

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Ambiental



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Reúso de las Aguas Residuales Municipales de Ica tratadas con
Biorreactores de Membranas (MBR) para Agroexportadora**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Sanitario.

Elaborado por

Roger Joel Terreros Granados

 [0009-0008-5685-6226](https://orcid.org/0009-0008-5685-6226)

Asesor

MSc. Juan Carlos Alarcón Córdor

 [0000-0001-9020-8232](https://orcid.org/0000-0001-9020-8232)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Terreros Granados [1]
Referencia/Reference	[1] R. J. Terreros Granados, <i>“Reúso de las Aguas Residuales Municipales de Ica tratadas con Biorreactores de Membranas (MBR) para Agroexportadora”</i> [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Terreros, 2025)
Referencia/Reference	Terreros, R. J. (2025). <i>Reúso de las Aguas Residuales Municipales de Ica tratadas con Biorreactores de Membranas (MBR) para Agroexportadora</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI..
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres, Roger y Luz, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Su guía y sacrificio han sido fundamentales para que pueda alcanzar mis metas.

A mi esposa, Katerina, por su amor y apoyo han sido mi inspiración constante. Esta tesis es un testimonio de nuestro amor y de todo lo que compartimos juntos.

Agradecimientos

A mis profesores y mentores, por compartir su conocimiento y experiencia, y por inspirarme a ser la mejor versión de mí mismo.

Agradezco sinceramente a la empresa INGENIUM por su invaluable apoyo y colaboración durante este Proyecto.

Agradezco a mi asesor Juan Carlos Alarcón por su orientación experta y apoyo constante en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco al Ingeniero Edwin Orbegoso Muller por su asesoramiento técnico y contribución significativa.

A mis amigos, gracias por su apoyo y comprensión durante todo este camino académico.

Esta tesis es un reflejo de su confianza y un testimonio de mi agradecimiento eterno.

Resumen

El presente trabajo describe de forma detallada la mejor alternativa de tratamiento de las aguas residuales municipales de la ciudad de Ica para su posterior uso en riego de cultivos de exportación, en un escenario de estrés hídrico. Cabe mencionar que debido a la creciente demanda de agua y a la escasez del recurso en la región, la búsqueda de nuevas fuentes de agua resulta imperativo para garantizar la sostenibilidad de las agroexportadoras.

El informe consta de tres capítulos: en el primero se menciona mi experiencia profesional; como fue mi trayectoria desde la obtención del bachiller, una descripción de la empresa en la que se desarrolló el proyecto seleccionado, las contribuciones, competencias y habilidades desarrolladas, y finalmente una reflexión crítica sobre mi experiencia profesional. En el capítulo dos se realiza la presentación del proyecto. En el capítulo tres se desarrolla el marco teórico y legal asociado a la tecnología seleccionada y a la normativa vigente relacionada con el reúso de las aguas residuales municipales. Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave — reúso, escasez, riego, exportación.

Abstract

This report describes in detail the best alternative for treating municipal wastewater in the city of Ica for subsequent use in irrigating export crops in a water-stressed environment. It is worth mentioning that, due to the growing demand for water and the scarcity of this resource in the region, the search for new water sources is imperative to ensure the sustainability of agricultural exporters.

The report consists of three chapters: the first describes my professional experience; my career path since obtaining my bachelor's degree, a description of the company where the selected project was developed, the contributions, competencies, and skills developed, and finally a critical reflection on my professional experience. Chapter two presents the project. Chapter three develops the theoretical and legal framework associated with the selected technology and current regulations related to the reuse of municipal wastewater. Finally, the conclusions and recommendations are presented.

Keywords — Reuse, scarcity, irrigation, export.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción	xi
Capítulo I. Experiencia Profesional	1
1.1 Trayectoria Profesional.....	1
1.2 Empresa en la que se Desarrolló El Trabajo Profesional	6
1.3 Contribuciones, Competencias y Habilidades Desarrolladas	9
1.4 Reflexiones Críticas Sobre la Experiencia Profesional.....	17
Capítulo II. Proyecto en la especialidad.....	19
2.1 Presentación del Proyecto.....	19
Capítulo III. Desarrollo del proyecto seleccionado.....	21
3.1 Objetivos Generales y Específicos	21
3.2 Marco Teórico.....	56
3.3 Marco Legal	74
Conclusiones	78
Recomendaciones	80
Referencias bibliográficas.....	81
Anexos	85

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Casos de éxito de reúso de aguas residuales tratadas para viñedos	xii
Tabla 2: Parámetros contractuales del agua de entrada.....	28
Tabla 3: Parámetros del agua de entrada durante la operación asistida	28
Tabla 4: Parámetros contractuales del agua de salida.....	29
Tabla 5: Parámetros del agua de salida durante la operación asistida	30
Tabla 6: Porcentaje de remoción de contaminantes	31
Tabla 7: Frecuencia de limpieza de membranas.....	52
Tabla 8: Características de las membranas más empleadas en los MBR	68
Tabla 9: Calidad del efluente	69

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Organigrama de la empresa INGENIUM.....	9
Figura 2: Resumen de línea del tiempo de la gestión para el uso del agua residual	25
Figura 3: Ubicación de terreno disponible para construcción de PTAR	26
Figura 4: Porcentaje de remoción de contaminantes-PTAR	32
Figura 5: Línea de tratamiento.....	38
Figura 6: Sistema de alerta temprana	39
Figura 7: Medidores de pH y conductividad.	40
Figura 8: Rejas Medianas y Cuchara Bivalva.....	41
Figura 9: Rejas medianas.....	42
Figura 10: Desarenador y Desengrasador	43
Figura 11: Rejas Finas.....	44
Figura 12: Canal Parshall	45
Figura 13: Reactor Anóxico	48
Figura 14: Reactor Aerobio.....	49
Figura 15: Tanque de Membranas	50
Figura 16: Espesadores.....	53
Figura 17: Centrifugas decantadoras	54
Figura 18: Sistema de control de olores	55
Figura 19: Arqueta de salida con desinfección de emergencia	56
Figura 20: Límites de vertido de materia orgánica en países latinoamericanos.....	57
Figura 21: Reúso de los efluentes por tamaño de empresa.....	60
Figura 22: Diagrama de un sistema de lodos activados convencional.....	62
Figura 23: Diagrama de un sistema MBR con membrana externa.....	62
Figura 24: Esquemas de las configuraciones más frecuentes del proceso MBR.....	63
Figura 25: Ejemplos de Configuraciones y tipos de membranas.	66

Figura 26: Morfología y dirección de flujo.....	66
Figura 27: Tipo de flujo.....	67

Introducción

La reutilización de las aguas residuales municipales en el Perú es un tema que cobra cada vez mayor relevancia en el contexto de la gestión del agua y la sostenibilidad ambiental. A medida que la demanda de agua aumenta y los recursos hídricos se vuelven más escasos, el aprovechamiento de las aguas residuales municipales emerge como una solución prometedora para abordar los desafíos de suministro y saneamiento. Sin embargo, en el Perú, como en muchos otros países en desarrollo, la práctica de la reutilización de aguas residuales aún enfrenta diversos desafíos técnicos, económicos, sociales y regulatorios que limitan su implementación. A pesar de estos desafíos, hay un creciente interés de avanzar para garantizar un uso más eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

Hoy por hoy, en países de la región como Brasil, México, Chile, Colombia, Argentina, se está implementando programas y proyectos para fomentar la reutilización del agua residual municipal previamente tratada en una variedad de aplicaciones, que van desde el riego agrícola hasta el uso industrial y el reabastecimiento de acuíferos. Estos esfuerzos suelen ser respaldados por inversiones en infraestructura de tratamiento de aguas residuales, desarrollo de normativas y regulaciones específicas, y campañas de concientización pública.

No obstante, a pesar de los avances, la reutilización del agua residual municipal aún enfrenta desafíos significativos, incluida la necesidad de mejorar la calidad del agua tratada, abordar preocupaciones sobre la salud pública y el medio ambiente, y garantizar una gestión eficiente y equitativa del recurso.

No yendo tan lejos, en Lima-Perú, solo el 14% de las aguas residuales recolectadas por SEDAPAL reciben tratamiento secundario o terciario, y de ese volumen solo la mitad es reusada en riego de jardines, mientras que el restante es descargado al mar o a los ríos.

Otro tipo de uso, quizá más restrictivo, como es el reúso de aguas residuales municipales para viñedos es una práctica que va en aumento en regiones vitivinícolas del mundo debido a la escasez de agua y la necesidad de encontrar fuentes alternativas. Esto último implica tratar las aguas residuales municipales para eliminar contaminantes y luego utilizarlas en el riego de viñedos, lo que puede ofrecer beneficios económicos, ambientales y sociales. El uso de las aguas residuales tratadas en la agricultura aquí en Perú, es un tema todavía complejo, casos de éxito del reúso de aguas residuales tratadas en el riego de viñedos se listan a continuación.

Tabla 1:

Casos de éxito de reúso de aguas residuales tratadas para viñedos

N°	Descripción	Capacidad
1	Yellow River GA, EEUU (2011)	83,500 m ³ /día
2	Lagoon Lane ON, Canadá (2011)	12,000 m ³ /día
3	Wadenswill, Suiza (2005)	15,000 m ³ /día
4	Johns Creek GA, EEUU (2009)	60,000 m ³ /día
5	Brightwater GA, EEUU (2011)	170,000 m ³ /día
6	Broad Run VA, EEUU (2008)	21,000 m ³ /día

Nota: Extraído de General Electric (2015)

Estos casos de éxito ilustran el potencial del reúso de aguas residuales en viñedos para promover la sostenibilidad en la industria vitivinícola, al tiempo que se abordan los desafíos relacionados con la escasez de agua y la gestión de los recursos hídricos. Sin embargo, es importante destacar que la implementación exitosa de estas prácticas ha requerido de una planificación cuidadosa, tecnologías adecuadas y un compromiso continuo con la mejora ambiental.

Capítulo I. Experiencia Profesional

Mi formación profesional inició en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde obtuve el grado de Bachiller en Ingeniería Sanitaria. A la fecha cuento con 8 años de experiencia profesional en diversas empresas del sector. Tengo experiencia en gestión de proyectos EPC, control de costos, gestión de presupuestos, diseño, ejecución, puesta en marcha y operación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual, Potable e Industrial, como ingeniero de instalaciones en colegios bicentenarios, como jefe de Oficina Técnica en proyectos de canales de irrigación, y en diseño y ejecución de instalaciones sanitarias en edificios multifamiliares.

Además, cuento con diploma de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en gerencia de proyectos (Guía PMBOK 5ta edición – PMI).

1.1 Trayectoria Profesional

A continuación, se presenta un resumen detallado de cada experiencia laboral mencionando la empresa en la que me he desempeñado, el cargo ocupado y una descripción de las principales funciones desarrolladas.

Setiembre 2024 / Diciembre 2024

INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. | JEFE DE OFICINA TÉCNICA

Proyecto: REMODELACIÓN DEL CANAL CHUNCHANGA – PROVINCIA DE PISCO

- Responsable de la procura de materiales, herramientas, equipos y arrendamiento de equipos de línea amarilla para la construcción del canal de irrigación.
- Responsable de la generación de ordenes de servicio y compra a través del software EJB Comercial.
- Responsable de la emisión de los documentos de control de cambio de ingeniería.
- Participación en las reuniones semanales con el cliente y la junta de regantes para verificar avance y planificar los días de Mita y Seca.
- Responsable de revisar y aprobar valorizaciones de las subcontratas de obras civiles y geomembrana.

- Responsable elaborar y presentar las valorizaciones mensuales con el cliente.
- Responsable de la elaboración del informe económico mensual y detallar porcentaje de avance en plazo y costo.

Setiembre 2023 / Setiembre 2024

INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. | INGENIERO DE INSTALACIONES

Proyecto: I.E. 0083 SAN JUAN MACIAS (SECUNDARIA)

- Responsable de supervisar la ejecución de instalaciones sanitarias, eléctricas, comunicaciones, DACI, CCTV.
- Responsable de elaborar comparativos de accesorios, material y quipos de instalaciones para la procura.
- Responsable de liberación de instalaciones en coordinación con la supervisión del cliente y el área de calidad.
- Participación de las reuniones semanales de obra con Lookahead.
- Responsable de liberación de pre y comisionamiento de los equipos de las distintas especialidades de instalaciones.
- Responsable de levantamiento de observaciones de la supervisión del cliente (CONURMA).
- Responsable de elaboración de manuales de operación y mantenimiento de instalaciones.

Agosto 2023 / Setiembre 2023

INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. | INGENIERO DE INSTALACIONES

Proyecto: IE 89001 EXPREVOCACIONAL – CHIMBOTE

- Responsable de la elaboración del sustento de metrados para valorizaciones.
- Responsable de levantamiento de observaciones del área de instalaciones
- Participación en las reuniones semanales de avance de obra con todas las especialidades.
- Responsable de verificar incompatibilidades de instalaciones en el modelo BIM.

Mayo 2023 / Agosto 2023

INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. | INGENIERO DE INSTALACIONES

Proyecto: I.E. N° 88336 – GASTÓN VIDAL PORTURAS - CHIMBOTE

- Responsable de la elaboración del sustento de metrados para valorizaciones.
- Responsable de levantamiento de observaciones del área de instalaciones
- Participación en las reuniones semanales de avance de obra con todas las especialidades.
- Responsable de verificar incompatibilidades de instalaciones en el modelo BIM.

Febrero 2023 / Mayo 2023

PROMOTORA SULLANA S.A.C. | SUB-GERENTE

Proyecto: VIVE HOGAR SULLANA

- Responsable de las presentaciones semanales del reporte de avance ventas.
- Responsable de elaborar el cuadro de comisiones mensuales de los vendedores y jefa de ventas.
- Analizar y Evaluar el mercado inmobiliario.
- Responsable de coordinar las estrategias mensuales de Marketing.
- Responsable de generar información técnica para el área administrativa de ventas.
- Responsable de coordinar las charlas y capacitaciones de ventas durante el proyecto.

Marzo 2022 / Diciembre 2022

INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. | INGENIERO DE TUBERÍAS Y MECÁNICA

Proyecto: Estructura Metálica AGK Packing de Arándanos – Packing Uvas y Paltas

- Responsable del diseño y ejecución de las instalaciones Sanitarias de la Nave de Packing.
- Elaboración de la Memoria de cálculo.
- Elaboración de la Memoria descriptiva.
- Elaboración de los Planos As Built.

Noviembre 2019 / Marzo 2022

INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. | INGENIERO DE COSTOS Y OFICINA TÉCNICA

Proyecto: EPC para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales AGK en ICA

- Responsable de la supervisión del desarrollo de la Ingeniería de detalle, Jefe de control de costos y Jefe de Oficina Técnica
- Elaboración de los Criterios de Diseño
- Elaboración de la Memoria Funcional del Proceso
- Elaboración de los Diagramas de Bloques
- Elaboración del Diagrama de Flujo de Procesos (PFD)
- Elaboración del Balance de Masa y Energía
- Elaboración de las Memorias de Cálculo
- Elaboración del Plano de Arreglo General de Planta
- Elaboración del Listado de Equipos
- Elaboración de los Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID's)
- Elaboración de la Filosofía de Control y Manuales de Mantenimiento y Operación.
- Seguimiento de control de costos y flujo de caja del proyecto.
- Jefe de operación asistida de la PTAR AGK (Planta de lodos activados con Tecnología MBR).

