecualizador será de 6,6 horas y la concentración inicial de sulfuros es de 160 mg/L, se puede calcular la concentración de salida de sulfuros del ecualizador como:

$$C_s(t) = 160 \frac{mg}{l} e^{-0,5 \frac{1}{h} * 6,6 h} = 5,9 mg/l$$

Asumiendo entonces una oxidación estequiométrica de sulfuro, se logrará una eliminación del 96% logrando una concentración de salida de 5,9 mg/l.

Para lograr esta oxidación será necesario proveer 0,32 mg de $MnSO_4$ y 1 mg de O_2 por cada mg de sulfuros en el efluente. Dado que la concentración media de sulfuros en el ecualizador es de 160 mg/L, deberán proveerse 51,2 mg/L de $MnSO_4$ y 160 mg/L de O_2 . Para esto se instalará un dosificador volumétrico en el ecualizador y difusores Repicky.

El requerimiento de O_2 del ecualizador puede calcularse a partir de la estequiometría de reacción de la oxidación de sulfuros. Como debe proveerse 1 mg O_2 por cada mg de sulfuros, puede calcularse el requerimiento de O_2 según:

$$RO = 160 \frac{mg O_2}{L} * \frac{1 kg O_2}{10^6 mg O_2} * 200 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{l}{m^3} = 32 \frac{kg O_2}{h}$$

Es necesario calcular el requerimiento de oxígeno estándar (SOR). Para esto se tomaron los valores de las variables descriptas en la tabla 10 y se calculó el SOR mediante la ecuación 5.9.

Tabla 10: variables utilizadas para el cálculo del requerimiento de oxígeno estándar.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
β	Factor de corrección	Adimensional	1
α	Factor de conversión de transferencia de O_2 para el agua residual	Adimensional	0,82
Cwat	Concentración de saturación de OD para el agua residual	mg/L	8,65

C _L	Concentración de OD en condiciones de funcionamiento	mg/L	3
C _s	Concentración de saturación de agua limpia a 20 C° y 1 atm	mg/L	9,17
T	Temperatura del efluente	C°	22

$$SOR = \frac{RO}{\frac{\beta \cdot C_{wat} - C_L}{C_s} \cdot 1,024^{(T-20)} \alpha} \quad \text{Ecuación 5.9}$$

$$SOR = \frac{32 \frac{kgO_2}{h}}{\frac{8,65 \frac{mg}{L} - 3 \frac{mg}{l}}{9,17 \frac{mg}{l}} \cdot 1,024^{(22-20)} \cdot 0,82} = 60,4 \frac{kgO_2}{h}$$

Para lograr la concentración de O₂ necesaria se utilizarán difusores Repicky RG-300 con un sistema de grilla fija. En el anexo II se encuentra la hoja de detalles de este equipo. Como se indica, la densidad operativa recomendada es de 0,5 - 3 difusores por m² de reactor, donde cada difusor provee un caudal de 380 gO₂/h para 5 Nm³/h. El reactor cuenta con un área superficial de 300 m² por lo que adoptando una densidad de 0,5 dif/m² serán necesarios 150 difusores.

La cantidad de O₂ otorgado por los difusores será:

$$O_{2\text{otorgado}} = 150 \text{ difusores} * 380 \frac{gO_2}{h \cdot \text{difusor}} = 45000 \frac{gO_2}{h}$$

A partir de la curva de transferencia de oxígeno del proveedor, se determinó que para un caudal de 5 Nm³/difusor y una densidad cercana a 0,5 difusor/m² se obtiene un SOTE de 5%. De esta manera el caudal de O₂ estará dada por la ecuación 5.10:

$$Q_{O_2} = \frac{SOR}{SOTE \cdot h \cdot 1Nm^3} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

Para una altura de reactor de 8,6 m y 1 Nm³ equivalente a 280 $\frac{gO_2}{Nm^3}$, se obtiene un caudal de O₂ de:

$$Q_{O_2} = \frac{60400 \frac{gO_2}{h}}{0,05 \cdot 8,6 m \cdot 280 \frac{gO_2}{Nm^3}} = 500 \frac{Nm^3}{h}$$

Podemos ahora calcular la cantidad de difusores necesarios dividiendo el caudal de O₂ por el caudal de diseño de cada difusor ($5 \frac{Nm^3}{h \cdot \text{difusor}}$).

$$n_{dif} = \frac{500 \frac{Nm^3}{h}}{5 \frac{Nm^3}{h \cdot difusor}} = 100 \text{ difusores}$$

A partir de este cálculo se obtiene que son necesarios 100 difusores. Dado que el reactor tendrá un área de 300 m², la densidad de difusores será de 0,33 difusores/m². Repicky indica que la densidad mínima ideal es de 0,5 difusores/m² para evitar zonas muertas en el reactor por lo que se instalarán 150 difusores de manera de evitar este problema operativo, pese a que esto implique un mayor costo de inversión y de operación.

Para evitar en la medida posible el costo energético asociado de los compresores que proveen el aire para los difusores, se calcula el caudal de operación sabiendo que se deben proveer 500 Nm³/h a partir de 150 difusores:

$$Q_{O_2/dif} = \frac{500 \frac{Nm^3}{h}}{150 \text{ difusores}} = 3,3 \frac{Nm^3}{h \cdot difusor}$$

De esta manera, para lograr la oxidación de sulfuros en el ecualizador se instalarán 150 difusores Repicky operando a un caudal de $3,3 \frac{Nm^3}{h \cdot difusor}$.

5.3 Tratamiento primario

5.3.1 Coagulación

El efluente deberá de tener un tiempo de permanencia menor a 7 segundos dentro de la cámara de coagulación. De esta manera, para realizar el diseño se comenzó adoptando un tiempo de permanencia (Tp) de 7 segundos. Una vez adoptado Tp se puede calcular el volumen (V) de la cámara de coagulación mediante la ecuación 5.11.

$$V = Q \times T_p \text{ Ecuación 5.11}$$

$$V = 0,06 \frac{m^3}{s} \times 7 s = 0,39 m^3$$

Sobre el volumen obtenido se considerará un 15% de factor de riesgo por lo que se diseñará un coagulador de 0,45 m³.

Una vez conocido V, se adopta una altura (H) de 0,8 m y a partir de esta altura se calcularán el largo (L) y el ancho (A) como la raíz del área del ecualizador, como se indica en la ecuación 5.12.

$$A = L = \sqrt{\frac{V}{H}} \text{ Ecuación 5.12}$$

$$A = L = \sqrt{\frac{0,45 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}}} = 0,75 \text{ m}$$

A continuación, se presenta la tabla 11 con las dimensiones obtenidas para el diseño del ecualizador.

Tabla 11: Dimensionamiento del ecualizador.

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Tiempo de permanencia	Tp	7,00	s
Volumen	V	0,45	m ³
Altura	H	0,8	m
Ancho	A	0,75	m
Largo	L	0,75	m

Una vez conocidas las dimensiones del ecualizador es posible diseñar las paletas que realizarán la mezcla del efluente con el coagulante. El diámetro de las paletas (D) fue adoptado teniendo en cuenta que D dividido A debe encontrarse entre los valores 2,7 y 3,3; y que H dividido D debe encontrarse entre los valores 2,7 y 3,9. De esta manera se adoptó un largo de paletas de 0,25 m que cumple con las condiciones recomendadas, como se muestra a continuación:

$$2,7 < \frac{A}{D} = \frac{0,75 \text{ m}}{0,25 \text{ m}} = 3 < 3,3 \quad ; \quad 2,7 < \frac{H}{D} = \frac{0,8 \text{ m}}{0,25 \text{ m}} = 3,2 < 3,9$$

Una vez conocido D se calculó el ancho de las paletas (W) a partir de la ecuación 5.13.

$$W = \frac{D}{5} \text{ Ecuación 5.13}$$

$$W = \frac{0,25 \text{ m}}{5} = 0,05 \text{ m}$$

Luego se adoptó la altura de la paleta (h) de 0,3 m con tal de cumplir la condición de que h dividido D se encuentre entre los valores 0,75 y 1,3 como se muestra a continuación:

$$0,75 < \frac{h}{D} = \frac{0,3 \text{ m}}{0,25 \text{ m}} = 1,20 < 1,3$$

Por último, debe determinarse la velocidad de rotación de las paletas diseñadas. Para esto, se calculó la potencia disipada (P) a partir de la ecuación 5.14. Para determinar la potencia, se adoptó un valor de gradiente de velocidad (G) de 700 s⁻¹ y una viscosidad (u) de 0,001 kg/m.s (20 C°).

$$P = \mu V G^2 \text{ Ecuación 5.14}$$

$$P = 0,001 \frac{kg}{m \cdot s} \times 0,45 m^3 \times (700 s^{-1})^2 = 219 W$$

A partir de la potencia calculada y la ecuación 5.15 puede entonces determinarse la velocidad de rotación (n).

$$n = \left(\frac{P}{K \rho D^5} \right)^{1/3} \text{ Ecuación 5.15}$$

$$n = \frac{219 W}{1,25 \times 998,3 \frac{kg}{m^3} \times (0,25 m)^5} = 5,6 rpm$$

A continuación, en la tabla 12 se presentan los valores adoptados y calculados para el diseño de la cámara de coagulación.

Tabla 12: variables adoptadas y calculadas para el diseño de las paletas del ecualizador.

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Largo de paletas	D	0,25	m
Ancho de paleta	W	0,05	m
Altura de paleta	h	0,30	m
Potencia	P	219	W
Velocidad de rotación	n	5,6	rpm

5.3.2 Floculación

Como se mencionó en el capítulo anterior, se diseñarán 2 unidades de floculación donde cada unidad realizará el tratamiento de la mitad del caudal operativo.

El tiempo de retención recomendado para la floculación oscila entre los 20 y los 60 minutos. Para realizar el dimensionamiento se procedió de la misma manera en la que se diseñó el tanque de coagulación y se adoptó un tiempo de permanencia de 25 minutos. A partir de este tiempo de permanencia y teniendo un factor de seguridad del 10% se calculó un volumen necesario de 45 m³ por unidad. Se adopta una altura de 3,5 metros de manera de igualar la altura del sedimentador para construir estas dos unidades con pared conjunta. Una vez adoptada la altura y conociendo el volumen se puede calcular el ancho y alto del floculador ya que estos tendrán la misma dimensión. El floculador tendrá entonces un ancho y alto de 3,6 metros.

Una vez conocidos estos valores, se diseñaron las paletas procurando mantener las relaciones recomendadas para paletas en un tanque de floculación. Primero se adoptó un largo de paletas D de 1,1 m.

$$2 < \frac{A}{D} = \frac{3,6 \text{ m}}{1,1 \text{ m}} = 3,27 < 6,6 \quad ; \quad 2,7 < \frac{H}{D} = \frac{3,5 \text{ m}}{1,1 \text{ m}} = 3,18 < 3,9$$

Una vez conocido D se calculó el ancho de las paletas (W) a partir de la ecuación 5.13.

$$W = \frac{D}{8}$$

$$W = \frac{1,1 \text{ m}}{8} = 0,14 \text{ m}$$

Luego, se adoptó la altura de la paleta (h) de 1 m con tal de cumplir la condición de que h dividido D se encuentre entre los valores 0,9 y 1,1 como se muestra a continuación:

$$0,9 < \frac{h}{D} = \frac{1 \text{ m}}{1,1 \text{ m}} = 0,91 < 1,1$$

Por último, se calculó la potencia disipada a partir de la ecuación 5.14 para un gradiente de velocidad de 30 s^{-1} y la velocidad de rotación de las paletas a partir de la ecuación 5.15:

$$P = 0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \times 45 \text{ m}^3 \times (30 \text{ s}^{-1})^2 = 40 \text{ W}$$

$$n = \frac{40 \text{ W}}{0,75 \times 998,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (1,1 \text{ m})^5} = 0,32 \text{ rpm}$$

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el diseño de cada uno de los 2 tanques de floculación, como de las paletas y de la velocidad de rotación de las mismas.

Tabla 13: parámetros de diseño para la floculación.

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Tiempo de permanencia	Tp	1500	s
Volumen	V	45	m ³
Altura	H	3,5	m
Ancho	A	3,6	m
Largo	L	3,6	m
Largo de paletas	D	1,10	m
Ancho de paleta	W	0,14	m

Altura de paleta	h	1	m
Potencia	P	40	W
velocidad de rotación	n	0,32	rpm

5.3.3 Sedimentación

Los sedimentadores pueden ser rectangulares o circulares. Pese a que los sedimentadores circulares tienen mejor performance, se construirá un sedimentador rectangular ya que son de más fácil construcción, sobre todo para el caso de grandes volúmenes. En el caso de los sedimentadores rectangulares, se suele utilizar un barredor de fondo que se extiende a lo ancho del sedimentador y arrastra los lodos sedimentados hacia una tolva que se encuentra en el primer tercio del sedimentador. La velocidad del barredor suele rondar entre 5 y 15 mm/s. En el caso de algunos sistemas de barrido completo, se utiliza un circuito que permite que las paletas levemente sumergidas puedan empujar los sólidos o espumas a una bandeja de eliminación de flotantes.

El dispositivo de entrada debe distribuir el flujo del efluente a lo largo de todo el ancho del sedimentador mientras evita chorros, disipa la energía del fluido, y evita altas velocidades que pueda dispersar los barros del fondo. A su vez, el dispositivo de salida debe recoger el efluente de manera uniforme al final del sedimentador. El correcto funcionamiento de los dispositivos de entrada y salida aseguran evitar turbulencias en el flujo laminar a lo largo de la unidad.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se diseñaron 2 sedimentadores rectangulares de manera de tratar la mitad del caudal productivo en cada unidad. De esta manera se procura un mejor funcionamiento de estas unidades y una mayor resiliencia en caso de que deba realizarse el mantenimiento de alguna de estas 2 unidades de sedimentación.

Zona de entrada

El efluente ingresará a la zona de entrada del sedimentador mediante rebalse por una pared compartida con el floculador. La zona de entrada tendrá el ancho y alto de la zona de decantación y un largo de 1,5 metros. Desde allí ingresará a la zona de sedimentación pasando previamente por una pared agujereada desde la altura de 1 metro hasta la altura de 2,8 metros. Esta pared permite que el flujo de entrada se de a lo largo de la sección transversal del sedimentador sin perturbar a los lodos sedimentados en el fondo.

Para calcular la cantidad y distribución de los agujeros que permitirán el ingreso del efluente a la cámara de sedimentación, debemos primero adoptar una velocidad de ingreso. Se adoptará una velocidad de 0,05 m/s para asegurar que no se generen perturbaciones en los lodos sedimentados en el fondo del sedimentador.

Conociendo la velocidad de paso (v) es posible determinar el área total necesaria (A_{tot}) para el ingreso del efluente según:

$$A_{tot} = \frac{Q}{v} = \frac{100 \frac{m^3}{h}}{0,05 \frac{m}{s} * 3600 \frac{s}{h}} = 0,55 m^2$$

Adoptando un diámetro de agujero de paso (d) de 20 cm, puede calcularse entonces la cantidad de agujeros (n) según:

$$n = \frac{A_{tot}}{\pi(\frac{d}{2})^2} = \frac{0,55 m^2}{\pi(\frac{0,2 m}{2})^2} \cong 18$$

La entrada del efluente al sedimentador será entonces a partir de 18 agujeros de 20 cm de diámetro distribuidos equitativamente a lo largo y ancho de la pared trasversal del sedimentador.



Figura 9: ejemplo de sedimentador primario rectangular.

Zona de sedimentación

Para realizar el dimensionamiento de la cámara de sedimentación se adoptó un tiempo de permanencia (Tp) de 2 horas. A partir del Tp, se pudo calcular entonces el volumen del tanque de clarificación necesario mediante la ecuación 5.11.

$$V = Q \times T_p$$

$$V = 100 \frac{m^3}{h} \times 2 h = 200 m^3$$

Una vez conocido el volumen, se adoptó una altura (H) de 3,5 metros y a partir de estos datos y de una relación adoptada entre el largo (L) y el ancho (A) de 4:1 se calcularon las dimensiones del sedimentador.

$$L = 4 A$$

$$Area = \frac{V}{H} ; Area = L \times A = 4 A \times A = 4 A^2$$

$$\frac{V}{H} = 4 A^2$$

$$A = \sqrt{\frac{V}{4 H}} = \sqrt{\frac{200 \text{ m}^3}{4 \times 3,5 \text{ m}}} = 3,8 \text{ m}$$

$$L = 4 \times A = 4 \times 3,8 \text{ m} = 15 \text{ m}$$

Una vez conocidas todas estas dimensiones se calculó la carga superficial (C_s) y la velocidad de escurrimiento (V_L) y se corroboró que se encuentren dentro de los rangos admisibles recomendados.

La carga superficial fue calculada mediante la ecuación 5.16.

$$C_s = \frac{Q}{A} \text{ Ecuación 5.16}$$

$$C_s = \frac{2400 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{15 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}} = 42 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}}$$

La velocidad de escurrimiento (V_L) fue calculada mediante la ecuación 5.17.

$$V_L = \frac{Q}{A} = \frac{100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3,5 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}} \times 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,2 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

La carga superficial recomendada para un tiempo de retención de 2 horas es de entre 40 y 45 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. De esta manera la carga superficial de 42 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ cumple con este criterio. A su vez se recomienda una velocidad de escurrimiento menor a 0,5 cm/s, condición que también se ve satisfecha.

A continuación, se presenta la tabla 14 con las dimensiones del sedimentador.

Tabla 14: Dimensiones del sedimentador primario.

Variable	Significado	Valor	Unidad
Tp	Tiempo de permanencia	2	h
V	Volumen	200	m^3
H	Altura	3,5	m
A	Ancho	3,8	m
L	Largo	15	m
Cs	Carga superficial	42	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$
V_L	Velocidad de escurrimiento	0,2	cm/s

Zona de salida

Para la recogida de los efluentes clarificados se utilizarán presas colocadas longitudinalmente a lo largo del sedimentador. Estos vertederos deberán encontrarse en el último tercio de la longitud de la unidad. Un esquema de este tipo de unidades se presenta en la figura 10.

El largo total de vertederos necesarios fue calculado a partir de un caudal por metro lineal adoptado de 4 L/s.m (Q_{ML}) mediante la ecuación 5.18.

$$L_{TV} = \frac{Q}{Q_{ML}} \text{ Ecuación 5.18}$$

$$L_{TV} = \frac{27,8 \frac{L}{s}}{4 \frac{L}{s}} = 7 \text{ m}$$

Una vez conocido L_{TV} y adoptando 2 canales con un total de 4 vertederos, se calculó el largo de cada unidad de vertedero (L_V) como:

$$L_V = \frac{L_{TV}}{n^{\circ} \text{ de vertederos}}$$

$$L_V = \frac{7 \text{ m}}{4} \approx 1,75 \text{ m}$$

Este largo de vertedero respeta no supera el último tercio del largo de la unidad de sedimentación como se muestra a continuación:

$$L_V < \frac{L}{3} \rightarrow 1,75 \text{ m} < \frac{15 \text{ m}}{3} \rightarrow 1,75 \text{ m} < 5 \text{ m}$$

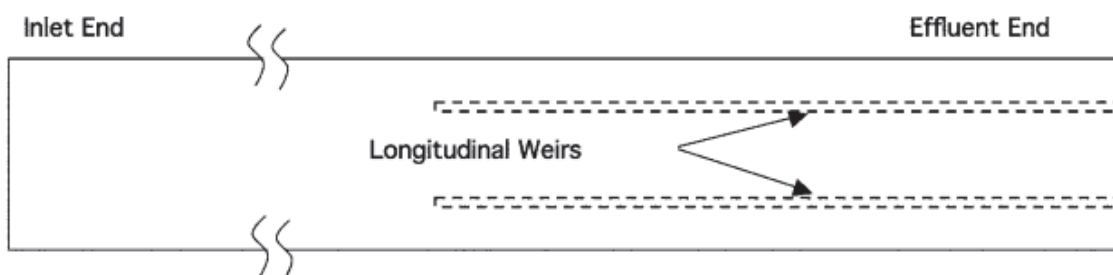


Figura 10: Esquema de zona de salida del sedimentador primario rectangular.

Para prevenir problemas de balanceo de descarga y evitar problemas con la descarga relacionadas con los vientos, se diseñaron picos de pato para que la descarga ocurra a través de ellos. Para el diseño de los picos de pato se adoptó una altura de agua de pico de pato (h_{agua}) de 5 cm y una altura máxima de 7 cm (h_{pp}). Dado que la ranura de paso de agua tendrá un ángulo de 90° el ancho de pico de pato (b) será igual a 2 veces h_{pp}, como se muestra en la figura 11.

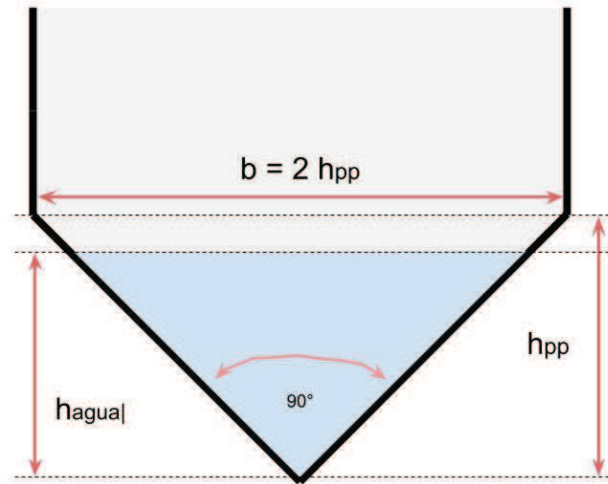


Figura 11: Esquema de pico de pato (Fuente: elaboración propia).

Se calculó el caudal de descarga por cada unidad de pico de pato (Q_{pp}) a partir de la ecuación 5.19.

$$Q_{pp} = 1,38 H_{agua}^{2,47} \text{ Ecuación 5.19}$$

$$Q_{pp} = 1,38 (0,05 \text{ m})^{2,47} = 0,82 \frac{L}{s}$$

Una vez conocido Q_{pp} pudo calcularse el número de picos de pato necesarios (n_{pp}) a partir de la ecuación 5.20.

$$n_{pp} = \frac{Q}{Q_{pp}} \text{ Ecuación 5.20}$$

$$n_{pp} = \frac{27,8 \frac{L}{s}}{0,82 \frac{L/s}{pp}} = 34 \text{ pp}$$

El ancho del canal (A_c) puede ser calculado adoptando previamente una altura de canal (H_c) de 40 cm y una velocidad de flujo en el canal (V_c) de 0,15 m/s. Sabiendo que cada canal tendrá 17 picos de pato con un caudal Q_{pp} cada uno, es posible determinar el ancho de canal como:

$$A_c = \frac{\frac{n_{pp}}{2} Q_{pp}}{v_c H_c} = \frac{\frac{34}{2} * 0,82 \frac{l}{s} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 l}}{0,15 \frac{m}{s} * 0,4 \text{ m}} = 0,23 \text{ m}$$

Conociendo A_c , podemos ahora calcular la distancia entre canales de manera de corroborar que esta distancia se encuentre entre 0,2 y 0,6 veces la altura del sedimentador.

Se calculó la distancia entre canales (D_c) como:

$$D_c = \frac{A - (A_v \times n^\circ \text{ canales})}{n^\circ \text{ canales} + 1}$$

$$D_c = \frac{3,8 - (0,23 \times 2)}{2 + 1} = 1,1 \text{ m}$$

Como se comentó previamente esta distancia debe cumplir la condición de encontrarse entre el 20% y el 60% de la altura del sedimentador. Esta condición se cumple como se muestra a continuación:

$$0,2 H < D_c < 0,6 H \rightarrow 0,2 \times 3,5 \text{ m} < 1,1 \text{ m} < 0,6 \times 3,5 \text{ m} \rightarrow 0,7 \text{ m} < 1,1 \text{ m} < 2,1 \text{ m}$$

La distancia entre picos de pato será homogénea a lo largo del perímetro de cada canal. Para calcular la distancia entre picos de pato (D_{pp}) se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{perimetro} = A_c + 2 L_v = 0,23 \text{ m} + 2 \times 1,75 = 3,7 \text{ m}$$

$$\text{perimetro libre} = \text{perimetro} - n_{pp} \times b = 3,7 \text{ m} - 17 \times 0,14 \text{ m} = 1,32 \text{ m}$$

$$D_{pp} = \frac{\text{perimetro libre}}{n^\circ \text{ espacios}} = \frac{1,32 \text{ m}}{n_{pp} + 1} = \frac{1,32 \text{ m}}{17 + 1} \approx 7 \text{ cm}$$

A continuación, en la tabla 15, se presentan los valores adoptados y calculados para el diseño de los vertederos de la sedimentación.

Tabla 15: Variables adoptadas y calculadas para el diseño de los vertederos del sedimentador.

Variable	Significado	valor	unidad
n_v	Número de vertederos	4	unidades
H_{agua}	Altura de agua de pico de pato	0,05	m
Q_{pp}	Caudal de pico de pato	0,82	l/s
b	Ancho de pico de pato	0,14	m
n_{pp}	Número de pico de patos	34	unidades
A_v	Ancho de vertedero	0,23	m
D_{pp}	Distancia entre picos de pato	0,07	m
D_c	Distancia entre canales	1,1	m

Zona de barros

La tolva de lodos se construirá a lo largo del primer tercio del sedimentador, de manera de que los lodos más pesados sean eliminados más rápidamente y para que haya un mayor volumen de tanque de sedimentación efectivo. En este caso, el flujo de eliminación de lodos es inverso al del influente y se denomina contracorriente.

La forma típica de la tolva para clarificadores rectangulares es una pirámide invertida con una abertura rectangular en la parte superior. Se recomienda que los lados tengan una pendiente de 52 grados para evitar que los sólidos se acumulen en las paredes superiores. La tolva estará equipada con una tubería de extracción para la eliminación de lodos.

Sistema de remoción de lodos

Para facilitar el traslado de los lodos hacia la tolva de eliminación se dispondrá de un colector de barro de cadena. El sistema de remoción contará con 3 piñones de manera que las paletas puedan remover los barro sedimentados, pero no interfieran con la salida del sedimentador. La velocidad de la cadena será de 5 a 15 mm/s. Las paletas tendrán el ancho del sedimentador y estarán separadas entre sí por 3 metros. En la figura 12 se muestra un esquema de una unidad de sedimentación primaria con una tolva de eliminación de lodos.

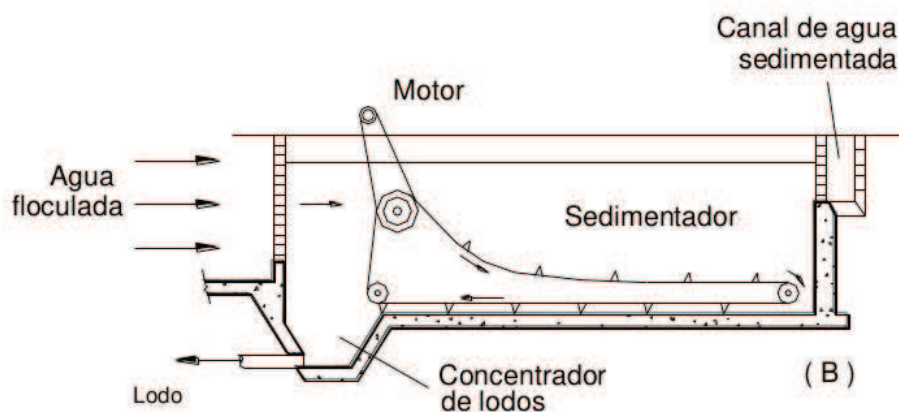


Figura 12: Esquema de sedimentador primario con tolva de recolección de lodos.

5.4 Propuestas de tratamiento secundario

El objetivo principal del tratamiento secundario, o tratamiento biológico es la transformación de materia orgánica disuelta y suspendida en productos finales no contaminantes mediante oxidación biológica. En este proceso se intenta también capturar e incorporar materia suspendida a la biomasa en forma de flocs o biofilm. Además, en el tratamiento secundario puede lograrse la remoción de ciertos nutrientes como nitrógeno y fósforo. De esta manera, en este proceso se busca remover o reducir la carga de tanto materia orgánica como inorgánica.

Para lograr un tratamiento secundario efectivo, fueron necesarias las unidades anteriores que permitieron disminuir la carga de compuestos tóxicos para la comunidad de microorganismos que estarán presentes en el tratamiento biológico. El tanque de homogeneización, por ejemplo, permite la dilución de ciertos compuestos que pueden dañar a la biota y también permite la oxidación de sulfuros que también pueden ser perjudiciales. El tratamiento primario a su vez logra reducir la carga orgánica del efluente de manera de necesitar volúmenes de reactores de menores dimensiones.

Los tratamientos biológicos pueden ser tanto aerobios, anaerobios, facultativos, anóxicos o una combinación de estos. En todos estos casos, un consorcio de

microorganismos es el encargado de oxidar materia orgánica para transformarla en productos finales como CO_2 y biomasa. Al ser un proceso mediado por microorganismos (MOs), factores fisicoquímicos y ambientales como el pH, la temperatura y la concentración de O_2 , tendrán una gran implicancia en la tasa de actividad de los MOs. Dependiendo del tipo de tratamiento que se realice, se deberán de controlar estas y otras variables.

La biomasa generada a lo largo de este proceso puede ser recuperada por sedimentación ya que presenta una densidad mayor que el agua. Además, en condiciones de operación ideales, esta biomasa se encuentra en flocs que aceleran la decantación y facilitan la recuperación de esta biomasa. De esta manera, en tratamientos secundarios como los lodos activos donde ocurre una gran generación de biomasa, esta puede ser recuperada en un sedimentador secundario y reutilizada en el reactor.

En esta sección se realizará el diseño de 2 tratamientos secundarios alternativos. Ambos métodos plantean alternativas viables, sin embargo, son muy diferentes entre sí respecto a costos tanto operativos como de inversión inicial, dificultad de operación, necesidad de conocimiento técnico para mantener el proceso productivo, insumos necesarios y otros aspectos. En el siguiente capítulo, “Cómputos, presupuestos y análisis de alternativas” se detallarán las diferencias operativas y de costos de ambos métodos y se seleccionará la alternativa más favorable.

5.4.1 Alternativa 1: Reactor de lodos activados

Los reactores de lodos activados consisten principalmente en 3 operaciones básicas: Un reactor aireado donde los MOs son responsables de la degradación biológica de los contaminantes del efluente; Una unidad de sedimentación para la separación sólido-líquido de los flocs de MOs; y un sistema de recirculación para reingresar los flocs de MOs al reactor. Los reactores de mezcla completa siguen entonces un flujo como el que se muestra en la figura 13.

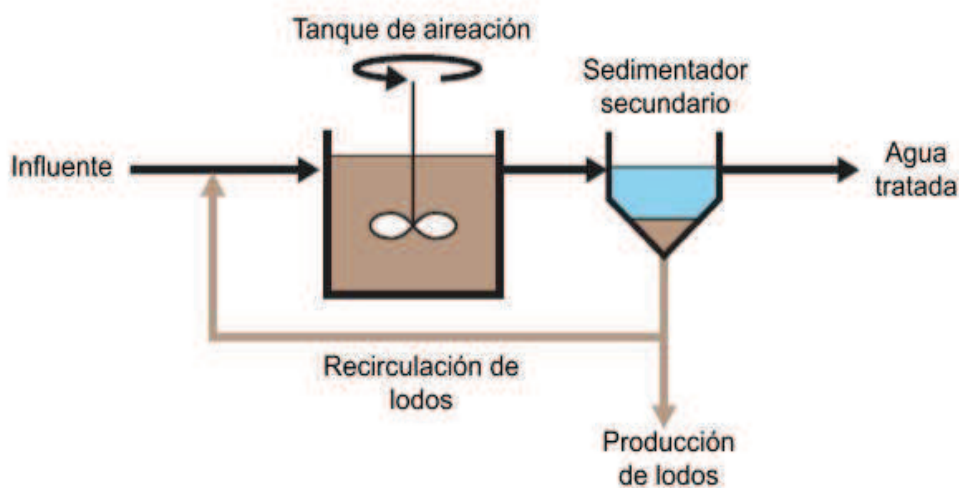


Figura 13: Esquema de unidades que componen al tratamiento secundario en un reactor de lodos activados de mezcla completa (Fuente: Elaboración propia).

Para realizar el diseño de un tratamiento de lodos activados deben tenerse en cuenta varias cuestiones como el tipo de reactor; las relaciones cinéticas; la retención de sólidos; la

producción de lodos; los requerimientos de O_2 , nutrientes y otros químicos necesarios; y las características del efluente, entre otras cosas.

Diseño del reactor

Existen distintos tipos de reactores. En particular, se diseñará un reactor de mezcla completa ya que este tipo de reactores son muy comunes y por ende su eficacia está altamente comprobada. Este tipo de reactores son adaptables a una gran cantidad de tipos de efluentes y su naturaleza de mezcla completa permite una tolerancia a cargas de choque tóxicas. Además, este tipo de reactores tienen una demanda de oxígeno uniforme que permite el uso de cualquier tipo de equipo de aireación.

Para el dimensionamiento del reactor de mezcla completa se comenzó adoptando los valores presentados en la tabla 16 y asumiendo las siguientes suposiciones:

- La biomasa del efluente ingresante al tratamiento secundario es despreciable.
- La biomasa en el efluente de salida del tratamiento secundario es despreciable.
- Debido al estado estacionario de producción, no existe almacenamiento ni de sustrato ni de biomasa. Por tanto, dX/dt y dS/dt toma el valor de 0.
- La tasa de eliminación de sustrato se estimará a partir de la ecuación de Monod.

El valor de la tasa máxima de eliminación de sustrato (k) utilizado fue obtenido a partir de experimentaciones de Oderot S.A. Este valor era conocido debido a que la planta de Brandsen utiliza lodos activados dentro de su tratamiento secundario.

Tabla 16: Parámetros adoptados para el cálculo del reactor biológico

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
u_{max}	Tasa de crecimiento específico máximo	d-1	2,44
K_s	Constante de saturación	mg/L	200
X	Concentración de MOs en Licor de Mezcla	mg/L	3200
k_d	Descomposición de MOs	d-1	0,03
S	Concentración de sustrato en reactor	mg/L	30
k	Tasa de máxima utilización de S	d-1	2,4
Q	Caudal de efluente	m ³ /d	4800
S_0	Concentración de sustrato en el efluente	mg/L	500
X_r	Concentración de SSLM en reciclo	mg/L	9600
h	Altura del reactor	m	5

Para comenzar el diseño se calculó la tasa de utilización de sustrato (r_s) según la ecuación 5.21.

$$r_s = \frac{-(k \cdot x \cdot S)}{k_s + S} \quad \text{Ecuación 5.21}$$

$$r_s = \frac{2,4 \, d^{-1} \cdot 3200 \frac{mg}{L} \cdot 30 \frac{mg}{L}}{200 \frac{mg}{L} + 30 \frac{mg}{L}} = 1002 \frac{mg}{d \cdot L}$$

Una vez conocido r_s , podemos plantear la ecuación 5.22 a partir de un balance de sustrato sobre el reactor:

$$V \frac{dS}{dt} = Q_0 S_0 - (Q_s S + Q_p S) - V r_s \quad \text{Ecuación 5.22}$$

Dado que se supone que $\frac{dS}{dt} = 0$ y que $Q_s = Q_0 - Q_p$, puede despejarse la ecuación 5.22 y obtener:

$$V = \frac{Q_0 (S_0 - S)}{r_s}$$

$$V = \frac{4800 \frac{m^3}{d} \left(500 \frac{mg}{L} - 30 \frac{mg}{L} \right)}{1002 \frac{mg}{d \cdot L}} = 2252 \, m^3$$

Una vez conocido el volumen, se calculó la tasa de crecimiento de microorganismos (rg') con la ecuación 5.23. Conociendo a rg' y adoptando una concentración de reciclo (X_r), se calculó el caudal de purga a partir de un despeje del balance de biomasa en el reactor, como se muestra en la ecuación 6.24.

$$rg' = \frac{\mu_{max} x S}{k_s + S} - k_d x \quad \text{Ecuación 5.23}$$

$$rg' = \frac{2,44 \, d^{-1} \cdot 3200 \frac{mg}{L} \cdot 30 \frac{mg}{L}}{200 \frac{mg}{L} + 30 \frac{mg}{L}} - 0,03 \, d^{-1} \cdot 3200 \frac{mg}{L} = 922 \frac{mg}{d \cdot L}$$

$$V \frac{dX}{dt} = Q_0 X_0 - (Q_s X_s + Q_p X_r) + V rg' \quad \text{Ecuación 5.24}$$

Dado que se asume que $\frac{dX}{dt} = 0$ y que $X_s = 0$ se puede despejar la ecuación 5.24 para obtener:

$$Q_p = \frac{V \cdot rg'}{X_r}$$

$$Q_p = \frac{2252 \text{ m}^3 \cdot 922 \frac{\text{mg}}{\text{d} \cdot \text{L}}}{9600 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 216 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Para calcular el caudal de reciclo puede plantearse un balance de biomasa en el sedimentador, como se indica en la ecuación 5.25:

$$V \frac{dX}{dt} = (Q_0 + Q_r)X - Q_s X_s - (Q_p + Q_r)X_r \quad \text{Ecuación 5.25}$$

Como en el despeje anterior, se asume que $\frac{dX}{dt} = 0$ y que $X_s = 0$. Por ende, puede obtenerse el siguiente despeje:

$$Q_r = \frac{Q_0 X_e - Q_p X_r}{X_r - X}$$

$$Q_r = \frac{4800 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 3200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 216 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 9600 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{9600 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 3200 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 2075 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

El tiempo de retención celular fue calculado mediante la ecuación 5.26:

$$\theta_c = \frac{V \cdot X}{Q_p \cdot X_r} \quad \text{Ecuación 5.26}$$

$$\theta_c = \frac{2252 \text{ m}^3 \cdot 3200 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{216 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 9600 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 3,47 \text{ d}$$

El tiempo de retención hidráulico (θ) fue calculado como:

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{2252 \text{ m}^3}{200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 11,26 \text{ h}$$

La relación F/M fue calculada como:

$$\frac{F}{M} = \frac{S}{\theta \cdot X} = \frac{500 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{3200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 11,26 \text{ h} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}} = 0,33$$

A continuación, se presenta la tabla 17 resumiendo los parámetros calculados para el reactor de lodos activados.

Tabla 17: Parámetros calculados para el diseño del reactor biológico.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
V	Volumen del reactor	L	2252
Qr/Q	% de reciclo	%	43,24%
θ	Tiempo de retención hidráulica	h	11,26
θ_c	Tiempo de retención celular	d	3,47
F/M	Relación comida/MOs	mgDBO / mg SSVM.d	0,33
An	Ancho	m	21
L	Largo	m	21
H	Alto	M	5,1

Diseño del equipo de aireación

Debido a que en el reactor de lodos activados de mezcla completa se realiza la oxidación de la materia biológica, es necesario que haya una concentración debida de oxígeno para realizar dicha oxidación. Para lograr una correcta oxigenación del efluente, deben utilizarse equipos de aireación mecánicos o difusores que provean un caudal de aire suficiente para satisfacer el requerimiento de oxígeno de los MOs presentes en el reactor. El suministro de aire debe satisfacer el tratamiento de DBO y DQO y la necesidad de respiración endógena de los MO. Además, el suministro de aire ayuda a mantener la mezcla homogénea en el reactor. En cualquier caso, el oxígeno disuelto no debe encontrarse por debajo de los 2 mg/L.

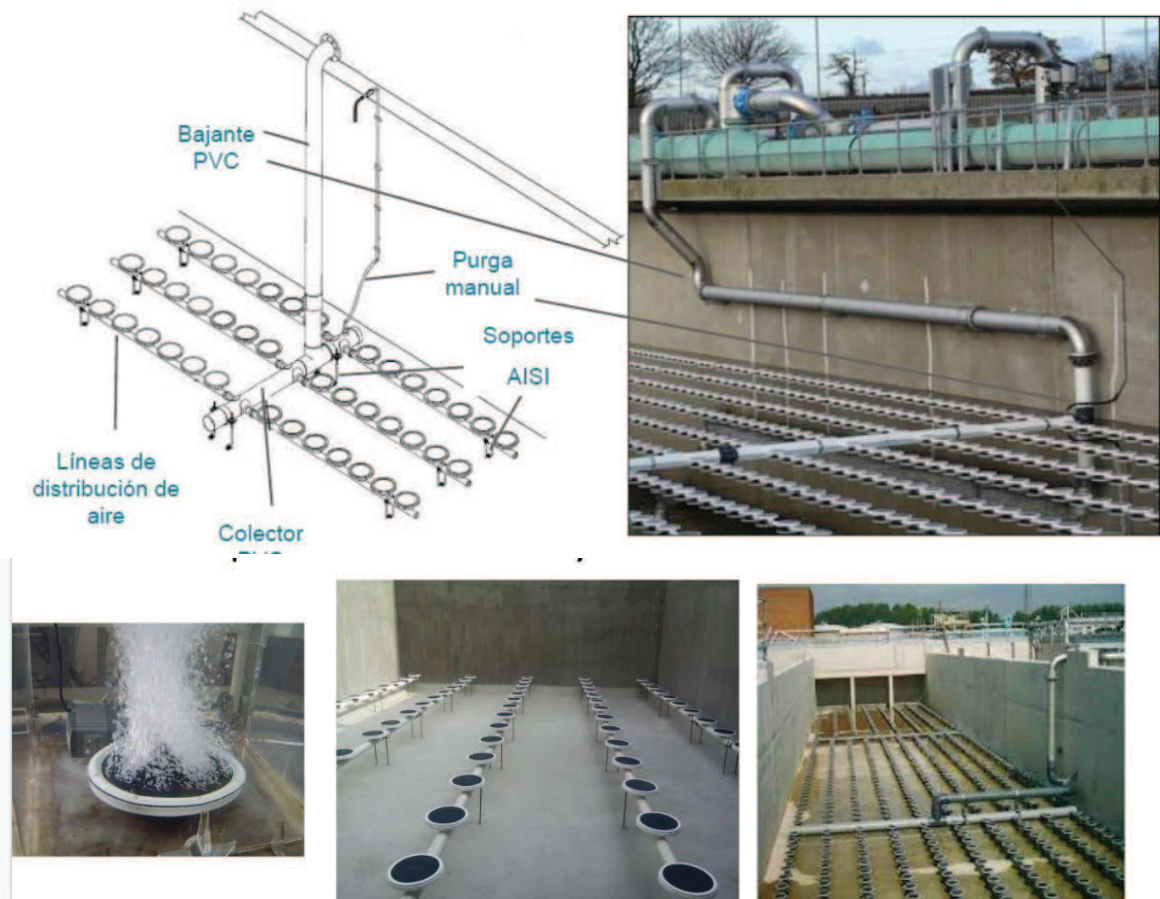


Figura 14: Ejemplos de difusores de burbuja fina en unidades de lodos activos.

Para calcular el requerimiento de oxígeno (RO) y el requerimiento de oxígeno estándar (SOR) se adoptaron los mismos valores que se utilizaron para el cálculo de la oxigenación del efluente en el equalizador. Estos parámetros, sus significados y valores fueron descritos en la tabla 12. Adicionalmente se utilizará el factor de conversión adimensional (f) de 0,65 y el coeficiente máximo de producción de biomasa (Y) de $0,65 \frac{mgX}{mgS}$.

Para conocer el RO primero se tuvo que calcular la producción de lodos (P_x). Para conocer P_x se utilizó la ecuación 5.27:

$$P_x = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c} \quad \text{Ecuación 5.27}$$

$$P_x = \frac{0,65 \frac{mg X}{mg S}}{1 + 0,03 d^{-1} \cdot 3,47 d} = 0,59 \frac{mg X}{mg S}$$

Una vez conocido P_x se calculó RO según la ecuación 5.28:

$$RO = \frac{Q (S_0 - S)}{f} - 1,42 P_x Q (S_0 - S) \quad \text{Ecuación 5.28}$$

$$RO = \frac{200 \frac{m^3}{h} \cdot \left(500 \frac{mg}{L} - 30 \frac{mg}{L}\right)}{0,65} - 1,42 \cdot 0,59 \frac{mg}{mg \cdot S} \cdot 200 \frac{m^3}{h} \left(500 \frac{mg}{L} - 30 \frac{mg}{L}\right)$$

$$RO = 66031 \frac{gO_2}{h}$$

Luego, se calculó el requerimiento de oxígeno estándar (SOR) según la ecuación 5.9:

$$SOR = \frac{66031 \frac{gO_2}{h}}{\frac{8,65 \frac{mg}{L} - 3 \frac{mg}{L}}{9,17 \frac{mg}{L}} \cdot 1,024^{(22-20)} \cdot 0,82} = 124583 \frac{gO_2}{h}$$

Para la oxigenación del reactor se utilizarán difusores de burbuja fina debido a que estos permiten un ahorro energético, mayor flexibilidad ante demandas de oxígeno variable, menor costo de mantenimiento y la eliminación de zonas muertas en cualquier sección del reactor. Este último punto es particularmente importante ya que el reactor será de dimensiones considerablemente amplias.

Se utilizarán los difusores Repicky RG-300 previamente mencionados, nuevamente con un sistema de grilla fija. En este caso se utilizará una densidad operativa ideal de 1 difusor por m² de reactor, donde cada difusor provee un caudal de 380 gO₂/h para 5 Nm³/h. El reactor cuenta con un área superficial de 450 m² por lo que serán necesarios 450 difusores.

La cantidad de O₂ otorgado por los difusores será:

$$O_{2\text{otorgado}} = 450 \text{ difusores} * 380 \frac{gO_2}{h \cdot \text{difusor}} = 171000 \frac{gO_2}{h}$$

A partir de la curva de transferencia de oxígeno del proveedor, se determinó que para un caudal de 5 Nm³/difusor y una densidad de 1 difusor/m² se obtiene un SOTE de 6%. De esta manera el caudal de O₂ estará dada por la ecuación 6.10. Para una altura de reactor de 5 m y 1 Nm³ equivalente a 280 $\frac{gO_2}{Nm^3}$, se obtiene un caudal de O₂ de:

$$Q_{O_2} = \frac{124583 \frac{gO_2}{h}}{0,06 \cdot 5 \text{ m} \cdot 280 \frac{gO_2}{Nm^3}} = 1483 \frac{Nm^3}{h}$$

La cantidad de difusores necesarios es obtenida dividiendo el caudal de O₂ por el caudal de diseño de cada difusor ($5 \frac{Nm^3}{h \cdot \text{difusor}}$).

$$n_{dif} = \frac{1483 \frac{Nm^3}{h}}{5 \frac{Nm^3}{h \cdot \text{difusor}}} = 297 \text{ difusores}$$

A partir de este cálculo se obtiene que son necesarios 297 difusores. Dado que el reactor tendrá un área de 450 m², la densidad de difusores será de 0,66 difusores por m². Para lograr la densidad deseada de 1 difusor/m² y evitar zonas muertas en el reactor, se instalarán 450 difusores.

Debido a que se están instalando más difusores de lo necesario para cumplir con el caudal mínimo de O₂, se calcula el caudal de operación necesario de cada difusor, de manera de minimizar el costo energético asociado. Sabiendo que se deben proveer 1483 Nm³/h a partir de 450 difusores se calcula el caudal de operación como:

$$Q_{O_2/dif} = \frac{1483 \frac{Nm^3}{h}}{450 \text{ difusores}} = 3,3 \frac{Nm^3}{h \cdot \text{difusor}}$$

En la tabla 18 se presenta un resumen de los parámetros calculados para el diseño del sistema de aireación.

Tabla 18: resumen de parámetros diseñados para el sistema de aireación.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
Q _{O₂}	Caudal de O ₂	Nm ³ /h	1483
Qd	Caudal de diseño	Nm ³ /h.difusor	3,3
ndf	Número de difusores final	difusores	450

Diseño del sedimentador secundario

La función principal del sedimentador secundario es la clarificación del efluente mediante un proceso de separación de sólidos que resulta en la eliminación de flóculos biológicos de la corriente líquida. Durante el proceso de espesamiento, las partículas de lodo se transportan al fondo del tanque, para ser reinsertadas en el reactor biológico de manera de lograr la concentración de MOs deseada. El sedimentador secundario es indispensable para el funcionamiento de un reactor de lodos activos, ya que a partir de la purga continua de lodos y la reinsertión de estos en el reactor es que se alcanza la concentración de MOs necesaria para una correcta operación. Parte del caudal de purga de lodos debe ser descartado. El método más común es el secado de los lodos y su posterior incineración. En este trabajo no se contempla el diseño de la unidad de secado de lodos.

En particular, se diseñará un sedimentador secundario circular ya que se ha demostrado que estos tienen mejor rendimiento para altas carga de solidos floculentos. Para realizar correctamente el diseño de un sedimentador secundario es importante tener en cuenta las características del agua residual; el tiempo de retención; la profundidad y área del tanque; la velocidad de salida, la selección de alternativas para el diseño de entrada y salida del efluente y la velocidad de sedimentación de las partículas, entre algunas otras cosas.

El sedimentador secundario, presentará las mismas 4 secciones del sedimentador primario, siendo estas: la zona de ingreso, la zona de sedimentación, la zona de salida y un mecanismo de recolección y eliminación de barros. Sin embargo, al ser el sedimentador

circular, las dimensiones y criterios de diseño serán distintas. En la figura 15 se presenta el esquema de un sedimentador secundario circular.

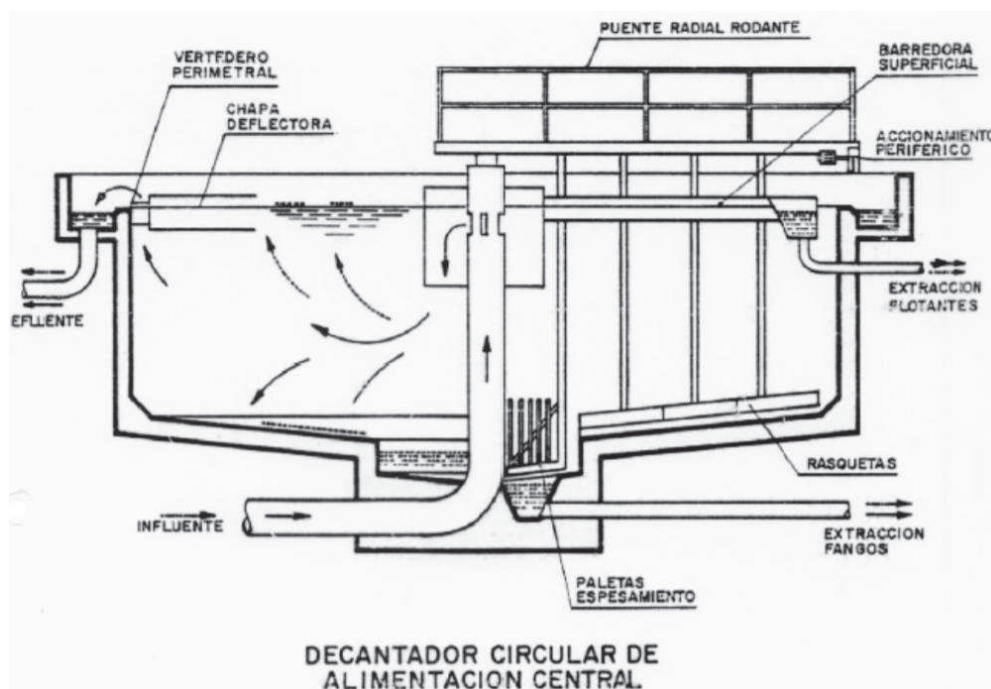


Figura 15: Esquema de sedimentador secundario circular (Fuente: Suárez, Jácome, & Rodríguez, 2013)

Zona de decantación

El dimensionamiento de la zona de decantación en sedimentadores secundarios se suele realizar cumpliendo recomendaciones de tanto tiempo de permanencia (T_p), como de carga hidráulica superficial (CHS) y carga superficial de sólidos (CSS).

La CSS representa un valor característico de la suspensión y puede calcularse dividiendo el total de sólidos aplicados por el área superficial del tanque. Se expresa en kg por m^2 por día y puede ser obtenido a partir de la ecuación 5.28 (Zarate, 1995):

$$CSS = \frac{(Q + Q_r)X}{A} \quad \text{Ecuación 5.28}$$

Donde Q es el caudal del efluente, Q_r es el caudal de reciclo, X es la concentración de SSLM y A es el área del decantador.

Según Metcalf-Eddy los sedimentadores secundarios deben lograr una CHS de entre 16 y 32 $m^3/m^2.d$; una CSS de entre 3 y 6 $kg/m^2.h$, un T_p de entre 2 y 4 horas y deben tener una altura de entre 3,5 y 5 metros.

Para dimensionar el sedimentador secundario partiremos de adoptar una carga superficial de 30 $m^3/m^2.d$. Conociendo el caudal y el CHS podemos calcular el área (A) necesaria a partir de la ecuación 5.16:

$$A = \frac{Q}{CHS} = \frac{4800 \, m^3/d}{30 \, \frac{m^3}{m^2d}} = 160 \, m^2$$

El diámetro del sedimentador será entonces:

$$\phi_{sed} = 2 \sqrt{A/\pi}$$

$$\phi_{sed} = 2 \sqrt{\frac{160 \text{ m}^2}{\pi}} = 14,3 \text{ m}$$

Conociendo el área y adoptando un tiempo de permanencia de 3 horas, podemos calcular el volumen y luego la altura del sedimentador.

$$V_{sed} = Q \times Tp = 200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 3 \text{ h} = 600 \text{ m}^3$$

$$h_{sed} = \frac{V}{A} = \frac{600 \text{ m}^3}{160 \text{ m}^2} = 3,75 \text{ m}$$

Por último, corroboramos que la CSS se encuentre dentro los valores recomendados por bibliografía:

$$CSS = \frac{(Q + Q_r)X}{A} = \frac{\left(200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + 86 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) 3,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{160 \text{ m}^2} = 5,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

Zona de barro

La zona de barro del sedimentador será un volumen cónico que se encontrará por debajo de la sección de sedimentación. Los barro decantarán y la recolección será facilitada por la geometría cónica de la zona de barro. Una vez decantados un barredor de fondo realizará un barrido circular en las paredes de la zona de barro logrando desplazar los lodos hacia la sección de descarga donde se purgarán los lodos para ser reinsertados al reactor de lodos activados o bien para su descarte.

Para el diseño de la zona de barro del sedimentador, se adoptó una inclinación de pared de 15° y una base igual a la tercera parte del diámetro del sedimentador. En la figura 34 puede verse un esquema del sedimentador secundario. La altura de la zona de barro puede ser calculada entonces como:

$$\tan(\theta) = \frac{h_{barros}}{\frac{\phi_{sed}}{3}} \text{ Ecuación 5.29}$$

$$h_{barros} = \tan(\theta) \frac{\phi_{sed}}{3} = \tan(15^\circ) \frac{14,3}{3} = 1,3 \text{ m}$$

Para calcular el volumen de la zona de barros se utilizó la ecuación de volumen de tronco de cono:

$$V_{\text{tronco-cono}} = \frac{h_{\text{barros}} \pi}{3} (R^2 + r^2 + R \cdot r) \text{ Ecuación 5.30}$$

Donde R es el radio del sedimentador, y r es el radio del círculo inferior de la zona de lodos, como se indica en la figura 16.

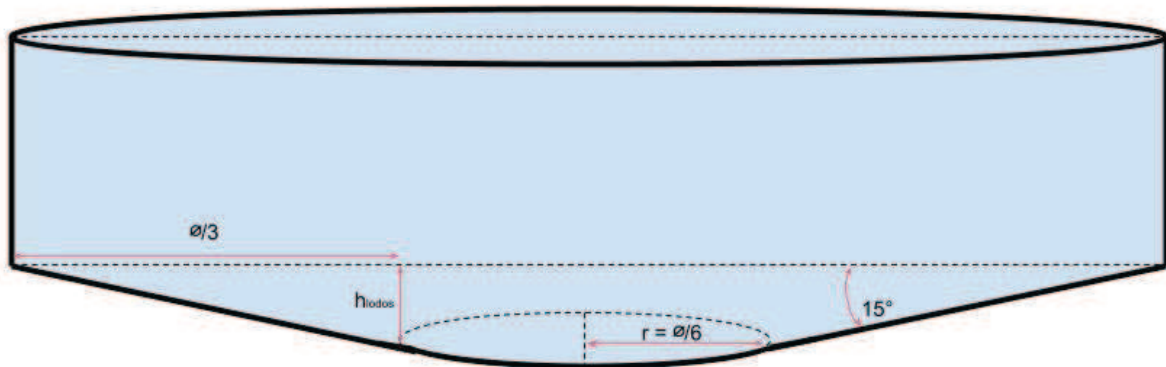


Figura 16: Dimensionamiento de sedimentador secundario (Fuente: elaboración propia).

El volumen de la zona de lodos será entonces:

$$V_{\text{lodos}} = \frac{1,3 \text{ m} \pi}{3} ((7,15 \text{ m})^2 + (2,38 \text{ m})^2 + 7,15 \text{ m} * 2,38 \text{ m}) \approx 100 \text{ m}^3$$

De esta manera, el sedimentador secundario tendrá un volumen total de 700 m^3 y una altura total de 5 m.

La recolección de los lodos se realizará mediante una sección de descarga donde los lodos serán drenados por una tubería. Para calcular la sección necesaria para desagüe se utilizó la ecuación 5.31:

$$Sdl = \frac{A}{4850 \text{ tv}} \sqrt{h_{\text{sed}}} \text{ Ecuación 5.31}$$

Donde Sdl es la sección de tubo de descarga, A es el área de sedimentación, h_{sed} es la altura de sedimentación y tv es el tiempo de vaciado. Para calcular la Sdl se adoptó un tiempo de vaciado de 1 h.

$$Sdl = \frac{160 \text{ m}^2}{4850 * 1 \text{ h}} \sqrt{3,75} = 0,064 \text{ m}^2$$

Conociendo Sdl podemos calcular la velocidad de descarga a partir del caudal de purga como:

$$v_{descarga} = \frac{Q_p + Q_r}{Sdl} = \frac{0,024 \frac{m^3}{s} + 0,002 \frac{m^3}{s}}{0,064 m^2} = 0,4 \frac{m}{s}$$

Zona de salida

Para procurar la salida del efluente clarificado de la unidad de sedimentación secundaria sin generar cortocircuitos ni problema de balanceo de carga, se utilizarán picos de pato de igual de manera que se utilizaron durante el diseño del sedimentador primario.

Para calcular el caudal en cada pico de pato se utilizará nuevamente la ecuación 5.14 y se fijará una altura de agua de pico de pato de 5 cm y una altura máxima de 7 cm como se esquematizó en la figura 11.

$$Q_{pp} = 1,38 h_{agua}^{2,47} = 1,38 * (0,05 m)^{2,47} = 0,82 l/s$$

Para una h_{agua} de 5 cm se cumple que el caudal de vertido sea menor a 3 l/s, valor recomendado por bibliografía. Una vez conocido el caudal por pico de pato calculamos la cantidad de picos de pato necesarios a partir del caudal de diseño Q:

$$npp = \frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{55,55 \frac{l}{s}}{0,82 \frac{l}{s \cdot pp}} = 68 pp$$

Los picos de pato se encontrarán distribuidos a lo largo de todo el perímetro del sedimentador. De esta manera podemos calcular la distancia entre picos de pato a partir del perímetro del sedimentador y el ancho de pico de pato (b).

$$perimetro = 2\pi r = 2\pi * 7,15 m = 45 m$$

$$perimetro libre = perimetro - npp * b = 45 m - 68 * 0,12 m = 36,8 m$$

$$Dpp = \frac{perimetro libre}{n^{\circ} espacios} = \frac{36,8 m}{npp + 1} = \frac{36,8 m}{68 + 1} \approx 53 cm$$

Por último, se diseña la canaleta de recolección de agua clarificada, a partir de una velocidad de diseño (v) adoptada de 0,03 m/s y una altura de agua (h_c) de 1,5 m. Dado que el caudal de salida será Q, para lograr una velocidad de 0,03 m/s la canaleta de recolección debe tener una sección (A_c):

$$A_c = \frac{Q}{v} = \frac{0,055 \frac{m^3}{s}}{0,03 m/s} = 1,83 m^2$$

El ancho de canaleta (A_c) puede calcularse entonces a partir de la altura de agua en canaleta:

$$A_c = \frac{A_c}{h_c} = \frac{1,83 m^2}{1,5 m} = 1,2 m$$

A continuación, en la tabla 19 se presentan los resultados del diseño del sedimentador secundario.

Tabla 19: Parámetros de diseño para sedimentador secundario.

Diseño de sedimentador			
Variable	Significado	valor	unidad
V_{sed}	Volumen de sedimentación	600	m^3
V_{lodo}	Volumen de lodos	100	m^3
T_p	Tiempo de permanencia	3	h
r	Radio	7,15	m
CHS	Carga hidráulica superficial	30	$m^3/m^2.dia$
CSS	Carga de solidos superficial	5,7	$kg/ m^2.dia$
Diseño de salida del sedimentador			
h_{agua}	Altura de agua en pico de pato	5	cm
npp	Número de picos de pato	68	unidades
Dpp	Distancia entre picos de pato	0,53	m
Qpp	Caudal de pico de pato	0,82	l/s
Diseño de canaleta			
A_c	Ancho de canaleta	1,2	m
h_c	Altura de agua en canaleta	1,5	m

5.4.2 Alternativa 2: Tren de lagunas de estabilización con producción de Espirulina

Los tratamientos de efluentes mediante lagunaje son una alternativa confiable de bajo costo tanto operativo como de mantenimiento. Las lagunas de tratamiento consisten básicamente en pozos de forma tronco-piramidal en el suelo, de grandes volúmenes que permiten el ingreso homogéneo del efluente a través del perfil axial de la laguna y el egreso del efluente tratado por el otro extremo de la misma. Los grandes volúmenes permiten tiempos de retención de varios días y de esta manera suceden los procesos biológicos que reducen la carga contaminante del efluente.

Para el diseño de un sistema de lagunas deben de tenerse en cuenta parámetros fisicoquímicos y ambientales como la temperatura del efluente; la radiación solar; el pH; concentración de DBO y otros nutrientes; oxígeno disuelto; concentración de algas; producción de algas; y sedimentación de lodos. Dependiendo de los parámetros de diseño, pueden realizarse lagunas aerobias, facultativas y anaerobias. Cada tipo de laguna tiene sus ventajas y desventajas y por ende son aplicadas para distintos tipos de efluentes en distintas circunstancias. A continuación, se hará una breve descripción de las mismas para luego determinar que lagunas resultan pertinentes para el efluente que se desea tratar en este trabajo.

Tipos de lagunas

Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias funcionan con una carga tal que la totalidad del volumen del reactor se encuentra en estado anaeróbico. El proceso anaeróbico por el cual se realiza la oxidación del efluente conlleva la generación de ácidos orgánicos y posteriormente la fermentación a metano. En las lagunas anaerobias es importante mantener el tanque a altas temperaturas. Por esta razón este tipo de lagunas suelen tener una relación área/volumen muy baja de manera de minimizar la pérdida de calor durante el invierno. La cinética anaerobia es más lenta y debe gestionarse correctamente la formación de gases de manera de no contaminar el aire y producir malos olores. Este tipo de lagunas suelen diseñarse con profundidades entre 2 y 6 metros, cargas volumétricas de 80 a 300 gDBO₅/m³.d, tiempos de retención de 20 a 50 días y presentan eficiencias de remoción de entre 40 y 60%. Los lodos deben de ser removidos cada 1 a 3 años.



Figura 17: Laguna anaeróbica con membrana para gestión de gases (Fuente: www.en-aqualimpia.com/why-aqualimpia/)

Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas se encuentran estratificadas en una superficie aeróbica y un fondo anaeróbico. La zona superficial aerobia sufre ciclos de incremento y decremento de oxígeno disuelto debido a la fotosíntesis (generación de O_2) realizada por las algas en superficie. Los sólidos decantados son depositados en el fondo donde ocurre la digestión anaeróbica de los barros con producción de metano y otros gases. Las profundidades típicas de este tipo de lagunas varía entre 1 y 2 metros, su carga superficial varía entre los 60 y 120 $KgDBO_5/Ha.d$, el tiempo de permanencia varía entre 5 a 30 días y su eficiencia de remoción oscila entre 60 y 80%. Los lodos deben ser removidos cada 2 a 5 años.

Las lagunas facultativas son el tipo más común de laguna utilizada debido a su gran versatilidad. En la figura 18 se muestran los perfiles de concentración y de potencial de oxidación de las lagunas facultativas durante el día y durante la noche. Cabe destacar que las lagunas facultativas dependen de la generación de oxígeno de las algas en superficie y las algas depende de la irradiación del sol. De esta manera, este tipo de lagunas no es apto para efluentes que presenten coloración como por ejemplo los efluentes de la industria del curtido al cromo. Sin embargo, los efluentes del proceso de curtido vegetal no presentan coloración por lo que puede considerarse a este tipo de lagunas para su tratamiento. En la figura 19 se muestra el ejemplo de una laguna facultativa.

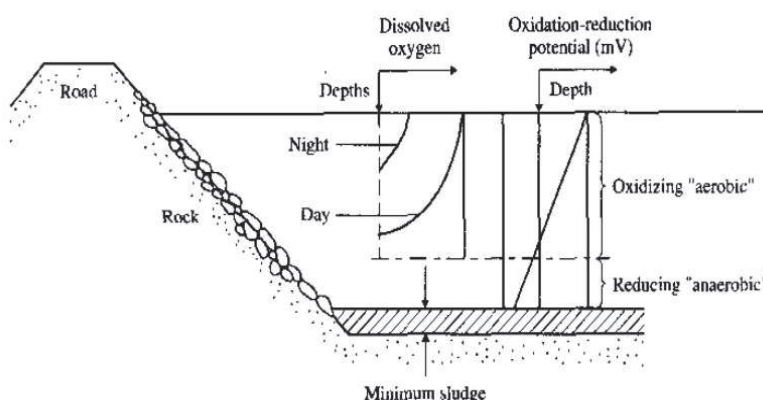


Figura 18: Esquema de perfiles aerobios y anaerobios de una laguna facultativa (Fuente: Eckenfelder).



Figura 19: Laguna facultativa (Fuente: Cátedra UNSAM 2019 "Diseño de Tratamiento de Efluentes Biológicos").

Lagunas aerobias

Las lagunas aerobias son lagunas que no presentan ninguna zona anaerobia a lo largo de la misma. La alta concentración de oxígeno se logra mediante profundidades de diseño bajas (0.3 a 0.6 m) o bien mediante aireadores mecánicos o difusores (1.5 a 5 m). Cuando se utilizan aireadores se los conoce como lagunas aireadas de mezcla completa y es necesario diseñar una laguna de sedimentación posterior para la eliminación de barros.

Como en el caso de las lagunas facultativas, las algas cumplen un rol importante en este tipo de lagunas por lo que factores como la radiación solar, el viento y la temperatura son importantes para el diseño. La cinética de reacción suele ser la más alta debido a la rápida oxidación de los contaminantes. Los tiempos de retención son los más cortos, variando entre algunos días hasta 2 semanas, dependiendo del porcentaje de remoción que se desee. Este tipo de lagunas tienen cargas superficiales de entre 90 y 180 Kg DBO₅/Ha.d y pueden lograr eficiencias de remoción de aproximadamente 80%. A continuación, en la figura 20 se muestra el ejemplo de una laguna aerobia.



Figura 20: Laguna aerobia (Fuente: Cátedra UNSAM 2019 "Diseño de Tratamiento de Efluentes Biológicos").

Selección de tren de lagunas

Generalmente los tratamientos de efluentes mediante lagunaje son realizados en trenes de lagunas de distintos tipos para aprovechar las ventajas de cada tipo de laguna. En particular, suelen utilizarse lagunas anaeróbicas para disminuir las cargas choque de contaminantes ya que son más resilientes a las mismas y de paso disminuir la carga contaminante de manera de no necesitar un volumen tan extenso de lagunas aerobias.

En este trabajo se propuso diseñar un tren de lagunas de estabilización compuesto de una laguna anaerobia, seguida de una laguna facultativa y por último una laguna aerobia con producción de *Espirulina* de manera de aprovechar el tratamiento del efluente para lograr la generación y comercialización del alga *Espirulina*, como lo propusieron Peter Rose y Kevin Dunn (Rose & Dunn, 2013).

Diseño de laguna anaerobia

Las lagunas anaerobias son diseñadas en base a criterios de carga orgánica volumétrica (COV) y/o tiempos de retención hidráulicos.

La COV fue calculada según la ecuación 5.32 a partir una temperatura (T) de 15 C°, temperatura media del mes más frío, para la cual se supone una remoción del 50% del DBO según bibliografía.

$$COV = 16,5 T - 100 \text{ Ecuación 5.32}$$

$$COV = 16,5 \cdot 15 - 100 = 147,5 \frac{gDBO}{m^3 d}$$

El volumen de la laguna se puede estimar mediante la división entre la carga orgánica (CO) y la COV. De esta manera, se calculó el volumen (V) necesario a partir de la ecuación 5.33:

$$V = \frac{CO}{COV} = \frac{Q \cdot DBO}{COV} \text{ Ecuación 5.33}$$

$$V = \frac{4800 \frac{m^3}{d} \cdot 600 \frac{mg}{L} \cdot \frac{1 g}{1000 mg}}{147,5 \frac{gDBO}{m^3 d}} = 19525 m^3$$

Una vez conocido el volumen y para una altura de diseño de 4,5 metros, se puede conocer el área. Las dimensiones de la laguna seguirán una relación 2:1 respecto al largo y ancho. Una vez conocidas todas estas dimensiones puede calcularse la estructura piramidal de la laguna teniendo en cuenta una pendiente de 45°.

$$L = 2 A$$

$$Area = \frac{V}{H}; \text{ Area} = L \times A = 2 A \times A = 2 A^2$$

$$\frac{V}{H} = 2 A^2$$

$$A = \sqrt{\frac{V}{2 H}} = \sqrt{\frac{19525 m^3}{2 \times 4,5 m}} = 46,6 m$$

$$L = 2 \times A = 2 \times 46,5 m = 93,2 m$$

Como se quiere obtener una pendiente de 45° se le sumará la altura de la laguna al largo y ancho superior y se le restará al largo y ancho inferior de la siguiente manera:

$$L_{sup} = L + H; A_{sup} = A + H; L_{inf} = L - H; A_{inf} = A - H$$

$$L_{sup} = 93,2 + 4,5 = 97,7;$$

$$A_{sup} = 46,6 + 4,5 = 52,1;$$

$$L_{inf} = 93,2 - 4,5 = 88,7;$$

$$A_{inf} = 46,6 - 4,5 = 42,1$$

$$Area_{sup} = L_{sup} \cdot A_{sup} = 97,7 \text{ m} \cdot 52,1 \text{ m} = 4988 \text{ m}^2$$

$$Area_{inf} = L_{inf} \cdot A_{inf} = 88,7 \text{ m} \cdot 42,1 \text{ m} = 3720 \text{ m}^2$$

Luego se puede corroborar el volumen final de la laguna mediante la ecuación tronco-piramidal:

$$V_{tronco-piramidal} = \frac{h}{3} (Area_{sup} + Area_{inf} + \sqrt{(Area_{sup} \cdot Area_{inf})})$$

$$V_{tronco-piramidal} = \frac{4,5 \text{ m}}{3} (4988 \text{ m}^2 + 3720 \text{ m}^2 + \sqrt{4988 \text{ m}^2 \cdot 3720 \text{ m}^2}) = 19523 \text{ m}^3$$

A continuación, en la tabla 20 se presentan las dimensiones del diseño de la laguna anaerobia.

Tabla 20: Parámetros de diseño calculados para la laguna anaeróbica.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
COV	Carga Orgánica Volumétrica	g/m ³ .d	147,5
CO	Carga Orgánica	kg/d	2880
V	Volumen de reactor	m ³	19525
H	Altura	m	4,5
Lsup	Largo superior	m	97,7
Linf	Largo inferior	m	89
Ansup	Ancho superior	m	51,1
Aninf	Ancho inferior	m	42

La laguna se encontrará recubierta por una geomembrana que evite el escape de los gases generados por la fermentación. Para lograr una correcta gestión de los gases se utilizarán tubos que transportan el metano hasta una antorcha donde serán incinerados para ser liberado como CO₂. Para el control de inundaciones se utilizarán paredes móviles como fue detallado en el capítulo 3. La laguna se construirá semi enterrada, encontrándose la cota superior a 2,5 metros de la altura del suelo de manera de minimizar los costos de construcción y aprovechar la altura para realizar el transporte del efluente durante el tren de lagunas mediante gravedad.

Diseño de laguna facultativa

Para realizar el diseño de la laguna facultativa se utilizó el modelo de carga superficial de Yañez (1993). Las cargas orgánicas para las cuales son diseñadas las lagunas facultativas dependen del área geográfica, la temperatura, la profundidad del estanque y la concentración de sólidos sedimentables.

Según el modelo de carga superficial, se calcula la carga superficial máxima aplicable (CSM) en función de la temperatura media del mes más frío (T_a) y se asume que esta será igual a la carga aplicada (CSA). En base a la carga superficial máxima aplicada se calcula la carga orgánica superficial removida (CSR) y según estos parámetros se puede calcular el área necesaria y la eficiencia lograda.

A continuación, se muestra el desarrollo del diseño según las ecuaciones propuestas por Yañez para lagunas facultativas:

$$T = 8,59 + 0,82 T_a \text{ Ecuacion 5.34}$$

$$T = 8,59 + 0,82 \cdot 15 = 20,89$$

$$CSM = CSA = 357 \cdot 1,085^{(T-20)} \text{ Ecuación 5.35}$$

$$CSA = 357 \cdot 1,085^{(21-20)} = 384 \frac{kgDBO}{ha \cdot d}$$

$$CSR = 7,67 + 0,8063 CSA \text{ Ecuación 5.36}$$

$$CSR = 7,67 + 0,8063 \cdot 384 \frac{kgDBO}{ha \cdot d} = 317 \frac{kgDBO}{ha \cdot d}$$

La eficiencia puede ser calculada entonces como la división entre la carga superficial removida dividido la carga superficial máxima:

$$Ef = \frac{CSR}{CSM} \text{ Ecuación 5.37}$$

$$Ef = \frac{317 \frac{kgDBO}{ha \cdot d}}{384 \frac{kgDBO}{ha \cdot d}} \cdot 100 = 82,63 \%$$

El área puede ser calculada entonces a partir de la carga superficial máxima de la siguiente manera:

$$Area = \frac{Q \cdot DBO}{CSM} \text{ Ecuación 5.38}$$

El DBO del efluente será de 300 mg/L ya que se asume que la primera laguna anaeróbica disminuye la carga orgánica del efluente en un 50 %.

$$Area = \frac{4800 \frac{m^3}{d} \cdot 300 \frac{mg}{L}}{384 \frac{kgDBO}{ha \cdot d}} \cdot \frac{1kgDBO}{10^6 mg} \cdot \frac{1000 L}{m^3} = 3,75 ha$$

Se adoptará una altura H de 1,5 metros. La laguna será construida con una relación largo/ancho de 2:1 y una pendiente de 45° de talud. De esta manera el largo y ancho superior

se le sumará la altura y al largo y ancho inferior se le restará la misma, como se realizó con el diseño de la laguna anaerobia.

Adoptando la altura se puede calcular el tiempo de retención hidráulico como:

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{1,5 \text{ m} \cdot 3,75 \text{ ha} \cdot \frac{10.000 \text{ m}^2}{\text{ha}}}{4800 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 11,7 \text{ d}$$

A continuación, se presenta el dimensionamiento de las dimensiones de la laguna:

$$A = \sqrt{\frac{V}{2H}} = \sqrt{\frac{1,5 \text{ m} \cdot 3,75 \text{ ha} \cdot 10.000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}{2 \times 1,5 \text{ m}}} = 137 \text{ m}$$

$$L = 2A = 274 \text{ m}$$

A continuación, en la tabla 21 se presentan los resultados obtenidos para el diseño de la laguna facultativa.

Tabla 21: Parámetros de diseño calculados para la laguna facultativa según el modelo de Yañez.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
θ	Tiempo de retención hidráulica	d	11,7
DBOs	DBO de salida	mg/L	52
H	Altura	m	1,5
L	Largo	m	274
A	Largo	m	137

A partir del modelo de Yañez se diseñó entonces una laguna facultativa capaz de eliminar el 82% de la carga orgánica del efluente, con un DBO inicial de 300 mg/L y un DBO final de 52 mg/L. Para lograr una carga superficial que remueva esta carga orgánica es necesario construir una laguna de 274 metros de largo por 137 metros de ancho. Para evitar problemas durante la construcción y durante la operación de las lagunas, se diseñarán 3 lagunas en paralelo y cada laguna tratará a $\frac{1}{3}$ del caudal total del efluente. De esta manera se diseñarán 3 lagunas con un área superficial de 1,25 ha cada una.

A continuación, se realiza el dimensionamiento de cada una de las 3 lagunas:

$$A = \sqrt{\frac{V}{2H}} = \sqrt{\frac{1,5 \text{ m} \cdot 1,25 \text{ ha} \cdot 10.000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}{2 \times 1,5 \text{ m}}} = 79 \text{ m}$$

$$L = 2A = 158 \text{ m}$$

$$L_{sup} = L + H; A_{sup} = A + H; L_{inf} = L - H; A_{inf} = A - H$$

$$L_{sup} = 158 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 159,5 \text{ m};$$

$$A_{sup} = 79 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 80,5 \text{ m};$$

$$L_{inf} = 158 \text{ m} - 1,5 \text{ m} = 156,5 \text{ m};$$

$$A_{inf} = 79 \text{ m} - 1,5 \text{ m} = 77,5 \text{ m}$$

$$Area_{sup} = L_{sup} \cdot A_{sup} = 159,5 \text{ m} \cdot 80,5 \text{ m} = 12.840 \text{ m}^2$$

$$Area_{inf} = L_{inf} \cdot A_{inf} = 156,5 \text{ m} \cdot 77,5 \text{ m} = 12.130 \text{ m}^2$$

Una vez conocidas estas dimensiones se puede calcular el volumen de la laguna mediante la ecuación tronco-piramidal:

$$V_{tronco-piramidal} = \frac{1,5 \text{ m}}{3} (12.840 \text{ m}^2 + 12.130 \text{ m}^2 + \sqrt{12.840 \text{ m}^2 \cdot 12.130 \text{ m}^2}) = 18.725 \text{ m}^3$$

En la tabla 22 se muestran los parámetros de diseño calculados para cada una de las 3 lagunas facultativas que funcionarán en paralelo.

Tabla 22: parámetros de diseño para cada unidad de laguna facultativa primaria.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
H	Altura	m	1,5
Lsup	Largo superior	m	159,5
Linf	Largo inferior	m	156,5
Ansup	Ancho superior	m	80,5
Aninf	Ancho inferior	m	77,5

Como se muestra en la tabla 22 se diseñaron finalmente 3 lagunas en paralelo de un área superior de 160 metros de largo por 80 metros de ancho. Las mismas serán construidas enteramente sobre el suelo, presentando una altura total de 1,5 m. La tierra utilizada para estas revanchas será el suelo que debe removerse para la construcción de las unidades semienterradas.

Diseño de laguna aerobia con producción de Espirulina

Introducción a la Espirulina y su producción en efluentes industriales

La Espirulina es una microalga comestible con un alto potencial nutricional. Esta alga es comercializada mundialmente en los mercados de los nutraceuticos (nutrición y farmacéutico); los alimentos y bebidas; la agricultura y la alimentación animal. La Espirulina está relacionada en términos generales con la salud, brindando una alimentación balanceada y actuando como anti-oxidante.

Según un informe publicado por la Asociación Europea de Biomasa de Algas (European Algae Biomass Association, 2019) se espera que el mercado global de espirulina

crezca en un 9,4% a partir de 2019 para alcanzar los \$629,6 millones de dólares en el 2025. En términos de volumen, se espera que el mercado de la espirulina crezca en un 13,6% a partir de 2019 para alcanzar 68.000 toneladas anuales para el 2025. En el mercado argentino se producen actualmente unas 93 toneladas y se pronostica que para el 2027 habrá un 40% de aumento, alcanzando la producción de 132 tn anuales. Esto implica que actualmente el mercado Argentino de Espirulina tiene un valor de 4,6 millones de dólares y se pronostica que para el 2027 el mercado de la Espirulina tendrá un valor de 6,6 millones de dólares (Lezama, 2016).

Estudios científicos asociaron a la Espirulina con mejoras en el crecimiento animal, fertilidad, y mejoras en la estética y calidad de productos animales. La Espirulina también fue relacionada con la salud y bienestar de los animales (Holman & Malau, 2012). En este trabajo se presenta la posibilidad de comercializar Espirulina para el uso en alimentación animal debido al tamaño del mercado agropecuario argentino y también debido a que los requerimientos de calidad para la ingesta de Espirulina en animales, es menos exigente que en el mercado de nutrición humana.

Uno de los mayores desafíos de la producción de Espirulina es el costo elevado de los medios líquidos en los que se realiza el cultivo del alga. Este costo es determinante en la factibilidad económica de la producción de este alimento.