Abril 2021 / Junio 2021

INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. | INGENIERO DE PROCESOS

Proyecto: Ingeniería Conceptual Aprovechamiento hídrico La Achirana

- Responsable del desarrollo de la Ingeniería de detalle y simulaciones de demanda.
- Elaboración de las Bases de Diseño
- Elaboración de la Memoria Descriptiva
- Elaboración del Diagrama de Bloques

- Elaboración del Diagrama de Flujo de Procesos (PFD)
- Elaboración del Balance de Masa y Energía
- Elaboración de las Memorias de Cálculo
- Simulación de aprovechamiento hídrico para el uso de riego de plantas de tallo corto en Watercad.
- Análisis de coagulante y floculante óptimo para el tratamiento de agua superficial para uso de riego.

Octubre 2017 / Octubre 2019

GMI S.A. INGENIEROS CONSULTORES | INGENIERO SANITARIO

Proyecto: EPC para la construcción de los servicios auxiliares paquete 4 – Proyecto de Modernización de la Refinería de Talara – Plantas de Tratamiento.

- Encargado de la supervisión y seguimiento de la elaboración de la ingeniería de las Plantas de Tratamiento de efluentes industriales (WWS) y Planta de Tratamiento de Efluentes Domésticos (SA2) en la sede de Sao Paulo – Brasil de la empresa Typsa.
- Participación activa en las reuniones con el cliente.
- Coordinación con todos los especialistas del proyecto.
- Encargado de cumplimiento de alcance, tiempo y costos del proyecto.

Diciembre/2016 – Setiembre/2017

GMI S.A. INGENIEROS CONSULTORES | INGENIERO DE COSTOS

Proyecto: EPC de Planta De Tratamiento De Excedentes De Agua (Minera Antapaccay – Cusco- Peru)

- Manejo de Información Técnica de la Obra.
- Responsable de Generar planos As Built mecánicos y de procesos.
- Responsable de la revisión de las especificaciones técnicas de los equipos del proyecto.
- Responsable de la logística de los equipos.

Setiembre 2016 / Diciembre 2016

GMI SA INGENIEROS CONSULTORES | ASISTENTE DE INGENIERA

Proyecto: Asociación Publico Privada del Proyecto, Ampliación y Mejoramiento de los servicios de recolección y tratamiento de aguas residuales de las ciudades de Ayaviri, Moho, Juliaca, Puno, Ilave y Juli, Departamento de Puno.

- Encargado de la coordinación con proveedores involucrados del proyecto.
- Encargado de procesamiento de información de resultados de analíticas de agua residual.
- Encargado de ordenar y presentar Expediente Final en oficinas de Proinversión.

Enero 2016 / Setiembre 2016

ENVIRONMENTHG SAC | ASISTENTE DE INGENIERA

- Elaboración de expediente técnico para autorización de usos de aguas superficiales para el campamento Quincemil del Proyecto perforación de 8 pozos exploratorios y programa de adquisición sísmica 3d en el lote 76.
- Elaboración del Expediente de la Autorización Sanitaria de sistema de tratamiento de agua de consumo humano de la planta de bolas de acero – Chilca – Aceros Chilca.
- Obtención y elaboración del expediente para la Autorización de Operador de Transporte de Residuos Sólidos para la empresa Equitransport S.A., ante la Municipalidad Metropolitana de Lima – Gerencia de Servicios a la Ciudad-Sub-Gerencia de Medio Ambiente.

1.2 Empresa en la que se Desarrolló El Trabajo Profesional

A continuación, se detalla información sobre la empresa que brindó la experiencia para desarrollar este trabajo de suficiencia profesional.

1.2.1. Datos Generales

Ingenium Ingeniería y Construcción S.A.C. es una empresa especializada en servicios de Ingeniería, Procura, Construcción, Pre-comisionamiento, Comisionamiento y

Puesta en marcha de proyectos vinculados al sector agua y saneamiento. No obstante, Ingenium también viene operando a nivel nacional para el sector construcción.

En el sector agua y saneamiento, Ingenium desarrolla trabajos desde las fases iniciales correspondientes a los Estudios de Campo, Ingenierías Conceptuales e Ingenierías Básicas, hasta el desarrollo de Ingenierías de Detalle e Ingenierías de Acompañamiento.

En el sector construcción, los negocios son gestionados por proyectos que van desde la compra del terreno hasta su comercialización. Es un negocio que se ha especializado en el desarrollo de viviendas sociales.

La ubicación de la empresa Ingenium Ingeniería Y Construcción S.A.C., en la Bajada Balta Nro. 169 Int. P 5, distrito de Miraflores, con RUC 20604531897.

1.2.2. Cultura Organizacional

Misión: Desarrollar proyectos de ingeniería y construcción que contribuyan a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, produzcan resultados extraordinarios para nuestros clientes, generar desarrollo profesional a nuestros colaboradores y valor a nuestros socios y accionistas.

Visión: Ser la empresa de ingeniería y construcción, reconocida por entregar proyectos innovadores y con alto valor donde operamos.

Valores: Para ser reconocidos como el grupo de servicios más confiable a nivel nacional, la gestión de Ingenium se basa en los siguientes valores corporativos:

a) Integridad

La integración, comunicación y cooperación entre los colaboradores de las distintas áreas de trabajo crea un ambiente óptimo para el desarrollo de objetivos comunes.

b) Calidad

Ingenium promueve un buen servicio, atendiendo las necesidades y preferencias de sus clientes, con una relación costo y beneficio, para que estos tengan la mejor percepción y satisfacción.

c) Seguridad

Ingenium promueve el respeto a la vida de sus colaboradores en todos sus procesos, operaciones y actividades.

d) Respeto al Medio Ambiente

La filosofía de Ingenium es fomentar la educación ambiental, conciencia ambiental, y el conocimiento ecológico, de actitudes y valores para lograr la conservación del medioambiente.

e) Innovación

Ingenium está en la búsqueda y actualización continua de sus procesos y sistemas, en pro de lograr la satisfacción de sus clientes, y ser más competitivos.

1.2.3. Política de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud en el Trabajo

INGENIUM Ingeniería y Construcción S.A.C, cumple con los requisitos de sus clientes para lograr su satisfacción, orientar los esfuerzos hacia la rentabilidad de sus accionistas y el desarrollo profesional de sus colaboradores.

Contar con un equipo humano competente, con conocimiento idóneo para la generación de valor en las operaciones, el cuidado del medio ambiente y el mantenimiento de la seguridad y salud en el trabajo, así como una conducta socialmente responsable.

Garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables para la prevención de lesiones y deterioro de la salud de sus colaboradores; así como proteger el medio ambiente, a través de la prevención, minimización y control de la contaminación e impactos ambientales generados por sus actividades.

Cumplir los acuerdos, disposiciones, reglamentos y legislación vigente aplicable, en materia de seguridad y salud en el trabajo y medio ambiente, incluidos los que determine la organización o suscriba con los clientes u otras partes interesadas.

Identificar los peligros, con el fin de eliminarlos, evaluar y controlar los riesgos significativos, con el fin de reducirlos, en Seguridad y Salud en el Trabajo.

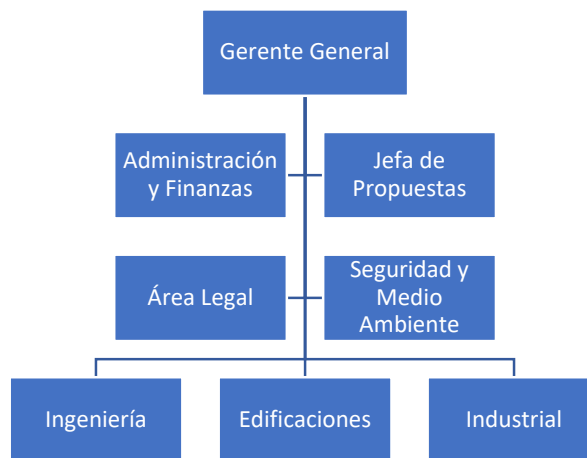
Garantizar la consulta y participación de sus colaboradores y sus representantes en el Sistema de Gestión Integrado.

Cumplir las expectativas de los clientes, mejorar nuestro desempeño ambiental y asegurar la seguridad y salud de los trabajadores de la empresa a través de la mejora continua de nuestros sistemas de gestión.

1.2.4. Organigrama Funcional de la Empresa

Figura 1:

Organigrama de la empresa INGENIUM.



Nota: Elaboración propia

1.3 Contribuciones, Competencias y Habilidades Desarrolladas

1.3.1. Contribuciones

A continuación, se presenta las contribuciones realizadas al centro laboral.

Diseño de sistemas sanitarios

- Diseñar redes de distribución de agua potable y sistemas de alcantarillado para edificaciones y proyectos urbanísticos.
- Planificar sistemas de drenaje pluvial para evitar inundaciones y problemas de acumulación de agua.
- Crear diseños eficientes que cumplan con las normativas locales y nacionales.

Coordinación con otros profesionales

- Trabajar en equipo con arquitectos, ingenieros civiles, eléctricos y mecánicos para integrar los sistemas sanitarios en el diseño general de la construcción.
- Asegurar que los sistemas sanitarios no interfieran con otras instalaciones (eléctricas, estructurales, etc.).

Cumplimiento normativo

- Garantizar que los proyectos cumplan con las normativas sanitarias, ambientales y de construcción vigentes.
- Realizar revisiones y ajustes en los diseños para cumplir con los requisitos legales y técnicos.

Supervisión de obras

- Supervisar la instalación de tuberías, bombas, tanques de almacenamiento y otros componentes de los sistemas sanitarios.
- Verificar que los materiales y métodos de construcción utilizados sean los adecuados y cumplan con los estándares de calidad.

Optimización de recursos

- Proponer soluciones para reducir costos en la construcción y operación de sistemas sanitarios, sin comprometer la calidad.
- Implementar tecnologías eficientes, como sistemas de recolección de agua pluvial o reutilización de aguas grises.

Gestión de proyectos

- Planificar y coordinar las etapas de construcción relacionadas con los sistemas sanitarios.
- Gestionar presupuestos, plazos y recursos para garantizar que los proyectos se completen a tiempo y dentro del costo estimado.

Sostenibilidad y medio ambiente

- Diseñar sistemas que minimicen el impacto ambiental, como plantas de tratamiento de aguas residuales o sistemas de reciclaje de agua.
- Promover el uso de materiales y tecnologías eco amigables en la construcción.

Solución de problemas técnicos

- Identificar y resolver problemas durante la construcción, como fugas, obstrucciones o fallas en los sistemas.
- Realizar pruebas de presión y calidad del agua para asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Mantenimiento y operación

- Proporcionar recomendaciones para el mantenimiento preventivo de los sistemas sanitarios una vez finalizada la construcción.
- Capacitar al personal de la empresa o del cliente sobre el uso y mantenimiento de las instalaciones.

Innovación y tecnología

- Implementar tecnologías avanzadas, como sistemas de bombeo inteligente o sensores para monitorear el flujo y la calidad del agua.
- Integrar sistemas de automatización y control en los proyectos de construcción.

Seguridad y salud ocupacional

- Asegurar que las instalaciones sanitarias cumplan con los estándares de seguridad para proteger a los trabajadores y futuros usuarios.
- Diseñar sistemas que prevengan riesgos sanitarios, como contaminación del agua o malos olores.

Documentación y reportes

- Elaborar planos, especificaciones técnicas y manuales de operación para los sistemas sanitarios.
- Realizar informes técnicos y presentaciones para clientes, autoridades o equipos de trabajo.

1.3.2. Competencias

Competencias Técnicas

- Diseño de sistemas sanitarios: Planificar y diseñar sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado, drenaje pluvial y tratamiento de aguas residuales.
- Cálculos hidráulicos: Realizar cálculos para dimensionar tuberías, bombas, tanques de almacenamiento y otros componentes de los sistemas sanitarios.
- Selección de materiales: Elegir materiales adecuados para tuberías, accesorios y equipos, considerando normativas y condiciones del proyecto.
- Interpretación de normativas: Conocer y aplicar normas técnicas, reglamentos y estándares nacionales e internacionales relacionados con saneamiento.
- Uso de software especializado: Manejar herramientas como AutoCAD, Revit, SewerCAD u otros programas para diseño y simulación de sistemas sanitarios.
- Gestión de residuos: Diseñar sistemas para la gestión de residuos sólidos y líquidos en obras de construcción.

Competencias de Gestión de Proyectos

- Planificación y programación: Elaborar cronogramas y planes de trabajo para la construcción de PTAR.
- Control de costos: Estimar presupuestos y controlar gastos durante la ejecución del proyecto.
- Supervisión de obras: Asegurar que la construcción se realice según los diseños y especificaciones técnicas.
- Coordinación interdisciplinaria: Trabajar con ingenieros civiles, eléctricos, mecánicos y otros profesionales para integrar los sistemas de la planta.

Competencias en comunicación y relación con stakeholders

- Comunicación efectiva: Capacidad para comunicar de manera clara y precisa tanto con el personal operativo como con la alta dirección y otros departamentos.

- Relación con autoridades y organismos reguladores: Interacción con organismos gubernamentales y reguladores para asegurar que la planta cumpla con todas las normativas legales y ambientales.
- Gestión de emergencias: Capacidad para coordinar respuestas ante incidentes, fallos o emergencias, minimizando los riesgos ambientales y operacionales.

Competencias Operativas y de Mantenimiento

- Puesta en marcha: Supervisar la puesta en marcha de la planta y ajustar los procesos para alcanzar los estándares de tratamiento.
- Operación y mantenimiento: Diseñar planes de operación y mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos y sistemas.
- Monitoreo y control: Implementar sistemas de monitoreo en línea (SCADA) para controlar los parámetros de tratamiento.

Competencias Ambientales:

- Gestión de residuos: Supervisar la gestión y disposición adecuada de los residuos generados por el proceso de tratamiento (lodos, productos químicos, etc.).
- Cumplimiento de normativas: Conocer y aplicar legislación local, nacional e internacional sobre calidad de agua, emisiones y tratamiento de aguas residuales.
- Sostenibilidad: Implementar soluciones que promuevan la reutilización de agua tratada y la reducción de la huella ambiental.

Competencias en Innovación y Tecnología:

- Investigación y desarrollo: Evaluar e implementar nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y reducir costos.
- Automatización y digitalización: Supervisar la implementación de sistemas de automatización y control avanzado (SCADA, PLCs) para optimizar la operación y gestión de la planta.

Competencias de Comunicación y Liderazgo

- Comunicación efectiva: Transmitir información técnica a clientes, autoridades y equipos de trabajo.
- Liderazgo: Dirigir equipos multidisciplinarios durante la construcción y operación de la planta.
- Resolución de problemas: Tomar decisiones rápidas y efectivas ante fallas o imprevistos en la planta.

Competencias de Seguridad y Salud Ocupacional

- Prevención de riesgos: Identificar y mitigar riesgos asociados a la construcción y operación de PTAR.
- Cumplimiento de normas de seguridad: Asegurar que las instalaciones cumplan con las normativas de seguridad industrial.

Competencias de Gestión de Calidad

- Control de calidad: Supervisar que los materiales, equipos y procesos cumplan con los estándares de calidad.
- Certificaciones: Implementar sistemas de gestión de calidad (ISO 9001) en los proyectos de PTAR.

1.3.3. Habilidades

Habilidades Técnicas:

- Diagnóstico y resolución de problemas técnicos: Capacidad para identificar y resolver fallos operacionales o problemas técnicos en los procesos de tratamiento de aguas residuales, desde la parte mecánica hasta los procesos biológicos.
- Monitoreo y control de parámetros de calidad: Habilidad para controlar y ajustar los parámetros de calidad del agua tratada, tales como pH, DBO, DQO, sólidos suspendidos, etc., utilizando herramientas de medición y análisis precisos.