Floraciones masivas casi monoespecíficas de Espirulina han sido reportadas en lagunas aerobias en varias ocasiones. Rose y Dunn publicaron una serie de trabajos en 2013 describiendo los detalles que regulan el crecimiento de Espirulina en lagunas de tratamiento del efluente proveniente del proceso productivo de curtido al cromo. El efluente que se utilizó para realizar este estudio fue previamente homogeneizado, los sulfuros fueron oxidados y se realizó un tratamiento físico químico de sedimentación asistido por coagulación y floculación previo al ingreso al tren de lagunas de estabilización. En este sentido, el efluente con el que se hicieron los ensayos presenta muchas similitudes con el efluente a tratar en este trabajo. Rose y Dunn determinaron que es posible realizar el cultivo controlado de Espirulina en lagunas aerobias a partir del efluente generado por una industria de curtición.

Es posible entonces realizar el diseño de una laguna que sirva para eliminar la carga contaminante del efluente y al mismo tiempo permita la producción de Espirulina para comercialización de manera de volver más rentable el proceso del tratamiento del efluente. Cabe destacar que uno de los problemas que deben de tenerse en cuenta para la comercialización de Espirulina generada a partir de efluentes de curtiembres es la presencia de metales pesados. Esto no sucedería con el efluente generado a partir de Oderot S.A. ya que no utiliza metales pesados durante su proceso productivo. De esta manera se vuelve aún más factible llevar a cabo esta estrategia.

Parámetros de diseño para la producción de Espirulina

Rose y Dunn describieron los factores que determinan el crecimiento de Espirulina en el efluente proveniente de una industria de curtición. Los factores más destacables fueron los siguientes:

- El crecimiento de *Espirulina* se encuentra limitado por la concentración de amoníaco en el efluente. El amoníaco es utilizado como fuente de nitrógeno, sin embargo, este debe mantenerse por debajo de 60 mg/L.
- El fósforo puede ser limitante y por ende es posible que deba realizarse la adición de una fuente de fósforo al tratamiento.
- La relación potasio-sodio debe mantenerse por debajo de 5:1.
- Deben procurarse mantener salinidades bajas y el pH debe encontrarse idealmente entre 9 y 9.5. El crecimiento sigue siendo posible hasta salinidades del 1% y pH hasta 11.
- La tasa de carga óptima encontrada fue de un caudal diario de 5% del volumen del reactor. Para esta carga se logró la remoción del 86% del DQO, 92% de amoníaco y el fosfato fue eliminado por completo.

Con el correcto diseño de una laguna aerobia, es posible lograr una tasa de crecimiento específica (μ) de $0,05 \text{ d}^{-1}$; una producción de biomasa de *Espirulina* de 16,29 tn/ha.año; una remoción volumétrica de nitrógeno de 27,2 mg/L.d; y una remoción volumétrica de fósforo de 0,9 mg/L.d.

Diseño de laguna aerobia

Las lagunas aerobias son lagunas aireadas naturalmente a partir de las perturbaciones que genera el viento en la superficie de las lagunas. Al tener una profundidad baja de aproximadamente 0,3 a 0,6 metros puede utilizarse el viento como agente de mezcla y asumir que todo el volumen de la laguna se encontrará oxigenado. Sin embargo, no es correcto asumir que la laguna aireada naturalmente logrará una mezcla completa. Por esta razón para el diseño de la laguna aerobia se utilizó el modelo de flujo arbitrario de Wehner y Wilhelm (1958). Este modelo propone una ecuación para un reactor con flujo no ideal, es decir, un flujo con dispersión que se encuentra entre flujo pistón y flujo en mezcla completa; dispersión axial; tasa de remoción de sustrato de primer orden; y condiciones arbitrarias de entrada y salida.

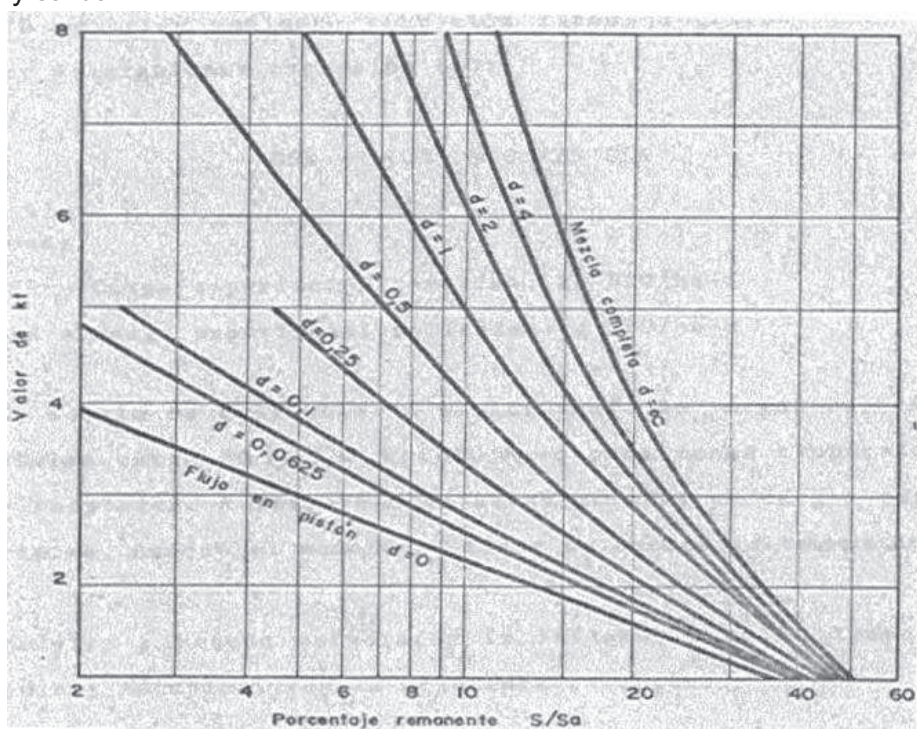


Figura 21: Solución gráfica de la ecuación de Wehner y Wilhelm para distintos flujos de dispersión.

Thirumurthi realizó un nanograma (figura 21) donde graficó la solución de la ecuación de Wehner y Wilhelm para distintos porcentajes de remoción y distintas curvas de dispersiones de flujo.

Si se adopta un valor de dispersión de flujo (d) y un porcentaje de remoción (S/S_0) puede entonces encontrarse el valor de kt que resuelve la ecuación de Wehner y Wilhelm a través del nanograma Thirumurthi. Si se adopta un valor d de 2 y un valor de S/S_0 de 40% se puede obtener a partir de la figura 21 un valor de kt de 2.

Si utilizamos la tasa de remoción de DBO (k) informada por Rose y Dunn para las lagunas piloto se puede estimar el tiempo de retención y a partir de este tiempo de retención se puede realizar el dimensionamiento de las lagunas aerobias.

A continuación, se muestra el desarrollo de las ecuaciones para el dimensionamiento de la laguna aerobia:

$$kt = 2 \rightarrow \text{Wehner y Wilhelm}$$

$$k = 0,307 \text{ d}^{-1} \rightarrow \text{Rose y Dunn}$$

$$\theta = \frac{kt}{k} = \frac{2}{0,307 \text{ d}^{-1}} = 6,5 \text{ d}$$

$$V = Q \cdot \theta = 4800 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 6,5 \text{ d} = 31.200 \text{ m}^3$$

Si se adopta una altura H de 0,6 m se obtiene un área de:

$$Ar = \frac{V}{H} = 5,2 \text{ ha}$$

A partir de estos cálculos es posible determinar que se necesitan 5,2 ha de lagunas aerobias. Como en las lagunas facultativas, se dividirá el área necesaria en 3 lagunas más chicas para reducir los costos de construcción, así como problemas operativos. Cada laguna realizará el tratamiento de la tercera parte del efluente total.

De esta manera, se presentan los cálculos hechos para el diseño de cada una de las 3 lagunas aerobias en paralelo:

$$Area = \frac{5,2 \text{ ha}}{3 \text{ lagunas}} = 1,73 \frac{\text{ha}}{\text{laguna}}$$

Se mantendrá una relación 2:1 respecto al largo y ancho por lo que se calcularon las dimensiones según:

$$A = \sqrt{\frac{V}{2H}} = \sqrt{\frac{0,6 \text{ m} \cdot 1,73 \text{ ha} \cdot 10.000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}{2 \times 0,6 \text{ m}}} = 93 \text{ m}$$

$$L = 2 A = 186 \text{ m}$$

Como en las lagunas anteriores, se propone un ángulo de talud de 45° por lo que se calcula el largo y ancho superior e inferior y luego se obtiene el volumen tronco-piramidal.

$$L_{sup} = L + H; A_{sup} = A + H; L_{inf} = L - H; A_{inf} = A - H$$

$$L_{sup} = 186 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = 186,6 \text{ m};$$

$$A_{sup} = 93 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = 93,6 \text{ m};$$

$$L_{inf} = 186 \text{ m} - 0,6 \text{ m} = 185,4 \text{ m};$$

$$A_{inf} = 93 \text{ m} - 0,6 \text{ m} = 92,4 \text{ m}$$

$$Area_{sup} = L_{sup} \cdot A_{sup} = 186,6 \text{ m} \times 93,6 \text{ m} = 1,74 \text{ ha}$$

$$Area_{inf} = L_{inf} \cdot A_{inf} = 185,4 \text{ m} \times 92,4 \text{ m} = 1,71 \text{ ha}$$

Una vez conocidas estas dimensiones se puede calcular el volumen de la laguna mediante la ecuación tronco-piramidal:

$$V_{tronco-piramidal} = \frac{0,6 \text{ m}}{3} \left(1,74 \text{ ha} + 1,71 \text{ ha} + \sqrt{1,71 \text{ ha} \times 1,74 \text{ ha}} \right) \times 10000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} = 10350 \text{ m}^3$$

Como cada laguna tendrá un volumen de 10350 m³ y recibirá la tercera parte del caudal, se calcula el tiempo de retención hidráulico (θ) como:

$$\theta = \frac{V}{\frac{Q}{3}} = \frac{10350 \text{ m}^3}{\frac{4800 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{3}} = 6,5 \text{ d}$$

A continuación, en la tabla 23 se detallan las variables de diseño calculadas para cada una de las 3 lagunas aerobias.

Tabla 23: parámetros de diseño calculados para cada una de las 4 lagunas aerobias.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
H	Altura	m	0,6
V	Volumen	m ³	10350
Lsup	Largo superior	m	186,6
Linf	Largo inferior	m	185,4
Ansup	Ancho superior	m	93,6
Aninf	Ancho inferior	m	92,4

Se construirán entonces 3 lagunas de 1,7 ha cada una. Cada una presentará un volumen de 10350 m³ y un tiempo de retención hidráulico de 6,5 días. Estas lagunas lograrán una remoción del 40% del DBO del efluente. Dado que el efluente ingresa con un DBO de 52 mg/L, el efluente tendrá un DBO de 31 mg/L luego del tratamiento de las lagunas aerobias.

De la misma manera que en las lagunas facultativas, estas lagunas serán construidas en superficie presentando una altura total de 60 cm. El suelo utilizado para construir la revancha será el suelo removido durante la construcción de las unidades semienterradas.

Si se asume una eficiencia de producción de espirulina del 25% de la producción presentada por Rose y Dunn en su planta piloto, se podrá lograr una producción de 4 tn Espirulina/ha.año. Al tener 5,2 ha de lagunas aerobias se estima que se podrán producir aproximadamente 20 tn de Espirulina al año.

Recuperación de Espirulina a partir de medio líquido

A continuación, se describe detalladamente cada etapa de la recuperación de Espirulina, las unidades que se utilizarán y el dimensionamiento realizado para la planta de concentración de Espirulina. En el siguiente capítulo se discutirá la inversión que es necesaria para desarrollar esta planta productiva.

Pre-filtración

En una primera instancia el efluente es vertido sobre unas mallas metálicas con agujeros en modo filtro de tamaño de 30 micras. El alga se concentra sobre las mallas metálicas para luego caer por gravedad a una tubería donde será transportada a la siguiente etapa del tratamiento de concentración. El excedente acuoso atraviesa el filtro y es recolectado por unas canaletas para continuar hacia el tratamiento terciario. El prefiltrado logra una eliminación del 98% del excedente de agua. De esta manera, la recolección de esta etapa será del 2% del caudal del efluente.

$$Q_{filtrado} = Q * 2\% = 4800 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{2}{100} = 96 \frac{m^3}{d}$$

Si se asume un espesor de capa de alga sobre las placas de 2 cm, se puede calcular que se necesitarán en total unos 4800 m²/d de área para recolectar el alga.

$$Area = \frac{Q_{filtrado}}{Espesor\ de\ alga} = \frac{96 \frac{m^3}{d}}{0,02\ m} = 4800 \frac{m^2}{d} = 200 \frac{m^2}{h}$$

Siendo conservadores, el tiempo de retención máximo de las placas recolectoras será de 1 hora, por ende, se puede estimar que se necesitarán 200 m² de placa filtrante para lograr una filtración de 200 m²/h.

Las placas recolectoras se comercializan en pares de 6 x 3 metros. Para satisfacer la captura de 200 m²/h serán necesarios entonces 12 pares de placas de 6 x 3 metros. Un esquema de ese proceso es representado en la figura 22.

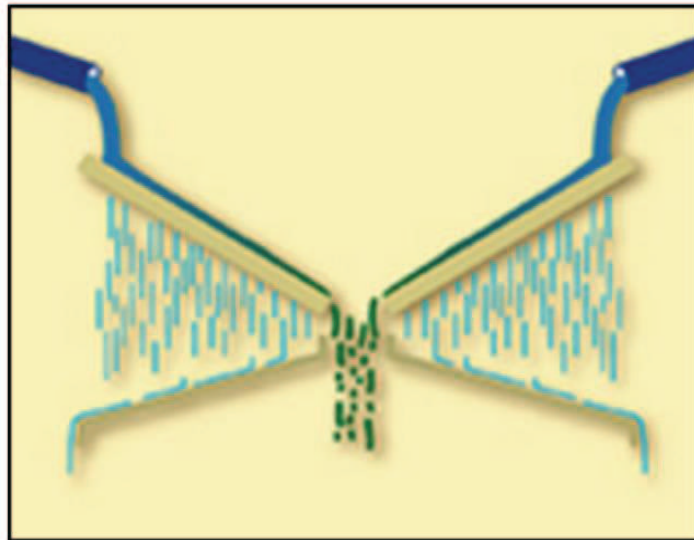


Figura 22: Esquema del prefiltrado. El efluente es volcado sobre unas placas de acero filtrantes. El efluente se recolecta y el alga concentrada cae por gravedad a una tubería de recolección (Fuente: Lezama, 2016).

Filtración

En esta etapa se continúa con la concentración del alga y la eliminación del medio líquido. Es posible realizar esa extracción mediante distintas tecnologías. Se optará por utilizar una serie de tamices oscilantes. En particular se utilizarán el tamiz S4920-B de la firma DZJX. En la figura 23 puede observarse el tamiz seleccionado. Este es capaz de eliminar el 85% del medio líquido de 0,5 m³ de efluente por hora. El caudal horario de efluente entrante a esta etapa es de 4 m³/hora. De esta manera, se dispondrá de un sistema de tuberías que repartan el caudal entrante en 8 tamices que funcionarán en serie para tratar 0,5 m³/h cada uno. Al eliminar el 85% de la fracción acosa del efluente, 82 m³ continuarán su camino al tratamiento terciario y 14 m³ continuarán el proceso de concentración.



Figura 23: tamiz oscilante DZJX S4920-B (Fuente: www.alibaba.com)

$$Q_{tamiz} = 0,5 \frac{m^3}{h} = 12 \frac{m^3}{d}$$

$$n_{tamices} = \frac{96 \frac{m^3}{d}}{12 \frac{m^3}{d.tamiz}} = 8 \text{ tamices}$$

Lavado

Para poder eliminar el efluente restante que se encuentra mezclado con el alga es necesario realizar una serie de lavados de manera de neutralizar la alcalinidad del medio. Este proceso se realiza mediante una cinta transportadora porosa de poro de 20 micras que permite el traspaso del agua, pero no el del alga. De esta manera se utilizan aspersores de agua limpia que arrastrarán el efluente del alga mientras la Espirulina es transportada hasta un recipiente. Para evitar el consumo innecesario de agua se utilizará el efluente tratado para realizar estos lavados y luego será recirculado al tratamiento terciario.

En esta etapa del proceso ingresarán 14 m³/d de alga semi concentrada. Si se vuelve a asumir una altura de pasta de algas de 2 cm sobre la cinta transportadora puede determinarse que será necesarios 30 m²/h de cinta transportadora. Si se asume un tiempo de retención del medio en la cinta de una hora, se obtiene que se necesitan 30 m² de cinta. Se utilizará entonces una cinta transportadora de 3,75 m de ancho por 8 m de largo.

Los aspersores estarán dispuestos a 1 metro del comienzo y del fin de la cinta y se encontrarán equidistantes entre sí. Los aspersores seleccionados son aspersores de baja presión y chorro plano. Serán operados a 7 psi con un ángulo de chorro de 60° a una altura de 1 metro de la cinta y operando con un caudal de 22 L/min cada uno. Se utilizarán 3 series de 4 aspersores por serie. De esta manera, el caudal de efluente proveniente de este proceso será de 380 m³/d.

Se asume que la masa de algas que ingresa y egresa de este proceso es la misma debido a que el agua limpia desplaza al agua alcalina que contenían las algas. De esta manera egresan del proceso de lavado un total de 14 m³/d de alga limpia.

En la figura 24 se puede observar un esquema del proceso de lavado.

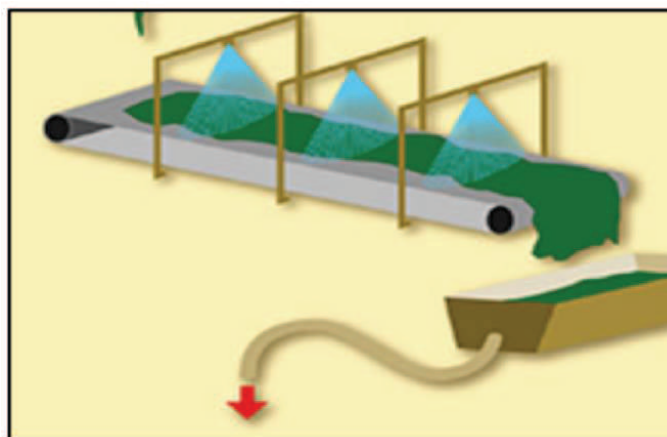


Figura 24: Esquema del proceso de lavado de algas (Fuente: Lezama, 2016).

Secado

El objetivo del secado es eliminar completamente la fracción de agua de la pasta de algas y obtener un polvo seco de Espirulina. Esto puede lograrse por varios procesos, pero en este caso se seleccionó un proceso de secado por pulverización. Este tipo de proceso es rápido y eficiente, logra la esterilización del producto y rompe cierta proporción de la pared celular de las algas. La desventaja principal es el alto costo de operación.

El proceso de pulverizado logra la obtención de alga seca mediante la pulverización de la pasta de algas a partir de un flujo de aire caliente. Al ser rociadas, las algas evaporan rápidamente su fracción acuosa debido al tamaño de las gotas de rocío. Las partículas sólidas de alga seca son entonces separadas de la corriente de gas y recuperadas. La pulverización de la pasta se logra mediante un disco giratorio de rociado de alta velocidad.

El caudal ingresante a esta etapa será de $14 \text{ m}^3/\text{d}$, que es lo mismo que 583 l/h . Para el proceso de secado se utilizará el secador 4440 de la marca Galaxie ya que para corrientes de aire de 180°C es capaz de procesar un caudal de 380 L/h . De esta manera, el proceso de pulverización se hará de mediante 2 unidades de secado funcionando en paralelo. En la figura 25 puede verse el secador Galaxie 4440.



Figura 25: Pulverizador Galaxie 4440 (Fuente: www.galaxie.com.ar).

El proceso de secado logrará la masa seca de alga final que será trasladada a Hydro Farming, quienes serán responsables del encapsulado, dosificado y posterior comercialización de la Espirulina. En total, durante el proceso de la concentración de Espirulina se parte de un caudal volumétrico original de 4800 m^3 efluente/d a un caudal másico final de 57 kg/d de Espirulina seca. Teniendo en cuenta que la densidad de la

Espirulina seca es de 0,47 g/ml (U.S. Department of Agriculture, 2020) se producirá un total de 0,12 m³/d de Espirulina.

5.5 Tratamiento terciario

5.5.1 Cámara de cloración

El tratamiento terciario es el encargado de la eliminación parcial de los organismos que pueden causar enfermedades hídricas. No se busca lograr la esterilización del efluente sino más bien la destrucción de una fracción de las bacterias, protozoos, ooquistes, quistes, helmintos y virus. Existen múltiples métodos de desinfección. Entre los más utilizados se encuentran los relacionados con químicos clorados, el ozono y rayos UV. El método más utilizado en Argentina es la cloración debido a su eficiencia y bajo costo.

Según la normativa presentada en la resolución 2003a del ADA, debe cumplirse con una concentración de coliformes totales menor a 100 NMP/100mL. Se estima que la concentración de coliformes del efluente tiene un valor aproximado de $1,26 \times 10^6$ NMP/ml (Umar, y otros, 2017). Debe entonces realizarse un tratamiento terciario de desinfección que elimine esta carga.

Se realizó el diseño de una cámara de cloración laberíntica que asegure un tiempo de permanencia de entre 20 y 30 minutos con un dispositivo dosificador de hipoclorito de sodio. Los caudales que ingresarán al tratamiento terciario serán diferentes para las distintas alternativas de tratamiento secundario. Para el caso del tratamiento de lodos activos el caudal será igual al del resto del proceso, es decir, 4800 m³ día. Para el caso del tratamiento de tren de lagunas con producción de Espirulina habrá un aumento en el caudal ingresante al tratamiento terciario ya que 380m³/d de agua limpia será utilizada durante la producción de Espirulina. De esta manera, el caudal ingresante de la segunda alternativa al tratamiento terciario será de 4800 + 380 m³/d.

Para el diseño laberíntico del tanque de cloración, se utilizarán tabiques que forman un ancho de canal (c) de 1 metro, un ancho de la unidad (A) de 3 m y se utilizó el criterio retirado de bibliografía que indica que el largo del canal (Lc) debe ser 40 veces el ancho del canal. De esta manera, el largo del canal será de unos 40 m. Un esquema de una unidad laberíntica de cloración se muestra en la figura 26.

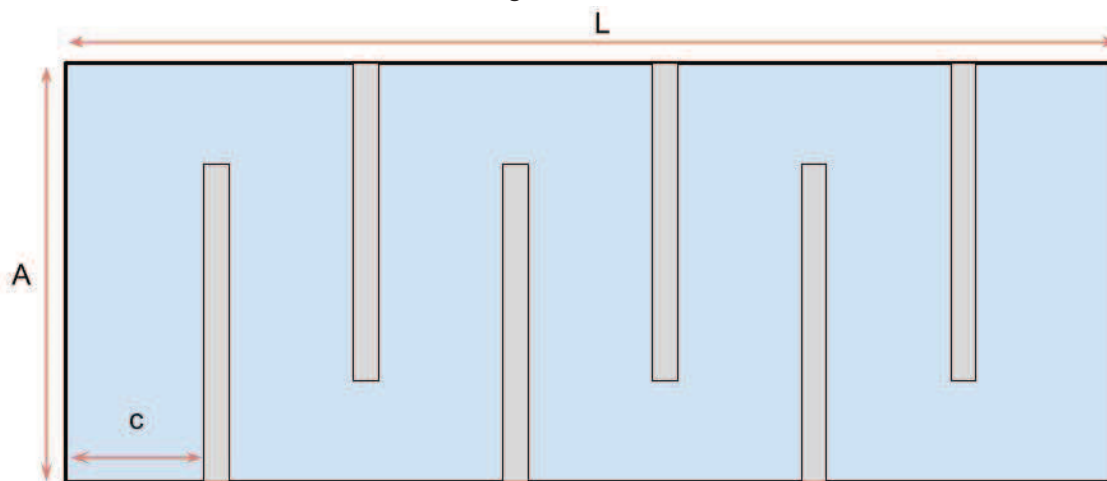


Figura 26: Vista superior de esquema de cámara de cloración (Fuente: elaboración propia).

A partir de la figura 26 pueden determinarse las siguientes relaciones:

$$Lc = A (n + 1)$$

$$L = c (n + 1)$$

Donde n es la cantidad de tabiques.

A partir de estas relaciones puede calcularse el número de tabiques dado que A, Lc y c son conocidos:

$$n = \frac{Lc}{A} - 1 = \frac{40}{3} m - 1 \approx 13$$

$$L = c (n + 1) = (13 + 1) * 1 = 14 m$$

Conociendo A y L y adoptando un tiempo de retención hidráulica de 25 minutos, podemos calcular la altura necesaria de la cámara de cloración como:

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{H * L * A}{Q}$$

$$H = \frac{\theta * Q}{L * A} = \frac{25 \text{ min} * 200 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{60 \text{ min}}}{14 m * 3 m} = 2 m$$

En base a estos parámetros de diseño y logrando un tiempo de retención de 25 minutos se presenta la tabla 24 con los valores obtenidos para el diseño de la cámara de cloración.

Tabla 24: parámetros de diseño de cámara de cloración.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
Tp	Tiempo de permanencia	min	25
V	Volumen	m ³	84
H	Altura	m	2
A	Ancho	m	3
L	Largo	m	14

Se diseño entonces una cámara de cloración que logra un tiempo de retención de 25 minutos haciendo que el efluente fluya a lo largo de una canal de 40 metros debido a la presencia de 13 tabiques. La cámara de cloración tendrá un volumen de 84 m³, 2 m de alto, 3 m de ancho y 14 m de largo.

5.5.2 Dosificado de cloro

Para conocer el caudal de hipoclorito de sodio que debe utilizarse durante el proceso de desinfección se utilizó la ecuación 5.39. La misma propone que la fracción de coliformes fecales remanentes en el efluente es función de la concentración de hipoclorito de sodio suministrada y el tiempo de permanencia del efluente en la cámara de cloración.

$$\frac{N_t}{N_0} = (1 + 0,23 \cdot C_t \cdot t_p)^{-3} \text{ Ecuación 5.39}$$

Donde N_t es la concentración de coliformes fecales a un tiempo t , N_0 es la concentración inicial de coliformes y C_t es la concentración de hipoclorito de sodio.

Podemos despejar entonces la ecuación 5.39 para conocer la concentración C_t necesaria.

$$C_t = \frac{\left(\frac{N_t}{N_0}\right)^{-\frac{1}{3}} - 1}{0,23 \cdot t_p} = \frac{\left(\frac{\frac{100 \text{ NMP}}{100 \text{ ml}}}{1,26 \cdot 10^6 \text{ NMP}}\right)^{-\frac{1}{3}} - 1}{0,23 \text{ min}^{-1} \cdot 25 \text{ min}} = 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Conociendo la concentración necesaria puede calcularse el caudal masico (Q_{cl}) a partir de la concentración deseada y el caudal de efluente.

$$Q_{cl} = \left(4800 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 380 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) \cdot 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} = 15,5 \frac{\text{kg}_{cl}}{\text{d}}$$

En la tabla 25 se presentan los valores adoptados y obtenidos para el diseño de la cloración.

Tabla 25: parámetros de diseño para la dosificación de hipoclorito de sodio.

Parámetro	Significado	Unidad	Valor
N_0	Concentración inicial de coliformes fecales	NMP / 100 ml	1.260.000
N	Concentración final de coliformes fecales	NMP / 100 ml	200
C_t	Concentración de NaClO	mg/L	3
Q_{cl}	Caudal másico de NaClO	kg/d	15,5

La cámara de cloración será construida totalmente enterrada de manera de evitar la necesidad de un pozo de bombeo a la salida de la planta de concentración de Espirulina.

Capítulo 6

Cómputos, presupuestos y análisis de alternativas

En el capítulo anterior se presentaron 2 alternativas para el tratamiento del efluente de Oderot S.A. Este capítulo presentará la factibilidad económica de ambas alternativas con el fin de poder seleccionar la alternativa más viable. Para esto se detallarán los costos de inversión inicial, costos operativos y costos variables de tanto los procesos en común como los procesos correspondientes a cada alternativa.

6.1 Inversión inicial

La inversión inicial consta del presupuesto necesario para realizar la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento. Indistintamente de que alternativa biológica se seleccione, la planta constará del pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento terciario descritos en el capítulo anterior. Estos costos serán compartidos por ambas alternativas.

En la tabla 26 se presentan los costos de los insumos necesarios para la construcción y puesta en marcha de estas instalaciones, indicando la inversión necesaria para cada etapa del tratamiento del efluente. En la tala 26 se presenta tanto el costo de inversión de ambas alternativas biológicas como el costo de inversión para la planta de recuperación de Espirulina.

Tabla 26: Costo en USD de insumos necesarios para construcción y puesta en marcha para ambas alternativas propuestas.

Sección	Unidad	Pieza/Parte	Costo unitario	Cantidad	Subtotal
Pre-Tratamiento	Rejas	Rejas automáticas	4000	2	8.000
	Tamiz	Tamiz rotativo	6900	1	6.900
	Ecuallizador	Movimiento de suelo	9	615	5.535
		Hormigón	8	44	352
		Difusores	55	150	8.250
		Dosificador volumétrico	300	1	300
	Total Pre-Tratamiento				29.337
Tratamiento Primario	Coagulación	Hormigón	8	1,5	12
		Turbina de agitación rápida	438	1	438
		Dosificador volumétrico	300	1	300
	Floculación	Movimiento de suelo	9	55	495

		Hormigón	8	9	72
		Turbina de agitación lenta	438	2	876
		Dosificador volumétrico	300	2	600
	Sedimentación Primaria	Movimiento de suelo	9	232	2.088
		Hormigón	8	45	360
Sistema de barrido de fondo		2	5000	10.000	
Total Tratamiento Primario					15.241
Tratamiento Secundario Alternativa 1: Lodos Activos	Reactor	Movimiento de suelo	9	882	7.938
		Hormigón	8	132	1.056
		Difusores	55	450	24.750
	Sedimentación Secundaria	Movimiento de suelo	9	240	2.160
		Hormigón	8	80	640
		Sistema de barrido de fondo	1	12000	12.000
	Total Alternativa 1				
Tratamiento Secundario Alternativa 2: Lodos Activos	Laguna Anaeróbica	Movimiento de suelo	9	11300	101.700
		Impermeabilización	1,55	4998	7.747
		Cobertura	1,55	5000	7.750
		Antorcha	1	4000	4.000
	Laguna Facultativa	Movimiento de suelo	9	2450	22.050
		Impermeabilización	1,55	38874	60.255
	Laguna Aerobia	Movimiento de suelo	9	1850	16.650
		Impermeabilización	1,55	52360	81.158
Total Alternativa 2					307.048
Producción de Espirulina	Pre-filtrado	Malla metálica	12	55	660
	Filtrado	Tamiz oscilante	8	2000	16.000
	Lavado	Cinta	1	400	400
		Aspersores	12	150	1.800
	Secado	Pulverizadora	2	400000	800.000
	Otros	Hormigón, Estructuras, cañerías y bombas	1	20000	20.000
	Total Producción de Espirulina				
Tratamiento Terciario	Tanque de Cloración	Hormigón	8	11	88
		movimiento de suelo	9	35,7	321
		Dosificador volumétrico	2	300	600
	Total Tratamiento Terciario				
Total común (pretratamiento + tratamiento primario + terciario)					45.587

Como se puede observar en la tabla 26, el costo total de la construcción del pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento terciario es de aproximadamente 45.000 USD.

Como era esperado, entre las dos alternativas para tratamiento secundario propuestas, la alternativa de lodos activos resultó ser la que menor inversión inicial presenta. Particularmente se necesitan 55.000 USD para la construcción de los lodos activos, 307.000 USD para la construcción del tren de lagunas y 840.000 USD adicionales para la construcción de la planta de recuperación de Espirulina. Pese a que se presentan 2 alternativas de tratamiento secundario, es posible prescindir de la planta de recuperación de Espirulina. Esto se debe a que el tren de lagunas es una opción viable sin la necesidad de realizar el proceso de concentración de algas. La factibilidad y beneficios de la construcción de esta planta serán contemplados al final de este capítulo, luego de haber presentado los costos operativos. De esta manera, pueden plantearse la construcción de la alternativa 1, la alternativa 2 sin planta de concentración de Espirulina y la alternativa 2 con planta de concentración de Espirulina.

6.2 Costos operativos

En esta sección serán contemplados los gastos mensuales correspondientes a los insumos necesarios para operar la planta. Estos incluyen productos químicos, energía eléctrica, personal técnico, administrativo y de mantenimiento, así como también gastos extraordinarios.

En la tabla 27, se presentan los costos operativos totales de la planta de tratamiento de efluentes para cada una de las alternativas propuestas. Además, se muestra el costo operativo de la planta de concentración de Espirulina.

Tabla 27: Costo operativo mensual y anual para toda la planta de tratamiento de efluentes para ambas alternativas propuestas.

Alternativa	Sección	Detalle	Costo unitario (USD)	Cantidad	Unidad	Total Mensual	Total Anual
Alternativa 1: Lodos Activos	Personal	Jefe de planta	966	1	-	966	11586
		Supervisor	621	1	-	621	7448
		Operario especializado	483	2	-	966	11586
		Operario	345	2	-	690	8276
		Analista de laboratorio	500	1	-	500	6000
		Total Personal				3741	44897
	Insumos químicos	Coagulante	0,32	120	kg/d	1152	13824
		Floculante	0,9	70	kg/d	1890	22680
		Catalizador	0,5	245	kg/d	3675	44100
		CAL	0,22	90	kg/d	594	7128
		HCL	0,76	115	kg/d	2622	31464
		Total Insumos químicos				9933	119196
	Energía eléctrica	Cargo Fijo	80	1	-	80	960
		Cargo por potencia en pico	0,092	27000	KW	2484	29808
		Cargo por potencia fuera de pico	3,16	-	KW	0	0
		Total energía eléctrica				2564	30768

	Otros	Total Otros				2500	30000
	Total Alternativa 1					18738	224861
Alternativa 2: Tren de Lagunas	Personal	Jefe de planta	966	1	-	966	11592
		Operario	345	1	-	345	4140
		Analista de laboratorio	500	1	-	500	6000
		Total Personal					1811
	Insumos químicos	Coagulante	0,32	120	kg/d	1152	13824
		Floculante	0,9	70	kg/d	1890	22680
		Catalizador	0,5	245	kg/d	3675	44100
		CAL	0,22	90	kg/d	594	7128
		HCL	0,76	115	kg/d	2622	31464
		Total Insumos químicos					9933
	Energía eléctrica	Cargo Fijo	80	1	-	80	
		Cargo por potencia en pico	0,092	3000	KW	276	3312
		Cargo por potencia fuera de pico	0,042	9000	KW	378	4536
		Total energía eléctrica					734
Otros	Total Otros					1200	14400
Total Alternativa 2					13678	163176	
Producción de Espirulina	Personal	Jefe de planta	750	1	-	750	9000
		Gerente de calidad	720	1	-	720	8640
		Comercial	650	2	-	1300	15600
		Legales	700	1		700	8400
		Contaduría	650	1		650	7800
		Operario	480	2	-	960	11520
		Total Personal					5080
	Energía eléctrica	Cargo Fijo	80	1	-	80	
		Cargo por potencia en pico	0,092	52000	KW	4784	57408
		Cargo por potencia fuera de pico	0,042	-	KW	0	0
		Total energía eléctrica					4864
Otros	Total Otros					1500	18000
Total Producción de Espirulina					11444	137328	

En la tabla 27 se puede observar que la alternativa 1, todos activos, presenta un costo operativo de 225.000 USD anuales mientras que la alternativa 2, tren de lagunas, presenta un costo operativo menor de 163.000 USD anuales. Esta diferencia se debe mayormente a la necesidad de técnicos especializados para poder operar la unidad de lodos activados y a la necesidad energética de los aireadores presentes en esta unidad. Esta diferencia de costos de operación nos permite plantear una discusión de viabilidad entre estas

dos alternativas ya que a partir de algún momento se volverá económicamente favorable la alternativa del tren de lagunas, pese a que la inversión inicial sea 6 veces mayor.

A su vez se muestra el costo operativo de la planta de concentración de Espirulina, obteniéndose un valor de 137.000 USD anuales. Es importante tener en cuenta el costo operativo de la planta de concentración de Espirulina para poder identificar cual es la ganancia neta que se obtiene a partir de la venta de la Espirulina.

Como se mencionó anteriormente, una vez lograda la Espirulina seca en polvo, esta será comercializada a Hydro Farming. La espirulina será vendida a un precio de 0,02 USD/gramo seco de Espirulina. La producción de la planta será de un total aproximado de 21 toneladas anuales. Esto significa un valor total de ventas de 416.000 USD anuales. Teniendo en cuenta la operación del tren de lagunas más la planta productiva de Espirulina se obtiene un costo operativo total anual de 300.000 USD. Esto significa que, si se opta por la producción de Espirulina, deberá realizarse una inversión inicial mucho mayor, pero se logrará una ganancia neta anual de 116.000 USD anuales.

6.3 Comparación y selección de alternativa

Conociendo los costos de inversión y operativos de ambas alternativas, puede ahora plantearse la comparación de alternativas para determinar cuál es la más conveniente en términos económicos. Para esto se calculó el costo acumulado de cada alternativa a lo largo de 10 años y se graficaron los resultados en la figura 27.

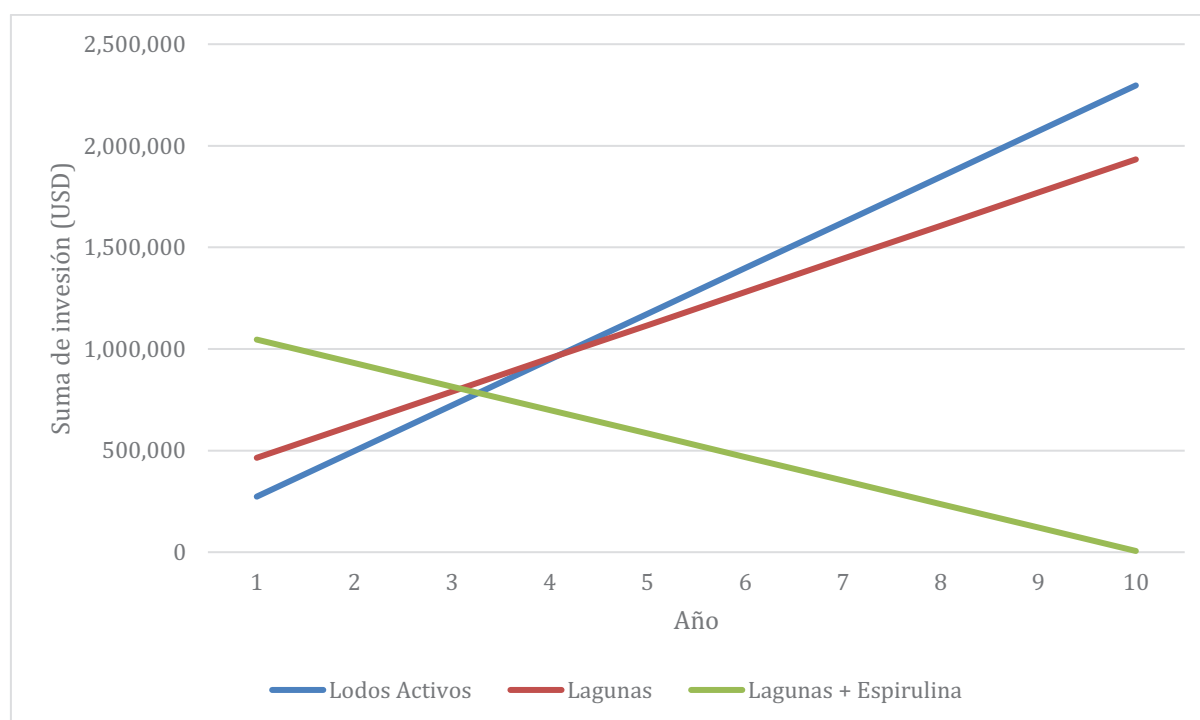


Figura 27: Costo acumulado para cada alternativa en USD.

En la figura 27, se ve claramente que la inversión de tanto las lagunas como las lagunas más la planta de recuperación de Espirulina tienen un costo de inversión considerablemente mayor al de los lodos activos. El alto costo operativo de los lodos activos logra alcanzar la inversión inicial más el costo operativo de las lagunas para el año 4 de

funcionamiento de la planta. Esto significa que, a partir del cuarto año operativo, se estará ahorrando dinero si se selecciona la segunda alternativa. Para el décimo año, este ahorro alcanzará un valor de 360.000 USD y para el año 20 de operación alcanzará un valor de 980.000 USD.

Si además se contempla la posibilidad de comercialización de Espirulina, se puede observar que el costo acumulado de la alternativa de lagunas más producción de Espirulina tiene una pendiente negativa ya que genera una diferencia neta de ganancia de 116.000 USD anuales. Teniendo en cuenta esta ganancia, la alternativa se vuelve económica favorable para el tercer año y a partir del décimo año la planta recupera su inversión inicial y se encontraría generando ganancia para la compañía. Para los 20 años que considera este proyecto, la planta de producción de Espirulina puede generar una ganancia neta de 1.170.000 USD.

De esta manera, se seleccionará la alternativa de tratamiento mediante tren de lagunas con posterior concentración y comercialización de Espirulina debido a que, pese a que necesita de una importante inversión inicial, representa una oportunidad económica, cumple con los parámetros de vuelco y resulta en una operación más sencilla.

Capítulo 7

Vulnerabilidad y adaptación de proyectos de ingeniería ambiental a la variabilidad y cambio climático

Durante la realización del Proyecto Final Integrador, tuve la suerte de poder participar del Programa de Becas de Formación Profesional en el marco del Plan Estratégico de Formación de Ingenieros (PEFI), impulsado por la Secretaría de Políticas Universitarias, la Universidad Nacional de San Martín, a través de la Secretaría Académica y la Escuela de Ciencia y Tecnología, bajo la tutoría de la Licenciada en ciencias de la atmósfera y directora de la carrera de Ing. Ambiental en UNSAM, Diana Mielnicki.

La beca de investigación contaba con 3 objetivos principales:

- Realizar un relevamiento respecto a la información disponible sobre los impactos que generan los eventos climáticos extremos en las plantas de tratamiento y posibles procedimientos para mitigar estos impactos;
- Obtener una base de datos meteorológicos con información sobre las temperaturas, precipitaciones, presión y dirección y magnitudes de los vientos desde 1960 hasta la actualidad, y realizar el análisis de esos datos para conocer la ocurrencia y la frecuencia de eventos climáticos extremos en la zona de estudio.
- Implementar el conocimiento adquirido durante la realización de esta investigación al diseño de una planta de tratamiento de efluentes localizada en la zona de estudio.

7.1 Introducción a la problemática ambiental de los eventos extremos

El calentamiento global es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad como colectivo en su futuro cercano. El calentamiento global es el incremento global en las temperaturas de superficie y su aumento proyectado causado predominantemente por actividades antrópicas. Los impactos del cambio en la temperatura media global alcanzarán todos los ámbitos de la vida humana.

Algunos de los efectos que actualmente se considera que ocurrirán como consecuencia del cambio climático son: Cambios drásticos en la circulación y variabilidad del clima; Cambios en los patrones de lluvias; Mayor frecuencia de inundaciones; Mayor frecuencia de tormentas extremas; Derretimientos en el ártico; Acidificación de los océanos;

Mayor frecuencia de sequías; Cambios en el tipo de cobertura de suelo y Cambios en la altura del nivel del mar, entre otros (Wuebbles, Hibbard, Dokken, Stewart, & Maycock, 2017).

Como tendencia general, se cree que los impactos del cambio climático tenderán a exacerbar el comportamiento climático de las zonas geográficas. Esto significa que una zona seca tenderá a tener épocas de sequía mucho más severas y prolongadas, y que una zona con precipitaciones frecuentes tenderá a tener una mayor ocurrencia de lluvias extremas (AghaKouchak, Cheng, Mazdidasni, & Farahmand, 2014).

Un evento climático extremo es definido como la ocurrencia del valor de una variable climática por sobre un umbral establecido a partir de una serie de valores observados de esa misma variable en un sitio. Algunos eventos extremos como las sequías o las inundaciones pueden deberse a la acumulación de situaciones meteorológicas que individualmente no representan extremos. Muchos de los extremos climáticos son el resultado de la variabilidad natural de los sistemas climáticos, incluyendo fenómenos como El Niño, o variaciones naturales del clima decenales o multi-decenales que dificultan la demostración de los cambios climáticos de origen antropogénico. Un clima cambiante conduce a cambios en la frecuencia, intensidad, extensión espacial, duración y momento de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, y puede resultar en extremos sin precedentes (Seneviratne, y otros, 2012).

Los eventos meteorológicos o climáticos, incluso si no son extremos en un sentido estadístico, pueden conducir a condiciones o impactos extremos, ya sea al cruzar un umbral crítico en un sistema social, ecológico o físico, o al ocurrir simultáneamente con otros eventos. Para lograr una correcta gestión de los posibles impactos de eventos climáticos extremos, deben evaluarse la exposición, la vulnerabilidad, los posibles impactos y la probabilidad de ocurrencia de desastres (riesgos de desastre). En la figura 28 se muestra un mapa conceptual de las nociones principales que deben tenerse en cuenta para una correcta gestión de riesgos de desastres y adaptación al cambio climático de manera de reducir la exposición y la vulnerabilidad a los fenómenos meteorológicos y climáticos (Dokken, y otros, 2012).

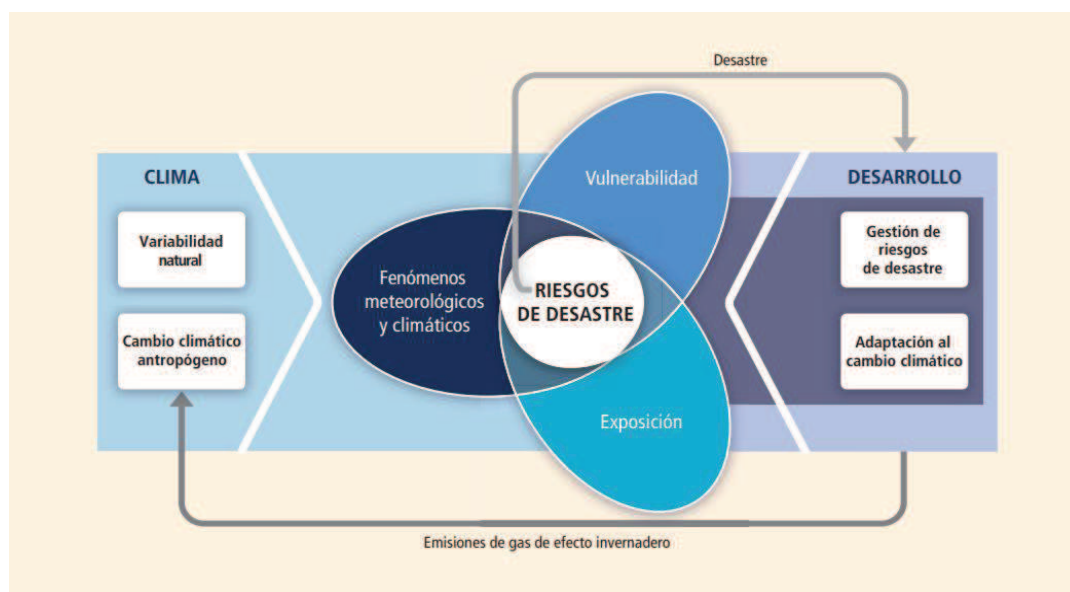


Figura 28: Ilustración de los conceptos centrales que deben tenerse en cuenta para la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático (fuente: Dokken y otros, 2012)

Como es de esperar, los proyectos de ingeniería ambiental no están ni estarán eximidos de los impactos de los eventos meteorológicos y el cambio climático. En este capítulo nos enfocaremos en entender qué problemática representan estos impactos respecto a las incumbencias de los proyectos de ingeniería ambiental.

7.2 Cambios climáticos y eventos climáticos extremos en la zona de estudio

En la provincia de Buenos Aires han sucedido eventos hidrológicos extremos como sequías e inundaciones con distinto grado de gravedad a lo largo del tiempo. Muchos de ellos ocasionaron catástrofes mientras que otros solo alteraron las condiciones normales de algunas áreas.

La provincia de Buenos Aires se encuentra ubicada en la Región Pampeana. Esta región tiene una superficie de 307.571 km² y está conformada por una planicie de escasa pendiente con paisaje de llanura caracterizado por su baja energía de relieve. En Buenos Aires, como en otras regiones planas y deprimidas, predominan los movimientos verticales del agua de precipitación y evapotranspiración y sobre los horizontales predominan el escurrimiento superficial y profundo.

Según Scarpati la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos de intensidad variada es una característica intrínseca de la provincia de Buenos Aires. Scarpati considera que el balance de agua en el suelo es uno de los detonantes más importantes a tener en cuenta para entender el desarrollo de una inundación. La cuenca del Río Salado es la zona de mayor sensibilidad a los excesos hídricos dentro de Buenos Aires y la región sudoeste de la provincia es la más susceptible a las deficiencias (Scarpati & Capriolo, 2013).

Por otro lado, las zonas costeras de la Provincia de Buenos Aires ya están experimentando mayores tasas de erosión, exacerbadas por la modificación antrópica de los ecosistemas costeros (Janches, Henderson, & MacColman, 2014)

El emplazamiento de la planta de tratamiento será realizado sobre la Cuenca Reconquista. De esta manera, resulta de particular interés conocer la ocurrencia de eventos climáticos extremos cercanos a la zona de emplazamiento. En la Cuenca Reconquista ha aumentado tanto la precipitación promedio anual como la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos en años recientes (Barros, 2006; Mehotra, y otros, 2009). La variación climática, combinada con los altos niveles de urbanización producen consecuencias medioambientales críticas. El creciente caudal y descarga del río genera un impacto negativo en comunidades bajo cota, y los riesgos más inmediatos asociados a inundaciones a gran escala afectan las comunidades de la región. En este sentido, la Cuenca Reconquista se considera un área de “máximo riesgo social” (Barros, y otros, 2006), debido a sus altos niveles de pobreza, desempleo e informalidad. Los asentamientos urbanos de rápida expansión de la Cuenca y las deficiencias históricas del aprovisionamiento de infraestructura agregan un elemento de complejidad a la comprensión de los peligros del cambio climático en asentamientos vulnerables (Janches, Henderson, & MacColman, 2014).

7.2.1 Temperatura y olas de calor

En Argentina, y en la zona de estudio en particular, hubo un aumento de hasta 0,5 grados en la temperatura media anual para el período 1960-2010 y, sobre todo, un aumento en la temperatura mínima. La frecuencia de heladas disminuyó, y la frecuencia de olas de calor se duplicó, según se muestra en las figuras 29 y 30, publicadas en la Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

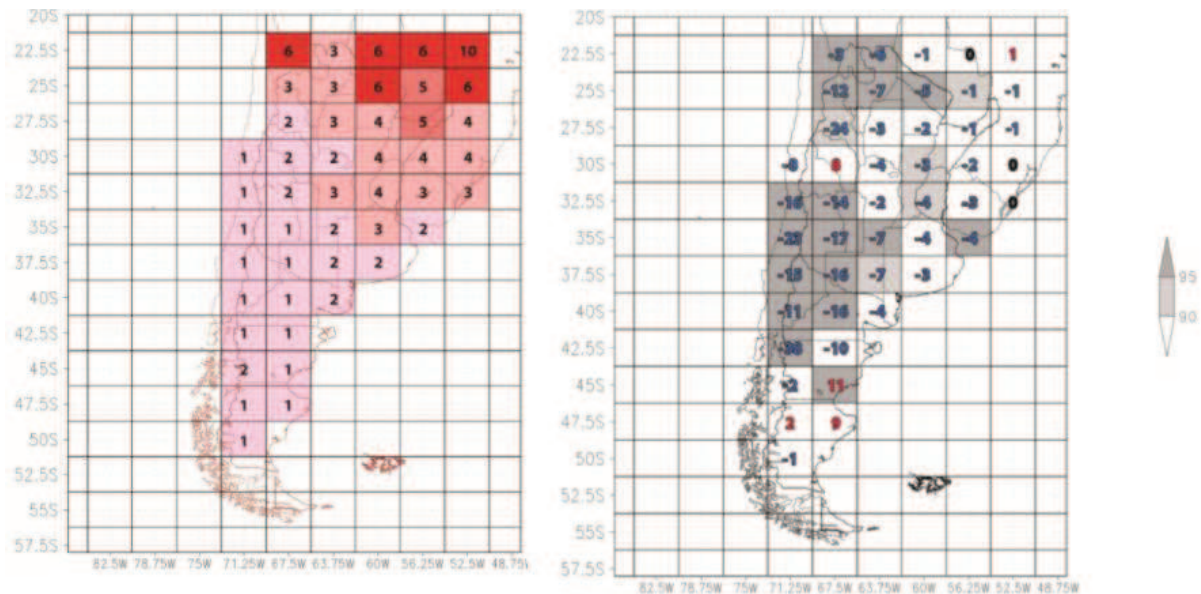


Figura 29: Panel izquierdo: número de días con heladas. Panel derecho: cambios en el número de días con heladas; valores negativos en azul y positivos en rojo. Los retículos grises indican cambios significativos al 90 o 95 % según el tono en la escala de la derecha.

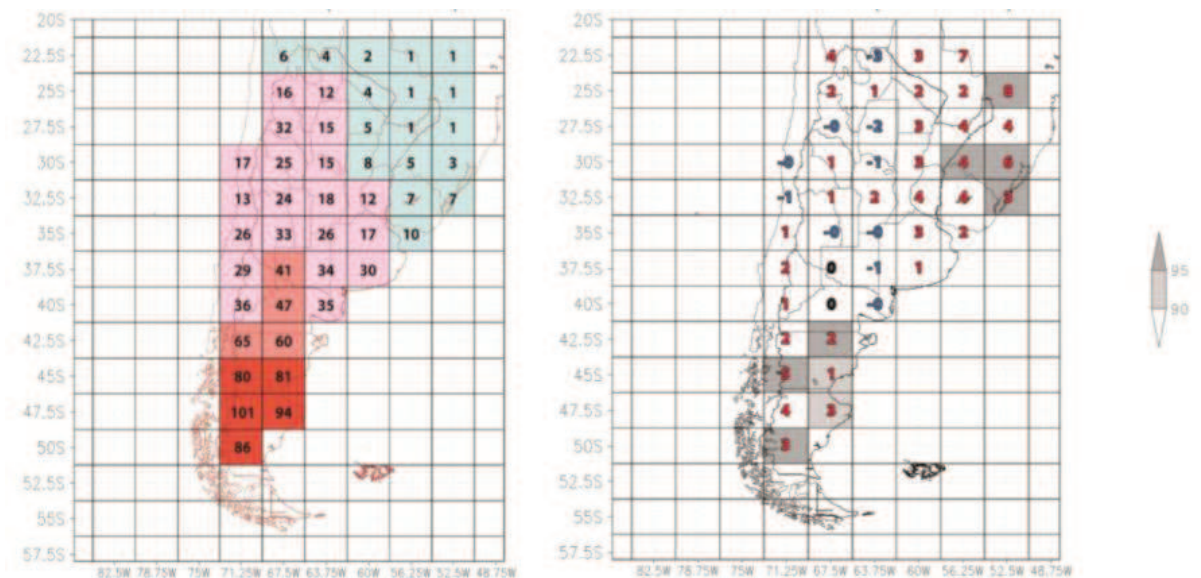


Figura 30: Ídem Figura 29 pero para los días con olas de calor.

El WSDI (por sus siglas en inglés Warm Spell Duration Index), se calcula como el número de días con al menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima supera el respectivo valor local del percentil 90. En la Tercera comunicación nacional se publicaron los cambios en este índice para el periodo 1960-2010. En la figura 31 se puede ver como en la zona de interés, se duplicaron los eventos de olas de calor durante el período de estudio.

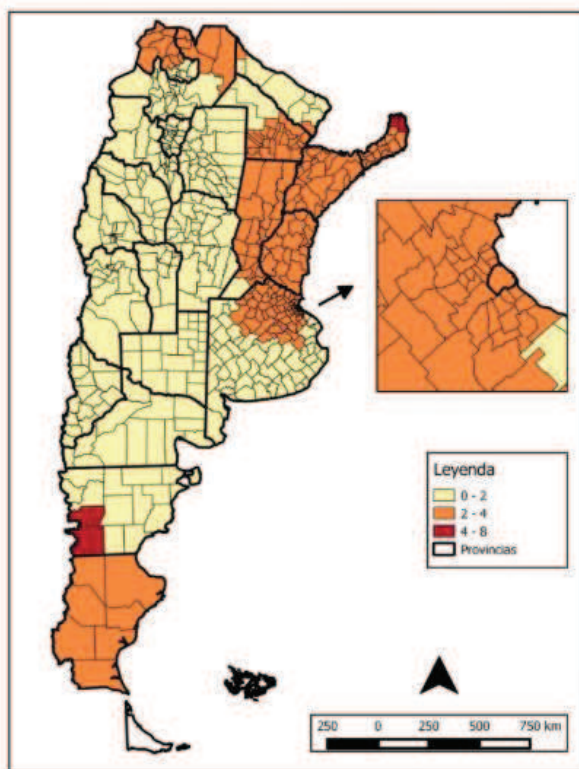


Figura 31: Cambio en el número de días con olas de calor de acuerdo al índice WSDI, 1960-2010 (Fuente: TCN).

Como caso de estudio, puede mencionarse la ola de calor que sucedió en Buenos Aires comenzando el 13 de diciembre del 2013 y perdurando casi ininterrumpidamente hasta mediados de enero de 2014. Esta ola de calor tuvo temperaturas máximas por arriba de 40 C° y mínimas por arriba de 24 C°. Este evento fue el más relevante registrado hasta la fecha y tuvo importantes impactos asociados. Fue anunciado por el gobierno nacional como alerta roja (de mayor peligrosidad). En total 39 muertes fueron asociadas a las altas temperaturas. A su vez, el SAME registró un pico de llamadas de emergencia en la ciudad de Buenos Aires. Esta ola de calor estuvo asociada a su vez a un foco de dengue. Debido a esta ola de calor, cientos de miles de usuarios de edenor se quedaron sin servicio eléctrico, y también en este período se registró un récord en la demanda de potencia para varias ciudades del centro y norte de Argentina.

Yoon, J. H. et al, publicó un estudio donde se determinó cuánto más probable fue la ocurrencia de este evento debido a la actividad antrópica. En este ensayo se estableció que el tiempo de retorno del evento ocurrido era de 15 años mientras que el tiempo de retorno para un evento similar en una simulación sin actividad antrópica era de 75 años. De esta manera puede decirse que la actividad antrópica quintuplicó la probabilidad de ocurrencia de dicho evento (Yoon, y otros, 2015).

7.2.2 Precipitaciones y rachas secas

En el período 1960-2010 las precipitaciones aumentaron en todo el país, con variaciones interanuales e interdecadales. En algunas zonas del este del país se registraron aumentos de hasta 200 mm anuales. La frecuencia de precipitaciones intensas aumento en gran parte del país, así como la precipitación diaria máxima. Estos cambios en conjunto con actividades como el cambio de uso de suelo, desvío de cauces, impermeabilización de suelos y urbanización, tuvieron como consecuencia una mayor frecuencia en la ocurrencia de inundaciones urbanas. Estas inundaciones, cada vez más frecuentes, son la catástrofe de origen natural que mayores daños han causado en la Argentina en las últimas décadas.

Una manera de analizar el aumento en la torrencialidad de la lluvia es el índice R95pT. El mismo informa la precipitación total anual de los días en los que la precipitación fue mayor al percentil 95 de la lluvia local. En la TCN se publicó la figura 32 donde se informan los índices R95pT para todas las regiones del país en donde se obtuvieron datos. Todas las regiones mostraron un incremento en el índice R95pT. En algunos casos fue un aumento de hasta 200 mm. Esto refleja la creciente concentración de lluvias en períodos cada vez más decrecientes. En zonas de llanura, estas precipitaciones están relacionadas con inundaciones de grandes áreas (Doyle, Saurral, & Barros, 2012).

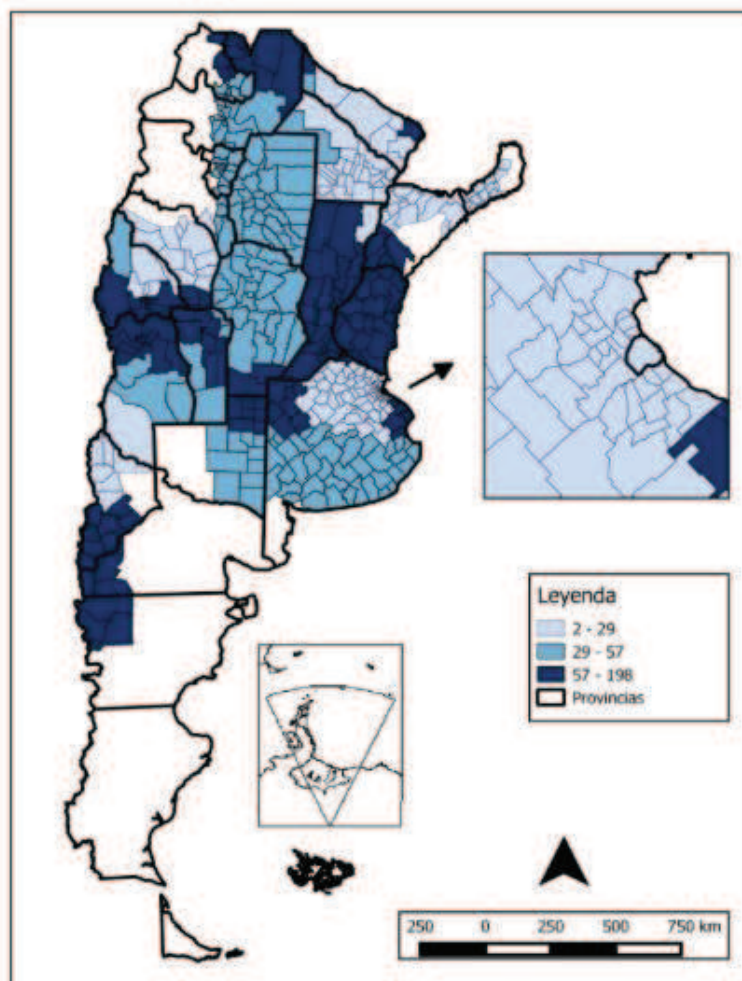


Figura 32: Cambio en la precipitación total anual de los días en que la precipitación es mayor al percentil 95 en mm, 1960-2010 (fuente: TCN, 2015).

Un caso de estudio destacable de una precipitación extrema que afectó fuertemente tanto a la ciudad de La Plata como a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a Gran Buenos Aires, fue la inundación ocurrida entre el 2 y 3 de abril del 2013. Esta inundación ocurrió a partir de precipitaciones que acumularon casi 400 mm en el pluviómetro de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) en tan solo 4 horas. En CABA, se midieron 155 mm durante la media noche y las 7 a.m.

Algunas de las consecuencias de esta inundación fueron: El servicio de energía eléctrica de al menos 11 barrios porteños y 190.000 usuarios de La Plata se vieron comprometidos; Una estación de YPF de Ensenada sufrió un incendio; Los servicios de Trenes y subterráneos de CABA, así como la movilidad vehicular fue afectada; 70.000 viviendas de La Plata fueron inundadas; 2200 personas fueron evacuadas y 101 personas fallecieron. Se estima que, en total, los costos en daños fueron de 300 millones de pesos para Capital Federal y de 6.000 millones de pesos para La Plata.

En la figura 33 se muestran algunas imágenes donde se puede ver la severidad de la inundación. La Figura 34, muestra la extensión de la inundación en la zona de Gran La Plata.



Figura 33: Algunas de las imágenes tomadas durante la inundación de La Plata y CABA que demuestran la severidad del evento.

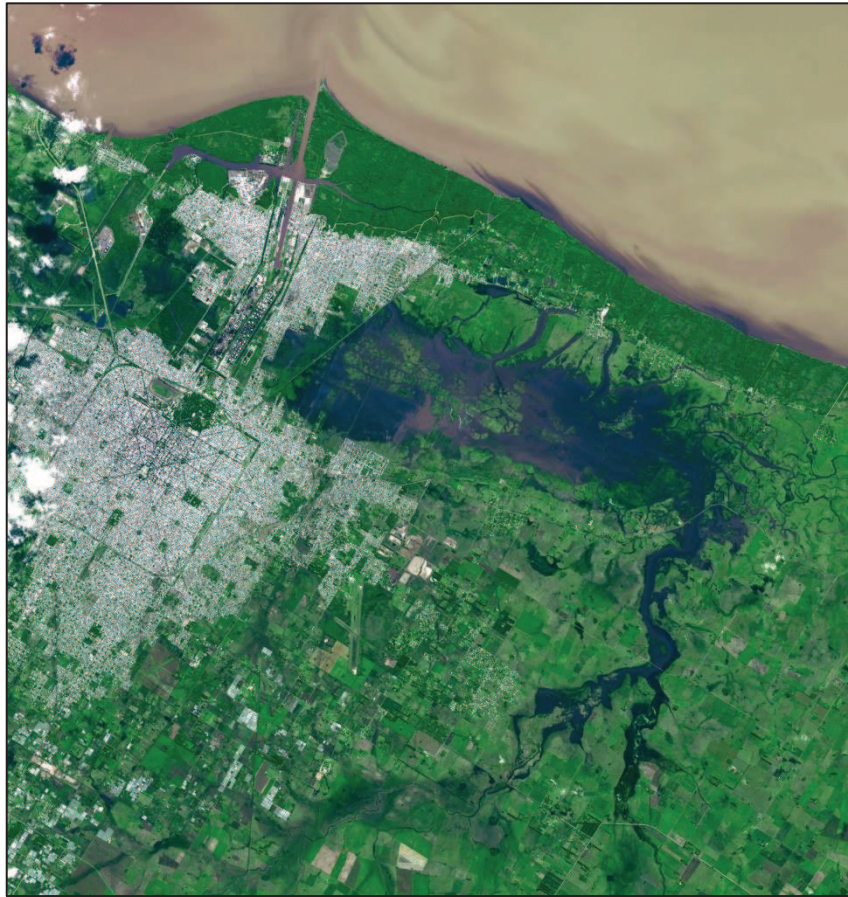


Figura 34: Imagen satelital donde se puede apreciar la inundación de 2013 de la zona de La Plata y Gran La Plata.

La UNLP publicó un informe, dando a conocer algunas de las causas por las cuales la inundación tuvo lugar. Entre estas causas se encuentran: La existencia de zonas altamente urbanizadas; El excesivo crecimiento del cinturón hortícola; La presencia de unas 1500 a 2000 ha de invernaderos que resultan en suelos prácticamente impermeables; y Basuras y otros objetos que obstruyeron las canaletas y desagües (Amarilla, y otros, 2013).

En el Tercer Comunicado Nacional, se informa que se tiene certeza de que al norte de la Patagonia Argentina, las precipitaciones extremas de uno y cinco días serán cada vez más intensas y más frecuentes. Deben entonces, adoptarse medidas estructurales y/o de manejo de las cuencas que mitiguen o al menos reduzcan el impacto de las potenciales inundaciones.

Debido al aumento en las precipitaciones, también hubo una disminución en la ocurrencia de rachas secas en la región este del país. En las regiones norte y oeste del país ocurrió lo contrario, dando lugar a rachas secas invernales más prolongadas que tienen asociados problemas con la disponibilidad de agua, aumento en la frecuencia de incendios forestales y de pasturas, y estrés sobre actividad ganadera, entre otras cosas (TCN, 2015).

Un episodio extremo de sequía ocurrió durante el 2008/2009. Este evento fue tan severo, que redujo cerca del 40% de la producción de granos de esa campaña, comprometiendo también a la superficie sembrada con cultivos de invierno en la campaña siguiente.

Otro caso interesante sucedió durante el 2020 en la región del noroeste de Argentina. Según un informe publicado por el Servicio Meteorológico Nacional el 13 de mayo, se observó un déficit de precipitaciones durante marzo y abril que afectó al Este de Formosa, Este de Chaco, Misiones, Corrientes, Santa Fe y Entre Ríos. Algunas regiones ya acumulaban varios meses de precipitaciones deficitarias. Esto se ve reflejado en un déficit en los caudales de los ríos de la zona, principalmente el río Paraná y río Uruguay.

En la figura 35 se puede ver que la precipitación acumulada para la región noroeste del país fue considerablemente menor que la media para cada región durante el periodo 1980-2010. En algunas regiones del país este periodo tuvo hasta 400-500 mm acumulados menos que la media.

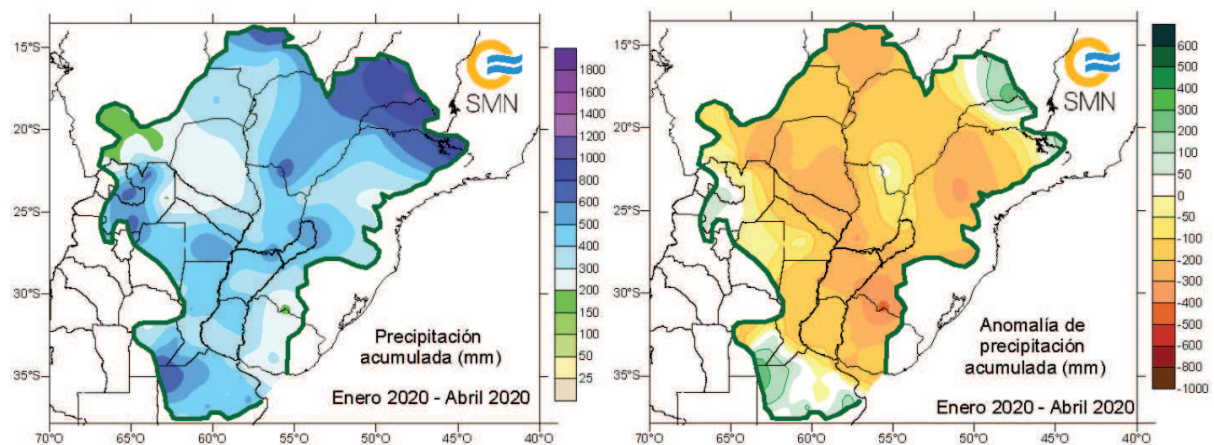


Figura 35: Precipitaciones acumuladas entre enero y abril de 2020 (izquierda) y anomalía respecto a la media (1981-2010) (derecha). Fuente: SMN, "Informe especial por déficit de lluvias en la región noroeste de Argentina".

La sequía extrema y la bajante récord del Paraná, junto con otros factores climáticos y actividad antrópica como el cambio de uso de suelo y el inicio de fuegos intencionales, fueron los precursores de incendios ocurridos entre febrero y agosto del 2020 que afectaron un total de 90.000 ha del Paraná (Servicio Nacional de Manejo del Fuego, 5 Agosto).

7.3 Posibles impactos de eventos climáticos extremos en una planta de tratamiento

Como hemos visto hasta aquí, el cambio climático y los eventos climáticos extremos implican un mayor riesgo en la ocurrencia de impactos inmediatos como el daño a la propiedad y la infraestructura, la perturbación de la productividad económica y los medios de subsistencia de los hogares, las interrupciones de regímenes de atención y otras obligaciones sociales, la amenaza a la salud humana y, en casos extremos, la pérdida de vidas humanas.

El objeto de estudio de este capítulo, es el impacto de los eventos climáticos extremos sobre los proyectos de ingeniería ambiental y más particularmente sobre el funcionamiento de una planta de tratamiento de efluentes.

En la práctica, el desarrollo de un proyecto de ingeniería ambiental contempla un estudio de la zona de emplazamiento en base a registros históricos, como la temperatura y precipitación medias. Este tipo de relevamientos, no tiene en cuenta eventos extremos y tampoco contempla que la zona de emplazamiento puede ya no comportarse como se

comportaba. Este cambio puede ser debido tanto al cambio en el comportamiento climático medio de la región, como a la urbanización de un área que puede resultar en comportamientos hidráulicos distintos a los preestablecidos. Como ya se mencionó, existe bastante consenso científico respecto al aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos. Por esta razón, debe empezar a contemplarse este tipo de eventos dentro de los proyectos ambientales de manera de lograr una correcta prevención y mitigación de impactos.

Para analizar los posibles impactos de eventos climáticos extremos sobre plantas de tratamiento de efluentes se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el tema y se resumió la información relevada. A continuación, se enlista y desarrollan los eventos climáticos que actualmente afectan o pueden potencialmente afectar el funcionamiento de una planta de tratamiento de efluentes.

7.3.1 Precipitaciones e inundaciones

Como se mencionó previamente, la intensidad y frecuencia de lluvias está aumentando y se espera que esta tendencia continúe durante las siguientes décadas. La ocurrencia de tormentas de mayor intensidad tiene la capacidad de producir inundaciones más severas. Estas inundaciones pueden dañar la infraestructura de las plantas de tratamiento y en algunos casos extremos inundarlas por completo, logrando así el ingreso de contaminantes no tratados al cuerpo de agua. En la figura 36, se puede ver una planta de tratamiento completamente inundada durante una gran inundación en Praga del 2002.



Figura 36: Planta de tratamiento de efluentes de Praga completamente inundada durante una inundación del año 2002 (fuente: Guidance on Water Supply and Sanitation In Extreme Weather Events, WHO, 2011).

Cuando ocurre una inundación extrema que afecta a una planta de tratamiento de efluentes urbanos (PTEU) de una zona urbanizada, las consecuencias pueden ser aún más agravantes. Esto se debe a que las PTEU de zonas urbanizadas reciben las aguas cloacales de grandes áreas de alta densidad poblacional y si quedaran fuera de servicio, todos estos efluentes serían volcados en un solo punto. Esto puede tener efectos altamente

contaminantes para las aguas superficiales y hasta puede generar problemas de salud a la población circundante a la planta.

Para evitar el cese de funcionamiento de una PTEU durante un evento de inundación, pueden implementarse medidas como la construcción de terraplenes o muros móviles de protección contra inundaciones. La operatividad de este tipo de muros está siendo vastamente investigada y probada en países como España, Austria y Hungría debido a las recurrentes inundaciones que sufrieron los últimos años. En la figura 37 se pueden ver algunos casos.



Figura 37: Uso de terraplenes y muros móviles para mitigación de impacto de inundaciones. (a) Hungría, (b) España, (c) Austria.

Otra posible medida es la compartimentalización de los equipos que pueden verse afectados por la inundación como las bombas o equipos electrógenos. De esta manera se puede asegurar su funcionamiento incluso durante el suceso de inundación.

Debe de contarse con equipos eléctricos para procurar la operatividad de la planta incluso si la red eléctrica se ve afectada. En este caso, se deben utilizar los equipos electrógenos para mantener en funcionamiento las unidades más importantes, como las estaciones de bombeo, recirculación, mezcla y aireación de la planta.

Por otro lado, durante una precipitación extrema, la descarga gravitacional de las redes cloacales es deshabilitada gradualmente durante una inundación debido a que la altura del agua compromete la descarga del sistema. Las zonas de baja pendiente como la pampa, son particularmente sensibles a este tipo de problemática. Por esta razón deben disponerse de bombas para mantener funcionando el sistema de descarga, ante la posibilidad que la gravedad no sea suficiente.

En el caso de que la PTEU deba cesar su funcionamiento, pueden implementarse reservorios de retención y tanques de aguas pluviales donde se acumulen los efluentes que

ingresan a la planta para ser tratados una vez cese la inundación. Por otro lado, deben de desmontarse y guardarse los equipos que puedan ser dañados para evitar el deterioro de los mismos. Además, los químicos y otros contaminantes potencialmente peligrosos deben ser reacomodados a una zona donde no puedan ser alcanzados por el agua.

Pese a que no suceda una inundación debido a una precipitación extrema, la alta carga hidráulica sobre la red cloacal y pluvial pueden tener efectos negativos sobre las PTEU. En la mayoría de las ciudades, las redes cloacales se fueron construyendo a medida que la ciudad se expandía. El agua generada por las precipitaciones era drenada junto con las aguas servidas de las casas e industrias. Este tipo de sistemas, conocido como sistema de alcantarillado combinado (CSS por sus siglas en inglés Combined Sewer System), son los que mayores problemas originan durante una precipitación extrema. Si el caudal que debe ser transportado por la red cloacal se ve superado, ocurre el desbordamiento del sistema, inundando las calles con aguas contaminadas. Este fenómeno es conocido como CSO (por sus siglas en inglés Combined Sewer Overflow) y puede tener grandes consecuencias tanto sanitarias como ambientales, ya que, para evitar el desbordamiento del sistema, los efluentes domésticos e industriales colectados por el sistema son volcados sin tratamiento a arroyos, ríos y otros cuerpos de agua cercanos.

Para evitar este tipo de contaminación deberían de instalarse tanques de retención que permitan el almacenamiento temporal de estos efluentes para ser tratados por las plantas una vez que haya cesado la tormenta. Otra solución que implementaron algunas ciudades es la distribución de la carga hidráulica. Generalmente los epicentros de las tormentas se encuentran confinados a una pequeña área. De esta manera, se puede redireccionar el flujo de las redes cloacales para que distribuyan la carga a otras plantas que se encuentren en menor demanda.

Otro de los impactos que pueden generar las precipitaciones extremas sobre el funcionamiento de las PTEU es el lavado de los lodos activos que son los responsables de lograr la degradación biológica de la carga orgánica del efluente. Si el ingreso de efluentes a tratar supera la capacidad de carga del sistema de tratamiento, y no se dispone de un tanque reservorio, se deberá aumentar el caudal de producción de la planta. Si este caudal supera cierto umbral, el lavado de los microorganismos retenidos en las piletas de tratamiento será mayor a la generación de estos microorganismos. Si esto se mantiene de esta manera por cierto tiempo, ocurre el lavado de estos microorganismos y la pileta de tratamiento no pasa a ser más que un recipiente con efluente a tratar.

En el caso de que ocurra el lavado de los microorganismos, puede ponerse en funcionamiento nuevamente el tratamiento biológico de los efluentes a partir de una inoculación de lodos activos de una planta de tratamiento no afectada. Alternativamente puede lograrse un nuevo cultivo sin inóculo. Otra alternativa, es realizar una inoculación a partir de los lodos sedimentados en el sedimentador secundario de la misma planta. Esta última opción es generalmente la más recomendada.

El proceso de regenerar los microorganismos de los lodos activos puede tomar desde algunas semanas hasta algunos meses. Es por esta razón que debe evitarse el lavado de los mismos ya que la productividad de la planta se verá afectada por un tiempo considerable luego de que ocurra la tormenta.

Para evitar este tipo de sobrecargas de los efluentes que ingresan a las PTEU deben de construirse sistemas de alcantarillas pluviales y cloacales diferenciadas en las nuevas zonas residenciales de manera de no ejercer presión sobre las plantas de tratamiento durante eventos de fuertes precipitaciones. De esta manera, las aguas pluviales pueden descargarse directamente a los cuerpos de agua sin significar un impacto ambiental y las aguas cloacales no sufrirán un pico en el ingreso a las plantas de tratamiento ya que no se verán influenciadas por las lluvias.

En el caso de AMBA, las obras hidráulicas comenzaron en 1871 en lo que se conoce como “Radio Antiguo” donde se construyeron redes cloacales combinadas. A partir de 1908 se comenzaron las ampliaciones de las redes cloacales en lo que se conoce como “Radio Nuevo” donde se amplió el sistema de redes construyendo alcantarillados pluviales y cloacales por separado. Actualmente la red de alcantarillado del Radio Antiguo presenta desbordes cloacales al sistema pluvial aún en situación de clima seco.

Hasta este punto se han mencionado los problemas relacionados con las PTEU y no los de las plantas de tratamiento de efluentes industriales (PTEI). Esto se debe a que las PTEI no son tan susceptibles a las precipitaciones ya que no sufren la sobrecarga de las CSS. Sin embargo, los impactos de la inundación de una industria y su PTEI pueden ser mucho más severos que los de una PTEU debido a la cantidad de químicos y aditivos utilizados en los procesos de producción. En ese sentido las PTEI deben ocuparse de poder responder ante una potencial inundación mediante el uso de estructuras que prevengan el ingreso de agua y generadores eléctricos que aseguren la disponibilidad de demanda eléctrica de las bombas y aireadores. De esta manera se puede lograr evitar el derrame de efluentes contaminados, y catástrofes mucho más severas en el caso de que la inundación pueda acceder a los sitios donde se almacenan componentes químicos altamente contaminantes. Deben de diseñarse también tanques de almacenamiento intermedio seguro de aguas residuales, lodos y otros productos químicos contaminados en caso de que la planta de tratamiento no pueda continuar su operación o de que existan derrames ocasionados por las inundaciones.

Debido al potencial contaminante de las industrias, estas deben de disponer de planes de crisis y emergencia con sistemas de alerta de emergencia de accidentes conectados a planes nacionales.

7.3.2 Temperatura

En general, no se considera al aumento de la temperatura media y a las olas de calor un problema para el tratamiento de los efluentes. En algunos aspectos se puede considerar que con el aumento de la temperatura se logran mejores rendimientos de las PTEs debido al aumento de la velocidad de degradación de los contaminantes por parte de los microorganismos en el tratamiento secundario. Además, tanto los procesos de secado de lodos y de acondicionamiento de la temperatura de los efluentes para un tratamiento UASB serían más rápidos y menos costosos. Este aumento de temperatura, sin embargo, significa un aumento en el costo operativo de la planta ya que las mayores temperaturas significan menores solubilidades de oxígeno en agua. Si no se provee la demanda biológica de oxígeno necesaria, se reduce la efectividad de remoción de la planta. Por esta razón, debe aumentarse el caudal de aire provisto por los difusores durante el tratamiento secundario.