- Manejo de tecnologías avanzadas: Experiencia con el uso de sistemas automatizados y de control (SCADA, PLCs) que permiten monitorear y ajustar los procesos de la planta en tiempo real, mejorando la eficiencia operativa.
- Mantenimiento de equipos y sistemas: Habilidad en la gestión de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos e infraestructura de la planta, como bombas, clarificadores, sistemas de filtración, entre otros.
- Implementación de nuevas tecnologías: Capacidad para investigar, evaluar e implementar tecnologías innovadoras que optimicen los procesos de tratamiento, como sistemas de tratamiento avanzados o técnicas de reutilización de aguas.

Habilidades de Gestión:

- Gestión de equipos y recursos humanos: Habilidad para liderar y motivar al personal operativo, organizando tareas, ofreciendo formación continua y fomentando un ambiente de trabajo colaborativo y eficiente.
- Planificación y organización: Capacidad para planificar el trabajo de manera eficaz, asegurando que todos los aspectos operativos de la planta se desarrollen sin interrupciones, organizando la jornada laboral y los turnos.
- Gestión del presupuesto y control de costos: Habilidad para gestionar el presupuesto de la planta, priorizando inversiones y gastos, y buscando la optimización de recursos para mantener la rentabilidad de la operación.
- Evaluación de desempeño: Capacidad para evaluar el desempeño de los operadores y otros empleados, estableciendo métricas y realizando retroalimentación constructiva para mejorar la productividad y eficiencia del equipo.

Habilidades de Comunicación:

- Comunicación efectiva con el personal: Habilidad para transmitir instrucciones claras y concisas al equipo operativo, asegurando que todos comprendan los procedimientos y las normativas que deben seguir.
- Informe y reporte técnico: Capacidad para elaborar informes técnicos detallados sobre el funcionamiento de la planta, rendimiento de los equipos y resultados de los procesos de tratamiento, presentándolos de forma comprensible para la alta dirección o autoridades reguladoras.
- Relaciones interpersonales y liderazgo: Capacidad para liderar equipos multidisciplinarios, generando confianza y fomentando un ambiente de trabajo positivo y productivo, manejando conflictos de manera efectiva cuando surjan.

Habilidades en Seguridad y Salud Laboral:

- Implementación de protocolos de seguridad: Habilidad para desarrollar y aplicar protocolos de seguridad laboral en la planta, asegurando que todos los empleados trabajen de acuerdo con las normativas de seguridad y salud.
- Gestión de riesgos: Capacidad para identificar, evaluar y mitigar riesgos asociados con el tratamiento de aguas residuales, como los riesgos biológicos, químicos y operacionales.
- Capacitación en seguridad: Habilidad para capacitar al personal sobre buenas prácticas de seguridad, primeros auxilios y manejo de emergencias, lo que contribuye a un entorno laboral seguro.

Habilidades de Cumplimiento Normativo y Ambiental:

- Cumplimiento de regulaciones ambientales: Habilidad para asegurarse de que todos los procesos de tratamiento cumplan con las normativas y regulaciones ambientales locales, nacionales e internacionales.
- Manejo y disposición de residuos: Capacidad para gestionar de manera eficiente la disposición de lodos y otros residuos generados en el proceso, minimizando su impacto ambiental.

- Supervisión de la calidad del agua tratada: Habilidad para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos antes de ser vertida en cuerpos receptores o reutilizada.

Habilidades de Innovación y Mejora Continua:

- Optimización de procesos: Capacidad para evaluar y mejorar los procesos de tratamiento, buscando soluciones innovadoras que aumenten la eficiencia y reduzcan los costos operativos.
- Análisis de datos y toma de decisiones: Habilidad para analizar grandes cantidades de datos generados por los sistemas de monitoreo de la planta, y tomar decisiones informadas para mejorar los resultados operativos.
- Investigación y aplicación de mejores prácticas: Habilidad para investigar nuevas metodologías o enfoques de tratamiento de aguas residuales, evaluando su viabilidad y aplicabilidad a las condiciones locales de la planta.

Habilidades en Gestión de Emergencias:

- Capacidad para manejar crisis y situaciones imprevistas: Habilidad para coordinar la respuesta ante emergencias, como fallos en el equipo, problemas de contaminación, o incidentes en el proceso, actuando rápidamente para minimizar el impacto en la operación y en el entorno.
- Desarrollo de planes de contingencia: Capacidad para crear y actualizar planes de contingencia que permitan a la planta responder de manera efectiva ante eventos inesperados, como fallas en el sistema o desastres naturales.

1.4 Reflexiones Críticas Sobre la Experiencia Profesional

En la empresa INGENIUM INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. me asignaron diversas funciones como diseñador, planner, producción, oficina técnica e ingeniero de instalaciones, lo que me permitió desarrollar diversas habilidades que contribuyeron significativamente a la optimización de recursos y reducción de costos, esto último en los distintos proyectos ejecutados. Además, estas funciones me ayudaron a desarrollar

habilidades blandas que me permitieron liderar en el área y en la gestión de cara a los clientes.

La operación de la PTAR fue una de mis labores más retadoras en la empresa ya que tuve que dirigir un equipo humano grande de modo que la planta funcioné de manera eficiente, segura y cumpliendo con la normativa vigente.

Capítulo II. Proyecto en la especialidad

2.1 Presentación del Proyecto

2.1.1. *Planteamiento de la Realidad Problemática*

La región de Ica ha logrado el desarrollo agrícola desde hace ya varios años, el día de hoy agrupa el 15.2% de las agroexportaciones del país (CAF, 2019). Frente a la mayor demanda de diversos productos, la escasez de agua en la región representa un obstáculo significativo, especialmente estos tiempos en que la disponibilidad de agua superficial es limitada y las concesiones de pozos de agua están restringidas debido a la sobreexplotación de los acuíferos.

En la ciudad de Ica existe una de las agroexportadoras más grandes en la región, que produce, empaqueta y comercializa paltas, uvas de mesa, espárragos y arándanos que tiene a países europeos como su principal destino de exportación.

La agroexportadora, hasta el 2010, dependía exclusivamente del agua subterránea; sin embargo, tras la advertencia de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sobre la sobreexplotación de los acuíferos, que resultaría en restricciones frente a su uso, la agroexportadora comenzó a buscar otras alternativas. Desde el 2011, la empresa comenzó a captar agua superficial; no obstante, había meses donde no había caudal, de todas formas, se implementaron amplios reservorios para almacenar agua en época de avenida. El objetivo desde entonces fue buscar una fuente de donde se pueda captar agua de manera continua, por lo que se tomó en cuenta el agua residual (Carhuaz, 2022).

No obstante, en el Perú, no existía hasta el 2016 un marco normativo sobre la reutilización de las aguas residuales municipales, lo que complicaba su comercialización por parte de la EPS. Sin embargo, tras una serie de trámites que duraron años la agroexportadora ha podido conseguir que Emapica le venda el agua residual sin tratar para que esta lo trate, algo que inicialmente parecía sencillo se ha venido posponiendo debido a la carencia de un marco legal que lo permita.

En ese sentido existen dos puntos que resultan ser claves en el desarrollo del presente informe: el primero es la gestión realizada por la agroexportadora para conseguir que Emapica le venda el agua residual sin tratamiento y segundo el por qué la agroexportadora decidió apostar por una tecnología cara como lo es el MBR a comparación de otras tecnologías de tratamiento convencional.

Capítulo III. Desarrollo del proyecto seleccionado

3.1 Objetivos Generales y Específicos

3.1.1. Objetivo General

Presentar la mejor alternativa para el tratamiento de las aguas residuales municipales de la ciudad de Ica a fin de que estas sean reutilizadas en el riego de cultivos de exportación en un escenario de estrés hídrico.

3.1.2. Objetivos Específicos

- Describir la gestión realizada para lograr la comercialización de las aguas residuales. Primer y único proyecto en Perú que ha conseguido que un privado le pague al estado por el agua residual cruda.
- Presentar al primer y único proyecto del Perú que usa el agua residual municipal de una ciudad para el riego en agroexportación.
- Describir la tecnología más moderna usada en la PTAR.

3.1.3. Descripción Del Proyecto

3.1.3.1. Descripción del Primer y Único Proyecto en Perú que ha Conseguido un Privado le Pague al Estado por el Agua Residual Cruda. Este primer punto se trabajó en conjunto con el Gerente General de Ingenium, el Gerente de Proyecto de Ingenium, el Gerente General de la agroexportadora, el Gerente de Mantenimiento de la agroexportadora, asesores de confianza del Cliente, el Gerente General de Emapica, etc., con quienes se sostuvo reuniones periódicas para lograr sacar adelante la norma que permita la comercialización del agua residual cruda proveniente de la ciudad de Ica.

A continuación, se explica cómo así surgió la necesidad de comprar las aguas residuales a Emapica. La agroexportadora en su afán de identificar nuevas fuentes de agua para sus cultivos, debido a la disminución del nivel freático por la extracción excesiva de agua subterránea y a la escasa disponibilidad de agua superficial, encontró una alternativa en el agua residual cruda. La EPS Emapica observó a su vez que la

comercialización de las aguas residuales crudas podría significar una oportunidad para mejorar la provisión de sus funciones de saneamiento, dado que las aguas residuales que eran tratadas deficientemente podrían ser redirigidos a otros titulares que pudiesen tratar esa agua para sus actividades.

La sinergia entre la necesidad de contar con nuevas fuentes de agua para riego y la oportunidad de mejorar sus funciones de saneamiento de la EPS se hizo factible a partir de la promulgación del D.L. N°1280 y su reglamento “Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento”.

A continuación, un resumen de lo que fue la Gestión realizada:

- El 12/03/2018, la Gerencia General de la EPS Emapica conformó el Comité de Selección que tendría a su cargo la preparación, conducción y realización del procedimiento para la “Comercialización de los productos generados de los servicios de saneamiento”.
- El 16/04/2018, el Directorio de la EPS Emapica en su sesión extraordinaria adoptó el siguiente acuerdo “Autorizar la comercialización de los productos generados de los servicios de saneamientos, específicamente la comercialización de agua residual sin tratamiento para fines de reúso de la PTAR Cachiche”.
- El 10/08/2018, se reunieron en las Oficinas Administrativas de la EPS Emapica los miembros del Comité de selección a efectos de llevar la Subasta Pública N°001-2018-EPS EMAPICA S.A.
- El 14/08/2018, en el local de la Oficina de Asesoría Jurídica de la EPS Emapica se reunieron los integrantes del Comité de Selección a fin de efectuar la EVALUACIÓN DE LAS OFERTAS TÉCNICA AMBIENTAL, acordando declarar no apta la propuesta técnica y ambiental de la empresa Agroexportadora.

- El 19/09/2018, en el local de la Oficina de Asesoría Jurídica de la EPS Emapica se reunieron los integrantes del Comité de Selección para Declarar DESIERTA la Subasta N°001-2018-EPS EMAPICA SA por no haber ofertas válidas.
- El 22/11/2018, Se aprueban las Bases de la Subasta Pública N°002-2018-EPS EMAPICA S.A. – “Comercialización del Agua Residual sin Tratamiento de la PTAR Cachiche de la EPS Emapica S.A”.
- El 24/11/2018 se convocó a la Subasta Pública N° 002-2018-EPS EMAPICA S.A
- El comité de selección, el 21/12/2018 adjudicó la Buena Pro de la Subasta Pública N° 002-2018-EPS EMAPICA S.A. – “Comercialización del Agua Residual sin Tratamiento de la PTAR Cachiche de la EPS Emapica S.A”, a la Sociedad Agrícola Drokasa S.A por el monto anual de S/. 1,485,000.00 Soles (Un Millón Cuatrocientos Ochenta y Cinco Mil con 00/100 Soles).

Tras una serie de reuniones de las cuales también fui partícipe se logró adjudicar la comercialización del agua residual sin tratamiento a favor de la agroexportadora.

Es así como la EPS Emapica se comprometió a suministrar nueve millones de metros cúbicos de aguas crudas anuales, por un plazo de veinte años, a la agroexportadora, por un valor de 0.165 soles con IGV por metro cúbico.

Como resultado de ello la agroexportadora se encarga de tratar el 80 % de las aguas crudas que emite Emapica diariamente, reduciendo la sobrecarga de la planta residual Cachiche. Asimismo, las aguas tratadas deficientemente por Emapica tienen una nueva oportunidad para mejorar su calidad ambiental, a fin de ser reusadas en las actividades de riego. De igual manera, la agroexportadora reduce la extracción de aguas desde su fuente, teniendo las aguas residuales crudas como una fuente alternativa para satisfacer sus necesidades.

De esta manera, la EPS Emapica se convierte en la primera empresa de saneamiento en el país donde una empresa privada pagará por el desagüe una contraprestación anual de 1.48MM de soles por año, contribuyendo así con el medio ambiente y promoviendo una economía circular en sus procesos.

Este proyecto ha permitido cerrar el “circulo” virtuoso del agua, potenciado además por el hecho que todos los involucrados se han beneficiado del mismo: población de Ica, EPS Emapica, comunidades aledañas, estado y agroexportadora.

Figura 2:

Resumen de línea del tiempo de la gestión para el uso del agua residual



Nota: Elaboración Propia

3.1.3.2. Ubicación del Proyecto. EMAPICA S.A. desde años atrás trata las aguas residuales de Ica mediante lagunas de estabilización denominadas en su conjunto PTAR Cachiche.

La PTAR proyectada para el tratamiento de las aguas residuales a favor de la agroexportadora está ubicada en el departamento de Ica, provincia de Ica, distrito de Ica, sector de Cachiche; en donde se encuentra la Laguna N° 1 de 3.81 Has, que hasta el 2019 permanecía vacía.

Figura 3:

Ubicación de terreno disponible para construcción de PTAR



Nota: Elaboración propia

3.1.3.3. Caudal de Agua a Tratar. Para el desarrollo de este ítem se ha hecho una revisión y análisis minucioso del Contrato que se tiene con el Cliente. Según Contrato el caudal a ser tratado es de 285.39 l/s, debiendo captarse como mínimo el 80% diariamente.

Los caudales de diseño fueron determinados por aforos de campo realizados durante 7 días consecutivos, la determinación de los caudales de diseño fue determinada por la agroexportadora.

La planta fue diseñada según los siguientes caudales de diseño:

- Estructura de llegada y Pretratamiento 420 l/s
- Reactor biológico y MBR 300 l/s

Durante el periodo de operación asistida (noviembre 2021 a enero 2022) se ha visto que la PTAR capta en promedio 19,702 m³/día, equivalente a 228 L/s de agua residual proveniente del sistema de alcantarillado de EMAPICA S.A, para ser usado en el riego de plantas de tallo alto como uva y palta.

3.1.3.4. Caudal del Agua Tratada. Durante el periodo de operación asistida (noviembre 2021 a enero 2022) los caudales tratados fluctuaron entre 12,582 (145 L/s) y 20,885 m³/día (241 L/s), siendo el promedio 19,164 m³/día, equivalente a 221 L/s, representando esto último el 97% de lo captado. Este caudal es menor que la capacidad planificada, que es 285 L/s, lo que indica que la planta ha sido operada, al menos durante este tiempo, con el 77% de su capacidad.

3.1.3.5. Caracterización de las Aguas Residuales Crudas. Al igual que en el punto anterior, para el desarrollo de este ítem se ha hecho una revisión del Contrato con el Cliente a fin de conocer la calidad del agua residual cruda que ingresa a la PTAR.

La agroexportadora ha realizado campañas de caracterización de 7 días consecutivos. Dichas campañas fueron realizadas en los siguientes periodos y serán base para el diseño de la PTAR:

- Desde el 16 al 23 de abril del 2016
- Desde el 15 al 22 de mayo del 2017

Como resultado de dichas campañas se obtuvieron los valores promedio que se presentan a continuación:

Tabla 2:*Parámetros contractuales del agua de entrada*

Parámetros	Unidades	Agua residual cruda (promedio)
Temperatura	°C	15 (mín); 27°C (máx)
DBO ₅	mg/L	400
DQO	mg/L	800
SST	mg/L	250
NTK	mg/L	90
NH ₄	mg/L	55
NO ₃	mg/L	Despreciable
Fósforo total	mg/L	10
SDT	mg/L	946 – 1220
Aceites y Grasas	mg/L	21-48 (36,7 prom)
pH	-	6.7 -7.3 (7,2 prom)
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	493 – 688 (595 prom)
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.00E+08
Huevos de helminto	Huevos/L	150

Nota: Agroexportadora (2016)

Sin embargo, durante el periodo de operación asistida (noviembre 2021 a enero 2022) se ha visto en campo que la calidad del agua residual cruda es la siguiente:

Tabla 3:*Parámetros del agua de entrada durante la operación asistida*

Parámetros	Unidades	Agua residual cruda (min)	Agua residual cruda (max)	Agua residual cruda (promedio)
DBO ₅	mg/L	249.0	359.5	298.3
DQO	mg/L	342.0	1232.0	750.3
SST	mg/L	112.0	708.0	384.7
NT	mg/L	46.0	102.1	74.2
Fósforo total	mg/L	5.3	20.2	12.6
Aceites y Grasas	mg/L	37.2	88.9	52.4
pH	-	6.9	8.0	7.4
Coliformes fecales	NMP/100mL	1400000.0	7900000.0	4610000.0
Huevos de helminto	Huevos/L	18.0	39.0	26.9

Nota: Agroexportadora (2022)

Se puede observar que en algunos parámetros superan los valores de diseño, esto debido a que la calidad del agua años atrás era diferente a lo que se vierte actualmente.

3.1.3.6. Caracterización del Efluente Final. Para el desarrollo de este ítem se ha hecho una revisión del Contrato y de la normativa vigente, a fin de definir la calidad requerida para el efluente.

El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos indica, respecto de los requisitos de calidad de efluentes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a ser destinadas a reúso, lo siguiente: Artículo 150°. - Criterios para evaluar la calidad del agua para reúso. “Las solicitudes de autorización de reúso de aguas residuales tratadas serán evaluadas tomándose en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso del agua o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de la Salud”.

Al respecto, se debe indicar que aún no se han aprobado los LMP para reúsos sectoriales, por lo que el uso de las Directrices Sanitarias de la OMS es el referente, por ahora, obligatorio. Se debe indicar, que en el año 2006 se publicaron las directrices de la OMS-FAO-PNUMA para el Uso Seguro de Aguas Residuales, el objetivo de estas guías es el maximizar la protección a la salud humana y el uso beneficioso de los desechos humanos; sin embargo, estas directrices solo cubren el uso en riego agrícola y acuícola. No existen directrices o guías de la OMS para otros usos.

Adicionalmente, el sistema de riego a utilizar en el reúso de los efluentes de la PTAR es de riego por goteo por lo que, tomando en consideración los requerimientos de calidad para reúso en riego de cultivos de tallo alto y del sistema de riego, los efluentes de la PTAR en el 99% del tiempo deben tener la calidad señalada en el siguiente cuadro.

Tabla 4:

Parámetros contractuales del agua de salida

Parámetros	Unidades	Agua tratada	Norma (*)
Temperatura	°C	< 35	ECA cat.3 – d1 Riego de vegetales
DBO ₅	mg/L	15	ECA cat.3 – d1 Riego de vegetales
DQO	mg/L	40	ECA cat.3 – d1 Riego de vegetales

Parámetros	Unidades	Agua tratada	Norma (*)
SST	mg/L	30	(**)
NTK	mg/L	10	(**)
NH ₄	mg/L	No es requisito (siempre y cuando TKN =< 10)	-
NO ₃	mg/L	No es requisito (siempre y cuando TKN =< 10)	-
Fósforo total	mg/L	< 10 mg/L (PO ₄ -P)	(**)
SDT	mg/L	< 2000	(**)
Aceites y Grasas	mg/L	=<1	ECA cat.3 – d1 Riego de vegetales (**)
pH		No es requisito	-
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	No es requisito	-
Coliformes fecales	NMP/100mL	1000	ECA cat.3 – d1 Riego de vegetales Directrices OMS (2006), Vol. 1y2
Huevos de Helmintos	Huevos/L	< 1	ECA cat.3 – d1 Riego de vegetales Directrices OMS (2006), Vol. 1y2

(*) Elaboración Propia

(**) Requerimiento del área agrícola de Agroexportadora

Nota: Agroexportadora (2016)

Es importante señalar que la tabla presentada ha sido alcanzada por la agroexportadora misma, tras ser realizada la consulta de los parámetros de salida con sus clientes y diversos especialistas.

Sin embargo, durante el periodo de operación asistida (noviembre 2021 a enero 2022) se ha visto en campo que la calidad del agua residual tratada es la siguiente:

Tabla 5:

Parámetros del agua de salida durante la operación asistida

Parámetros	Unidades	Agua tratada (min)	Agua tratada (max)	Agua tratada (promedio)
DBO ₅	mg/L	<2.0(*)	3.0	<2.0(*)
DQO	mg/L	<10.0(*)	38.0	13.1
SST	mg/L	<5.0(*)	16.0	5.9
NT	mg/L	1.0	13.7	7.5
Fósforo total	mg/L	2.9	7.8	5.6
Aceites y Grasas	mg/L	0.62	1.2	0.9
pH		7.0	8.1	7.5
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8(*)	<1.8(*)	<1.8(*)
Huevos de Helmintos	Huevos/L	<1.0(*)	<1.0(*)	<1.0(*)

(*) Por debajo del Límite de Detección (LD)

Nota: Ingenium-Calidad de agua tratada (2022)

Realmente la calidad del agua obtenida en plantas de este tipo, es excelente. No obstante, hay que tener presente que las membranas son básicamente un sistema de filtración, con un tamaño de paso de micras (UF), que impiden que a su través pase todo aquello que está en suspensión o en forma coloidal, mas no materia disuelta, por lo que con un mal funcionamiento del proceso biológico no se podría conseguir la calidad deseada.

3.1.3.7. Rendimiento de la PTAR. La eficiencia de esta planta se mide en función del porcentaje de eliminación de sólidos, materia orgánica, nutrientes y coliformes.

A continuación, los valores promedios y los porcentajes de remoción de las sustancias contaminantes durante el periodo de análisis.

Tabla 6:

Porcentaje de remoción de contaminantes

Parámetros	Unidades	Agua residual (promedio-entrada)	Agua tratada (promedio-salida)	Rendimiento (**)
DBO ₅	mg/L	298.3	<2.0 (*)	99.4%
DQO	mg/L	750.3	13.1	98.3%
SST	mg/L	384.7	5.9	98.5%
NT	mg/L	74.2	7.5	89.9%
Fósforo total	mg/L	12.6	5.6	55.6%
Aceites y grasas	mg/L	52.4	0.9	98.3%
Coliformes fecales	NMP/100mL	4610000	<1.8 (*)	99.9%
Huevos de Helmintos	Huevos/L	26.9	<1.0 (*)	99.7%

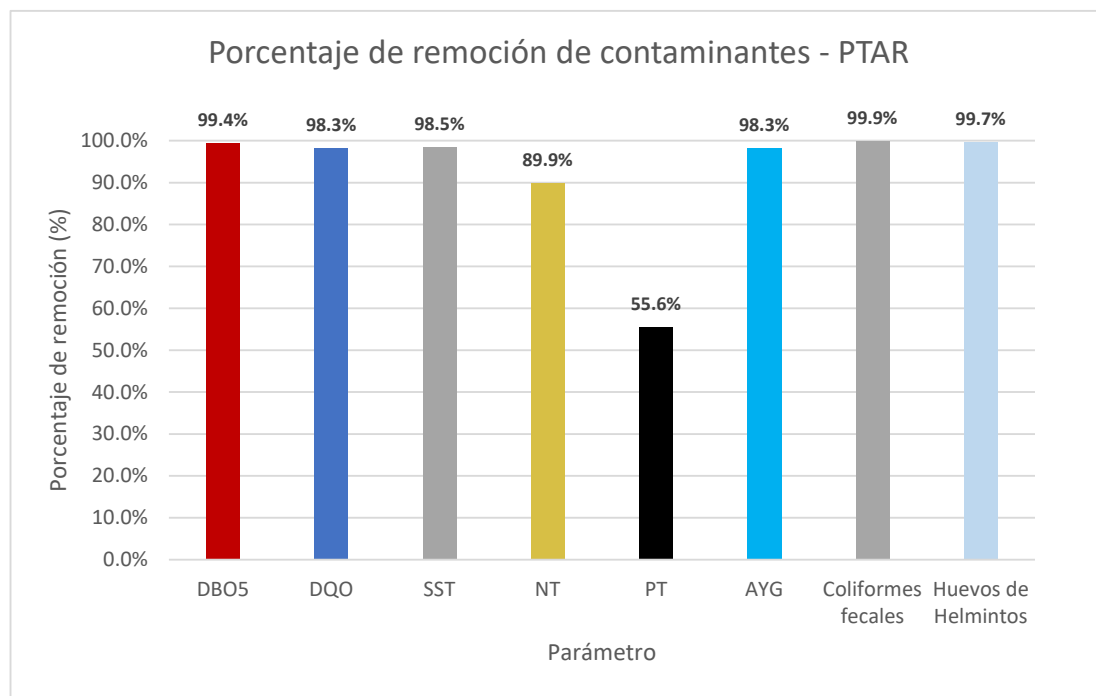
(*) Por debajo del Límite de Detección (LD)

(**) Para el cálculo del rendimiento se asume caudal de entrada igual al caudal de salida.

Nota: Agroexportadora (2022)

Figura 4:

Porcentaje de remoción de contaminantes-PTAR



Nota: Elaboración Propia

3.1.3.8. Proceso de Selección de la Mejor Tecnología. La planta de tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo tratar el agua residual municipal de Ica, con el propósito de dar cumplimiento a la normativa peruana que es de obligatorio cumplimiento, con respecto a los Límites Máximo-Permisibles (LMP) que debe cumplir un efluente de agua residual antes de su disposición final a un cuerpo receptor.

En esta parte presentaremos como así se seleccionó la tecnología de ultrafiltración para tratar el agua residual municipal de Ica.

En los Términos de Referencia de la agroexportadora, la tecnología conceptualizada como solución para el tratamiento biológico fue la de MBBR, pero a su vez es importante señalar que el mismo documento indica respecto a la solución de la PTAR lo siguiente. Este diseño conceptual será referencial para el proceso de selección del proveedor de tecnología de la PTAR Ica. Los proveedores podrán dimensionar una PTAR

alternativa al diseño conceptual, siendo el factor de competencia el costo por m³ de agua tratada por inversión y por costo de operación y mantenimiento.

Además, en los términos de referencia se señala lo siguiente: En forma alternativa se puede utilizar sistemas de filtración por membranas en remplazo de las unidades de filtración convencional y desinfección.

Esto último señalado en los términos de referencia es una de las ventajas competitivas de utilizar un sistema de filtración por membranas como el MBR, que ya no es necesario una filtración convencional ni desinfección.

Como se ha señalado la propuesta se basa en dar la mejor solución para el tratamiento de las aguas residuales municipales de la ciudad de Ica, para su reutilización para riego por parte de la Agroexportadora.

La tecnología elegida ha sido los Reactores Biológicos de Membrana (MBR), la cual es una variante de los lodos activados convencionales, este tipo de tecnología es la mejor solución para el tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Ica para su reutilización para riego por parte de la agroexportadora; debido a que ofrece las siguientes ventajas técnicas:

- La filtración por membrana garantiza que la calidad de efluente sea consistente y de alta calidad, independientemente de la decantabilidad de los lodos activos. Sistemas convencionales con clarificadores dependen de la decantabilidad de los lodos activos para operar con eficiencia, y cambios en la calidad de agua de entrada pueden afectar su operación, lo que no ocurriría con un sistema de membranas.

En ese sentido, con el proceso planteado de lodos activados aireación extendida e incluyendo ultrafiltración y desinfección se llega de manera segura a los parámetros que exige el proyecto.

- La remoción de nutrientes se aplica, en este caso, porque el agua residual municipal contiene una concentración de nitrógeno y fósforo no óptima para las exigencias de la producción industrial de los cultivos regados. En este caso para dicho fin se ha incluido en el diseño una etapa anóxica.

- El parámetro de nitrógeno exigido no depende de la tecnología de membranas ya que el tratamiento de nitrógeno se da dentro del reactor.
- Si bien la tecnología de MBR garantiza parámetros elevados de calidad, el proyecto en sí no es tan restrictivo. Es cierto que el MBR operado da agua con mayor calidad, pero hay que considerar que la calidad está por encima de la requerida.
- La planta es mucho más compacta que sistemas convencionales, ofreciendo al cliente una reducción de costos y facilidades de expansión con menor requerimiento de espacio.

Esta es una ventaja importante si el limitante es la disponibilidad de terreno. Actualmente se tiene un terreno contratado que permite que cambiar a la tipología de lodos activados aeración extendida con ultrafiltración y desinfección no sea un problema.

En cuanto al costo la implementación en obra civil si será mayor pero el ahorro en equipamiento e implementación es más elevado.

- Las ventajas de los sistemas de MBR son importantes en cuanto a la eficiencia de operación, garantía de calidad y mejor uso de la inversión. Por estas razones la tecnología de MBR es considerada la más apropiada para proyectos de reúso de efluentes.
- Flexibilidad: en la operación de sistemas de MBR, el reactor biológico trabaja con concentraciones de biomasa más altas que en sistemas convencionales (incluyendo MBBR). Esta característica de la tecnología MBR brinda mayor estabilidad del tratamiento ante cambios de caudal y carga, redundando en una calidad constante del efluente de la PTAR.

Los lodos activados aeración extendida con ultrafiltración y desinfección, también tiene buen comportamiento y es flexible si hay una variación de baja a media en la concentración del desagüe.

Se debe considerar que la planta trata agua residual municipal, en la misma la variación de concentración es pequeña, además en este proyecto se estima que la variación de caudal también será pequeña ya que se captará agua de manera constante.

- Es cierto que el MBR es más flexible si se presentan cambios extremos en concentración y caudales. Pero en el caso del proyecto ese escenario es improbable.
- Flexibilidad en la operación mediante cambios a tiempos de retención en el biorreactor, que permiten variaciones en los procesos de digestión y por ende en la capacidad de tratamiento de la planta.

Al tener un reactor más grande y decantadores grandes se tiene mayores tiempos de retención y por ende mayor flexibilidad en lo que se refiere a tiempos de retención.

- Reducción de los costos operativos pues la tecnología MBR no necesita del proceso de desinfección que si es requerida en procesos convencionales. Las membranas otorgan una retención de bacterias y virus, obteniendo un efluente que es esencialmente estéril, lo que elimina necesidades de costosos procesos de desinfección. La importancia de esto es que también se elimina la peligrosidad asociada con productos de desinfección (como la formación de cloroaminas).
- Los huevos de helminto es el parámetro microbiológico más difícil de remover tanto en los procesos de filtración convencional como en la desinfección. En las plantas de MBR, el proceso de ultrafiltración al ser un proceso de remoción física por membrana de porosidad constante asegura la remoción de los parásitos.
- La velocidad de operación del sistema MBR permite asegurar un abastecimiento constante de agua producto para su reúso.
- La operación de sistemas de MBR en las concentraciones de lodos activados es mucho más alto que sistemas convencionales ofreciendo un sistema con mayor estabilidad en episodios de cambio de caudal, carga o ante cambios anómalos (concentraciones de agentes químicos como desinfectantes u oxidantes, entre otros que dañan un proceso de digestión por lodos activados).