En zonas donde el caudal de los cuerpos de agua superficiales están regidos por el derretimiento de nieves, el aumento de la temperatura media y en especial el aumento de los días particularmente calurosos puede generar un problema tanto en picos de caudal que ingresan a las PTEU como en la disminución de la temperatura del efluente ingresante. Plósz et. al. (2009) realizó un estudio donde se vinculó directamente el aumento de días al año en los que se superan la temperatura crítica de derretimiento de nieves durante el invierno, y el cambio de los parámetros de caudal y temperatura en la PTEU que recibía dichas aguas. Este tipo de cambios son recibidos como efecto de shock por la PTEU y se demostró que los procesos biológicos de eliminación de nitrógeno y clarificación secundaria se ven afectados significativamente por estos factores climáticos (Plósz, Liltved, & Ratnaweera, 2009).

Se buscó bibliografía respecto a si olas de calor en conjunto con vientos y porcentajes bajos de humedad relativa pueden afectar el funcionamiento de tratamiento de lagunas debido a la evaporación de la misma, pero no se logró encontrar bibliografía al respecto.

7.3.3 Sequía

Se mencionó que en algunas regiones del país se están prolongando los periodos sin presencia de lluvias, limitando así la disponibilidad de agua, aumentando la frecuencia de incendios forestales y de pasturas, y generando estrés sobre la actividad ganadera, entre otras cosas. Desde el punto de vista de las PTEU, PTEI y redes cloacales, los extensos periodos de sequía suponen un riesgo a la calidad del medioambiente, pero no involucran un riesgo a la población como sí lo hacen las inundaciones y lluvias extremas. Esto se debe a que los principales impactos asociados a una sequía prolongada están relacionados con la poca presencia de agua en los sistemas naturales y antrópicos.

El impacto más recurrente sobre el ambiente tras una sequía prolongada es la descarga puntual de todo el material particulado acumulado en una cuenca durante la sequía en un único cuerpo receptor. En condiciones normales, las lluvias frecuentes suspenden esta materia y las descargan en el punto de descarga pluvial sin que esto implique una problemática ambiental. Sin embargo, tras una sequía prolongada los sedimentos suspendidos por las redes pluviales son tales que pueden suponer un riesgo a la calidad de agua en la zona de vuelco. En el caso de un CSS esto puede implicar una carga puntual muy elevada en el ingreso de las PTEU. De esta manera, las sequías y sus consecuentes primeras lluvias suponen una variabilidad extrema para las PTEU respecto tanto a los contaminantes a tratar como a la amplitud de la carga hidráulica capaz de ser soportada por la PTEU. Las PTEU deben ser diseñadas de manera de contemplar estas fluctuaciones en la contaminación y no solo en la carga hidráulica.

En el caso de que las redes pluviales y cloacales se encuentren separadas, las primeras 2 o 3 horas de una lluvia pueden ser redirigidas a una planta PTEU de manera de que todos los sedimentos arrastrados por las primeras aguas puedan ser tratados mediante una coagulación-floculación y no signifiquen una carga de contaminación puntual. Una posible solución para que las PTEU puedan lidiar con estas altas cargas puntuales, puede ser la posibilidad de regular la cantidad de oxígeno disuelto inyectado en el sistema de lodos activados a partir de los aireadores. De esta manera puede asegurarse que las condiciones de operación del tratamiento biológico durante una carga de contaminación extrema sean similares a las de la operación normal. Una tecnología que puede ayudar a la regulación de este proceso son los sensores de medición de oxígeno en línea.

A su vez, el bajo caudal en las redes cloacales permite la sedimentación de residuos sólidos que derivan en la obstrucción de las mismas redes. Esto puede derivar en mayor frecuencia de inundaciones causadas a partir de las primeras lluvias, pese a que estas no sean de grandes intensidades. La disminución del flujo de las redes conduce también a la generación de olores por la putrefacción del efluente cloacal en conjunto con la retención de residuos. Estos residuos, a su vez, derivan en un aumento de la población de roedores cercanos a las cloacas, y esto, aumenta el riesgo de propagación de enfermedades.

Langeveld J. G. publicó un estudio sobre un evento de sequía de 37 días que ocurrió entre el 29 de marzo y 7 de mayo en Holanda. Este evento fue seguido por una lluvia que no fue excepcional en ningún aspecto. La suspensión de todos los sedimentos y residuos del sistema cloacal, sin embargo, logró que haya un colapso del sistema y por lo tanto se debió hacer un vuelco al Río Dommel sin ningún tipo de tratamiento previo. El Río Dommel presentó anaerobiosis completa durante 8 horas y debieron transcurrir varios días para que el cuerpo de agua pueda recuperarse por completo (Langeveld, Schilperoort, & Weijers, 2013).

Para mitigar este tipo de impactos, durante las sequías prolongadas deben realizarse controles y limpiezas periódicas de las tuberías del sistema cloacal y de los tanques de acumulación, para asegurar su plena capacidad hidráulica y evitar la acumulación de sólidos. En zonas urbanizadas con sistemas de tipo CSS, es importante también realizar la limpieza regular de las calles, veredas y bocas de tormenta.

Como criterio general, debe verificarse que la velocidad de flujo de las aguas en los sistemas cloacales y pluviales sea mayor a 0,5 m/s para asegurar que las alcantarillas conserven la capacidad de autolimpieza (World Health Organization, 2011).

Para el desarrollo de planes de contingencia pueden desarrollarse simulaciones de regímenes hidrológicos a partir de modelos de sistemas de información geográfica (GIS). Estos planes deben ser desarrollados multidisciplinariamente, donde participen tanto los operadores de la planta, autoridades de las cuencas y otros. Este tipo de herramientas permiten entender cuáles son los puntos débiles del sistema para luego poder proponer planes de procedimientos para mitigar los impactos.

Otro aspecto de los impactos ambientales que pueden suceder a partir de las sequías extremas está relacionado con la disminución del caudal de los cuerpos de agua que reciben las aguas tratadas. En el caso de las aguas superficiales, la ausencia de lluvias disminuye significativamente su caudal, disminuyendo también su capacidad de dilución. Distintas provincias de Argentina tienen distintas normativas respecto a los límites de vuelco para cada tipo de cuerpo receptor (cloaca, agua superficial, suelo o mar abierto). En el caso del vuelco a aguas superficiales, no sería práctico establecer un límite de vuelco dependiente de la capacidad de dilución variable del cuerpo de agua. Sin embargo, deberían de considerarse parámetros de vuelco específicos durante los casos en los que la capacidad de dilución de los cuerpos de agua se vea severamente comprometida.

La disminución de la capacidad de dilución del cuerpo de agua superficial supone un problema en el caso de que los parámetros de vuelco del efluente tratado sean mayores a los valores de esos parámetros encontrados naturalmente en ese cuerpo de agua. De esta manera, si los parámetros de vuelco del efluente superan a los parámetros naturales del río,

podemos asegurar que el impacto del vuelco no será el mismo para distintos escenarios con distintos caudales que permitan una mayor o menor dilución del efluente.

Para hacer este análisis podemos tomar los parámetros de vuelco permisibles estipulados por la Autoridad del Agua en la resolución 336/03 para todo Buenos Aires y compararlos con los valores estipulados por la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) en la resolución 46/2017 donde se determinan los límites admisibles de ciertos parámetros para distintos usos de agua. El tipo de uso más exigente propuesto por ACUMAR es el uso 1a. Éste estipula a los valores mínimos admisibles aptos para la protección de la biota y el uso recreativo con contacto directo. A continuación, se presenta una tabla comparativa de los parámetros de la resolución 336/03 para vuelco en aguas superficiales y la resolución 46/2017 para el uso 1a.

Tabla 28: Valores máximos permitidos según la resolución 336/03 del ADA y la resolución 46/2017 de ACUMAR.

Parámetro	Unidad	Valor máximo permitido	
		Res 336/03 (ADA)	Res 46/2017 (ACUMAR)
DBO ₅	mg/L	50	5
DQO	mg/L	250	N.E.
Sulfuro	mg/L	5	2
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N.E.	0,6
Nitrógeno total	mg/L	35	<10
Fósforo	mg/L	10	10
Cromo	ug/L	2000	2
pH	mg/L	6,5-10	6,5-9

Como se puede observar en la tabla 28, los valores exigidos por ACUMAR para uso recreativo de agua superficiales y para la protección de la biota son más exigentes que los valores estipulados por la resolución 336/03. De esta manera, podemos asegurar que si un cuerpo de agua superficial debería poseer una concentración menor a 5 mg/L de DBO para asegurar la protección de la biota, no serán las mismas condiciones cuando un cauce posee una mayor capacidad de dilución que durante un período seco donde esta capacidad se puede ver severamente afectada.

7.4 Análisis de datos climáticos

La climatología es el estudio del clima con sus variaciones y extremos, y las influencias que estas variaciones tienen sobre una amplia variedad de actividades como la salud humana, la seguridad y el bienestar, entre muchas otras cosas.

La climatología puede definirse de manera simplificada como el estudio de los comportamientos medios de las condiciones climáticas en una región y período determinados. El clima puede ser descrito en términos estadísticos a partir de las tendencias centrales y variabilidad de elementos relevantes como la temperatura, precipitación, presión atmosférica,

humedad y vientos, o a partir de la combinación de estos, como tipos y fenómenos meteorológicos que son típicos de un lugar o región, o del mundo en su conjunto, durante cualquier período de tiempo (World Meteorological Organization, 2011).

Para realizar el estudio de los eventos climáticos extremos en la región de la Cuenca Reconquista y Buenos Aires en general, se realizó un pedido de datos meteorológicos al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El SMN compartió datos de temperatura, precipitación, presión y dirección y magnitud del viento desde 1960 hasta la actualidad, en la mayor frecuencia posible, para 32 estaciones meteorológicas ubicadas en un radio de 500 km de CABA. En la figura 28 se muestra la ubicación de las estaciones y en la tabla 29 se especifican sus nombres.

Tabla 29: Nombres y números asignados a las estaciones seleccionadas para realizar el estudio de datos climáticos de la región.

Número	Nombre	Número	Nombre
1	AZUL AERO	17	PUNTA INDIO B.A.
2	BENITO JUAREZ AERO	18	SAN FERNANDO
3	BOLIVAR AERO	19	SAN MIGUEL
4	DOLORES AERO	20	SANTA TERESITA AERO
5	EL PALOMAR AERO	21	TANDIL AERO
6	EZEIZA AERO	22	VILLA GESELL AERO
7	JUNIN AERO	23	AEROPARQUE AERO
8	LA PLATA AERO	24	Buenos Aires
9	LAS FLORES AERO	25	MARCOS JUAREZ AERO
10	MAR DEL PLATA AERO	26	CONCORDIA AERO
11	MARIANO MORENO AERO	27	GUALEGUAYCHU AERO
12	MERLO AERO	28	PARANA AERO
13	MORON AERO	29	EL TREBOL
14	NUEVE DE JULIO	30	ROSARIO AERO
15	OLAVARRIA AERO	31	SAUCE VIEJO AERO
16	PEHUAJO AERO	32	VENADO TUERTO

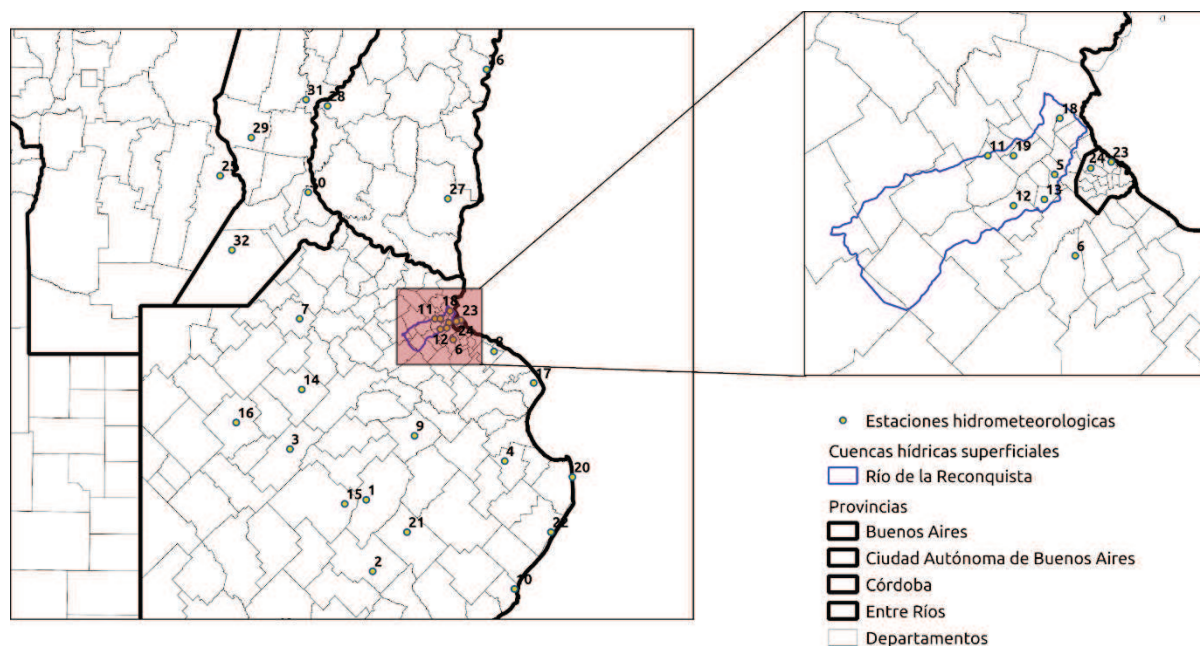


Figura 38: Ubicación de las estaciones que se utilizaron para realizar en análisis de los datos climatológicos en la región de interés (Fuente: Elaboración propia).

Cabe destacar que los datos climáticos proporcionados por el SMN corresponden a días hidrológicos de periodo 9 hs a 9 hs. De esta manera, no es posible saber si 2 precipitaciones correspondientes a 2 días consecutivos fueron en realidad un único evento.

Para realizar el análisis de los datos climáticos, se recurrió a la publicación del 2011 de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés World Meteorological Organization) “Guía de Prácticas Meteorológicas”. En este informe, se desarrolla la metodología para caracterizar el clima a partir de datos climáticos, visualización cualitativa de datos climáticos, descriptores de resumen cuantitativos de datos, realización de series temporales y análisis de valores extremos.

Debe aclararse que el objeto de esta sección no es realizar una estimación de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, sino realizar un análisis de los eventos extremos ocurridos de manera de entender cuáles son los extremos del clima que deben contemplarse para el desarrollo y diseño de una PTE. De esta manera, no se hablará de cuestiones como tiempo de retorno de eventos si no que se mencionara la frecuencia de ocurrencia de eventos que son considerados extremos y la evolución temporal de ciertos índices durante el periodo de datos obtenidos. Las tendencias de los índices presentados no tienen valor de pronóstico, sin embargo, son útiles a la hora de comprobar la correspondencia de la realidad con las predicciones que indican los modelos climáticos.

Para muchos de los análisis realizados, se presentarán los resultados en formato de distribuciones temporales. Para realizar el análisis se contó con información de entre 19 y 32 estaciones, dependiendo de la disponibilidad o ausencia de estaciones meteorológicas para un año determinado. Pese a que estas estaciones se encuentran en un radio de 500 km, un estudio realizado por Aliaga, V. S. et. al. en 2017, indica que dentro de La Pampa existen distintos clústeres que pueden separarse según su comportamiento hidrometeorológico. En el trabajo de Aliaga V. S. et. al. se utilizaron 33 estaciones del SMN, muchas de las cuales fueron utilizadas para la realización de este informe. El periodo de los datos utilizados por Aliaga también se condice con el periodo de datos analizados en este trabajo. Aliaga et. al.

encontraron que la región de La pampa puede ser segmentada en 8 subregiones climáticas. Estas subregiones presentan gradientes de temperatura norte-sur, gradientes de precipitaciones noreste-sudoeste y una diagonal árida del sudoeste. La cercanía al océano determina el valor medio de humedad y en particular en las subregiones del sur y del oeste se encontraron vientos de gran intensidad (Aliaga, Ferrelli, & Piccolo, 2017).

A continuación, en la figura 39 se presenta un mapa indicando la extensión de los clústeres climáticos de La Pampa desarrollado por Aliaga et. al.

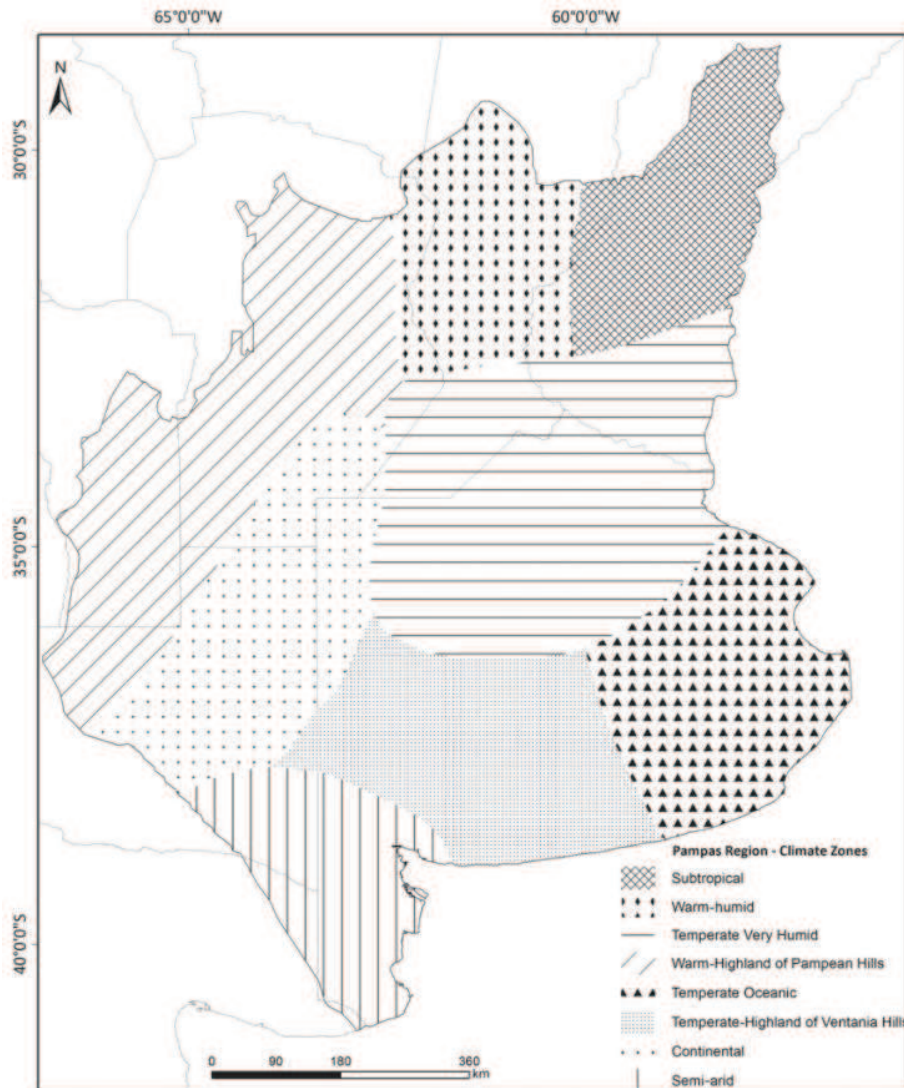


Figura 39: Extensión y nombres de clústeres climáticos en LA Pampa. (Fuente: Aliaga et. al., 2017)

Para el trabajo que se presenta no se hizo un análisis segmentado por clústeres. Sin embargo, para evitar calcular valores medios de zonas climáticas diferentes, los análisis que se realizaron fueron hechos por estación y luego se mostró la distribución de los posibles valores para las 32 estaciones presentes en la región de interés. A continuación, se detalla el análisis realizado a partir de los datos obtenidos del SMN. Se segmentó el análisis en 3 categorías que corresponden las condiciones climáticas de interés: precipitaciones y sequías extraordinarias y olas de calor.

7.4.1 Análisis de precipitaciones

Un análisis intuitivo que resulta de interés son las precipitaciones acumuladas anuales. Para obtener estos valores se calculó la media de la precipitación acumulada anual de cada estación. A continuación, se presenta la figura 40 con los resultados obtenidos de este cálculo.

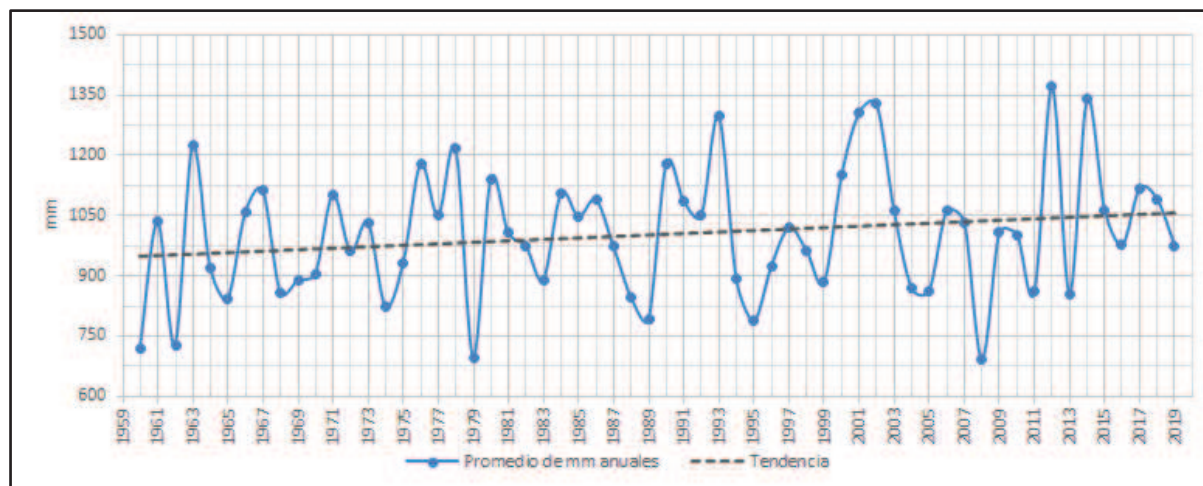


Figura 40: Precipitaciones anuales acumuladas para el período 1960-2019 calculada a partir de las estaciones del SMN. (Fuente: Elaboración propia).

Puede observarse que en promedio existe un comportamiento creciente de precipitaciones anuales. En particular, la tendencia de estos resultados indica un aumento de 18,3 mm de lluvia por década. Estos resultados se condicen con los valores presentados por Mehotra et al. en 2009. Ellos realizaron el mismo análisis de la misma región para el período 1900-2010 y encontraron una tendencia creciente de 22,8 mm por década.

Más allá del comportamiento medio de las precipitaciones anuales, nos interesa saber qué ocurrió durante el período 1960-2020 con las precipitaciones extraordinarias. Una manera de clasificar a un evento de precipitación como extraordinaria, es determinar si la misma se encuentra por sobre el percentil 95 (p95) de la distribución de precipitaciones para una estación. De esta manera, se calculó el p95 de cada estación teniendo en cuenta toda la serie temporal y luego se contó el número de eventos que superó el p95 por cada año. A este índice se lo conoce como R95p. El índice R95p fue calculado para cada año para cada estación y a continuación en la figura 41 se presenta el promedio del índice de las 32 estaciones en el tiempo.

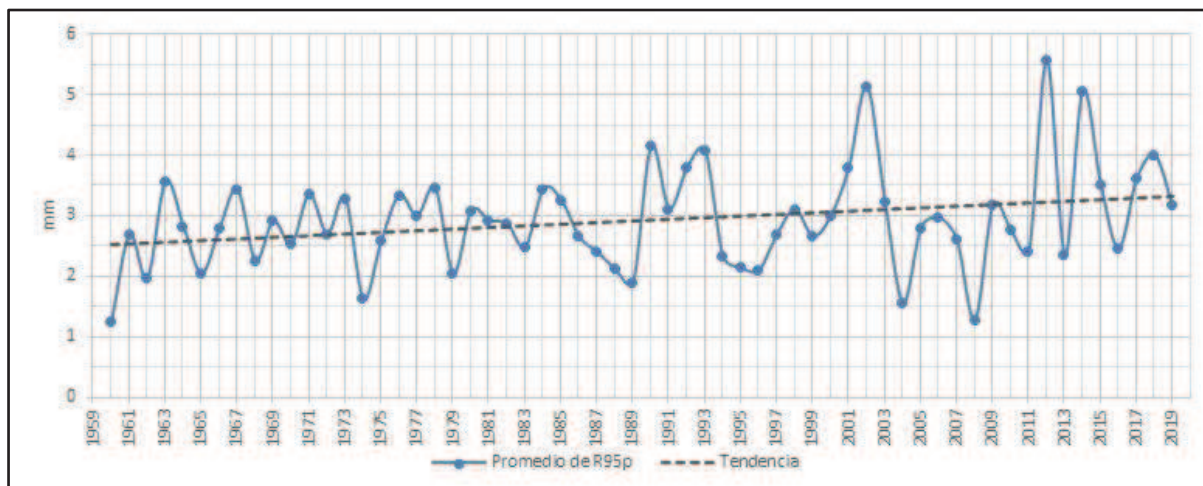


Figura 41: Promedio de R95p de por año. El número de eventos fue calculado a partir del umbral correspondiente a cada estación para todo el periodo de datos disponibles. (Fuente: elaboración propia).

En la figura 41 puede observarse que durante la primera mitad del periodo estudiado, el promedio de eventos que supera el p95 por año oscila entre los 2 y 4. Sin embargo, en la segunda mitad, el promedio de eventos extraordinarios se vuelve más errático y disperso, tomando valores entre 1 y 6. Esto parece indicar que en los últimos años ocurren eventos extraordinarios más frecuentemente. Esto se condice con estudios publicados por Re M. et al. (2005) donde informan que no se observan tendencias significativas en la intensidad de los eventos extremos, pero sí lograron identificar tendencias positivas en las frecuencias de precipitaciones extremas (Re, Saurral, & Barros, 2005).

7.4.2 Análisis de rachas secas

Para estudiar las rachas secas se calculó el índice de Máxima Duración de Período de Sequía Anual (AMDSL por sus siglas en inglés Annual Maximum Dry Spell Length). Este índice identifica el máximo número de días consecutivos en un año que no se superó un umbral de precipitaciones de 1 mm. Nuevamente, cada año contaremos con un mínimo de 19 valores y máximo de 32 valores de este índice. No tiene sentido representar el valor medio de este indicador ya que, como se mencionó anteriormente, las distintas estaciones meteorológicas corresponden a clústeres con comportamientos climáticos diferentes. Por esta razón, en la figura 42 se presentan los resultados del cálculo del AMDSL en formato de distribución temporal. De esta manera, para un año dado el valor mínimo será la estación que presentó el mínimo valor del índice, así como el máximo corresponderá a la estación que presentó el máximo período de sequía durante ese año.

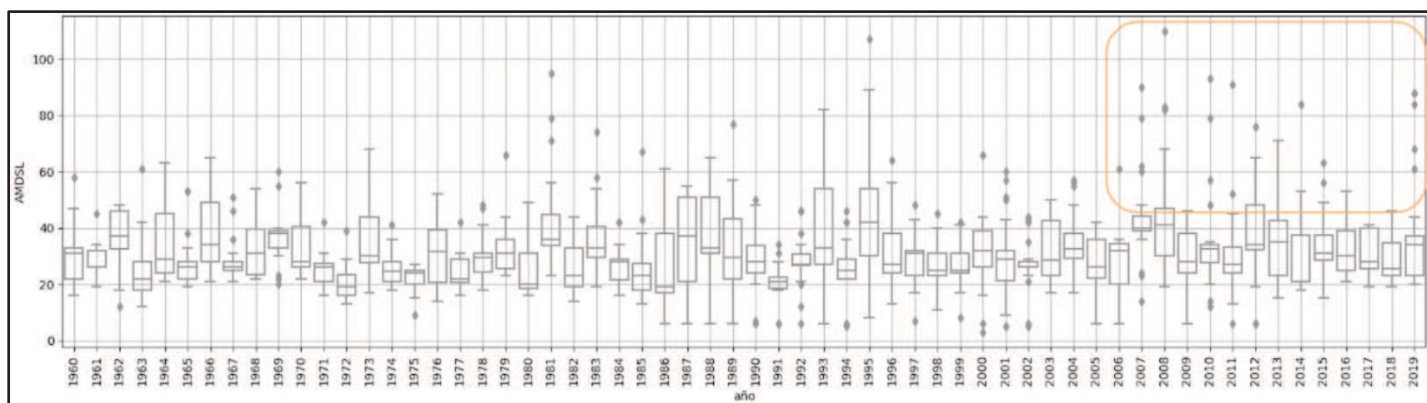


Figura 42: Distribución de AMDSL para el periodo 1960-2019. (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 42 puede observarse que el valor medio del AMDSL presenta una oscilación que seguramente esté relacionada con periodos secos y húmedos. Es destacable que en la última década muchas estaciones presentaron valores atípicos cuando este comportamiento no se presentó de manera tan abrupta durante los primeros 50 años de datos. Más allá del aumento en la frecuencia de valores de AMDSL atípicos, puede observarse que estos valores presentan magnitudes mucho mayores. A partir de estos resultados se buscó cuáles eran las estaciones que estaban presentando periodos de sequía más frecuentes y extensos. En la figura 43 puede observarse un mapa donde se remarcan las estaciones que presentan estos valores atípicos de AMDSL en rojo y el resto de las estaciones en verde.

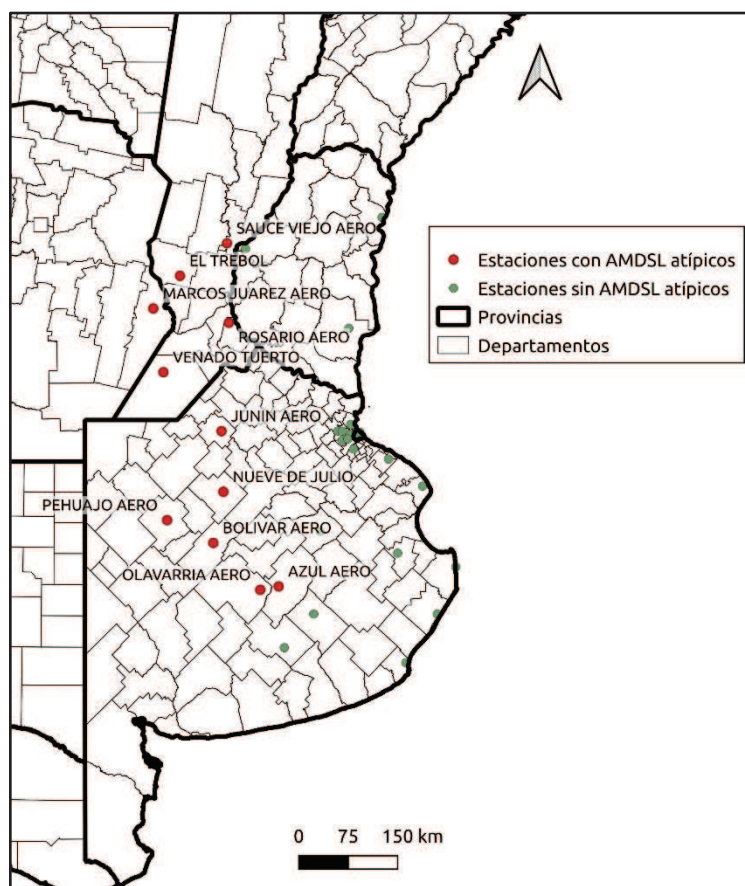


Figura 43: Estaciones con valores atípicos en la última década en rojo y el resto de las estaciones en verde (Fuente: Elaboración propia).

Puede observarse en la figura 43 que las estaciones que presentan índices AMDSL de grandes magnitudes en los últimos años se encuentran geográficamente distanciados de aquellos que no. En particular, parecería que las estaciones que se encuentran en una diagonal sureste a noroeste son aquellas que presentan un índice AMDSL agravado. Esto se condice con lo expuesto en la TCN donde se indica que las regiones norte y oeste del país están presentando rachas secas invernales más prolongadas. Estas sequías están asociadas a problemas con la disponibilidad de agua, aumento en la frecuencia de incendios forestales y de pasturas, y estrés sobre actividad ganadera, entre otras cosas. Un ejemplo ya expuesto sobre este tema es la sequía del Paraná ocurrida en el verano del 2020.

7.4.3 Análisis de temperaturas y olas de calor

De la misma forma en que se calculó la media de la precipitación acumulada en el análisis de precipitaciones, resulta de interés conocer el comportamiento medio de las temperaturas anuales. A continuación, en la figura 44 se presentan tanto el comportamiento medio anual de las temperaturas.

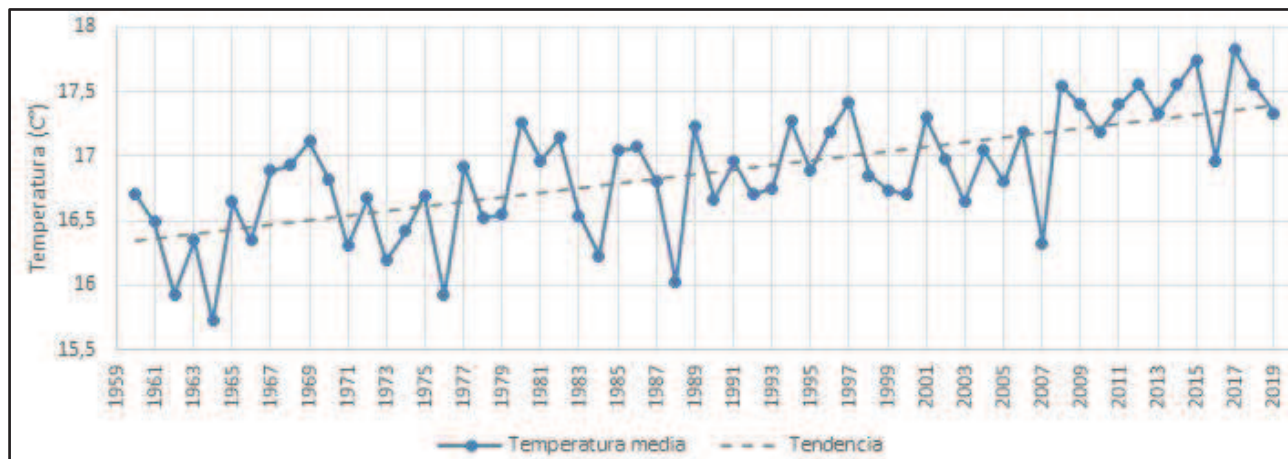


Figura 44: Comportamiento de la temperatura media anual para el período 1960-2019 (Fuente: Elaboración propia).

Puede observarse en la figura 44 que entre el período 1960-2019 hubo un incremento de la temperatura que tiene un comportamiento medio de $0,18^{\circ}\text{C}$ de aumento por década. Estos resultados se condicen con los presentados por Mehrotra et. al. en 2009, donde indican que desde la década de 1900, la temperatura media de Buenos Aires ha aumentado constantemente con un promedio de $0,2^{\circ}\text{C}$ por década (Mehrotra, y otros, 2009).

Un índice que permite estudiar la ocurrencia de olas de calor es el índice WSDI (por sus siglas en inglés Warm Spell Duration Index). Este índice informa el número de días al año que se superó el percentil 90 (p90) durante al menos 6 días consecutivos. De la misma manera que para el cálculo del R95pT, el p90 fue calculado para cada estación teniendo en cuenta la el periodo total de datos obtenidos. Luego para cada estación se calculó el WSDI y a continuación en la figura 45 se muestra el resultado de las distribuciones del índice para cada año.

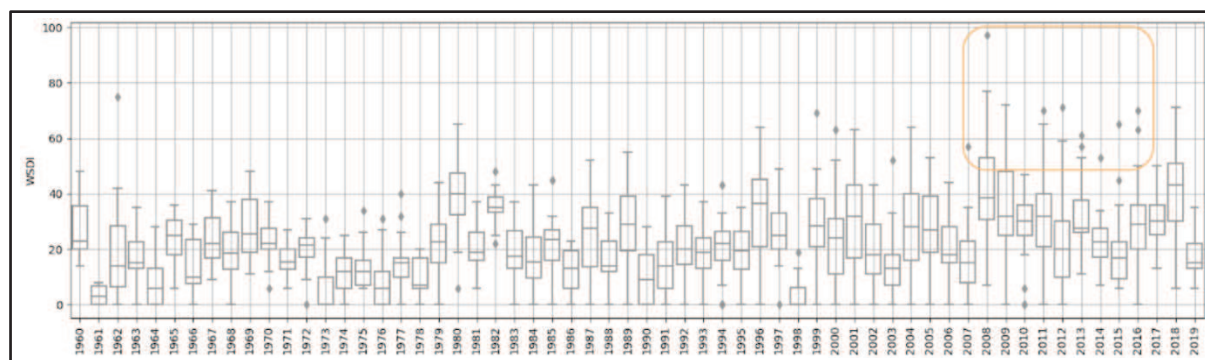


Figura 45: Distribución de WSDI por año para el período 1960-2019 (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 45 puede observarse que el comportamiento medio del índice WSDI, es decir, la media de la suma de días anuales que se superó el p90 por al menos 6 días consecutivos muestra un comportamiento oscilatorio. Tanto esta oscilación como la del AMDSL deben estar relacionadas con variaciones anuales e interdecadales de fenómenos meteorológicos.

Más allá de las oscilaciones, puede observarse que la media del WSDI obtiene valores cada vez más altos a lo largo del tiempo. Además del aumento de la media, puede observarse que las distribuciones presentan valores cada vez más dispersos y que el tercer intercuartil de las distribuciones toma valores cada vez más amplios. En los últimos años, sucedió algo similar a lo que visto en la figura 45, donde se presentan valores atípicos de grandes magnitudes. De esta manera, se entiende a partir del estudio de WSDI que cada vez más estaciones presentan episodios de rachas de calor más frecuentemente y de mayor severidad.

7.5 Conclusiones

En el presente capítulo se informó sobre la ocurrencia de eventos climáticos extremos y particularmente, cómo estos afectan a plantas de tratamiento de efluentes. Además, se informó sobre metodologías y planes de mitigación para minimizar, reducir y en algunos casos evitar los impactos de los eventos extremos sobre las PTE.

Todos los objetivos propuestos al inicio de la beca PEFI pudieron ser realizados correctamente. Una amplia búsqueda bibliográfica fue llevada a cabo, consultando múltiples instituciones de referencia en materia de climatología. En base a la información recopilada, se realizó el presente capítulo resumiendo la información que se consideró pertinente.

Al comienzo de la realización de esta investigación se creyó que se podrían mitigar los impactos de los eventos climáticos extremos sobre las PTE a partir de criterios de diseño. Algunas cuestiones de diseño, como la disposición de aireadores en piletas de tratamiento biológico para lograr la resiliencia y buen funcionamiento de la planta durante olas de calor, fueron contemplados. Sin embargo, la mayoría de los criterios leídos y resumidos para lograr una correcta gestión de la planta de tratamiento durante un evento extremo, tuvieron que ver con consideraciones durante la etapa constructiva de la planta. Por ejemplo, la compartimentalización de los equipos o la disponibilidad de muros móviles para evitar los impactos de una inundación.

Se logró exitosamente obtener y analizar datos meteorológicos obtenidos a partir del SMN para el período 1960-2020. A partir de estos datos se pudo estudiar la frecuencia de ocurrencia e intensidad de eventos climáticos extremos en el tiempo para la región de interés. Tanto eventos extremos de precipitaciones, como de sequía y olas de calor pudieron ser estudiados. En todos los casos, se encontró una mayor frecuencia de eventos extremos en los últimos años. En particular la región noreste de la zona de estudio se encontró muy afectada por la ocurrencia de eventos de sequía. Todos los resultados obtenidos, se condijeron con resultados previamente publicados y con predicciones de modelos climáticos.

Como conclusión general, actualmente no nos encontramos preparados ante la ocurrencia de los extremos del comportamiento climático. El cambio climático sólo empeorará esta situación aumentando la frecuencia y magnitud de dichos eventos. Es importante que

los diseños de las plantas de tratamiento tengan en cuenta la ocurrencia de estos extremos del clima para evitar los impactos asociados tanto a la inundación y/o cese de funcionamiento de una PTE. Por otra parte, deben de tenerse en cuenta el rol que juegan las PTE durante los eventos de precipitación y debe de considerarse el riesgo de no tener una correcta gestión de los sistemas de alcantarillado durante largos períodos de sequía.

Como trabajo a futuro deberían investigarse otro tipo de fenómenos que se encuentran asociados a eventos extremos y tormentas como lo son los vientos fuertes, tornados y rayos, entre otros.

Capítulo 8

Evaluación de Impacto Ambiental

8.1 Descripción del Proyecto

Como fue descrito en los primeros capítulos de este informe, el proyecto consta de la construcción y operación de una planta de tratamiento para los efluentes generados a partir del proceso de curtido vegetal. A su vez, en esta Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) también se propondrá una instancia de cierre en caso de que deba cerrarse la planta.