Un sistema de lodos activados aeración extendida tiene un comportamiento bueno a variaciones bajas y medias de concentración de contaminantes, con variaciones altas el comportamiento es mejor en MBR. Pero por tipo de agua a tratar no se espera variaciones altas.

- El fenómeno de transferencia de masa a través de la membrana de ultrafiltración asegura que el agua producto se encuentre libre de cualquier sólido suspendidos. La permeabilidad de las membranas es tan baja que el proceso de remoción de material particulado es altamente eficiente.
- Es un sistema de fácil operación y mantenimiento que no necesita un alto grado de cualificación de los operarios.
- El costo de mantenimiento es bajo y se reduce a mantenimientos mecánicos y eléctricos que se puede resolver con proveedores locales y no únicos. En MBR, el costo de mantenimiento es elevado debido a la reposición de las membranas. Dicho costo dependerá directamente de la calidad de entrada y de una correcta operación.
- Si se deja reserva de espacio es fácilmente ampliable.

En conclusión, las ventajas de los sistemas de MBR son importantes en cuanto a simplicidad, fiabilidad, eficiencia de operación, garantía de calidad y mejor uso de la inversión. Por estas razones la tecnología de MBR es considerada la más apropiada para proyectos de reúso de efluentes.

3.1.3.9. Descripción de los procesos unitarios de la PTAR. El objetivo de esta PTAR es dar cumplimiento a los parámetros exigidos por el cliente para la reutilización del agua tratada. El uso que se pretende dar al agua tratada es un uso agrícola, en particular, para el riego de cultivos de tallo alto: Uva, Palta, Arándanos, entre otros, para fines de consumo humano, ubicados en el valle de Ica.

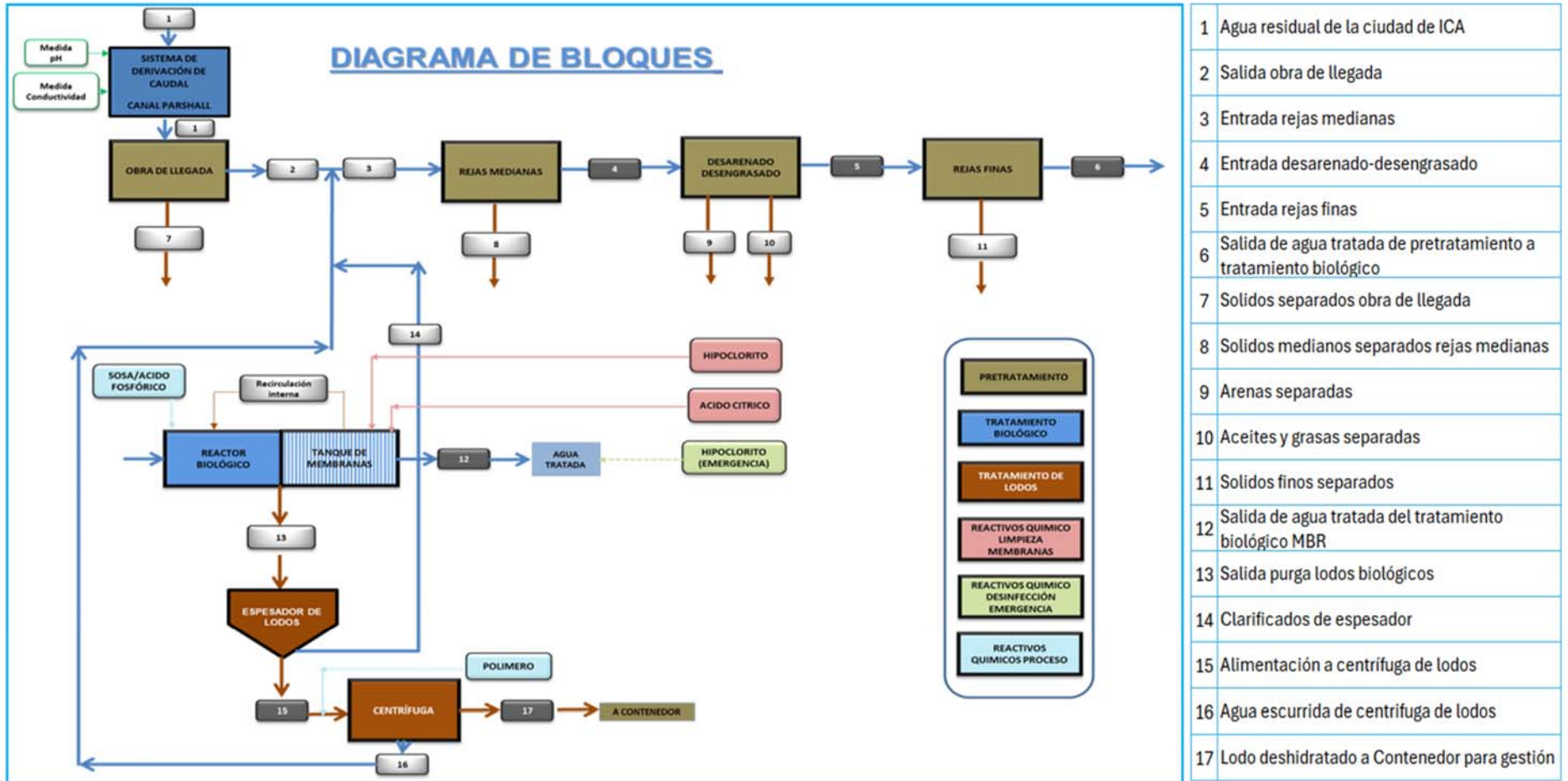
El proceso incluye las siguientes etapas:

- Sistema de alerta temprana
- Sistema de derivación de caudal. Canal parshall.
- Estructura de llegada con cribado grueso y cuchara bivalva.
- Pretratamiento que incluye cribado medio, desarenado/desengrasado y cribado fino.
- Proceso biológico para remoción de materia orgánica y nitrógeno.
- Clarificación por membranas MBR.
- Espesamiento de lodos.
- Deshidratación de lodos.
- Tratamiento y control de olores en el pretratamiento.
- Desinfección del agua tratada con hipoclorito sódico.

A nivel esquemático la línea de tratamiento quedaría de la siguiente forma:

Figura 5:

Línea de tratamiento



Nota: Elaboración propia

a) Sistema de alerta temprana

El sistema de alerta temprana cuenta con sensores de pH y conductividad.

De esta forma una vez que el agua llegue al sistema se realizará una medición de ambos parámetros de manera que se pueda determinar el ingreso o no a la PTAR. Si el agua está contaminada o combinada con agua residual industrial y los parámetros superan el set point permitido para ingreso a la planta, se cerrará la compuerta de forma que no permita el paso del agua a la PTAR.

Figura 6:

Sistema de alerta temprana



Nota: Elaboración Propia

b) Ingreso a la planta de tratamiento. estructura de llegada

El agua cruda entregada por el cliente llega por canal donde se instalará un medidor de caudal tipo Doppler. Esta medida de caudal servirá principalmente para que el concedente del agua residual sin tratar pueda medir el agua que ingresa a la planta.

Adicionalmente se colocarán elementos de medición de pH y conductividad de forma que si exceden los niveles de estos parámetros se cierran las compuertas de la estructura de derivación y se impida la entrada del agua a la planta. Deberá contar con caseta independiente para uso del supervisor.

Figura 7:

Medidores de pH y conductividad.



Nota: Elaboración Propia.

A continuación, el agua entrará en la arqueta de llegada para separación de grandes sólidos, la cual es un tanque atmosférico en concreto armado. Esta unidad está equipada con una reja gruesa manual de barras verticales con luz de paso de 40 mm. Para facilitar la extracción de los objetos o sólidos gruesos retenidos en esta reja, se cuenta con una cuchara bivalva.

Figura 8:

Rejas Medianas y Cuchara Bivalva



Nota: Elaboración Propia.

c) Pretratamiento

El objetivo del pretratamiento es separar del agua residual la mayor cantidad posible de materia que, ya sea por su naturaleza o su tamaño, pueda dar problemas en los tratamientos posteriores. Mediante las operaciones del pretratamiento se elimina generalmente sólidos grandes y medianos, arenas, grasas, etc.

Canales de cribado mediano

El agua tras pasar la obra de llegada (separación de sólidos gruesos) y ya libre de objetos grandes, en operación normal, se bifurca en dos Canales de Pretratamiento, en los cuales se encuentran instaladas las Rejas Mecánicas Medianas.

Las Rejas Mecánicas Medianas, suficientemente robustas para detener cualquier tipo de desecho de tamaño mayor de 1cm que pueda posiblemente llegar a la planta de tratamiento. Los sólidos retenidos caen en un transportador, compactador, lavador y son evacuados en contenedores que serán dispuestos y gestionados por empresa autorizada para tal fin. Estos serán transportados y dispuestos en relleno sanitario. Los dos canales de pretratamiento tendrán la capacidad del flujo máximo unitario de (420 l/s).

Figura 9:

Rejas medianas



Nota: Elaboración Propia.

Desarenado-desengrasado

El desarenado tiene por objetivo eliminar las materias pesadas con granulometría superior a 200 micras, con objeto de evitar sedimentos en canales y proteger las bombas y equipos posteriores. En esta misma etapa se realizará el desengrasado con el objeto de eliminar grasas y aceites y demás materias flotantes. Se instalarán desarenadores desengrasadores rectangulares aireados

Los desarenadores estarán equipados por difusores a los que se le realiza la inyección de aire por medio de sopladores. Las arenas son extraídas por medio de bombas de extracción de arenas hacia el sistema separador de arenas, donde son dispuestas en contenedor. Las grasas serán removidas por un canal recolector de grasas en la superficie.

Cada desarenador-desengrasador tendrá la capacidad de flujo máximo unitario de (420 l/s). Los residuos generados en esta etapa, arenas y grasas serán recogidos en contenedores y su disposición será realizada por empresas autorizadas para gestión de residuos sólidos, que los trasportará a un relleno sanitario.

Figura 10:

Desarenador y Desengrasador



Nota: Elaboración Propia.

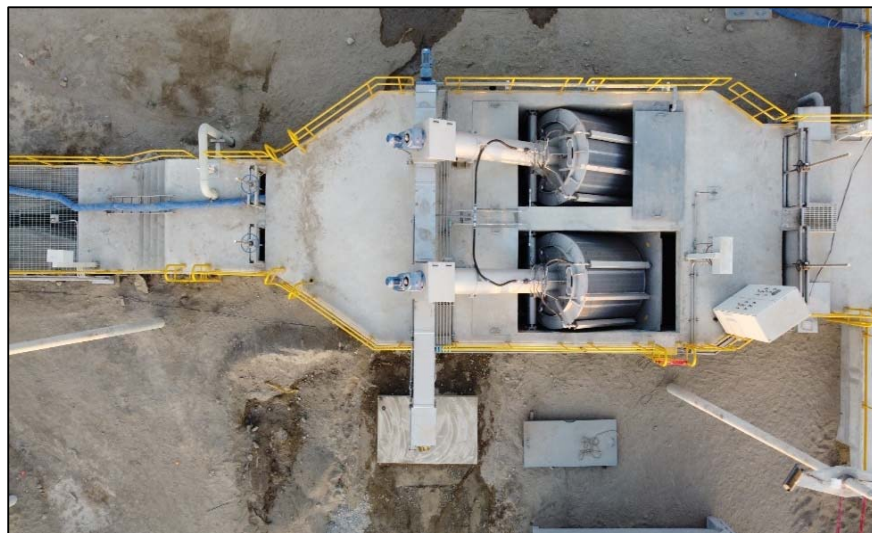
Canales de cribado fino

Posteriormente y para finalizar el pretratamiento el agua pasará por sendos canales donde se han instalado tamices Finos, con luz de paso de 1,5 mm, de manera que se proteja así el tratamiento posterior por membranas. Los sólidos retenidos caen en un transportador, compactador, lavador de sólidos y son evacuados en contenedores que

serán dispuestos y gestionados por empresa autorizada para tal fin. Estos serán transportados y dispuestos en relleno sanitario.

Figura 11:

Rejas Finas



Nota: Elaboración Propia.

Medición de caudal

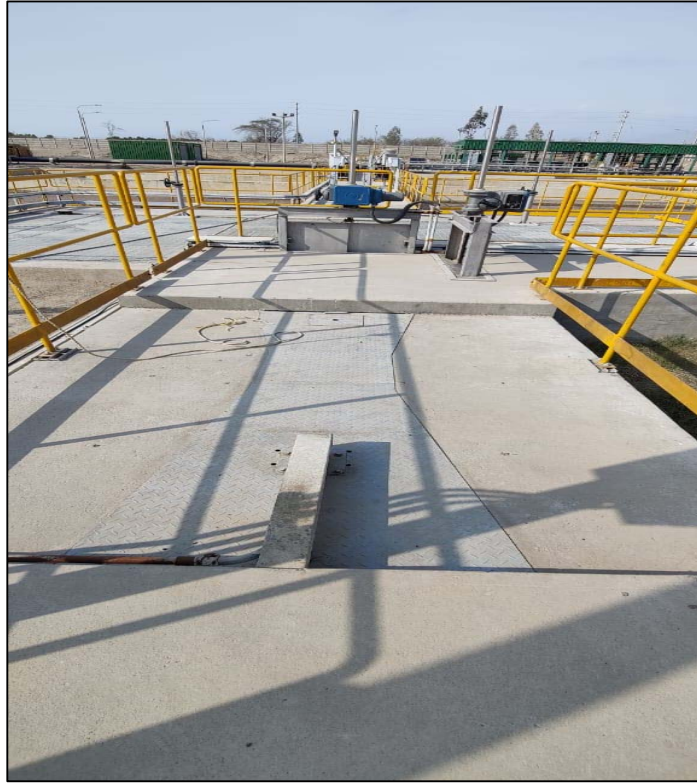
La medición de caudal se llevará a cabo mediante un medidor de régimen crítico tipo Parshall.

Este medidor se encontrará después de las rejas de finos, para posteriormente pasar al tratamiento biológico.

Al final del sistema de pretratamiento, se instalará una estructura de by-pass, dado que esto es obligatorio y está recogido en el punto 3.20 By-pass de la Norma OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones. Por ello, según esta norma en casos de necesidad se desviará el caudal mediante el by pass que descargará en el Río Ica, ya que según esta norma no se permite verter agua sin pretratar.

Figura 12:

Canal Parshall



Nota: Elaboración Propia.

d) Tratamiento biológico MBR

La función del tratamiento biológico es la reducción de la concentración de la materia orgánica.

Este proceso consta básicamente de dos reactores, un reactor anóxico en donde se lleva a cabo desnitrificación del agua; y un reactor aerobio tipo lodos activados, en donde se lleva a cabo la nitrificación.

El diseño se ha realizado teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa según normativa RM 128-2017-Vivienda, en su Artículo 15 Tratamiento de lodos generados en la PTAR, y referido al Acápite A del anexo II, donde se indican las condiciones para la estabilización del lodo.

Según esto se ha diseñado con un tiempo de retención celular según criterios de diseño de aireación extendida.

La estabilización del lodo biológico se realiza en el mismo reactor biológico, debido a que el diseño contempla un tiempo de retención celular de 20 días aproximadamente, esta condición de diseño hace que el lodo que se va a deshidratación sea un lodo estabilizado.

Existe una corriente de recirculación interna entre los reactores nitrificadores y desnitrificadores, con esto se logra ciertas condiciones con las que se pueda llevar a cabo la remoción de materia orgánica y nutrientes del agua residual.

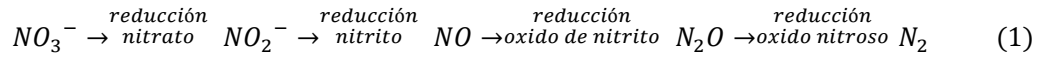
En la zona anóxica, los microorganismos que actúan en la conversión de la materia orgánica metabolizan el nitrógeno de los nitratos en nitrógeno gas, en ausencia de oxígeno.