El predio se encuentra localizado en el extremo norte de la ciudad Mariano Acosta, en el departamento de Merlo, Buenos Aires, Argentina. El predio será emplazado en la zona urbana de Mariano Acosta, a unos 5.3 km su centro urbano y a unos 5 km del centro urbano de la ciudad de Moreno. El predio tendrá un área de 20 ha y su frente norte será adyacente al Río Reconquista. Dentro de este predio se realizará todo el proceso productivo del cuero y se llevará a cabo el tratamiento de los efluentes generados, para que luego sean vertidos al Río Reconquista.

Se estima que la construcción y puesta en marcha de la planta de producción y planta de tratamiento de efluentes tendrá una duración aproximada de 1 año. Durante la etapa de construcción y puesta en marcha se realizará la limpieza y nivelación del terreno; Excavaciones para canaletas, conductos, ventilaciones, bases estructurales y lagunas; Construcción de estructuras; Instalaciones eléctricas; Compra e instalaciones de unidades y maquinarias (Tamices, rejillas, etc); Construcción de unidades (Tanques de homogeneización, coagulación y floculación, etc.); y posteriormente se realizará la puesta en marcha de tanto la planta productiva como la planta de tratamiento de efluentes.

Para la etapa productiva se estima que la planta tendrá una duración de unos 20 años hasta su reestructuración o reforma. Durante estos 20 años se realizará la producción de cuero curtido al vegetal, el tratamiento de los efluentes generados y se realizará también la producción de Espirulina. La memoria técnica de tanto la producción de cuero como el tratamiento del efluente y la producción de espirulina se encuentra en los capítulos 2 y 6 respectivamente.

En caso de que se realice el cierre de la planta, se desmontarán todas las estructuras previamente construidas, se rellenarán los pozos realizados en la medida posible, y se revegetarán las zonas donde se haya eliminado la vegetación existente previa al proyecto.

8.2 Área de influencia

El área de influencia es el área que se verá afectada por alguno de los posibles efectos e impactos que resultan del desarrollo del proyecto en cuestión, a lo largo de la vida del proyecto. El área de influencia abarca las posibles afectaciones de tanto los medios físicos, bióticos y abióticos, como los socioeconómicos. Suele distinguirse entre el área de influencia directa y el área de influencia indirecta.

El área de influencia directa hace referencia al contexto local o puntual del proyecto y se compone de los impactos que tendrán efecto en la zona de emplazamiento del proyecto. Para este proyecto se considera un área de influencia directa de 400 m alrededor de la planta. Esta área impactará entonces a tanto la zona de emplazamiento como a algunas residencias que se encuentran en la zona rural circundante de la zona de emplazamiento. Además, dentro del área de influencia directa se encuentra el Río Reconquista ya que el efluente tratado estará siendo vertido directamente sobre este río.

El área de influencia indirecta está compuesta por aquellas zonas alrededor del área de influencia directa en donde se podrían evidenciar impactos de tipo indirecto por las actividades del proyecto. En este sentido, el área de influencia indirecta será el área externa al área de influencia directa que contendrá los componentes auxiliares del proyecto, como las vías de acceso que unen los centros poblados con el proyecto, la geografía de la zona, impactos socioeconómicos, impactos ambientales que ocurren en locaciones distintas a la acción que generó el impacto y demás. El área de influencia indirecta del proyecto estará comprendida por los núcleos urbanos de los partidos de tanto Merlo como Moreno. Esto se debe a que el proyecto afectará a la economía de ambos partidos mediante la generación de trabajo y consumo de bienes y servicios.

En la figura 46 se presenta un mapa donde se detalla tanto el área de influencia directa como al área de influencia indirecta.

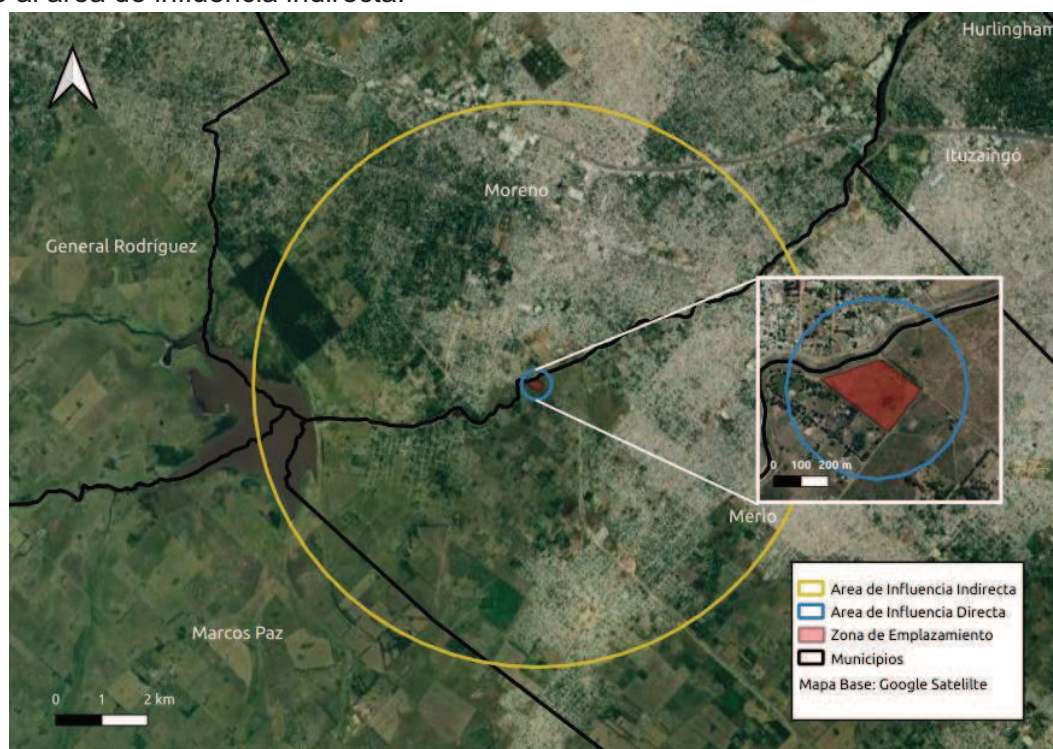


Figura 46: Área de influencia directa e indirecta del proyecto (Fuente: Elaboración propia).

8.3 Línea de Base Ambiental

La línea de base logra la descripción de la situación actual de distintos aspectos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales previos a la influencia de nuevas intervenciones antrópicas por parte del proyecto en cuestión. Es a partir de esta línea de base que puede calcularse la matriz de impactos ambientales, una vez que se describe el estado actual de estas dimensiones y los impactos que habrá sobre cada una de ellas.

8.3.1 Medio Físico

Meteorología

La región de estudio se caracteriza por planicies abiertas sin restricciones a la influencia de vientos húmedos provenientes del noreste. A su vez, pueden ocurrir cambios repentinos en el estado del tiempo ocasionados por vientos secos y refrigerantes del suroeste. Los vientos del suroeste contienen aire frío y saturado de humedad que da lugar a semanas enteras de cielo cubierto, lluvias y temperaturas muy estables. No suele haber ocurrencias de situaciones climáticas extremas (Tonni, 2003).

A continuación, en la figura 47, se muestran los promedios de precipitación mensual históricos y el promedio mensual de temperaturas máximas y mínimas para el período 2013-2019 en la estación meteorológica “MERLO AERO”.

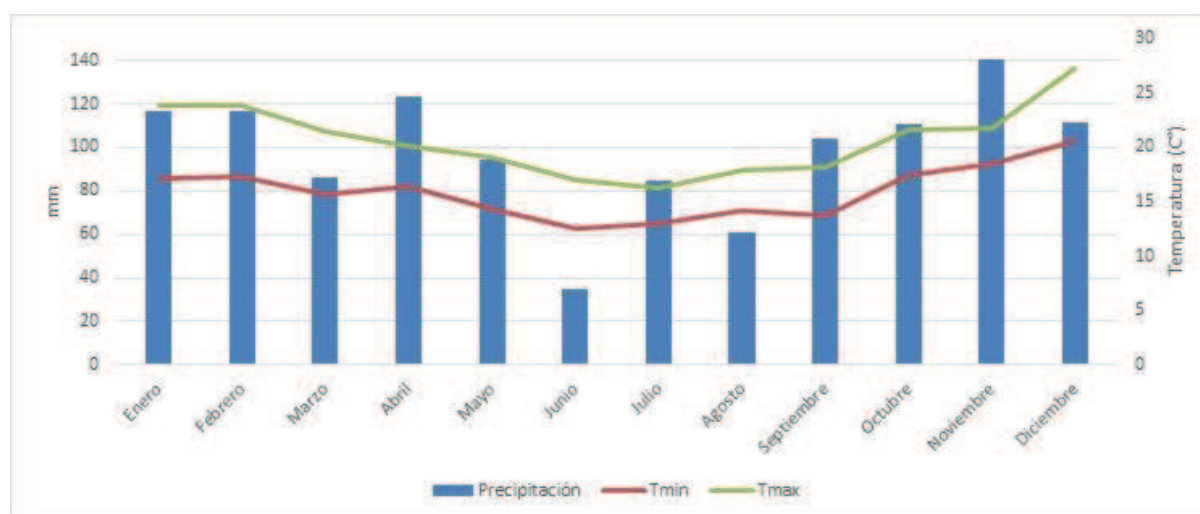


Figura 47: Promedio de precipitación mensual y promedio de temperaturas máximas y mínimas para el período 2013-2019 calculados a partir de datos obtenidos de la estación meteorológica “MERLO AERO” (Fuente: Elaboración propia).

A partir de la figura 47 puede verse que la temperatura media máxima se encuentra en el mes de diciembre y es de aproximadamente 30 °C. A su vez, la temperatura media mínima es de aproximadamente 12 °C y se encuentra en el mes de junio. Este mes resulta también ser el más seco, con una precipitación mensual promedio de 40 mm. El mes más húmedo es noviembre, con una precipitación mensual promedio de aproximadamente 140 mm.

A continuación, en la figura 48 se muestra la rosa de los vientos calculado a partir de los datos de la misma estación meteorológica.

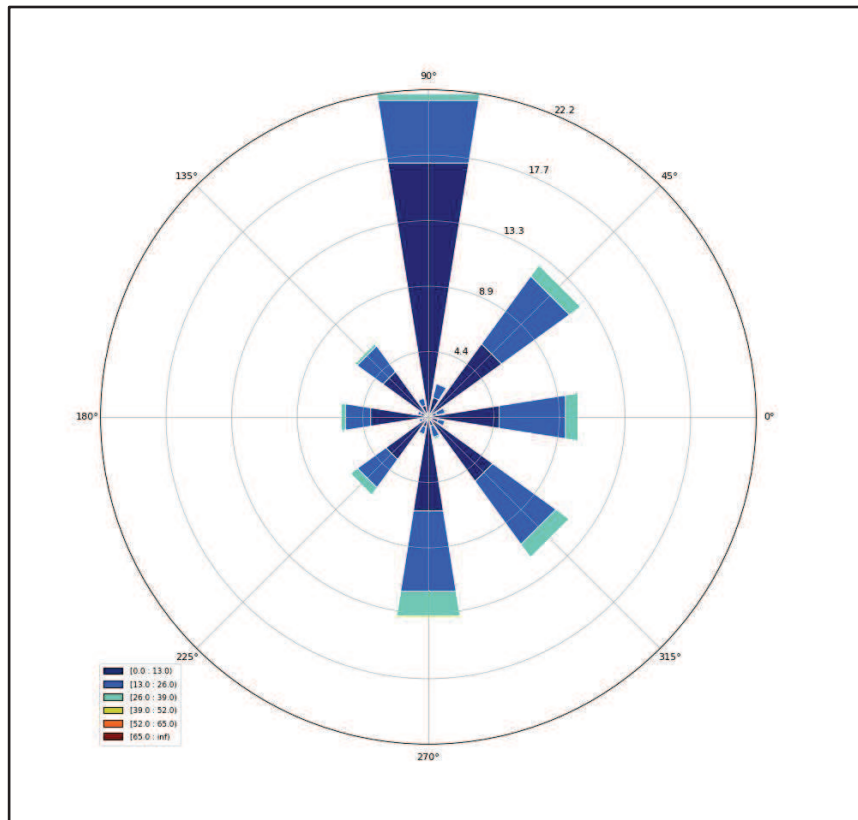


Figura 48: Rosa de los vientos calculada a partir de datos de la estación meteorológica MERLO AERO para el período 2013-2019 (Fuente: Elaboración propia).

Ruido

El sitio será emplazado en una zona rural, a una distancia mínima de 300 metros de la primera zona residencial. De esta manera, no se espera que haya ruido preexistente. Por esta razón, se tomará de base el ruido de acuerdo a la norma IRAM 4062, donde se considera un nivel tolerable al que no supere los 40 dB.

Calidad de Aire

La calidad del aire puede verse afectada tanto por eventos antropogénicos como naturales. Un incendio accidental o natural, por ejemplo, puede resultar en un aumento de material particulado, así como en un aumento de la concentración de óxidos de nitrógeno y de azufre. Por otro lado, el tránsito de vehículos incrementa la concentración de los residuos de la combustión de combustibles. A su vez el tránsito vehicular por calles no pavimentadas aumenta el material particulado.

Otras actividades antropogénicas que afectan la calidad del aire pueden ser el movimiento de suelos, el desmonte y la demolición entre otras actividades.

Al no encontrarse un estudio de calidad de aire de la zona de interés, y al encontrarse el emplazamiento en una zona rural no industrial, se asumirá que actualmente se cumplen los valores máximos permitidos que se declaran en Anexo I la Ley 5965.

Geología

Desde el punto de vista geológico, la zona de emplazamiento se encuentra comprendida dentro de la provincia geológica de la Llanura Chaco-Pampeana. Esta zona es caracterizada por una casi total ausencia de afloramientos rocosos más antiguos que el Neógeno. Limita hacia el sur con la Provincia Geológica de la Cuenca del Salado y, hacia el noreste, ya en Uruguay con el ambiente de basamento antiguo. Las principales unidades estratigráficas de la zona chaco-pampeana son el Basamento Cristalino, Formación Olivos, Formación Paraná y Arenas Puelches (Pereyra, 2004).

A continuación, en la figura 49 se presenta un recorte del mapa geológico del área metropolitana bonaerense donde se detallan la geología de cada tipo de suelo. Es posible identificar a partir de este mapa que la zona de emplazamiento estará compuesta principalmente por relleno inorgánicos, Depósitos Loésicos del Pleistoceno Superior (Limos) y Depósitos Fluviales del Pleistoceno Superior-Holoceno Inferior.

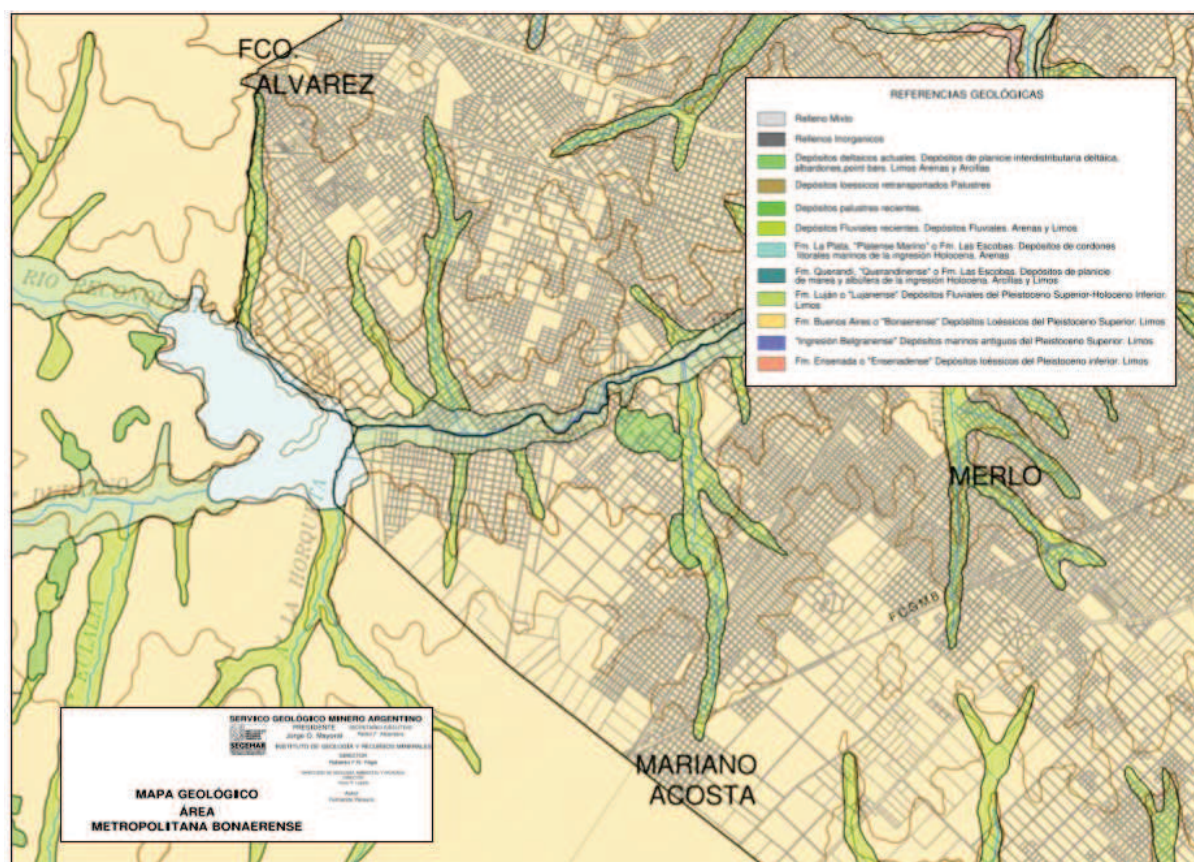


Figura 49: Mapa geológico del área metropolitana bonaerense (Fuente: Pereyra, 2004).

Hidrología

La zona de emplazamiento se encuentra dentro de la Cuenca Reconquista. Oderot S.A. será construido sobre la orilla del Río Reconquista. Este río nace de la confluencia de los arroyos Durazno, La Horqueta y La Choza que desembocan al Dique Roggero y es el cauce principal de su cuenca, con un caudal medio de entre 69.000 m³/día y 1.700.000 m³/día. Esta cuenca comprende unos 134 cursos de agua en total sobre una extensión de 1670 km² y desemboca en el Río Luján. Al encontrarse en la región pampeana no presenta pendientes significativas. Particularmente la zona de emplazamiento se encuentra en la sección media de la Cuenca Reconquista. En la Figura 2 se presentó un mapa de la extensión de la cuenca

y los partidos que ésta atraviesa. A continuación, en la figura 50 se presenta un mapa de la Cuenca Reconquista y sus subcuencas.

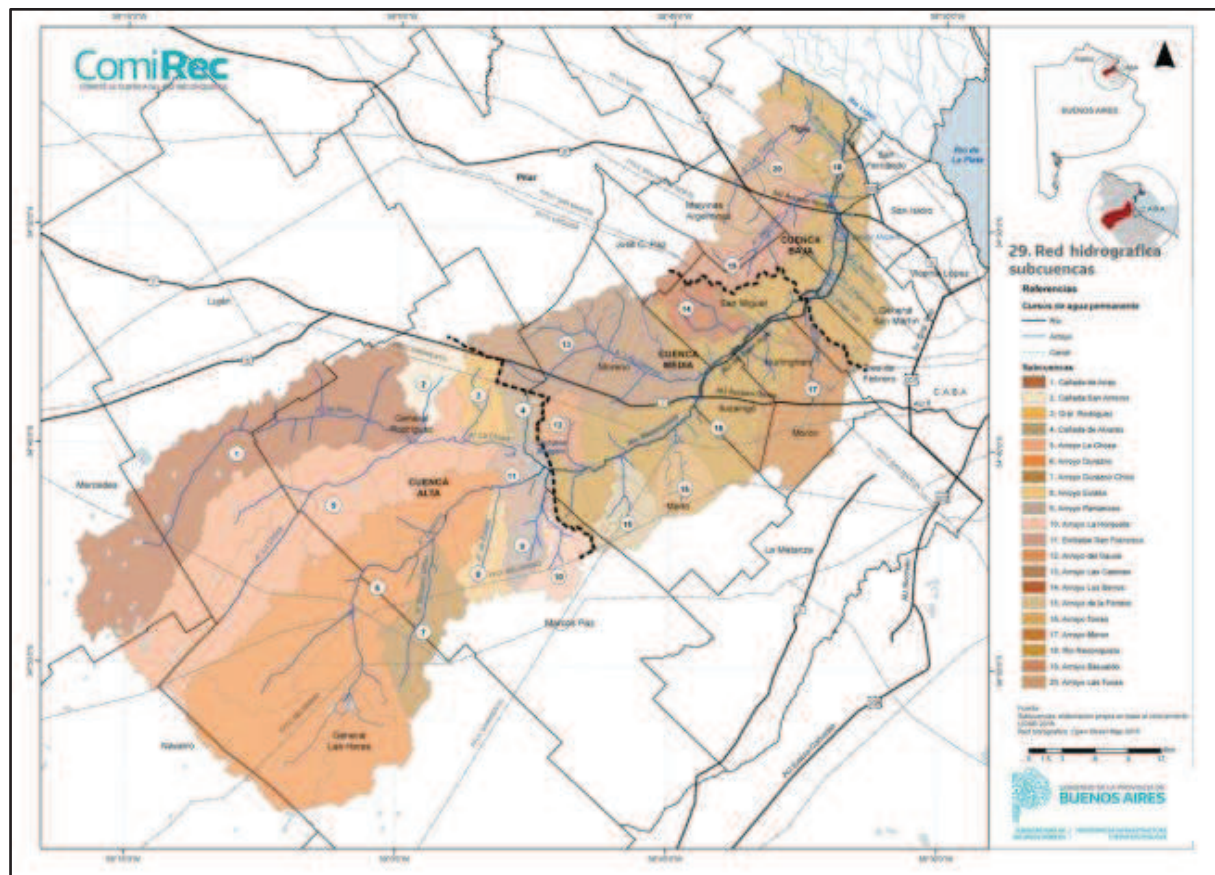


Figura 50: Cuenca Reconquista y sus subcuencas (Fuente: COMIREC).

8.3.2 Medio Biológico

Región Fitogeográfica

La fitogeografía permite la descripción de provincias de Argentina según sus formaciones vegetales. Una clasificación postulada por Cabrera en 1976 y posteriormente actualizada presenta 50 provincias en total. En la figura 51 se presenta un mapa representativo de las zonas fitogeográficas de Argentina.

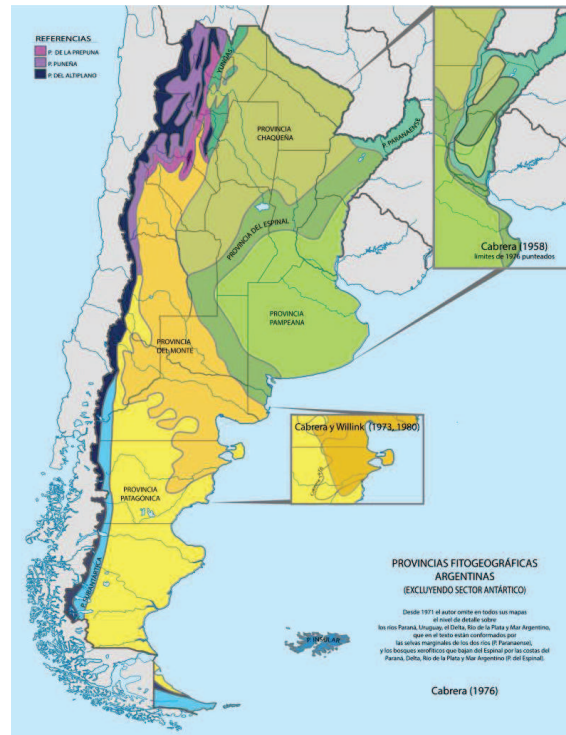


Figura 51: Zonas fitogeográficas de Argentina (Fuente: Cabrera, 1976).

La zona de emplazamiento se encuentra dentro de la zona fitogeográfica denominada Pampa Ondulada. Esta fitoregión es una subdivisión de la región pampeana. Esta Provincia fitogeográfica se caracteriza por presentar una total ausencia de especies arbóreas. La comunidad climática es la estepa o pseudoestepa de gramíneas, de una altura de alrededor de 60 a 100 cm, la cual se ve modificada principalmente en función de las variaciones del suelo y clima, especialmente la disminución de las precipitaciones de nordeste a sudoeste. Posee dos descansos anuales, uno en el invierno y otro en el verano. Dada la fertilidad del terreno, la mayor parte de la superficie de esta Provincia fitogeográfica ha sido históricamente alterada en forma intensiva, especialmente por la agricultura, y la ganadería.

Ecorregión

Una ecorregión es un territorio geográficamente definido en el que dominan condiciones ambientales como la geomorfología, suelo, clima, hidrología, fauna y flora relativamente uniformes o recurrentes, donde se asientan determinadas comunidades naturales, que comparten la gran mayoría de sus especies y dinámicas ecológicas, y donde ocurre una interacción “ecológica” entre lo biótico y lo abiótico que es determinante para la subsistencia de estos ecosistemas en el largo plazo.

En Argentina se han identificado 18 ecorregiones. Las mismas son presentadas en la figura 52. La zona de emplazamiento se encuentra dentro de la ecoregión denominada Pampa. Esta ecoregión tiene una extensión de 39.000 hectáreas, que componen a una de las llanuras más fértiles del mundo debido a los sedimentos andinos. Esta ecoregión ha sido modificada casi en su totalidad para la explotación de la industria agrícola-ganadera.

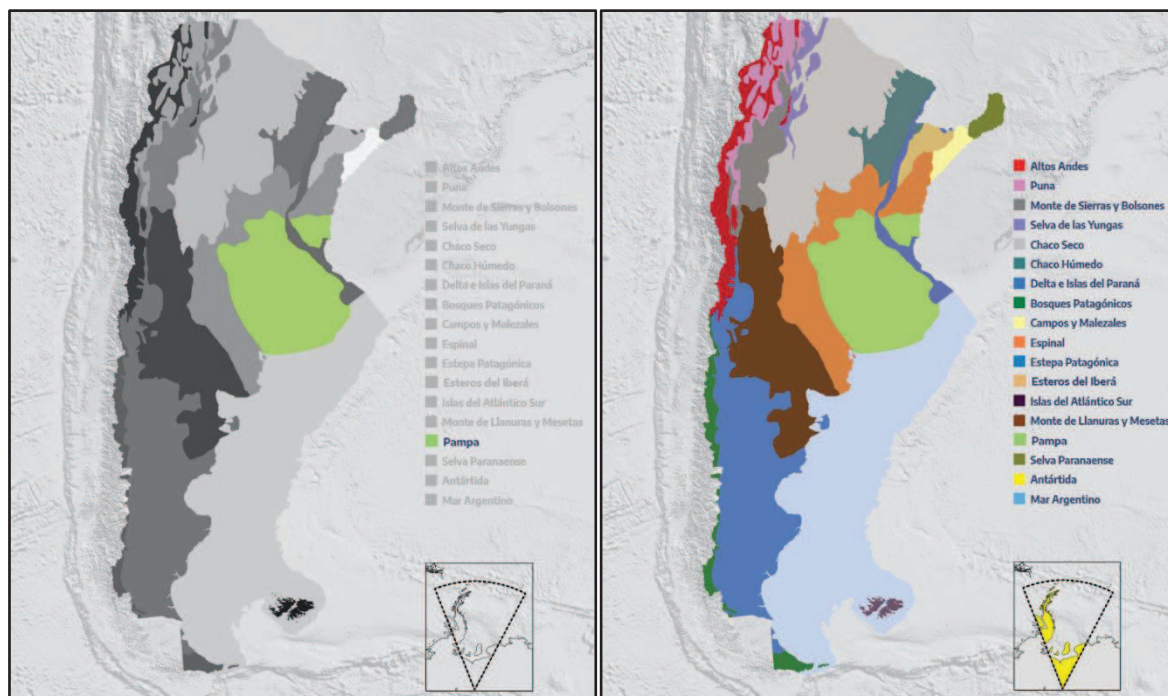


Figura 52: Derecha: Ecorregiones de Argentina. Izquierda: Ecorregión Pampas (Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Fauna y flora

La biodiversidad pampeana es única y notable. La flora nativa de las Pampas comprende unas mil especies de plantas vasculares (León, 1991). Las praderas estuvieron originalmente dominadas por gramíneas, entre las que predominaron los géneros *Stipa*, *Poa*, *Piptochaetium* y *Aristida*. Aunque disminuida en la actualidad, la fauna nativa de la pradera pampeana incluía abundantes mamíferos y aves (Krapovickas y Di Giacomo, 1998; Real et al., 2003). Entre ellos, se encontraban especies como el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), el ñandú (*Rhea americana*), las perdices (*Rynchotus rufescens*, *Nothura sp.*, *Eudromia elegans*) y el “puma” (*Puma concolor*). De las cuatrocientas tres especies de aves registradas en la zona, unas trescientas habitan regularmente en las Pampas (Viglizzo, Frank, & Carreño, 2006)

Más particularmente en la zona del reconquista aún se conservan bosques de ceibo palmer pindó (*Arecastrum romanzoffianum*), el ingá (*Inga uruguayensis*), la anacahuíta (*Blepharocalix tweedii*) y el sauco (*Sambucus australis*). En el sector no insular la comunidad vegetal característica es el arbustal o bosque bajo dominado principalmente por el espinillo (*Acacia caven*), mientras que en las zonas más bajas son comunes los pajonales de paja cortadera (*Scirpus giganteus*) y juncales (*Schoenoplectus californicus*). En las riberas y ambientes de media loma aparecen comunidades adaptadas a los fluctuantes ciclos de inundación como sarandizales (*Cephalanthus glabratus*), chicales (*Baccharis spp.*), cardazales (*Eryngium spp.*) y praderas herbáceas bajas de *Luziola peruviana*; acompañadas

por distintas especies acuáticas, flotantes o arraigadas (Defensoría del Pueblo de la Nación, 2007).

A continuación, en la figura 53 se presenta un mapa realizado por la COMIREC donde se pueden ver los corredores biológicos de la Cuenca Reconquista.

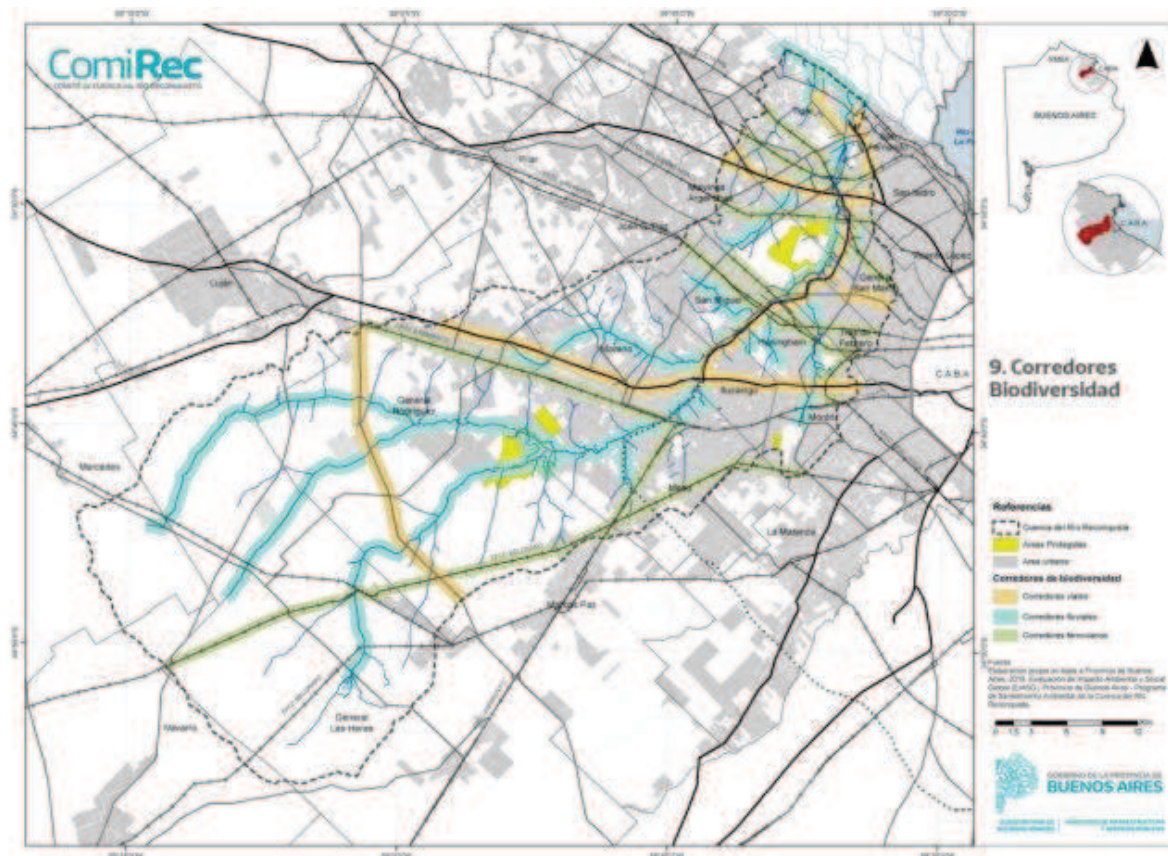


Figura 53: Corredores biológicos de la Cuenca Reconquista (Fuente: COMIREC).

8.3.3 Medio Socioeconómico y Cultural

Historia y contexto

El predio se encuentra situado al norte de la ciudad Mariano Acosta. Esta ciudad pertenece al partido de Merlo, en la provincia de Buenos Aires. Mariano Acosta limita al oeste con el partido de Moreno y el río Reconquista, al sur con el partido de Marcos Paz, al norte con las ciudades de Merlo y Parque San Martín y al este con Pontevedra. Hasta mediados del siglo XX, esta ciudad era mayormente rural. Sin embargo, a mediados del siglo XXI, junto con el desarrollo de lo que se conoce como el segundo cordón del Gran Buenos Aires, sucede el crecimiento urbano de Mariano Acosta.

Una de las primeras actividades rentables de la zona fue la explotación de tambos. Hacia 1916 se instalaron fábricas de hornos de ladrillos, mataderos, graserías y criaderos de aves. En la década del cuarenta se produjo el auge de las quintas de horticultura, industria que sigue siendo la más importante de la ciudad.

Acceso

La principal arteria vial de Mariano Acosta es la ex Ruta Nacional 200, hoy Ruta Provincial 40, que une Merlo con Navarro donde se encuentra ubicado el principal centro comercial de esta localidad. Los ciudadanos de Mariano Acosta utilizan tanto esta ruta como el Ferrocarril Sarmiento para trasladarse hasta Merlo y luego transbordar hacia la ciudad de Buenos Aires. Además, pueden utilizarse varias líneas de servicio de colectivos pertenecientes a la empresa ECOTRANS como las líneas 136, 322, 500, 503 y 504.

Población

En 1937 Mariano Acosta apenas tenía poco más de 200 habitantes permanentes. En el censo del 2001, INDEC registró 54.081 habitantes. A su vez, el partido de Merlo, donde se encuentra Mariano Acosta, tenía una población de 469.985 en el 2001 y una población de 528.494 para el 2010. Esto indica que entre el período 2001-2010 Merlo tuvo un crecimiento del 12%. Podemos asumir entonces que hoy la población actual de Merlo puede encontrarse cercana a los 60.000 habitantes.

En la figura 54 se muestra un histograma de las edades de la población de Merlo segregado también por sexo. Podemos ver que el pico de la población se encuentra entre los 15 y 19 años tanto para hombres como para mujeres y que la proporción de hombres y mujeres es bastante equitativa.

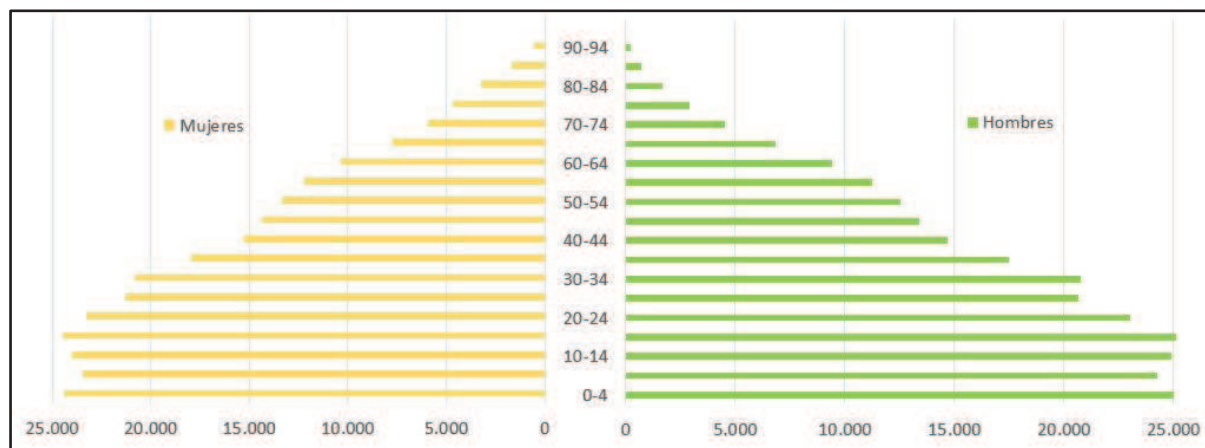


Figura 54: Distribución de edades en la población de Merlo segregado por sexo. Datos provistos por el censo del INDEC 2010.

El área total de Merlo es de unos 170 km² por lo que la densidad poblacional es de unos 3.109 hab./km². A su vez, Merlo tiene un total de 147.716 hogares por lo que el hogar promedio tiene 3,5 habitantes.

Economía

Como ya fue mencionado anteriormente, Merlo se encuentra dentro de lo que se denomina el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA). Esta región se caracteriza por concentrar la mayor población de la Argentina. Dentro del AMBA además se concentran funciones de todo orden y jerarquía, así como la producción industrial.

Hacia el interior de la región, aún perduran los suelos de mayor productividad agrícola del país, hoy cubiertos casi completamente por cultivos. Desde el punto de vista productivo, las actividades dominantes de la región son el turismo, la siderurgia, el sector químico y

petroquímico, la textil e indumentaria y la industria del software. A su vez se encuentran las industrias automotrices y autopartes, siderurgia y biocombustibles, entre otras (Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública, 2016). Según la Dirección Provincial de Estadística de la Provincia de Buenos Aires, el producto bruto geográfico de Merlo en el 2003 fue de 1.039.814.000 USD.

8.4 Identificación y evaluación de impactos ambientales

8.4.1 Identificación

Para realizar una correcta evaluación de aspectos e impactos ambientales, se debe primero identificar cuáles son las actividades y acciones que tendrán un impacto asociado. De esta manera, pueden tomarse medidas preventivas que permitan minimizar el impacto negativo sobre los medios bióticos, abióticos y antrópicos. Una vez reconocidos y analizados los impactos de las acciones antrópicas en cada etapa del proyecto, se procederá a hacer un análisis de riesgo y plan de gestión adecuado.

Posibles impactos sobre el ambiente

Algunos de los posibles impactos que pueden llegar a generarse durante la llevada a cabo del proyecto son:

- Generación de ruidos que molesten a vecinos o la flora y fauna.
- Contaminación debido a emisión de gases y material particulado.
- Erosión de los suelos, pérdida de impermeabilidad y cambios relacionados con el valor biológico del suelo.
- Contaminación de aguas debido a efluentes generados.
- Discontinuidad del hábitat de la flora y fauna local.
- Contaminación de aguas y suelos debido a residuos producidos mal gestionados.

Acciones potencialmente generadoras de impactos

A continuación, en la tabla 30 se enlistan algunas de las actividades que pueden llegar a generar los impactos mencionados en cada una de las etapas del proyecto.

Tabla 30: Acciones que potencialmente pueden generar impactos al medio físico biológico y/o antrópico.

Construcción	Operación	Cierre
Construcción de caminos	Operación	Relleno del terreno deprimido
Despalme y desmonte	Mantenimiento	Revegetación y reforestación
Transporte de materiales	Limpieza	Desmantelamiento de instalaciones
Construcción de obras		

Factores potencialmente impactados

Dentro de los medios biológicos, físicos y antrópicos existen varios factores que pueden verse afectados a lo largo del proyecto debido a las acciones mencionadas anteriormente. En la tabla 31 se detallan los factores correspondientes a cada medio.

Tabla 31: Factores posiblemente impactados para los medios físicos, biológicos y antrópicos.