En la zona aerobia, el oxígeno favorece la síntesis, la respiración endógena y la nitrificación.

Reactor anóxico

El término anóxico se utiliza para distinguir el uso de nitritos y nitratos como receptores de electrones en condiciones anaerobias, es decir en ausencia de oxígeno. En tales condiciones ocurre la reducción de nitritos y nitratos a nitrógeno gas, esta reacción también se conoce como desnitrificación biológica.

La desnitrificación es un proceso que realizan ciertas bacterias durante la respiración anaeróbica usando el nitrato como aceptor terminal de electrones en condiciones anóxicas. El proceso de reducción de nitratos hasta nitrógeno gas ocurre en etapas en serie como vemos en la ecuación 1, catalizadas por sistemas enzimáticos diferentes, apareciendo como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso:



La desnitrificación requiere un sustrato oxidable, en este caso es la materia orgánica presente en el agua residual, que actúa como fuente de energía, por lo que la desnitrificación puede llevarse a cabo tanto por bacterias heterótrofas como autótrofas. En nuestro caso, la desnitrificación heterótrofa, el sustrato orgánico actúa como fuente de energía (donador de electrones) y fuente de carbono.

El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera:

El agua pretratada entra en la arqueta de distribución de los reactores donde se repartirá en los dos módulos del reactor anóxico donde se encuentran instalados cuatro mezcladores sumergibles. En esta arqueta el agua se mezcla con el licor mixto recirculado de los tanques de membrana a través de bombas. En la pared que separa al Reactor Anóxico del Reactor Aerobio, se tienen unas ventanas ubicadas en la parte inferior de la pared las cuales permiten el paso del agua del reactor anóxico al reactor aerobio para seguir con el tratamiento.

La espuma que puede ser acumulada en la superficie del reactor será desechada desde una caja de recepción en el extremo de la alimentación del tanque de membrana, por medio de placa de presa. En el caso en que esto no sea suficiente, en una situación especial se puede añadir un producto químico antiespumante en el licor mixto.

El proceso biológico anóxico fue diseñado a flujo promedio (300 l/s).

Figura 13:

Reactor Anóxico



Nota: Elaboración Propia.

Reactor aerobio

El postratamiento aerobio del efluente del reactor anóxico se trata de un sistema comúnmente conocido como proceso de lodos activados en su variante aireación extendida. Esta selección responde al requerimiento de una alta eficiencia en la eliminación de material orgánico contaminante con el fin de dar cumplimiento a la normativa ambiental peruana.

Para el tratamiento aerobio del efluente de los reactores anóxicos se dispone de dos módulos aerobios. El aporte de oxígeno en el reactor biológico se realizará mediante la instalación de soplantes que proporcionarán el oxígeno necesario en el reactor biológico y mediante difusores situados en el fondo de éste que efectuarán la difusión de oxígeno en todo el reactor biológico de manera homogénea. Los sopladores tienen una doble función: transferir el oxígeno necesario a los microorganismos y mantener el mezclado dentro del reactor.

Los sopladores y la red de difusores tienen la capacidad de suministrar el aire necesario para el flujo máximo 300 l/s.

Figura 14:

Reactor Aerobio



Nota: Elaboración Propia.

e) Clarificación mediante membranas MBR

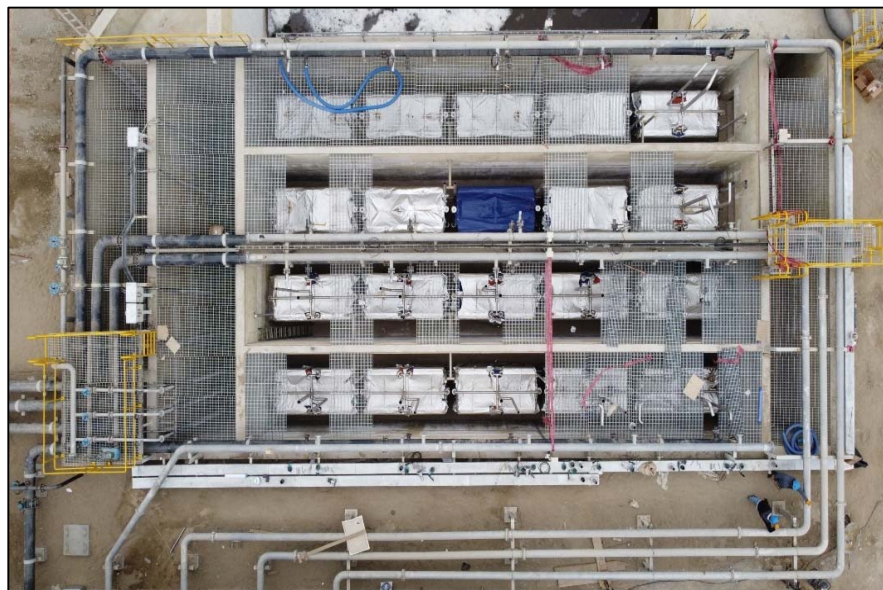
El sistema de clarificación secundario consiste en un sistema de filtración por membranas que gracias al tamaño de poro de dichas membranas separa la fase sólida de la fase líquida presentes en el reactor biológico. La fase sólida son los lodos activos encargados de la degradación, y la fase líquida es el agua ya depurada, que es el efluente de la PTAR.

La membrana será de fibra hueca, con una disposición en módulos agrupados en armarios. Dichas membranas estarán sumergidas en el tanque de membranas y en contacto directo con los lodos activados.

La filtración de agua se realiza desde la cara exterior de las membranas hacia el interior, de forma que la superficie susceptible de ensuciamiento es externa, facilitando así su limpieza de forma sencilla y eficaz mediante el sistema de aire en continuo

Figura 15:

Tanque de Membranas



Nota: Elaboración Propia.

El paso de agua desde el exterior al interior de la membrana para la extracción del agua limpia a su través se realiza aplicando una presión negativa, proporcionada mediante una bomba de permeado. De esta manera, el flux de las membranas puede adaptarse al caudal necesario en la planta.

Es importante que se mantenga siempre operativa la superficie de la membrana para filtrar. Para ello el proceso dispone de varios sistemas de limpieza automáticos.

Sistema de limpieza:

La planta estará equipada con un sistema de limpieza común para los cuatro trenes, de forma que solo un tren será capaz de realizar una limpieza en cualquier momento en alternancia con los otros.

El sistema se compone de bombas de limpieza y dos sistemas de limpieza química.

Existen dos tipos de limpieza: Limpieza de mantenimiento y limpieza de recuperación.

El hipoclorito de sodio es el producto químico de limpieza utilizado para la eliminación de la contaminación orgánica. Igualmente, el ácido cítrico es el utilizado para eliminar contaminantes inorgánicos.

En primer lugar, de forma continua se introduce aire en la parte inferior del módulo de membranas, mediante los sopladores, produciéndose una turbulencia que limpia la superficie externa de las fibras. Esta acción de limpieza separa los sólidos de la superficie de membrana.

En segundo lugar, la unidad cuenta con un sistema de limpieza común para los cuatro trenes, de forma que solo un tren será capaz de realizar una limpieza en cualquier momento en alternancia con los otros. Mediante la bomba se hace pasar una cantidad de agua permeada con producto químico (mediante las bombas dosificadoras) hacia el interior de las membranas (sentido contrario al flujo en operación), es decir de dentro hacia afuera arrastrando y limpiando los sólidos depositados en la superficie de las membranas.

El sistema se compone de bombas de limpieza y dos sistemas de limpieza química (hipoclorito y ácido cítrico).

Las frecuencias recomendadas para estas limpiezas son:

Tabla 7:*Frecuencia de limpieza de membranas*

Reactivo	Tipo de limpieza	Frecuencia	
Hipoclorito de sodio	Limpieza de mantenimiento	1 vez/semana	
	Limpieza de recuperación	1 vez/cada 3 meses	
Ácido cítrico	Limpieza de mantenimiento	1 vez/mes	(Mitsubishi le denomina Limpieza recuperación 1%)
	Limpieza de recuperación	1 vez/año	(Mitsubishi le denomina Limpieza recuperación 2%)

Nota: Elaboración propia

Los aspectos generales que caracterizan los sistemas de clarificación mediante membranas son los siguientes:

- Permite alcanzar una alta concentración de microorganismos en el licor mezcla, gracias a la gran eficacia del sistema de separación, es decir, las membranas. Debido a lo anterior, el MBR es un sistema muy compacto, con un considerable ahorro de espacio.
- Da una gran estabilidad al tratamiento biológico frente a condiciones variables, tanto de carga como de caudal en el influente, o frente a la presencia esporádica de agentes tóxicos.
- Se trata de una tecnología que tiene una implantación modular, con las ventajas en cuanto a facilidad de ampliación o sencillez de instalación por fases que esto lleva aparejado.
- Es un sistema de fácil operación y mantenimiento.
- Lleva incorporado en sí mismos un tratamiento terciario completo, por lo que hace dos funciones simultáneamente: clarificación y tratamiento terciario.

f) Tratamiento de lodos

Espesador

Los lodos purgados en exceso van mediante las bombas de drenaje hacia el espesador de lodos. El sobrenadante de los espesadores se envía por gravedad al pretratamiento. Los lodos ya espesados son enviados mediante las bombas de desplazamiento positivo, hacia la etapa de deshidratación de lodos.

Figura 16:

Espesadores



Nota: Elaboración Propia.

Deshidratación de los lodos

La deshidratación de los lodos tiene como objetivo reducir su contenido de humedad para facilitar su manejo, reduciendo los costos de transporte y minimizando la generación de lixiviados en el sitio de disposición.

La deshidratación de los lodos se lleva a cabo mediante dos centrifugas decantadoras.

Para obtener mejores resultados de deshidratación, se lleva a cabo una dosificación de polímero en la línea de lodos. Para este fin se cuenta con un sistema de preparación de polímero.

Figura 17:

Centrifugas decantadoras



Nota: Elaboración Propia.

Según lo enunciado en el numeral 2.4.3, el diseño se ha realizado teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa según normativa RM 128-2017-Vivienda, en su Artículo 15 Tratamiento de lodos generados en la PTAR, y referido al Acápite A del anexo II, donde se indican las condiciones para la estabilización del lodo.

Según esto se ha diseñado con un tiempo de retención celular según criterios de diseño de aireación extendida. La estabilización del lodo biológico se realiza en el mismo reactor biológico, debido a que el diseño contempla un tiempo de retención celular de 20 días aproximadamente, esta condición de diseño hace que el lodo que se va a deshidratación sea un lodo estabilizado.

g) Tratamiento y control de olores en el pretratamiento

La planta contará con un sistema de tratamiento de olores en los canales de medios y de finos del pretratamiento que irán cubiertos. Las tuberías que aspiran y extraen el aire por aspiración directa de los canales conectarán con dicho sistema de extracción y tratamiento que constará de un filtro de carbón activo y un ventilador extractor.

Figura 18:

Sistema de control de olores



Nota: Elaboración Propia.

El filtro de carbón activo constará de un cilindro relleno de carbón activo dotado con una solución alcalina óptima para la desulfuración de gases. A su paso a través del carbón el H_2S es convertido a S elemental y queda retenido en los puntos de carbón activo.

h) Sistema de desinfección de emergencia

Se dispondrá un sistema de desinfección de emergencia para el caso en que sea necesario utilizar esta medida en cumplimiento de los parámetros exigidos de salida en coliformes fecales. Se instalará en el tanque de salida un canal con dosificación automática

de hipoclorito sódico, con un tiempo de contacto a caudal máximo mayor o igual a 30 minutos.

Figura 19:

Arqueta de salida con desinfección de emergencia



Nota: Elaboración Propia.

3.2 Marco Teórico

3.2.1 Reúso de las Aguas Residuales Municipales en América Latina

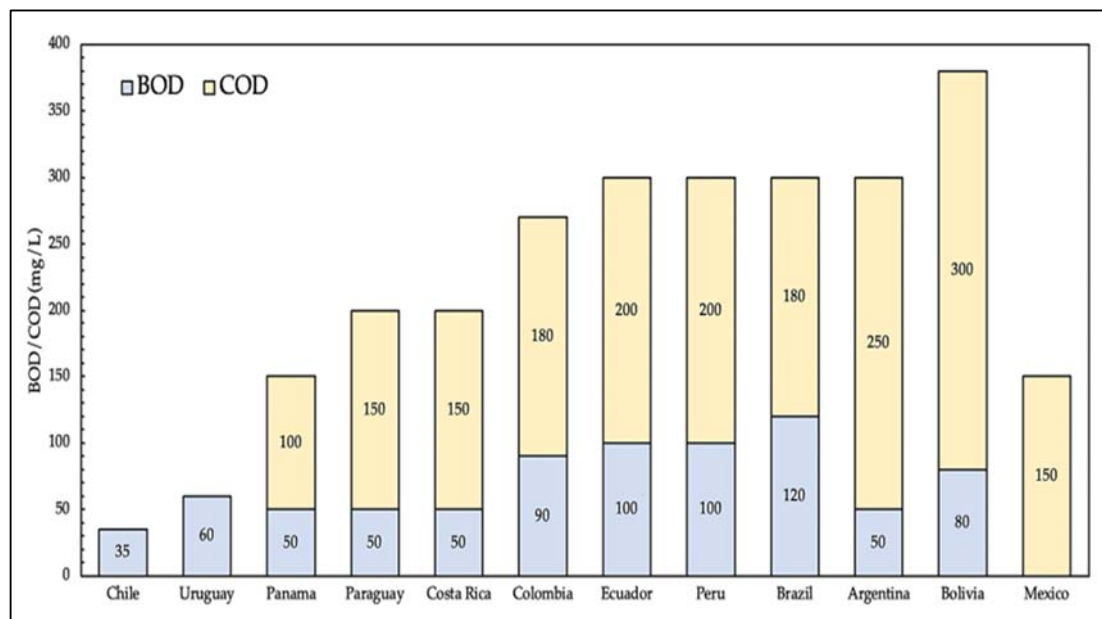
Según Félix et al (2023), si bien durante la última década se ha venido avanzando en el tratamiento de las aguas residuales en la región de América Latina, el nivel actual de tratamiento sigue por debajo de los niveles satisfactorios para una región con altos ingresos y tasas de urbanización. En el 2017, se trataba menos del 30-40 % de las aguas residuales producidas (Benavides et al., 2019; Van Puijenbroek et al., 2019; Jones et al., 2021), lo cual representa una mejora significativa en comparación con lo que se trataba hace una década, cuando solo el 15 % de las aguas residuales recibía tratamiento (Noyola et al., 2012) y apenas el 6 % de ellas cumplía con los estándares aceptables (Banco Mundial, 2017).

Noyola et al. (2012) analizaron una muestra de 2734 plantas de tratamiento de aguas residuales en América Latina, siendo México el que tenía el mayor número (1653), seguido de Brasil (702) y Chile (175). De estas, las lagunas de estabilización se configuraron como el principal método de tratamiento de las aguas residuales en América Latina (38% de la muestra), seguida por los lodos activados (26% de la muestra) y los reactores anaeróbicos de flujo ascendente (17%), representando en su conjunto el 81% de la muestra.

La Figura que se muestra a continuación ilustra los límites de vertido de materia orgánica en países latinoamericanos, Chile impone el límite más estricto con 35 mg/L de DBO, seguido de Panamá, Paraguay, Costa Rica y Argentina con 50 mg/L. Bolivia, Argentina, Perú y Ecuador tienen regulaciones más laxas en cuanto a la contaminación de materia orgánica en aguas superficiales entre 200-300 mg/L respecto a DQO. Algunos países adoptan regulaciones flexibles que consideran las características del cuerpo de agua y la capacidad de las aguas receptoras para la dilución (Félix et al, 2023).

Figura 20:

Límites de vertido de materia orgánica en países latinoamericanos.



Nota: Extraído de Félix et al (2023, pp. 160)

Se ha visto que la agricultura es el mayor usuario de agua reutilizada en términos de volumen en comparación con otras aplicaciones debido a su alta demanda de agua (Gil-Meseguer et al., 2019). China, México y Estados Unidos se destacan como las naciones con el mayor volumen de agua reutilizada si se considera la cantidad total (Jiménez y Asano, 2015). Sin embargo, la posición de Israel como líder mundial en la reutilización de aguas residuales para el sector agrícola se deriva de su legislación e instituciones que han cultivado la confianza entre los usuarios de aguas residuales tratadas (Duong y Saphores, 2015). En países y regiones con escasez de agua, la práctica del reúso de aguas residuales ofrece una solución prometedora para aliviar la presión sobre los recursos limitados de agua dulce al sustituirlos con agua recuperada para fines no potables (Helmecke et al., 2020).

En América Latina, muchos países aún carecen de regulaciones sobre el reúso de las aguas residuales tratadas. Por ejemplo, en muchos de ellos no existe un marco legal que especifique la calidad del agua requerida en función del uso del efluente tratado (agrícola, urbano, industrial, etc.) (Von Sperling, 2007). Esta falta de marcos regulatorios conduce a un conocimiento y comprensión limitados de las ventajas y las aplicaciones potenciales del agua residual tratada y los biosólidos, lo que obstaculiza su pleno potencial de mercado. Además, los recursos financieros limitados asignados para la inversión en infraestructura de tratamiento de aguas residuales e iniciativas de comercialización impiden aún más la promoción y adopción del uso del agua residual tratada y biosólidos.

También la percepción de la calidad del agua residual tratada es crucial para determinar su aceptación. Las campañas de comunicación y educación efectivas son esenciales para abordar los conceptos erróneos y mejorar la comprensión pública de los procesos de tratamiento que garantizan la seguridad para su posterior uso.

Para mejorar el tratamiento de aguas residuales en América Latina, es necesaria una estrategia integral acompañada de un marco favorable, políticas, instituciones (Ulloa-Murillo et al., 2022). A la fecha existen muchos desafíos, la experiencia técnica limitada, la resistencia al cambio, la infraestructura inadecuada, los factores socioeconómicos y la falta de concientización. Superar estos desafíos requiere el desarrollo de capacidades, la participación de las partes interesadas y campañas de concienciación pública para mejorar la gestión de las aguas residuales (Real et al., 2021).

3.2.2 Reúso de Las Aguas Residuales en el Perú

El crecimiento acelerado de la población, la contaminación de las fuentes de agua, la sobreexplotación de los acuíferos, la desigual distribución espacial del recurso hídrico y los prolongados períodos de estiaje, vienen forzando la necesidad de buscar fuentes alternativas para el abastecimiento de agua. En este contexto, las aguas residuales tratadas constituyen una alternativa para atender la demanda del recurso hídrico en actividades que no requieren de la calidad del agua potable.

Según Fernández (2011) por temas ambientales, económicos y sociales, las aguas residuales provenientes de los usos poblacionales o procesos industriales no pueden ser evacuados directamente a fuentes naturales o reusadas sin tratamiento para fines agrícolas, toda vez que constituye una obligación de quien lo produce, asumir los costos de su tratamiento previo; sin embargo, gran proporción de las aguas residuales generadas en el país no son tratadas, vertiéndose directamente a los ríos, al mar o a falta de agua superficial usadas directamente para el riego de cultivos.

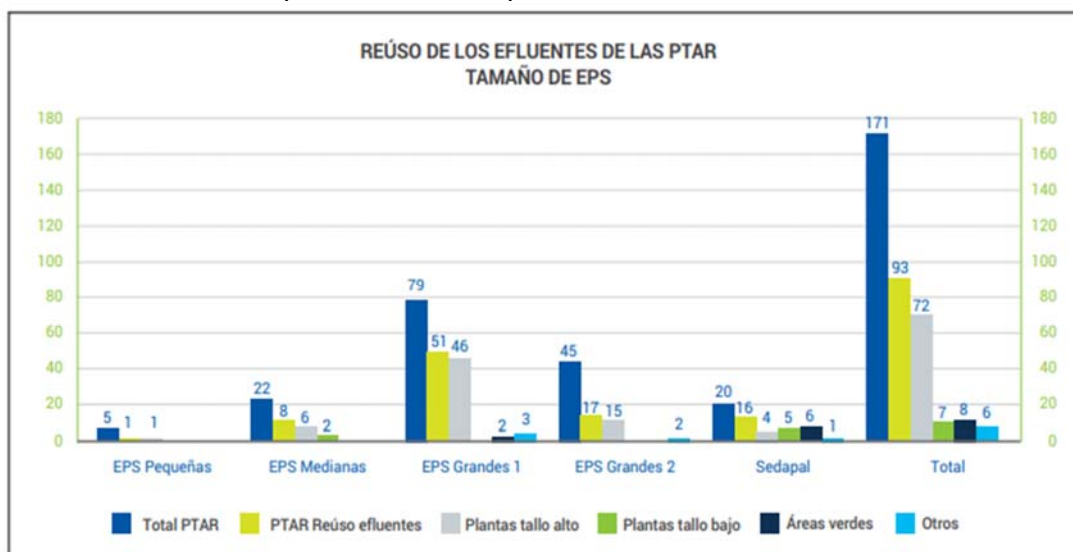
En el Perú, las plantas de tratamiento de aguas residuales operativas extraen 4.1 millones de m³ de agua residual al día y producen alrededor de 2.5 millones de m³ de efluente tratado, diariamente. De las 171 PTAR en funcionamiento, en 93 reúsan sus efluentes: 72 PTAR reúsan sus efluentes para riego de plantas de tallo alto, 7 PTAR reúsan

sus efluentes para riego de plantas de tallo bajo, 8 PTAR reúsan sus efluentes para el riego de áreas verdes urbanas, 6 plantas reúsan para otros fines, como la planta de tratamiento la Enlozada donde el 65% (1000 l/s) de los efluentes producidos son usados en la planta de procesamiento de mineral de la compañía minera Cerro Verde y el resto (entre 500 a 800 l/s) es vertido al río Chili para su recarga. SUNASS (2022).

En la figura se muestra la cantidad de PTAR que reúsan sus efluentes por tamaño de empresa.

Figura 21:

Reúso de los efluentes por tamaño de empresa



Nota: Extraído de SUNASS (2022). Reportes remitidos por las empresas prestadoras el año 2021.

En el Perú, el 73 % de las PTAR incluye en su proceso de tratamiento algún tipo de laguna. El uso de lagunas de estabilización en sus diferentes combinaciones permite alcanzar hasta 10 días de periodo de retención hidráulica, lo que permite eliminar parásitos nemátodos humanos y cumplir con el requerimiento para riego de cultivos de tallo alto, forrajes, industriales y forestales, que son las categorías más usadas en la actividad agrícola peruana regada con aguas residuales. Para el riego municipal, se utilizan principalmente plantas compactas, como son los lodos activados, esta tecnología utilizada

solo por el 5% de las PTAR se está incorporando aceleradamente sobre todo en las ciudades más grandes. La tecnología está avanzando en este campo y se puede disponer actualmente de los sistemas MBR y MBBR que incorporan membranas de ultrafiltración para fines donde se requiera una calidad superior ANA (2016).

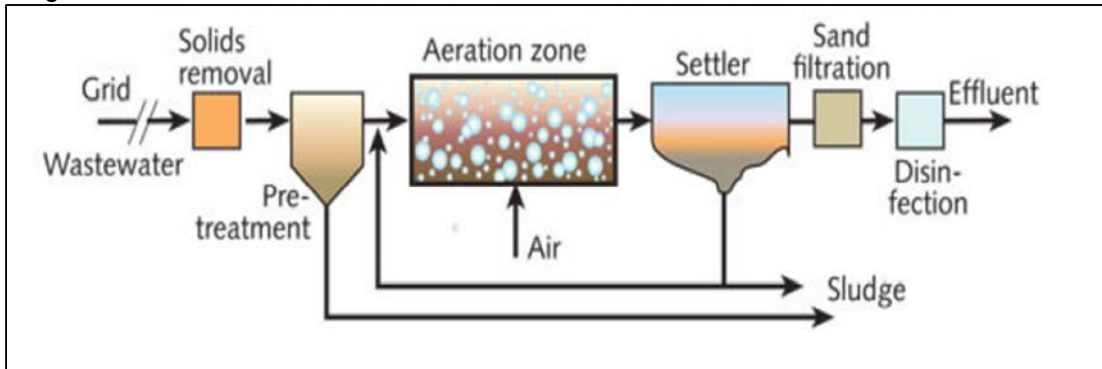
El panorama actual es reflejo de que hay una demanda de las aguas residuales por parte de otros sectores. No obstante, muchos de estos usuarios no tienen la autorización correspondiente, debido a varias razones, tales como: son usuarios informales, no cuentan con un título de propiedad de los terrenos agrícolas, desconocen o no es de su interés el procedimiento de formalización.

3.2.3 Biorreactor de Membranas

Los lodos activados son una técnica común para el tratamiento de las aguas residuales. El proceso de lodos activados es un proceso biológico dependiente del oxígeno, el cual permite convertir la materia orgánica soluble en biomasa sólida, que puede eliminarse fácilmente por gravedad (Pratima, 2017). Un proceso de lodos activados requiere de un reactor denominado también tanque de aireación, donde se lleva a cabo la oxidación de la materia orgánica y el amoníaco, un clarificador secundario donde se decanta el lodo y las aguas residuales tratadas se eliminan y un sistema de recirculación de lodos, ya que una parte del lodo decantado se elimina y otra regresa al tanque de aireación para mantener la concentración ideal de biomasa (Rittmann y McCarty, 2001).

Figura 22:

Diagrama de un sistema de lodos activados convencional



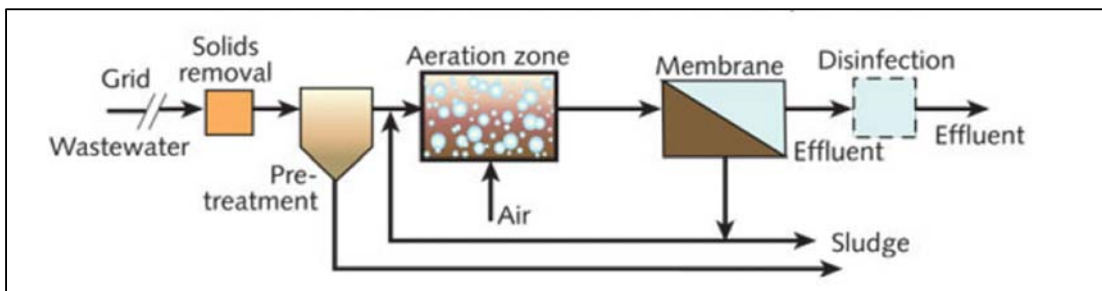
Nota: Extraído de Pandey et al (2014, pp. 4)

“Los biorreactores con membranas (MBR) se pueden definir como la combinación de dos procesos básicos: la degradación biológica y la separación por membrana” (Flores et. al., 2019, pp. 58), donde en este último se lleva a cabo la separación de líquidos y sólidos, en sustitución de los clarificadores secundarios (Metcalf, 2014).

Este proceso tiene las mismas fases que en un proceso convencional de lodos activados: oxidación biológica, separación sólido-líquido, recirculación de fangos y purga de fangos en exceso.

Figura 23:

Diagrama de un sistema MBR con membrana externa



Nota: Extraído de Pandey et al (2014, pp. 4)

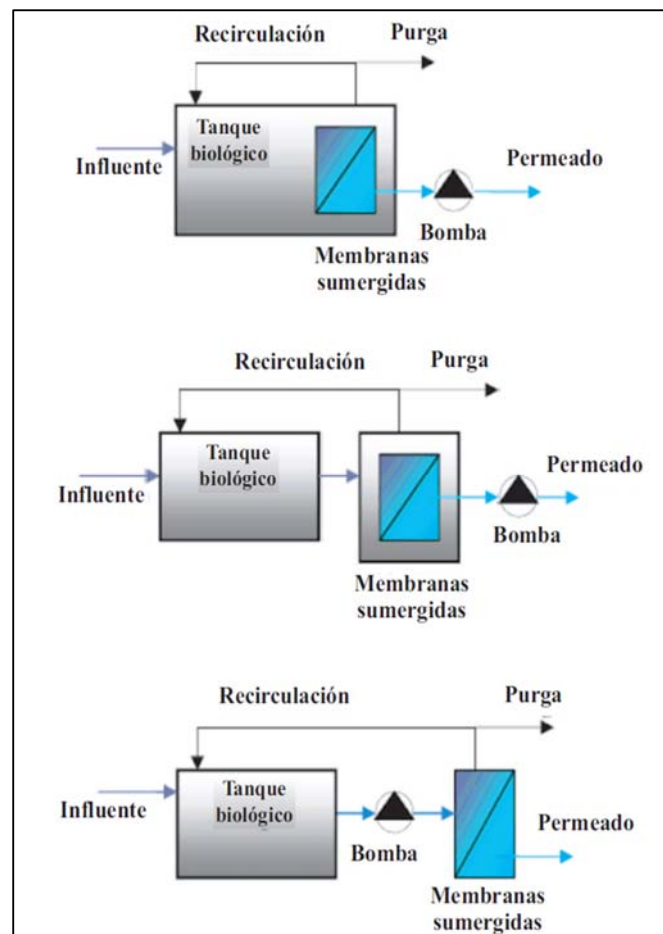
Según Iglesias et al (2014) el agua a tratar entra en el reactor biológico, donde se pone en contacto con el licor mezcla, produciéndose las reacciones de oxidación biológica que permiten la degradación de la materia orgánica. El proceso necesita para su desarrollo

un sistema de aireación y agitación que produzca el oxígeno necesario para la actividad depuradora de las bacterias, evite la sedimentación de los flocúlos y permita la homogenización de los fangos activos. Posteriormente el licor mezcla es filtrado mediante el sistema de membranas. Las membranas precisan de un sistema de aireación propio para garantizar su buen funcionamiento. La recirculación de fangos permite alcanzar la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla en el reactor biológico.

Las configuraciones más comunes de este proceso se muestran en la figura y depende principalmente de si las membranas trabajan sumergidas en el licor mezcla o si son externas.

Figura 24:

Esquemas de las configuraciones más frecuentes del proceso MBR



Nota: a) sistema sumergido integrado, b) sistema sumergido no integrado y c) sistema externo. Fuente: Extraído de Iglesias et. al. (2014, pp 28)

Según Iglesias et al (2014), los:

- **Sistemas sumergidos integrados:** son aquellos donde las membranas están sumergidas y ubicadas dentro del reactor biológico. Normalmente esta configuración necesita de cierta recirculación de fangos para mantener una concentración homogénea de sólidos suspendidos en el licor mezcla (SSLM) en el tanque de aireación.
- **Sistemas sumergidos no integrados:** son aquellos donde las membranas sumergidas se ubican en un tanque separado, lo que facilita su mantenimiento y reparación. Estos sistemas recirculan parte del fango activo del tanque de membranas al reactor biológico (por bombeo o por gravedad) para controlar la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla (SSLM) en el tanque de membranas y conseguir las concentraciones adecuadas en el reactor biológico.
- **Sistemas externos:** Son aquellos que no tienen las membranas sumergidas y la filtración se realiza en módulos externos, fuera del reactor biológico. En estos sistemas existen dos tipos de recirculación, una destinada a controlar las concentraciones adecuadas de sólidos en el reactor biológico y otra, para conseguir altas velocidades creando un flujo tangencial en el interior de las membranas.