Físico		Biológico		Antrópico	
Aire	Ruido	Flora	Cobertura	Economía	Empleo local
	Calidad				Crecimiento económico
	Gases de efecto invernadero				
Suelo	Compactación	Fauna	Fragmentación de corredores biológicos	Socio-cultural	Cambio de paisajes
	Erosión				
	Calidad				Generación de accesos viales
	Morfología				
Agua	Calidad	Fauna	Biodiversidad	Socio-cultural	Generación de accesos viales
	Consumo				
	Morfología hidrográfica				

8.4.2 Metodología

La matriz de impactos permite determinar si una acción desarrollada a lo largo del proyecto tendrá un efecto negativo o positivo y cuál será su magnitud. Para determinar esto, es importante tener en cuenta la línea de base ya desarrollada, dado que un impacto será positivo o negativo dependiendo del punto de partida.

La matriz presenta las actividades realizadas en forma de columnas y los factores afectados en forma de filas. El valor para una columna y fila dados representa si el impacto es positivo o negativo y cuál es su magnitud.

El impacto se calculó en base a la ecuación 7.1 que se muestra a continuación.

$$I = \text{Signo} \times (3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad \text{Ecuación 7.1}$$

A continuación se describen los parámetros que componen el cálculo del impacto:

Signo (+/-): Indica si el impacto será beneficioso (+) o perjudicial (-).

Intensidad (i): Indica cuán destructivo será el impacto, siendo un mayor valor una destrucción más severa y un valor menor una menor afectación.

Extensión (EX): Una mayor extensión significa un área afectada mayor.

Momento (MO): Indica el tiempo de retardo entre la acción y su impacto asociado. Mientras menor sea el tiempo de retardo, mayor será el valor de momento debido a que el impacto será más crítico.

Persistencia (PE): Período de permanencia del impacto asociado. El valor de persistencia será mayor para impactos de plazos mayores.

Reversibilidad (RE): Representa la factibilidad de recuperación del estado inicial del medio sin participación antrópica.

Sinergia (SI): Indica si hay un incremento del impacto, producto de la interacción entre dos factores que actúan conjuntamente.

Acumulación (AC): Indica si el impacto puede agravarse debido a la continuidad de la actividad que genera el impacto.

Efecto (EF): Determina si se trata de un impacto directo o indirecto.

Periodicidad (PR): Indica la frecuencia de ocurrencia de la actividad que genera impacto.

Recuperabilidad (MC): Representa la factibilidad de recuperación del estado inicial del medio con intervención antrópica.

En la tabla 32 se detallan los posibles valores de los parámetros recién descritos y sus significados.

Tabla 32: Parámetros del cálculo del impacto con sus significados y posibles valores.

Parámetro	Significado	Valor	Parámetro	Significado	Valor
Signo	Beneficioso	+	Efecto	Indirecto	1
	Perjudicial	-		Directo	4
Intensidad	Baja	1	Extensión	Puntual	1
	Media	2		Parcial	2
	Alta	3		Extenso	4
	Muy alta	8		Total	8
	Total	12		Crítico	12
Resistencia	Fugaz	1	Reversibilidad	Corto plazo	1
	Temporal	2		Mediano plazo	2
	Permanente	4		Irreversible	4
Sinergia	Nulo	1	Periodicidad	Irregular	1
	Sinérgico	2		Periodico	2

	Muy sinérgico	4		Continuo	4
Momento	Largo plazo	1	Recuperabilidad	Inmediato	1
	Mediano plazo	2		Medio plazo	2
	Inmediato	4		Mitigable	8
	Crítico	8		Irrecuperable	10
Acumulación	Simple	1			
	Acumulativo	4			

Los valores de los impactos obtenidos fueron clasificados en los siguientes grupos que se detallan en la tabla 33.

Tabla 33: Grupos asignados a cada intervalo de valores de impacto.

Grupo	Valor de impacto
$0 < I$	Positivo
$-51 < I < 0$	Leve
$-80 < I < -51$	Medio
$I < -80$	Alto

8.4.3 Matriz

A continuación, se presenta la matriz de impacto realizada. A partir de esta matriz de impacto se describen cuáles son las actividades con mayor impacto de cada etapa del proyecto.

				Acciones del proyecto										Valor medio
				Construcción				Operación			Cierre			
				Construcción de caminos	Despalme y desmonte	Transporte de materiales	Construcción de obras	Operación	Mantenimiento	Limpieza	Desmantelamiento de instalaciones	Relleno del terreno deprimido	Revegetación y reforestación	
Factores Ambiental	Físico	Aire	Ruido	-27	-24	-17	-30	-55	-18	-13	-23	-23		-26
			Calidad	-25	-27	-17	-22	-37			-28	-28		-26
			GEIs	-22	-17	-17	-19	-26			-24	-24		-21
		Suelo	Compactación	-24	-43	-17	-57	-81			-40	-22		-41
			Erosión	-22	-33	-17	-55	-35			-38	+	+	-33
			Calidad	-34	-31	-17	-34	-33				+	+	-30
			Morfología	-27	-34	-17	-83	-57			-20	+	+	-40
		Agua	Calidad							-17			+	-17
			Consumo	-13			-13			-14	-13			-13
			Morfología hidrográfica	-23	-25							+		-24
	Importancia media			-24	-29	-17	-39	-46	-18	-15	-27	-24		-27
	Biológico	Flora	Cobertura	-30	-34		-23				-20		+	-27
			Fragmentación	-27	-29	-20	-23	-24					+	-25
		Fauna	Biodiversidad	-26	-34			-26			-17		+	-26
			Importancia media			-28	-32	-20	-23			-19		
	Antrópico	Economía	Empleo local	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
			Crecimiento económico	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Socio-cultural	Cambio de paisajes		-17		-23	-42		-23	-20	+	+	-25
			Accesos viales	+										+
		Importancia media				-17		-23	-42		-23	-20		
Valor medio por acción			-25	-29	-17	-35	-42	-18	-17	-24	-24	+	-26	

Construcción

Durante la etapa constructiva se ven afectados tanto el aire como el suelo y el agua. La calidad del aire se verá afectada por el polvo suspendido en el aire, producido por todo el movimiento y manejo de tierra.

El suelo será el medio más impactado de esta etapa debido a la compactación y erosión resultantes del movimiento de suelos y movimiento de las maquinarias y elementos necesarios.

El medio biológico será levemente afectado debido al ruido producido. Este ruido afectará el entorno natural de las especies allí presentes generando una fragmentación del ambiente. Los caminos creados apoyaran a esta fragmentación y la vegetación será removida para poder dar lugar a estas construcciones.

El medio antrópico se verá favorecido por la generación de trabajo y el crecimiento económico que eso significa para Mariano Acosta. Sin embargo, todas las actividades durante la etapa de construcción afectan el paisaje de la zona previa al desarrollo del proyecto por lo que esto implica un impacto negativo.

Operación

Los impactos de la etapa operativa se encuentran principalmente relacionados con el ruido generado por las maquinarias utilizadas durante la producción de espirulina y durante el tratamiento del efluente, así como olores que pueden ser generados por una incorrecta operación de los tratamientos biológicos.

A su vez, la puesta en marcha de las lagunas logrará la compactación de los suelos donde se realizó el movimiento de suelos para la instalación de las mismas. El peso de la columna de agua que habrá sobre los suelos logrará una compactación y erosión sobre estos suelos.

Como en la etapa anterior el medio socioeconómico se verá beneficiado por la generación de empleo, en este caso permanente.

Cierre

Cabe destacar que en principio no se pronostica una etapa de cierre, sino que es más factible hablar de una re-proyección de la planta operativa. Sin embargo, es necesario planear una posible etapa de cierre en caso de que sea necesario concluir por alguna razón la etapa operativa.

Los impactos negativos de la etapa de cierre son similares a la etapa de construcción en la medida en la que se afecta levemente el suelo y el aire debido al movimiento de materiales y ruido. Consecuentemente la fauna y flora se verán afectados de una manera similar. Sin embargo, las últimas dos etapas del cierre generarán un impacto positivo en el suelo dado que se debe realizar un relleno parcial de las extracciones efectuadas, mejorando así la calidad del suelo y su morfología. Además, gracias a la revegetación se logrará una mejora en la flora y la zona podrá ser recuperada por la fauna preexistente.

Como las anteriores etapas, el cierre genera un impacto positivo en la generación de trabajo y en la economía local y a su vez, se mejoran los paisajes dando lugar a un impacto positivo del factor socio-cultural.

8.5 Análisis de riesgos

En esta sección se realiza la identificación y evaluación de los posibles riesgos asociados al proyecto. La cuantificación de estos riesgos se calculó a partir de la probabilidad de ocurrencia y el potencial de impacto de cada riesgo asociado. Estos riesgos fueron categorizados como aceptables, tolerables o inaceptables dependiendo del resultado de la probabilidad de ocurrencia multiplicado por el potencial de impacto.

A continuación, en la tabla 34 se detallan los posibles valores de probabilidad de un evento y en la tabla 35 los valores de potencial de impacto. Por último, en la figura 55 se pueden ver las categorías de riesgo dependientes de probabilidad de impacto y daño asociado.

Tabla 34: Valores de probabilidad de ocurrencia y tabla 35: Valores de potencial de impacto.

Ocurrencia	Probabilidad	Impacto	valor
Frecuente	1	Grave irreversible	5
Moderada	0,8	Grave reversible	4
Ocasional	0,6	Alta	3
Remota	0,4	Media	2
Improbable	0,2	Leve	1
Imposible	0,1	Nula	0

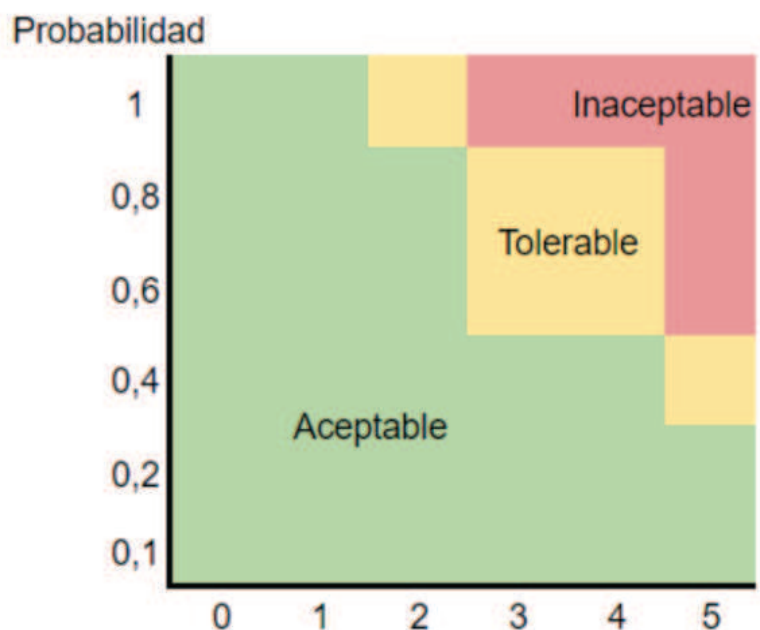


Figura 55: Categorización de riesgo en función del tipo de impacto y su probabilidad asociada (Fuente: Elaboración propia).

A continuación, en la tabla 36 se muestra la tabla de análisis de riesgo realizada.

Tabla 36: Análisis de riesgos del proyecto.

Incidente	riesgo		
	Probabilidad	Magnitud	P x M
Incendio	0,4	5	2
Explosión	0,2	4	0,8
Derrame	0,6	3	1,8
Accidente laboral	0,4	4	1,6
Deslizamiento de tierra	0,2	5	1
Accidente vehicular	0,2	2	0,4
Inundación	0,8	5	4

8.6 Plan de prevención y mitigación

Las medidas de mitigación ambiental, constituyen el conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales negativos que deben acompañar el desarrollo de un proyecto, a fin de asegurar el uso sostenible de los recursos naturales involucrados y la protección del medio ambiente (AETOS, 2013).

En base a la evaluación efectuada, las medidas que se analizan a continuación, implican acciones tendientes fundamentalmente a controlar las situaciones indeseadas que se producen durante la construcción, operación y cierre de las obras:

- Incorporar a la construcción, operación y cierre todos los aspectos normativos y reglamentarios establecidos por la legislación vigente mencionada relativos a la protección del ambiente.
- Realizar capacitaciones tanto a los trabajadores de la construcción como a los gerentes y administradores del proyecto respecto a los problemas ambientales esperados, implementación y control de medidas de protección ambiental y normativas y reglamentaciones ambientales aplicables a las actividades a realizar.
- Construir un programa de actividades de coordinación que minimice efectos indeseados para el ambiente. Este programa debe incluir planificación de obradores, secuencias de construcción, técnicas de excavación y construcción, correcto manejo de la planta, etc.
- Realizar un cronograma de responsabilidades específicas al personal respecto a la implementación, operación, monitoreo y control de las medidas de mitigación.
- Elaborar planes de contingencia para situaciones de emergencia que puedan ocurrir y tener consecuencias ambientales significativas.

A continuación, en la tabla 37, se resumen las principales acciones y medidas de mitigación recomendadas:

Tabla 37: Acciones y medidas de mitigación recomendadas.

Etapa	Acción	Impacto	Tipo	Medidas	Objetivo
Generales	Generales	Calidad y erosión de suelos	Preventiva	Selección de sitios de construcción adecuados	Elección de zona de menor impacto
		Aire	Preventiva	Utilización de silenciadores para máquinas	Reducir ruido para minimizar impacto a la fauna local y vecinos
		Fragmentación y biodiversidad	Preventiva	Señalización de caminos para operarios	Evitar el movimiento de personal innecesario en corredores biológicos
		Fragmentación, Ruido, Calidad de Aire y Suelo	Preventiva	Capacitaciones sobre el medio ambiente	Concientizar a los operarios, gerentes y administrativos que trabajan en el proyecto
		Calidad de agua	Correctiva	Tratamiento de efluentes cloacales y de producción	Restablecer la calidad original del agua utilizada. Minimizar consumo de agua.
		Aire	Correctiva	Riego de superficies	Minimizar el material particulado suspendido en el aire
Construcción	Despalme y desmonte	Generación de residuos	Correctiva	Almacenamiento y construcción de terraplenes para lagunas	Utilización de este material para relleno de excavaciones realizadas durante la extracción y para construcción de terraplenes
	Construcción de caminos y estructuras	Ruido, Paisajes	Correctiva	Construcción de bermas alrededor del sitio de la cantera a partir del material removido y paredes móviles anti-inundación	Evitar propagación de ruido e impacto negativo al paisaje previamente existente

Operación	Silenciadores para maquinaria	Aire	Correctiva	Utilizado de silenciadores donde puedan ser aplicados	Disminuir el ruido generado por bombas, vibradores secantes, tamices y otras maquinarias
	Correcta operación de tratamientos biológicos	Aire	Preventiva	Correcta gestión de la operación de lodos activos y unidades con potencial generación de olores	Minimizar y/o mitigar completamente la generación de olores molestos por parte de las unidades biológicas
	Construcción de muros anti-inundación	Agua	Preventiva	Cercamiento de terreno con murallas anti-inundación	Prevenir el derrame de químicos debido a inundaciones
	Humectación de zonas secas	Aire	Preventiva	Humectación de suelos y otras superficies que pueden suspender material particulado	Minimizar el impacto generado por la suspensión de PM10 en la atmósfera
	Reutilización de agua tratada	Agua	Correctiva	Reutilización de agua tratada en todos los procesos donde sea posible	Minimizar el consumo de agua
Cierre	Desmantelamiento de estructuras	Aire y Suelo	Correctiva	Almacenamiento de estructuras desmanteladas	Utilización de este material para relleno de excavaciones realizadas durante la construcción
	Relleno de excavaciones	Suelo	Compensativa	Utilización de material almacenado en otras actividades del proyecto	Restablecimiento de morfología original
	Revegetación	Suelo, Fauna, Flora y Paisajes	Compensativa	Plantado de especies nativas	Restablecimiento de fauna y flora local. Embellecimiento de área utilizada.

8.7 Plan de seguimiento y monitoreo

El monitoreo o seguimiento es una función periódica que implica la recopilación sistemática de datos por medio de indicadores; esto permite la comparación entre las acciones planificadas y las acciones ejecutadas en un periodo determinado. Mediante el monitoreo y seguimiento lo que se pretende es seguir el pulso al avance en el logro de los objetivos propuestos en el plan de tal modo que se puedan realizar medidas correctivas o de mejora (Granados, 2015). El plan de seguimiento y monitoreo ambiental tiene por finalidad asegurar que las variables ambientales relevantes evolucionen según lo establecido en la documentación que forma parte de la evaluación respectiva.

De esta manera, a continuación, en la tabla 38 se presentan las medidas, frecuencias de control, indicadores y descripción del plan de seguimiento y monitoreo ambiental.

Tabla 38: Plan de seguimiento y monitoreo propuesto.

Medida	Frecuencia	Indicador	Descripción
Medición de ruido en el ambiente	Bimensual	dB medido	Monitoreo de ruido producido por la obra de manera de no sobrepasar los límites propuestos
Medición de calidad de Aire	Mensual	ICA (Índice de Calidad del Aire)	Medición de material particulado en el aire de manera de no sobrepasar los límites propuestos
Medición de Índice de Calidad de Agua	Semanal	Sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO, DQO, pH, SO_4^{2-} , N, Grasas y Aceites	Análisis fisicoquímico de parámetros descritos para procurar no superar los límites de vuelco
Mantenimiento de los vehículos y maquinaria	Bimestral	Control técnico y mecánico de los vehículos y maquinaria utilizados	Chequeo de maquinarias utilizadas de manera de evitar accidentes, ruidos y emisiones indeseadas
Medición de calidad de suelo	Bianual	Densidad, infiltración y materia orgánica	Medición de parámetros indicadores de calidad de suelo en la zona de extracción
Seguimiento de cronograma de actividades	Bimensual	Cantidad de tareas realizadas sobre el total de tareas a realizar	Permitirá identificar en qué tareas se está demorando más de lo que se debería para tomar acción inmediata

8.8 Conclusiones

A partir de la matriz de impactos realizada se puede concluir que los mayores impactos del proyecto suceden durante la construcción de la obra, impactando a la morfología de la zona de emplazamiento. Durante esta etapa también sucede una considerable erosión y compactación del suelo. Todo esto se encuentra relacionado con el movimiento de suelos para la construcción de instalaciones y lagunas. Durante la etapa operativa continúa sucediendo la compactación y el cambio en la morfología del suelo debido a la puesta en marcha de las lagunas. Estos impactos pueden mitigarse en el cierre de obra ya que el suelo removido será utilizado para la construcción de las revanchas de las lagunas. De esta manera, durante el cierre de obra puede utilizarse este mismo suelo para restablecer la morfología original.

Otros impactos negativos mencionables son la generación de ruido durante la etapa constructiva y sobre todo durante la etapa operativa producida por las maquinarias. Esto puede ser mitigado en alguna medida utilizando silenciadores.

Como impactos positivos se ve una generación de trabajo local que impulsa la economía favoreciendo a varios proveedores de servicios de Mariano Acosta, así como a los residentes.

Se concluye a partir de esta evaluación de impacto ambiental, que teniendo en cuenta las medidas mencionadas en el plan de prevención y mitigación, y realizando correctamente el plan de seguimiento y monitoreo propuesto, el proyecto “Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria curtidora vegetal” es ambientalmente viable.

Conclusiones generales del proyecto

El proceso productivo de la industria de curtición vegetal de Oderot S.A. genera efluentes altamente contaminantes. Para poder realizar el vuelco de estos efluentes cumpliendo la normativa vigente, fue necesario diseñar un proceso que logre eliminar esta carga contaminante. Particularmente, fue necesario realizar el diseño de una planta de tratamiento que permita eliminar la carga de sólidos suspendidos, nitrógeno, sulfuros, DBO y DQO de manera que estos parámetros cumplan con la normativa vigente para poder volcar el efluente generado al Rio Reconquista.

Se realizó el diseño de un pretratamiento, tratamiento primario, 2 alternativas de tratamiento secundario y un tratamiento terciario. Se realizaron los cálculos y presupuestos de manera de poder seleccionar la alternativa de tratamiento secundario más viable en términos económicos y operativos.

Finalmente, el tratamiento de efluentes seleccionado para lograr la correcta gestión de los residuos líquidos generados por Oderot S.A. consta de un pretratamiento de rejillas automáticas, continuando por un tamiz rotativo y terminando en un ecualizador aireado. El tratamiento primario se realiza mediante una sedimentación asistida por coagulación/floculación. El tratamiento secundario es realizado mediante un tren de lagunas anaeróbica-facultativa-aerobia. Por último, el tratamiento terciario es realizado mediante una cámara laberíntica de cloración.

Dado que el efluente presenta características puntuales que permiten el crecimiento casi monoespecífico del alga comestible *Espirulina*, se aprovechó esta oportunidad de manera de convertir el efluente de la planta curtidora en el insumo para una planta productora y de concentración de *Espirulina*. Se informó cuáles son las unidades necesarias para lograr esta planta de producción y se informó la potencial ganancia adoptando un precio de venta y un costo de inversión inicial y de operación.

Una vez diseñada la planta de tratamiento y la planta de concentración de *Espirulina*, se desarrolló una evaluación de impacto ambiental en donde detallaron los mayores impactos del proyecto y se evaluaron medidas de mitigación para reducir o eliminar los impactos asociados al proyecto. Finalmente, se determinó que el proyecto es ambientalmente viable.

Se realizó exitosamente un estudio bibliográfico y climatológico sobre datos meteorológicos de los últimos 60 años en la región de estudio. Se informaron eventos climáticos extremos como precipitaciones, sequías y olas de calor y se mencionó como estos eventos afectan a plantas de tratamiento de efluentes. Por último, se desarrolló un informe sobre medidas de mitigación ante estos eventos climáticos extremos.

Bibliografía

- European Algae Biomass Association. (2019). *Spirulina Market by Distribution Channel (Consumer Channel, Business Channel), Product Type (Powder, Tablets, Capsules, Flakes, Phycocyanin Extract), and Application (Nutraceuticals, Food & Beverages, Agriculture, Animal Feed)- Global Forecast to 2025*. Italy: Meticulous Research.
- Agha Kouchak, A., Cheng, L., Mazdiyasni, O., & Farahmand, A. (2014). *Global warming and changes in risk of concurrent climate extremes: Insights from the 2014 California drought*. Journal of Geophysical Research.
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017). *Regionalization of climate over the Argentine Pampas*. . Buenos Aires: International Journal of Climatology.
- Amarilla, R., Bachiega, D., Brea, D., Carner, J., Cielli, P., Dias, R., . . . Mauriño, M. (2013). *Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada*. La Plata: Facultad de Ingeniería de La Plata.
- Aquim, P., Mariliz, G., & Trierweiler, J. (2010). Assessment of water management in tanneries.
- Barros, V. (2006). *Adaptation to Climate Trends: Lessons from the Argentine Experience*. Buenos Aires.
- Barros, V., Menéndez, A., Natenzon, C., Kokot, R., Codignotto, J., Ré, M., . . . Ríos, D. (2006). *Climate Change Vulnerability to floods in the metropolitan region of Buenos Aires City*. Buenos Aires: AIACC.
- Bruinsma, J. (2003). *World agriculture: towards 2015/2030 An FAO perspective*. Londres: Earthscan.
- Defensoría del Pueblo de la Nación. (2007). *Informe especial Cuenca del Río Reconquista - Primera Parte*. Buenos Aires.
- Del Valle Pantojo, A. (2006). Apuntes sobre la elaboración de cuero y su historia: Noticias sobre una fábrica de curtir pieles en Algeciras. *Eúphoros*, 21-34.
- Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. K., Allen, S. K., . . . Midgley, P. M. (2012). *“Resumen para responsables de políticas” en el Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Cambridge: IPCC.
- Doyle, M., Saurral, R., & Barros, V. (2012). *Trends in the Distributions of Aggregated Monthly Precipitation over the Plata Basin*. Buenos Aires: Journal of Climatology.
- Eckenfelder, W. W. (2001). *Industrial Water Pollution Control*. McGraw-Hill Companies.
- Garriz, C. A. (2001). *EL CUERO COMO SUBPRODUCTO GANADERO*. Córdoba: Boletín del Centro de Consignatarios Directos de Hacienda.
- Holman, B., & Malau, A. (2012). *Spirulina as a livestock supplement and animal feed*. Journal of animal physiology and animal nutrition.
- Janches, F., Henderson, H., & MacColman, L. (2014). *Riesgo urbano y adaptación al cambio climático en la Cuenca del Río Reconquista en Argentina*. Massachusetts: Lincoln Institute of Land Policy.
- Langeveld, J. G., Schilperoort, R. P., & Weijers, S. R. (2013). *Climate change and urban wastewater infrastructure: There is more to explore*. . Holanda: Journal of Hydrology.
- Laurenti, R., Redwood, M., Puig, R., & Frostell, B. (2016). Measuring the Environmental Footprint of Leather Processing Technologies. *Journal of Industrial Ecology*.
- León, R. (1991). *Natural Grasslands: Introduction and Western Hemisphere*. . Amsterdam, : Elsevier.
- Lezama, M. (2016). *Factibilidad técnica y económica de la producción de spirulina*. Buenos Aires: ITBA.

- MAHI. (2019). *mahileather*. Retrieved from <https://mahileather.com/blogs/news/the-global-leather-industry>
- Mehotra, S., Natenzon, C., Omojola, A., Folorunsho, R., Gilbride, J., & C., R. (2009). Framework for City Climate Risk Assessment. *Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda*. Marseille.
- Mehotra, S., Natenzon, C. E., Omojola, A., Folorunsho, R., Gilbride, J., & Rosenzweig, C. (2009). *Framework for City Climate Risk Assessment*. Marseille: World Bank Commissioned Research.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and reuse (Fourth Edition)*.
- Pereyra, F. X. (2004). *Geología urbana del área metropolitana bonaerense (AMBA), Argentina y su influencia en la problemática ambiental*. Buenos Aires: DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y APLICADA.
- Plósz, B. G., Liltved, H., & Ratnaweera, H. (2009). *Climate change impacts on activated sludge wastewater treatment: a case study from Norway*. . Noruega: Water Science and Technology.
- Re, M., Saurral, R., & Barros, V. (2005). *Precipitaciones extremas en la Argentina: Tendencias y Cambio Climático*.
- Rodriguez Becerra, S. (1985). Orígenes y estado actual de la Etnología y el Folklore en cáldiz. Sevilla.
- Rose, P., & Dunn, K. (2013). A high rate ponding unit operation linking treatment of tannery effluent and Arthrospira (Spirulina) biomass production. 1: Process development. *Biomass and Bioenergy*, 183-188.
- S. I. (2015). *Tercera Comunicación Nacional*. Buenos Aires.
- S. I. (2016). *SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DE LOS COMPLEJOS PRODUCTIVOS EN ARGENTINA*.
- Salas, G. C. (2005). ELIMINACIÓN DE SULFUROS POR OXIDACIÓN EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE UNA CURTIEMBRE. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*.
- Scarpatti, O. E., & Capriolo, A. D. (2013). *Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal*. Ciudad de México: Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., . . . Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* (pp. 109-230). Cambridge: IPCC.
- Suárez, J., Jácome, A., & Rodríguez, P. (2013). *DECANTACIÓN PRIMARIA CONVENCIONAL*. Coruña: Universidad de Coruña.
- Tonni, E. P. (2003). Faunas Y Clima En El Cuaternario de La Mesopotamia Argentina.
- Trucco, J. F. (1949). *La industria del cuero*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Economicas, UBA.
- U.S. Department of Agriculture, A. (2020). Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html?query=170495#/>
- Umar, M., Ibrahim, M., Mustapha, M. B., Mohammed, I. B., Tashi, U., Obafemi, A., & Ahmad, G. (2017). Physicochemical Analysis and Microbiological Assessment of Tannery Effluent Discharged from Tanneries around Nigeria's Kano Industrial Estates. *Journal of Advances in Microbiology*, 1-12.
- United Nations Industrial Development Organization. (2010). *Future Trends in the World Leather*. Vienna: UNIDO.

- United Nations Industrial Development Organization. (2016). *Pollutants in tannery effluents: Sources, description environmental impact*. UNIDO.
- Viglizzo, E., Frank, F., & Carreño, L. (2006). La situación ambiental en las ecoregiones pampas y campos y malezales. In *La situación ambiental argentina 2005*. Buenos Aires: FVS Argentina.
- World Health Organization. (2011). *Guidance on Water Supply and Sanitation In Extreme Weather Events*. Copenhagen: United Nations.
- World Meteorological Organization. (2011). *Guide to Climatological Practices*. Geneva.
- Wuebbles, D., Hibbard, K., Dokken, D., Stewart, B., & Maycock, T. (2017). *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I*. Washington: USGCRP.
- Yoon, J. H., Wang, S. Y., Gillies, R. R., Hipps, L., Kravitz, B., & Rasch, P. J. (2015). *Causal influence of anthropogenic forcings on the Argentinean heat wave of December 2013*.
- Zarate, R. V. (1995). *Estudios de Sedimentacion de Lodos Secundarios de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales del Estado de Nuevo Leon*. Monterrey: Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Facultad de Ingeniería Civil.

Glosario, datos útiles, tablas y anexos

ANEXO I: Tamiz rotativo Balik GT 2055



Model	Capacity	Motor Power (KW)	Drum Diameter (mm)	Drum Length (mm)	Screen hole size (mm)	Dimension Size (mm)	Weight (KG)
GT1015	10-15	4.0	1000	1500	<3-10	3000*1400*2145	2200
GT1020	15-25	5.5	1000	2000	<3-10	3460*1400*2145	2800
GT1225	25-40	7.5	1200	2500	<3-10	4146*1600*2680	4200
GT1530	60-80	11	1500	3000	<3-10	4460*1900*2820	5100
GT1545	80-150	15	1500	4500	<3-10	5960*1900*3080	6000
GT1848	150-200	22	1800	4800	<3-10	6500*2300*4000	7500
GT2055	200-260	30	2000	5500	<3-10	7500*2500*4000	8600

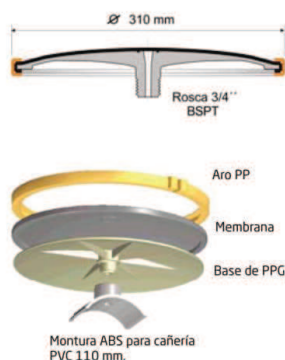
ANEXO II: Difusor burbuja fina RG-300

**REPICKY**

Información Técnica

Los difusores de membrana Repicky se fabrican en dos versiones, de burbuja fina y de burbuja gruesa.

Los primeros, modelo RG-300 con miles de microperforaciones, permiten obtener valores muy altos de transferencia de O_2 siendo ideales para su instalación en los reactores aeróbicos de las plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales.



Para otros diámetros o materiales de cañerías consultar el tipo de adaptador.

Por otra parte los difusores de burbuja gruesa modelo CB-300, se utilizan en tanques de equalización, digestores aeróbicos y también en cámaras de aireación de efluentes con muy baja demanda de O_2 (DBO).

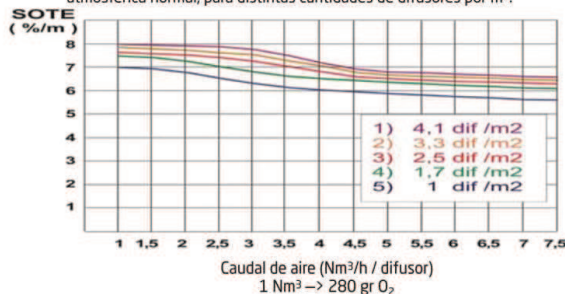
Consulte por nuevos materiales disponibles para su efluente industrial.

Difusor de burbuja fina | RG-300

Rango de caudal:	2 a 8 $Nm^3/hora$
Caudal de diseño:	5 $Nm^3/hora$
Pérdida de carga:	20 mbar para 2 $Nm^3/hora$ 40 mbar para 5 $Nm^3/hora$ 70 mbar para 8 $Nm^3/hora$
Densidad:	1 a 6 difusores/ m^2
SOTE:	15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m^3/h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	2,5 – 6 Kg. O_2/KWh



Transferencia de O_2 para el modelo RG-300 por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor [m^3/h] a 20 °C, agua limpia y presión atmosférica normal, para distintas cantidades de difusores por m^2 .



La membrana de EPDM o Acrilo nitrilo de ambos modelos, permite operar en forma intermitente, sin que ingrese líquido a las cañerías sumergidas facilitando el arranque de los sopladores de aire.

Difusor de burbuja gruesa | CB-300

Rango de caudal:	3 a 25 $Nm^3/hora$
Caudal de diseño:	10 $Nm^3/hora$
Pérdida de carga:	20 mbar para 3 $Nm^3/hora$ 40 mbar para 10 $Nm^3/hora$ 70 mbar para 25 $Nm^3/hora$
Densidad:	0,5 a 3 difusores/ m^2
SOTE:	5,1 gr. (1,8%) a 7,4 gr. (2,6%) por m^3/h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	0,8 – 2 Kg. O_2/KWh



ANEXO III: Tamiz oscilante DZJX S4920-B



Model	Diameter(mm)	Deck	Effective diameter(mm)	Mesh size(mm)	Power(kw)
S494-B	φ400	1-4	φ380	3-500	0.25
S496-B	φ600	1-4	φ560	3-500	0.6
S498-B	φ800	1-4	φ750	3-500	0.6
S4910-B	φ1000	1-4	φ860	3-500	0.8
S4912-B	φ1200	1-4	φ1100	3-500	1.5
S4915-B	φ1500	1-4	φ1450	3-500	2.2
S4918-B	φ1800	1-4	φ1750	3-500	2.5
S4920-B	φ2000	1-4	φ1950	3-500	2.5

Applicable Industries: Hotels, Garment Shops, Building Material Shops, Manufacturi...

Showroom Location: Philippines, Brazil

Machinery Test Re...: Provided

Warranty of core co...: 1 Year

Condition: New

Application: Food Processing

Brand Name: DZJX

Dimension(L*W*H): As per order

Certification: ISO,CE,SGS

After-sales Service: Free spare parts, Online support, Video technical support, Fiel...

Material: Carbon Steel/ Stainless Steel 304/316

Layer(s): 1-4

Rotated speed: 1500rpm

Diameter: 400mm-2000mm

Surface treatment: Mirror Polishing & Sandblast & Paint

Local Service Locat...: Philippines, Brazil

Video outgoing-ins...: Provided

Marketing Type: New Product 2020

Core Components: Motor; BALL

Type: Circular

Place of Origin: Henan, China

Voltage: 110V220V230V380V400V415V440V500V600V50HZ60HZ

Weight: As per model

Warranty: 1 Year

Product name: Wheat flour vibrating screen sieve machine

Motor: Vertical Vibrating Motor

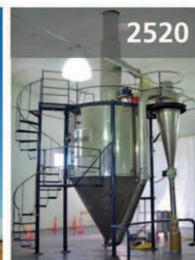
Usage: Fine Particles & powder screening

Model: S494-B ~ S4920-B

Color: Customized

ANEXO IV: Pulverizador Galaxie 4440

Una tecnología
ecológicamente amigable.



Nuestra Empresa

GALAXIE trabaja principalmente fabricando secadores spray estándar, para laboratorios, línea ECO para eliminación de efluentes, spray cooler y equipos especiales con materiales y accesorios de primera calidad. También ayuda a sus clientes con asesoramiento, reforma, modernización y traslado de equipos existentes, brindando facilidades para el ensayo de productos y secado por terceros, alquiler de equipos, adiestramiento de personal y proveyendo equipos auxiliares de acuerdo a cada necesidad.

Proceso de Secado Spray

El secado por atomización (Secado Spray) es el proceso de pulverizar una solución o suspensión en una corriente de aire caliente que los dehidrata en forma casi instantánea. Lo cual presenta grandes ventajas en relación a otro tipo de secados.

Ventajas del Secado Spray

- Alto Rendimiento (proceso rápido, pocos segundos).
- La evaporación de agua contenida refrigera la partícula, permitiendo usar altas temperaturas en el aire de secado sin afectar al producto.
- Proceso continuo y constantemente controlado.
- Homogeneidad de la producción.
- Inmejorable presentación del producto.
- Un solo operario maneja la instalación.
- Fácil Automatización.
- Puede trabajar continuo de 24 horas.

Principales Productos para Secado Spray

SUBPRODUCTOS DE MATADERO: Sangre, plasma, hemoglobina, gelatina, extracto de carne.

HUEVO: Entero, yema y clara de huevo.

ELIMINACIÓN DE EFLUENTES: Aguas de lavado, líquidos con altos DBO y DQO.

SABORES Y AROMAS: Naturales y sintéticos.

CURTIENTES: Tanino vegetal y sintético, compuestos crómicos.

LEVADURA: Levaduras, hidrolizado de proteínas.

MARINOS: Agua de cola de pescado, pulpa.

CATALIZADORES Y COLORANTES: Pigmentos y anilinas orgánicas e inorgánicas.

Especificaciones Técnicas

Aire de Secado Temperatura en °C		Evaporación de Agua	Consumo de Combustible	Consumo Eléctrico	Espacio Requerido
Entrada	Salida	Ltrs/h	KCal/h	Kw/h	Mtrs
Modelo 1612					
180	80	19	24.000	4	3 x 3.50 Alt. 4.80
220	90	25	30.000		
250	100	29	34.000		
350	100	47	49.000		
450	100	64	64.000		
Modelo 2520					
180	80	63	80.000	9	4 x 4.50 Alt. 6.50
220	90	83	100.000		
250	100	97	115.000		
350	100	156	165.000		
450	100	213	215.000		
Modelo 3530					
180	80	190	240.000	30	6 x 6 Alt. 8.50
220	90	250	300.000		
250	100	290	345.000		
350	100	470	495.000		
450	100	640	645.000		
550	100	800	795.000		
Modelo 4440					
180	80	380	480.000	40	6.50 x 7.50 Alt. 11
220	90	500	600.000		
250	100	580	690.000		
350	100	940	990.000		
450	100	1280	1.290.000		
550	100	1600	1.590.000		
Modelo 5240					
180	80	570	720.000	47	7.50 x 9 Alt. 12
220	90	750	900.000		
250	100	870	1.035.000		
350	100	1410	1.485.000		
450	100	1920	1.935.000		
520	100	2400	2.385.000		

Equipos Especiales

Además de los equipos estandar, GALAXIE construye Secadores Spray de acuerdo a las necesidades puntuales de cada cliente.

Aplicaciones: Soluciones, Suspensiones, Emulsiones y Lejías.

Subproductos de Matadero

Sangre, plasma, hemoglobina, gelatina, extracto de carne.

Huevo

Entero, yema y clara de huevo.

Eliminación de Efluentes

Aguas de lavado, líquidos con altos DBO y DQO.

Sabores y Aromas

Naturales y sintéticos.

Leche

Leche entera, desnatada, suero de manteca, suero, crema, crema para helados, alimentos infantiles y dietéticos, crema de queso, leche malteada, leche de cacao, caseinatos, sucedáneos de leche.

Café, Té y Mate

Instantáneos y sucedáneos.

Marinos

Agua de cola de pescado, pulpa.

Levadura

Diversos tipos de levaduras, hidrolizado de proteínas.

Farmacéuticos

Vitaminas, enzimas, antibióticos, suero humano estéril, dextran, extracto de hígado, gomas.

Plásticos

Emulsión de cloruro y acetato polivinílico, de polietileno, melamina, productos de formaldehído de urea y fenol, nitrilo acrílico, resina acrílica.

Detergentes

Para la ropa fina y lavadoras mecánicas (beads) y jabón en polvo mediante spray cooler.

Catalizadores y Colorantes

Pigmentos y anilinas orgánicas e inorgánicas.

Fertilizantes, Herbicidas e Insecticidas

Cerámicos

Arcillas para sanitarios, pisos, paredes, lozas, ferritos, esteatitas, caolín, esmalte, porcelanas.

Minerales

Secado de concentrados.

Química Inorgánica

Compuestos de azufre, arsénico, aluminio, bario, boro, bromo, carbono, cloro, cromo, flúor, hidróxidos, iodo, magnesio, manganeso, molibdeno, nitrógeno, tungsteno, óxidos, fósforo, titanio, uranio y zirconio.

Química Orgánica

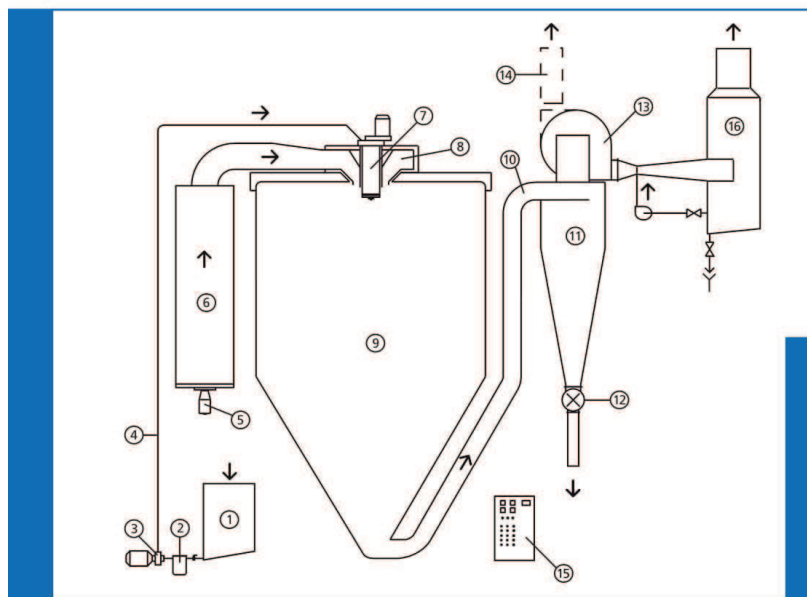
Ftalatos, estearatos, salicilatos, benzoatos, butiratos, gluconatos, lactatos, sacaratos, sorbatos, aminoácidos, ácido salicílico, cítrico, maleico, ascórbico, hidrazina, cloraminas, ureas, otras.

Curtientes

Tanino vegetal y sintético, compuestos crómicos.



Componentes del Secador Spray



1. Tanque de Alimentación
2. Filtro de Producto
3. Bomba Dosificadora
4. Conjunto de cañería, válvulas y accesorios
5. Quemador Completo
6. Generador de Gases Calientes Directo
7. Atomizador Completo
8. Dispersor de Aire Caliente
9. Cámara de Secado con Puerta y Mirillas
10. Conductos de Interconexión
11. Ciclón de Salida de Producto
12. Válvula Rotativa
13. Ventilador de Aspiración
14. Chimenea
15. Tablero de Control y Comando

Opcionales

- Lavador de Gases Efluentes (16)
- Atomizador Auxiliar
- Horno Indirecto
- Aislación Térmica
- Transporte Neumático
- Doble Salida de Producto (pantalón)
- Enfriador de Polvo
- Tolva de Polvo
- Puerta Anti-Explosiva
- Registro de Temperatura
- Automatización
- Lote de Repuestos

Todos los equipos son autoportantes provistos con escalera y plataformas con barandas.



GALAXIE Secado Spray
General Vedia 215
B1872CXE Avellaneda
Buenos Aires - Argentina

Atención al Cliente
+54 11 4204-7019
info@galaxie.com.ar

www.galaxie.com.ar



ANEXO V: Costos y presupuestos

Rejas automáticas



Fuente: www.alibaba.com

plant industri water wastewat treatment coarse screen bar screen for sewage water

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$2,000.00 - \$20,000.00 / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Model Number: QK-GS

Warranty: **1 Year** for machinery warranty **1 Year** for Core Components ⓘ

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)
Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)
More ▾

Trade Assurance protects your Alibaba.com orders

Alibaba.com Freight [Compare Rates](#) [Learn more](#)

Payments: **VISA** **T/T** Online Transfer **Apple Pay** **WesternUnionWU** **Escrow** ▾

Alibaba.com Logistics · Inspection Solutions

Tamiz rotativo



Fuente: www.alibaba.com

Sand Rotary Drum sieve Trommel Screen For Solid Waste Environmental protection Municipal and Industrial Wastewater Treatment

1 - 2 Units	3 - 4 Units	5 - 9 Units	>=10 Units
\$6,900.00	\$6,500.00	\$6,200.00	\$5,800.00

Model Number: GT 0820 GT 1015 GT 1020 GT 1225

GT 1235 GT 1245 GT 1260 GT 1530

GT 1545 GT 1560 GT 1848 **GT 2055**

Other customizable

Power: 4 KW 5.5 KW 7.5 KW 11 KW 15 KW

22 KW 30 KW Other

Dosificador volumétrico



Movacolor color feeders masterbatch dosing plastic vacuum volumetric plastic screw doser mixing machine

>=1 Pieces
\$300.00

Model Number: ST-16

Warranty: **1 Year** for machinery warranty

Lead Time:

Quantity(Pieces)	1 - 200	>200
Est. Time(days)	20	To be negotiated

[Alibaba.com Freight](#) [Compare Rates](#) [Learn more](#)

Payments: [VISA](#) [MasterCard](#) [T/T](#) [Online Transfer](#) [Apple Pay](#) [WesternUnion](#) [WU](#) [Boleto](#)

[View larger image](#)

Fuente: www.alibaba.com

Turbinas de agitación



Ready to Ship **In Stock** **Fast Dispatch**

GEAR FOR MIXER Coagulation and flocculation agitator for fertilizers drinking water treatment and wastewater treatment

1 - 2 Sets	3 - 4 Sets	5 - 99 Sets	>=100 Sets
\$438.00	\$388.00	\$358.00	\$338.00

Model Number: MYJG750W-8-32/220V \$438.00 - 1 +

Warranty: **1 Year** for machinery warranty **1 Year** for Core Components ⓘ

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)
Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)
More ▾

Trade Assurance protects your Alibaba.com orders

Payments: [VISA](#) [MasterCard](#) [T/T](#) [Online Transfer](#) [Apple Pay](#) [WesternUnion](#) [WU](#) [Boleto](#)

[Alibaba.com Logistics](#) [Inspection Solutions](#) [Production View](#) [One-Stop Service](#)

[View larger image](#)



Fuente: www.alibaba.com

Barrido de fondo – Sedimentador primario



[View larger image](#)

Fuente: www.alibaba.com

Sewage treatment rectangular sedimentation tank sludge scraper

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$300.00 - \$5,000.00 / Set | 1 Set/Sets (Min. Order)

Model Number: 152.4

Warranty: **1 Year** for machinery warranty

Trade Assurance protects your Alibaba.com orders

Alibaba.com Freight | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Payments: **VISA** **MasterCard** **T/T** Online Transfer **Apple Pay** **WesternUnion** **WU** **Boleto**

Alibaba.com Logistics | Inspection Solutions

Barrido de fondo – Sedimentador secundario



[View larger image](#)

Fuente: www.alibaba.com

Hot Sale Peripheral Drive Mud Scraper for Scraping and Skimming Mud in The Radial (circular) Sedimentation Tank UAE Indonesia

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$7,500.00 - \$12,000.00 / Unit | 1 Unit/Units (Min. Order)

Model Number: ZBG

Warranty: **1 Year** for machinery warranty

Lead Time?

Quantity(Units)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	35	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. Order: 1 Units)

Graphic customization (Min. Order: 1 Units)

Geomembrana de fondo - Lagunas



good quality geomembrane manufacturer 0.2mm-3.0mm HDPE pond liner
price geomembrane

500 - 999 Square M...	1000 - 4999 Square...	5000 - 9999 Square...	>=10000 Square M...
\$2.30	\$2.20	\$1.80	\$1.55

Material: **HDPE** LDPE Lldpe PVC EVA

Samples: LDPE

\$100.00/Square Meter | 1 Square Meter (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time🕒:

Quantity(Square Meters)	1 - 500	501 - 1000	1001 - 5000	>5000
Est. Time(days)	5	5	4	To be negotiated

Fuente: www.alibaba.com

Antorcha



Biomass Industrial Gas Steam Burner Parts Wholesale Oil Burners Distributors

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$1,000.00 - \$40,000.00 / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Model Number: Burner

Warranty: **1.5 years** for machinery warranty

Samples: Burner

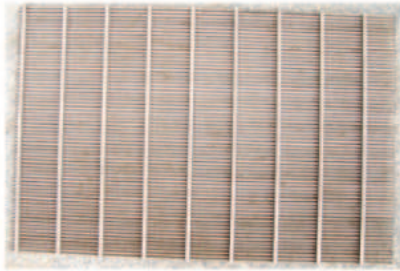
\$1,000.00/Set | 1 Set (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time🕒:

Quantity(Sets)	1 - 10	>10
Est. Time(days)	12	To be negotiated

Fuente: www.alibaba.com

Placa filtrante



53-1100um filter rating aisi316 316L 304 stainless steel wedge wire screen panel for liquid filtration
1 buyer

10 - 499 Pieces	500 - 4999 Pieces	>=5000 Pieces
\$55.00	\$45.00	\$40.56

Model Number: LY-WEDGE WIRE SCREEN

Aperture: 53-1100um

Samples: \$80.36/Piece | 1 Piece (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time:	Quantity(Pieces)	1 - 9000	9001 - 80000	>80000
	Est. Time(days)	15	30	To be negotiated

Fuente: www.alibaba.com

Movimiento de suelos

LOS VALORES CONSIGNADOS SON UN PROMEDIO DE PRECIOS CONSULTADOS EN EL MEDIO A CONTRATISTAS Y MATERIALES PUESTOS EN OBRA A CONSUMIDOR FINAL. PARA UNA VIVIENDA TIPO MEDIA DE 100M2					FEB 22 DE 2021			
	Designación	U	Cant	Precio	Subt	Materiales con IVA + I.B.	MANO OBRA CON 110% CARGAS SOCIALES	TOTAL con CARGA SOCIAL
a	DEMOLICION DE MAMPOSTERIAS	m3					1738.16	1738.16
B	DEMOLICION DE LOSAS DE HºAAº	M2					2896.93	2896.93
1	MOVIMIENTOS DE SUELOS							
1.1	EXCAV. CIMIENTOS y carga de tierra	m3					1531.23	1531.23
1.2	EXCAVACION DE SOTANOS	m3					1531.23	1531.23
1.3	EXCAVACION DE POZOS HASTA 8M	m3					2400.31	2400.31
1.4	RELLENO Y COMPACTACION	m3					1303.62	1303.62

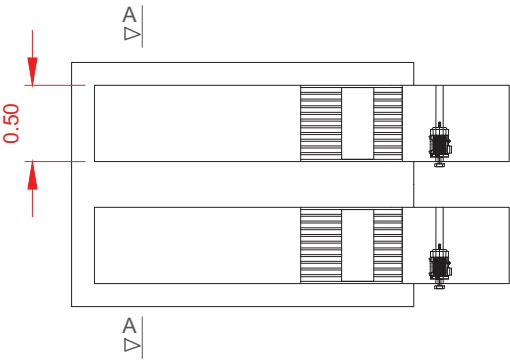
Fuente: <https://aycrevista.com.ar/precios-la-construccion/analisis-de-costos/>

ANEXO VI: Planos

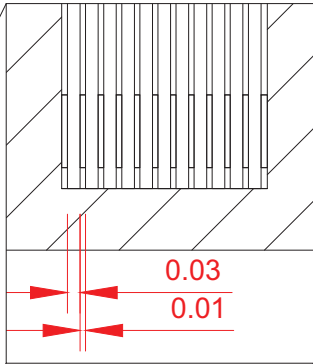
A continuación, se detallan los planos adjuntos al proyecto:

- 01 – Rejas: Vistas y corte del sistema de rejas.
- 02 – Ecualizador: Vistas y corte de unidad de ecualización.
- 03 – Coagulador: Vistas y corte de unidad de coagulación.
- 04 – Floculador: Vistas y corte de unidad de floculación.
- 05 – Sedimentador: Vistas y corte de unidad de sedimentación.
- 06 – Laguna anaerobia: Vistas y corte de laguna anaerobia.
- 07 – Laguna facultativa: Vistas y corte de laguna facultativa.
- 08 – Laguna facultativa: Vistas y corte de laguna aerobia.
- 09 – Desinfección: Vistas y corte de unidad de cloración.
- 10 – Planta: Vista superior de la planta de tratamiento de efluentes.

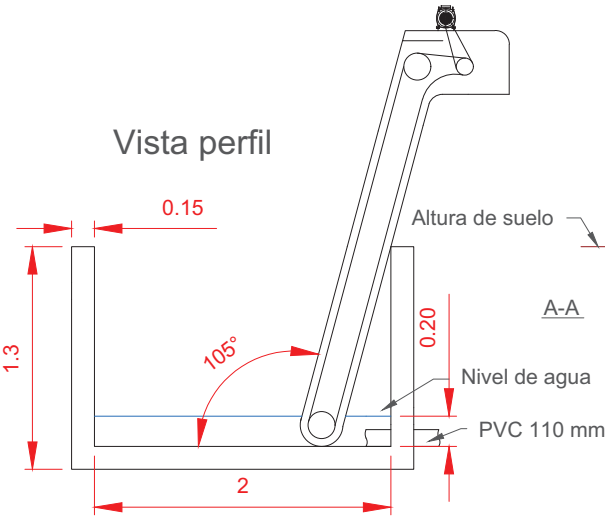
Vista planta



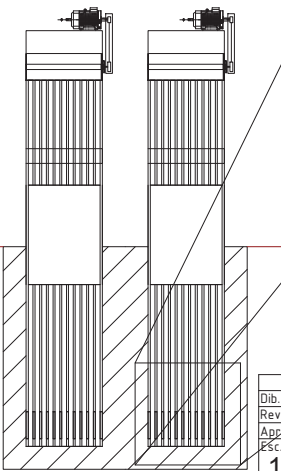
Detalle rejas
Escala 1:100



Vista perfil

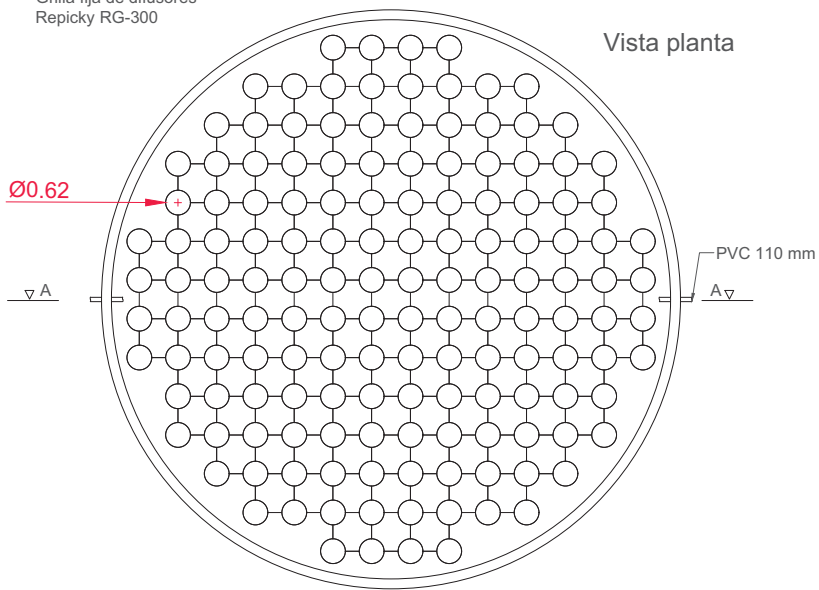
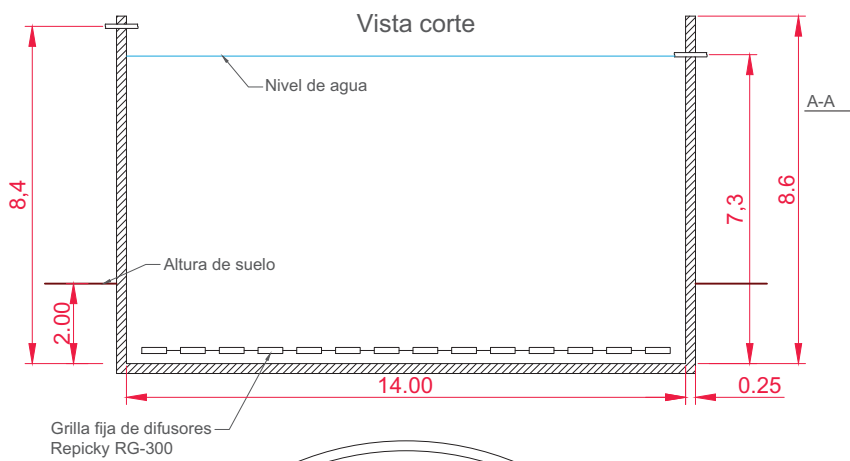


Vista corte



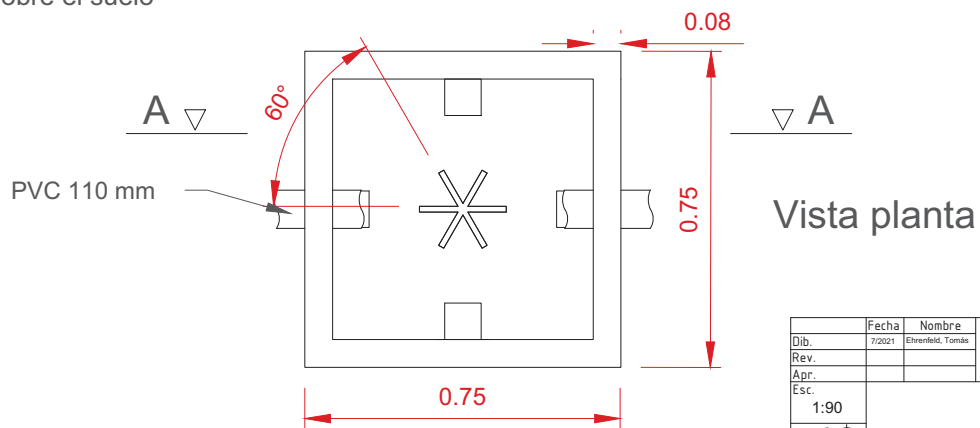
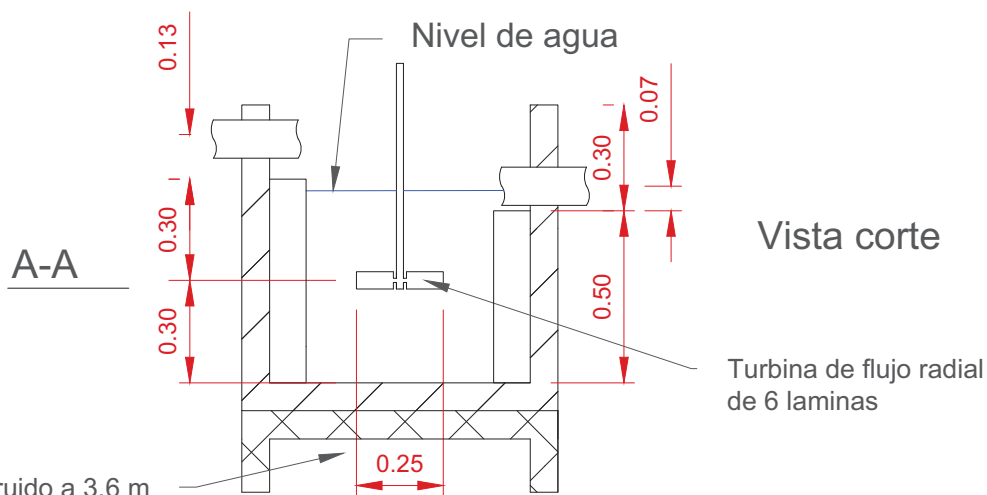
Unidad de referencia: Metros.

Fecha		Nombre		Rejas	
Dib.	7/2021	Ehrenfeld, Tomás			
Rev.					
App.					
Esc.				1:40	
					
Toler.					
Rug.					



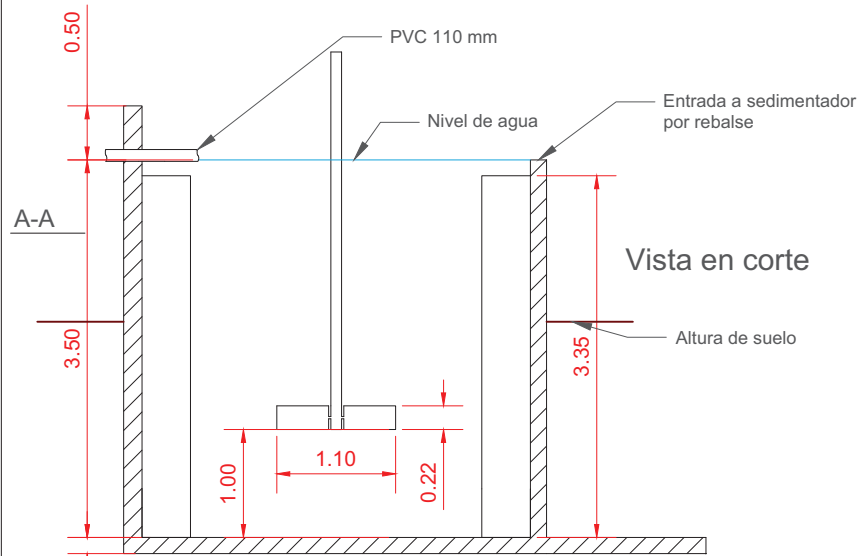
Unidad de referencia: Metros.

Fecha	Nombre	Ecuilizador y oxidación de sulfuros	
Dib.	7/2021		
Rev.	Ehrenfeld, Tomás		
Apr.			
Esc.			
1:10			
Toler. Rug.			

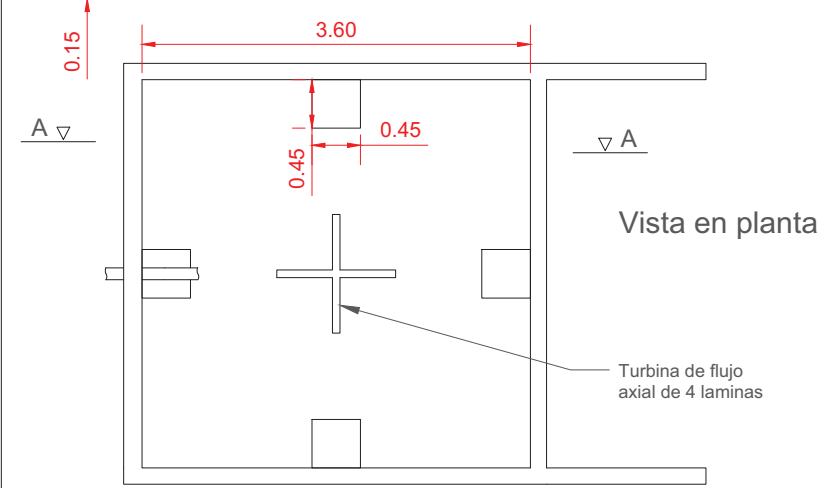


Unidad de referencia: Metros.

	Fecha	Nombre	Coagulador	
Dib.	7/2021	Ehrenfeld, Tomás		
Rev.				
Apr.				
Esc.	1:90			
Toler.				
Rug.				



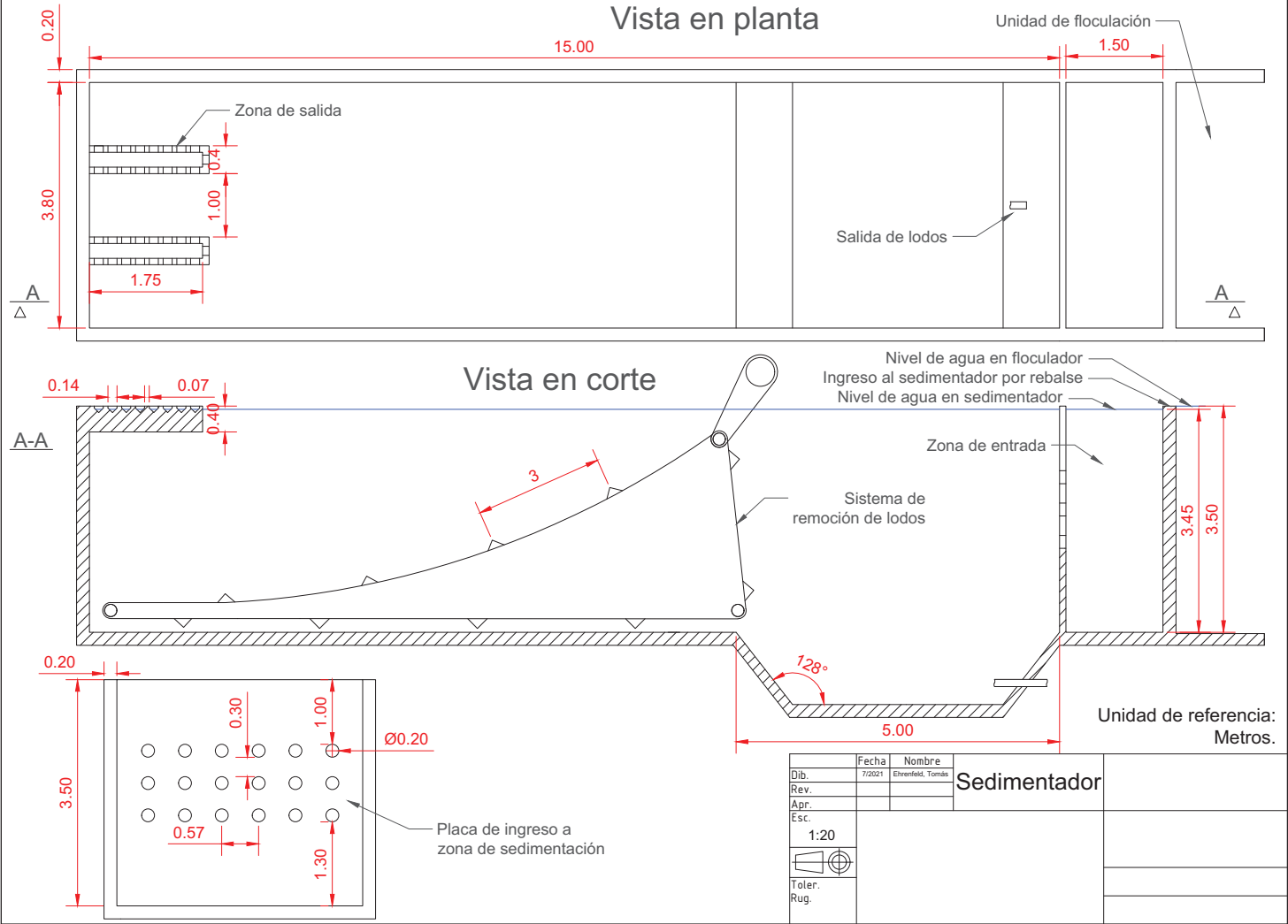
Vista en corte

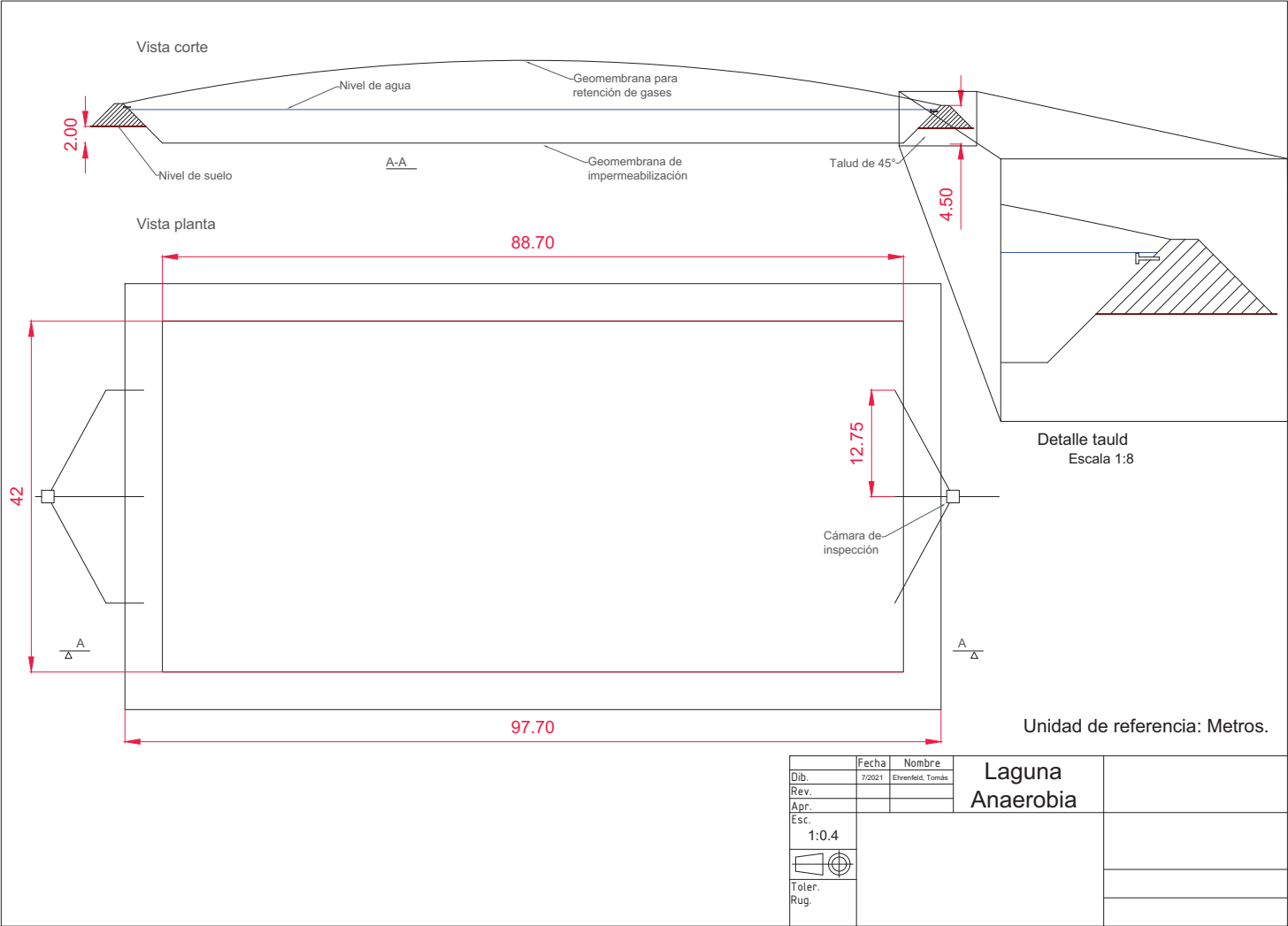


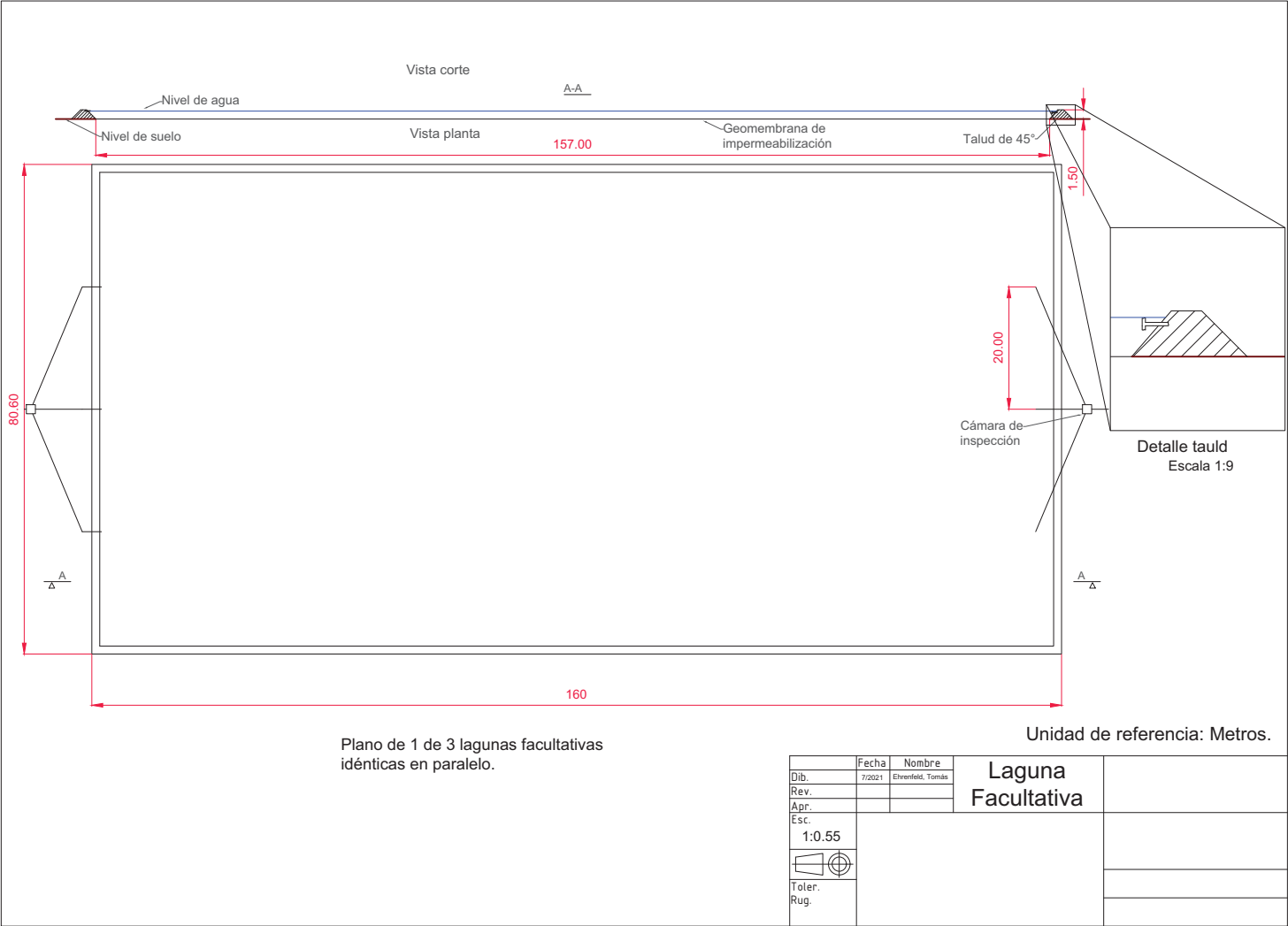
Vista en planta

Unidad de referencia: Metros.

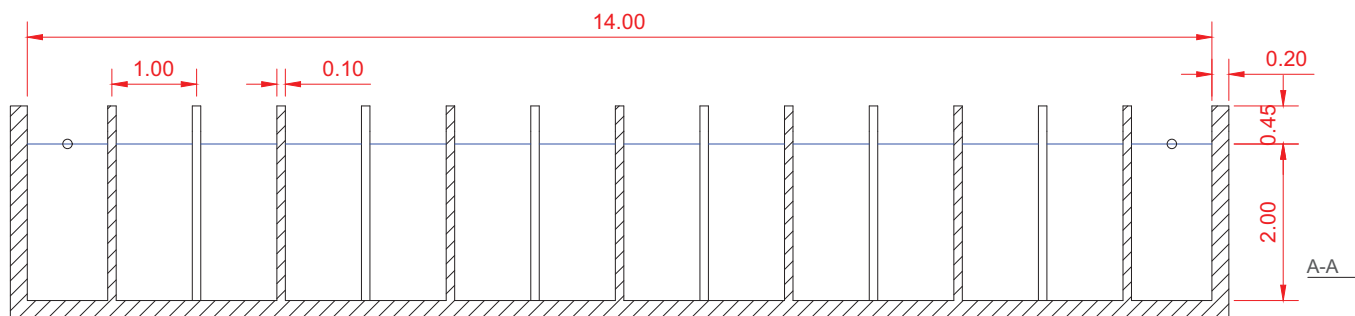
	Fecha	Nombre	Floculador	
Dib.	7/2021	Ehrenfeld, Tomás		
Rev.				
Apr.				
Esc.	1:30			
Toler.				
Rug.				



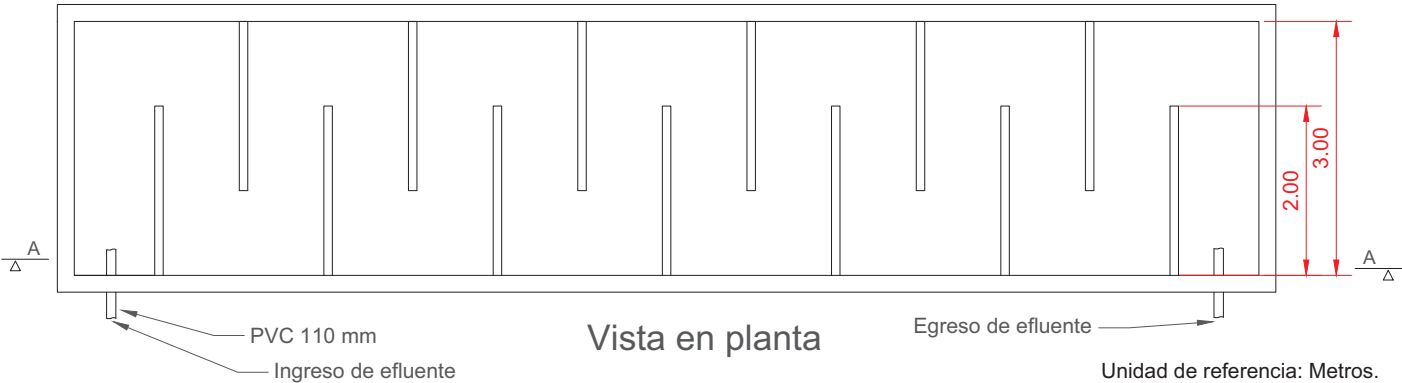




Vista en corte

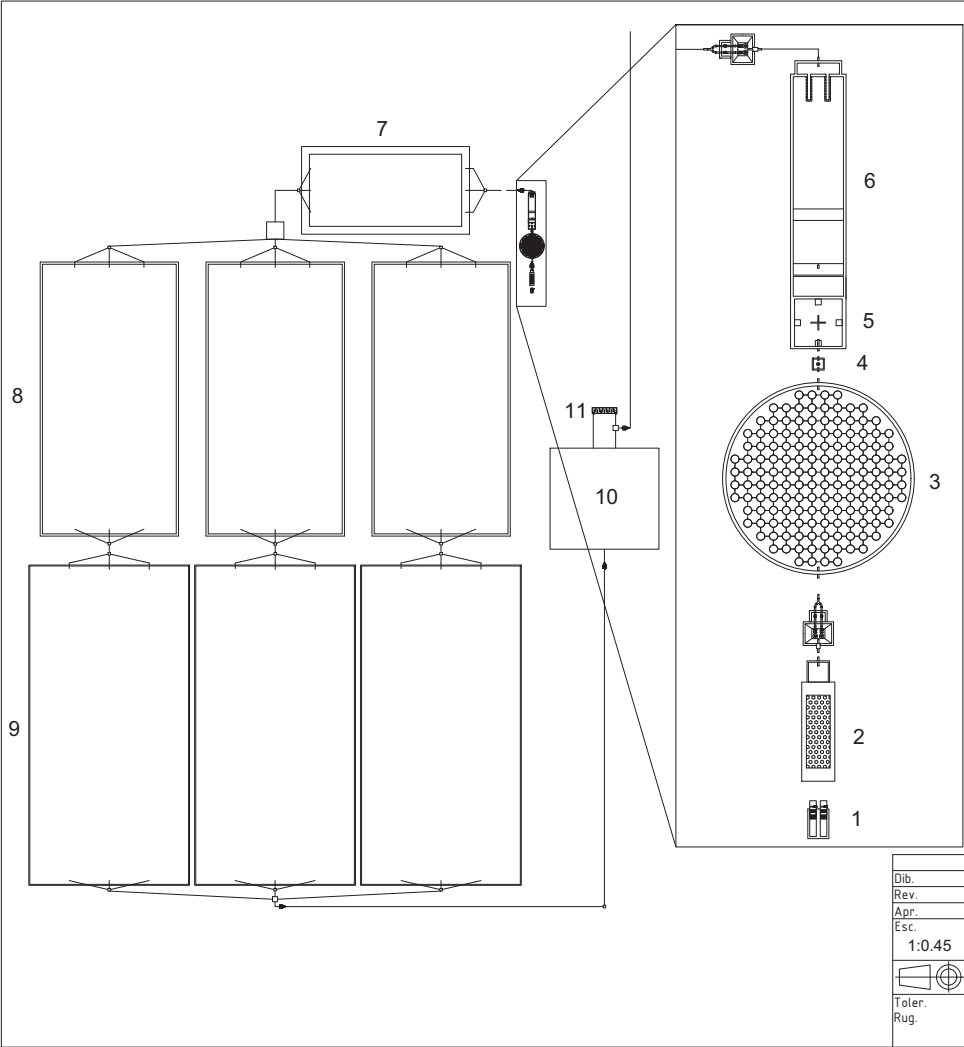


Vista en planta



Unidad de referencia: Metros.

	Fecha	Nombre	Tratamiento Terciario	
Dib.	7/2/21	Ehrenfeld, Tomás		
Rev.				
Apr.				
Esc.	1:22			
Toler.				
Rug.				



Detalle pretratamiento
y tratamiento primario
Escala 1:3.5

- 1. Sistema de rejas
- 2. Tamiz rotativo
- 3. Ecualizador y oxidación de sulfuros
- 4. Coagulador
- 5. Floculador
- 6. Sedimentador
- 7. Laguna Anaerobia
- 8. Sistema de 3 lagunas Facultativas en paralelo
- 9. Sistema de 3 lagunas Aerobias en paralelo
- 10. Planta de recuperación de Espirulina
- 11. Desinfección

	Fecha	Nombre	Vista en Planta	
Dib.	7/2021	Ehrenfeld, Tomás		
Rev.				
Apr.				
Esc.	1:0.45			
Toler.				
Rug.				