Hoy en día, la configuración predominante es el de membranas sumergidas, ya que tienen un menor requerimiento energético y son más compactas que las membranas externas.

3.2.4 Proceso Biológico

Según Metcalf et al (2014) el proceso biológico de un sistema MBR funciona de forma similar a uno de fangos activos convencional, los principales parámetros que caracterizan el funcionamiento y el diseño del proceso biológico son: la edad del lodo, la carga másica, la concentración de SSLM, la recirculación y la producción de lodos en exceso.

- La edad del lodo (θ_c), expresada en días: Es la relación entre la masa de lodo existente en la cuba de aireación y la masa de lodo en exceso extraído por unidad de tiempo y determina el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual.
- Carga másica (C_m), expresada en $\text{kg DBO}_5 \cdot \text{kg SSVLM}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$: Es la relación que existe entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico por unidad de tiempo, y la masa de microorganismos existentes en el mismo.
- Concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla del reactor biológico (SSLM), expresada en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Caudal de recirculación de fangos (Q_R), expresado en $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$: Es el caudal de recirculación necesario para mantener una concentración adecuada de sólidos en el licor mezcla.
- Producción de lodos en exceso (F_w), expresados en $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$: Es la masa de lodo que debe ser extraída del sistema para mantener una concentración adecuada de sólidos suspendidos en el reactor biológico.

3.2.5 Separación por Membranas

En un sistema MBR el componente clave es la membrana. Las membranas por sí solas no son funcionales y han de configurarse atendiendo a sus características (morfología: sección circular o rectangular, tipo: placa plana, fibra hueca o tubulares y dirección del flujo: tangencial o perpendicular) y su forma de disposición en módulos que permitan soportarlas y conectarlas con los elementos periféricos (válvulas, bombas, etc.). Se entenderán los módulos de membrana como las mínimas unidades intercambiables, dispuestas en un soporte, normalmente denominado bastidor, que permite la operación de un conjunto determinado de estos módulos. Hay que tener en cuenta que el diseño del módulo debe tener como objetivos, disponer de la mayor superficie de membrana posible por volumen, conseguir una apropiada hidrodinámica, obtener un menor gasto energético

por volumen filtrado, permitir las limpiezas necesarias de mantenimiento y que permita un buen acoplamiento con otros módulos, entre otros (GE, 2013, pp. 23).

Figura 25:

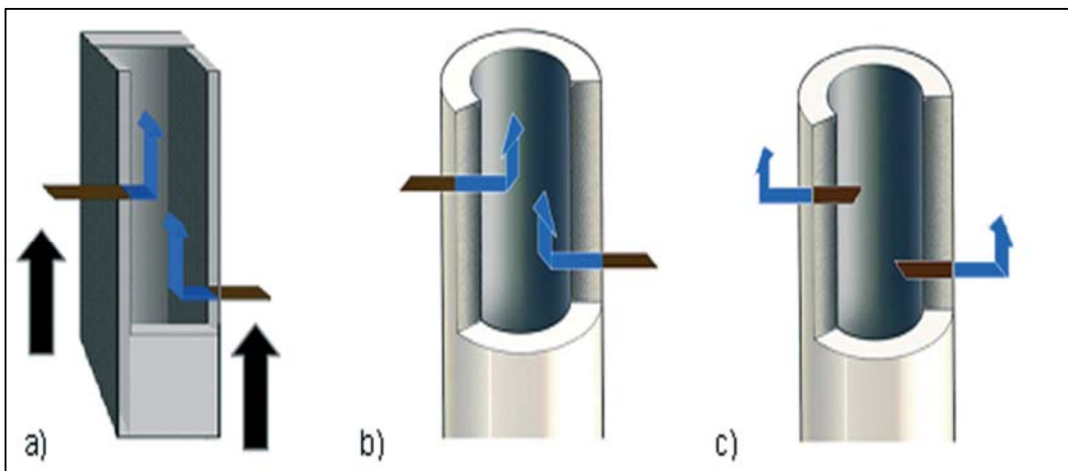
Ejemplos de Configuraciones y tipos de membranas.



Nota: De izquierda a derecha: Placa plana, fibra hueca y tubular. Fuente: Extraído de Iglesias et. al. (2014, pp 37)

Figura 26:

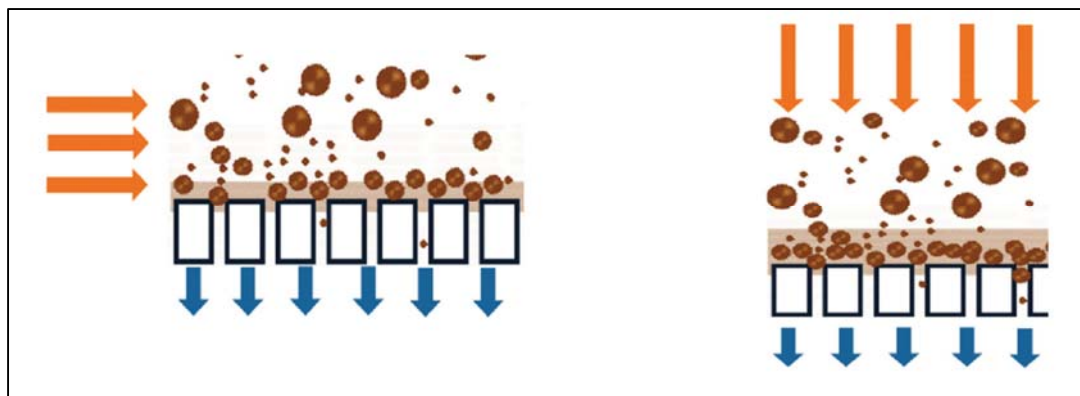
Morfología y dirección de flujo.



Nota: De izquierda a derecha: Placa plana, fibra hueca y tubular. Fuente: Extraído de Iglesias et. al. (2014, pp 37)

Figura 27:

Tipo de flujo.



Nota: De izquierda a derecha: Flujo tangencial y flujo perpendicular. Fuente: Extraído de Iglesias et. al. (2014, pp 38)

Las membranas empleadas en el tratamiento de las aguas residuales permiten una separación fisicoquímica de una parte importante de las sustancias contenidas en el licor mezcla. El grado de separación está ligado al tamaño y forma del poro de la membrana, a la afinidad de la sustancia a retener con el material de fabricación de la misma y de las condiciones de operación. Por ello al efluente se le denomina permeado y no filtrado ya que su obtención no depende exclusivamente de un proceso físico de filtración (Iglesias et. al., 2014).

Según Metcalf et al (2014) la capacidad de filtración y la selectividad de la membrana son aspectos importantes para el diseño y la eficiencia de un proceso con membranas. Estas características están definidas por los siguientes parámetros: flujo, presión transmembrana, permeabilidad, demanda específica de aireación de las membranas y los SSLM en el tanque de membranas.

- Flujo, expresado en $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ o LMH (F): Es el caudal que atraviesa las membranas por m^2 de superficie en unas condiciones específicas de operación. Este parámetro depende fundamentalmente de la concentración del licor mezcla, la viscosidad, la temperatura y el grado de ensuciamiento de la membrana.

- Presión transmembrana (PTM), expresada en bar o en kg.cm^{-2} : Es la diferencia de presión que se crea entre uno y otro lado de la membrana durante el filtrado. La PTM es el parámetro clave en el control del funcionamiento de los MBR. La PTM se incrementa según aumenta la resistencia al paso del agua a través de la membrana si se mantiene el flujo constante.
- Permeabilidad (K) expresada en $\text{L} \cdot (\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{bar})^{-1}$: Es la relación del flujo respecto a la presión transmembrana.
- Resistencia de la membrana (R), expresada en m^{-1} : Es el concepto inverso a la permeabilidad. Es la resistencia que opone la membrana al paso de un fluido. Depende del material, el tamaño de poro, la superficie porosa, el grosor, etc.
- Sólidos Suspendedos en el licor mezcla SSLM (expresada en mg/L).

Tabla 8:

Características de las membranas más empleadas en los MBR

Parámetro	Placa plana	Fibra hueca	Tubulares
Dirección de flujo	Fuera-dentro	Fuera-dentro	Dentro-fuera
Tipo de flujo	Flujo perpendicular	Flujo perpendicular	Flujo tangencial
Sumergida/externa	Sumergida	Sumergida	Externa
Refuerzo textil	Sí	Algunas	Sí
Filtración (MF/UF)	MF/UF	UF	UF
PTM operación (bar)	0.03-0.1	0.1-0.3	0.1-0.5
Flujo a Qmedio (LMH)	18-30	25-30	50-65

Nota: Extraído de Iglesias et. al. (2014, pp 40).

3.2.6 Calidad del Efluente de un MBR

Ciertamente la calidad de las aguas obtenidas en plantas de tratamiento con tecnología MBR es excelente y con continuidad en el tiempo. No obstante, no hay que olvidar que las membranas son un sistema de filtración muy potente, con un tamaño de paso de décimas (MF) o centésimas de micra (UF), y que impiden que pase a su través todo aquello que está en suspensión o en forma coloidal, pero no la materia disuelta, por lo que ante un mal funcionamiento del proceso biológico no se podría conseguir una adecuada calidad del agua (Metcalf et al, 2014).

En la siguiente Tabla se muestra el rango de variación en que se encuentran los principales parámetros.

Tabla 9:

Calidad del efluente

Parámetro	Rango habitual
Sólidos en suspensión (mg.L ⁻¹)	1-5
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	1-5
N _T (mg.L ⁻¹)	4.5-15
P _T (mg.L ⁻¹)	1-5
Turbidez (NTU)	0.6-1.5
Escherichia coli (ufc/100 ml)	Habitualmente ausencia

Nota: Extraído de Iglesias et. al. (2014, pp. 90)

Un aspecto que merece ser resaltado, y es una gran ventaja respecto a los sistemas convencionales, es su capacidad para la eliminación de microorganismos patógenos. Como se ve en los resultados obtenidos la eliminación de Escherichia Coli es total. Esto es lógico dado que el tamaño de estas bacterias es del orden de varias micras, significativamente superior al tamaño de poro de las membranas, incluso en el caso de la microfiltración, que es del orden de décimas de micra, por lo que solo en el caso de que se produjera una rotura de las membranas o fallos en la conexión de los tubos de permeado, o una contaminación en la toma de muestras o en el depósito de permeado, podrían encontrarse valores positivos (Iglesias et. al., 2014).

3.2.7 Ventajas e Inconvenientes de los MBR.

A continuación, se recogen algunas ventajas e inconvenientes de los sistemas MBR según Iglesias et. al. (2014, pp 157) y Metcalf (2014, pp. 705), en función de la experiencia existente:

Ventajas:

- La calidad del efluente es excelente y constante en el tiempo.

- Permite la desinfección del efluente depurado haciéndolo apto para su reutilización en la mayoría de los usos establecidos en la legislación vigente y su vertido a cauces con especial protección.
- Bajos requerimientos de espacio (menos del 50%) debido a la operación con una concentración de licor mezclado más alta (típicamente de 8000 a 12 000) y el espacio reducido para la separación por membrana en comparación con los clarificadores.
- Puede utilizarse como solución a remodelaciones de plantas donde ya ha superado la capacidad de tratamiento.
- Operación de proceso más simple sin preocupaciones sobre el efecto de las filamentosas.
- Un efluente de calidad debido a la captura completa de sólidos suspendidos a través de la separación por membrana.
- Un requerimiento de dosis de desinfección más baja debido a un efluente de baja turbidez.

Inconvenientes:

- EL MBR precisa de personal calificado para realizar los ajustes necesarios en los sistemas de membranas.
- Influencia de los vertidos industriales sobre la integridad de las membranas.
- Los costos de inversión son más altos que los de un proceso convencional debido al costo de las membranas.
- Altos consumos energéticos en comparación a un proceso convencional.
- Requieren un pretratamiento más estricto.
- La duración de las membranas y por tanto su costo de reposición, no puede establecerse todavía de forma fiable.
- Precisa de un sistema de gestión de caudal ya que las membranas trabajan mejor a caudal constante.

- La eliminación de nutrientes es más problemática que en los tratamientos convencionales.
- Se necesitan instalaciones de dosificación de reactivos químicos para limpieza de las membranas.
- No están estandarizados los sistemas de membranas, por lo que, al seleccionar una marca determinada, su sustitución por otra diferente es difícil.
- La necesidad de reemplazo futuro de membranas.
- Necesidad de controlar el ensuciamiento de las membranas.

3.2.8 Riego de Viñedos Con Aguas Residuales Tratadas, Experiencias Internacionales

Caso de estudio: American Canyon, California, logrando los estrictos estándares de reutilización del Título 22 de California.

Desafío: Agua insuficiente del río para satisfacer las necesidades de riego de los viñedos.

Solución: Tratar y reutilizar las aguas residuales municipales para riego de viñedos.

Debido a la mayor preocupación sobre la escasez de agua y una población que crece rápidamente, la ciudad de American Canyon requirió un centro de tratamiento de aguas residuales que satisfaga sus necesidades actuales y futuras, la ciudad determinó que la mejor opción era construir una instalación de propiedad de la ciudad cuyo propósito fuera la reutilización de todas las aguas residuales para el riego del viñedos y de campos de golf, esto a fin de reducir la cantidad de agua dulce extraída del río Napa. Para esto último la planta tendría que alcanzar los estrictos estándares de reutilización de agua del título 22 de California (Veolia, s/f).

Según Shah et. al. (2008), la ciudad de American Canyon revisó varias opciones de tratamiento, como son: a) Biorreactor de membranas (MBR), b) Proceso de lodos activados convencional y c) Tratamiento facultativo, y concluyó que un MBR proporciona el nivel más alto de tratamiento y una calidad de efluente superior en comparación con las otras

opciones examinadas, con niveles típicos de DBO₅ y TSS inferiores a 10 mg/L. Además, la membrana forma una barrera física para las bacterias y los virus, ideal para aplicaciones de reutilización.

También se vio que el funcionamiento del MBR es más sencillo que el proceso de lodos activados, principalmente porque un sistema MBR tiene una membrana física para la eliminación de sólidos suspendidos y no depende de las características de sedimentación de los lodos para garantizar la calidad deseada del efluente. Como resultado, el funcionamiento de un sistema MBR requiere menos pruebas analíticas y ajustes diarios en comparación con un proceso de lodos activados convencional. Las funciones de mantenimiento típicas de un proceso de lodos activados convencional, como mantener una concentración constante de MLSS, la edad del lodo y/o la relación alimento-microorganismo, se vuelven menos críticas con un sistema MBR. El espacio ocupado por un sistema MBR fue el más pequeño de las opciones consideradas. Esto se debió principalmente a la capacidad del sistema para mantener altas concentraciones de MLSS y a la falta de necesidad de un clarificador. Un sistema de lodos activados convencional requeriría una zona de aireación más grande y un clarificador en comparación con un sistema MBR. Un tratamiento facultativo requiere por su parte de una gran superficie para proporcionar un tiempo de residencia y un volumen adecuado para el tratamiento.

En julio de 2000, la ciudad seleccionó el sistema MBR para tratar un flujo diario promedio durante un clima seco de 2.5 MGD (9,464 m³/d) y un promedio durante un clima húmedo de 3.75 MGD (14,200 m³/d). La finalización de la planta con tecnología MBR permitió a la ciudad satisfacer sus necesidades. La planta también cumple con los requisitos del título 22 del Departamento de Salud de California (DHS) para reutilización (Veolia, s/f).

El sistema propuesto cumplió a su vez con los siguientes objetivos: Tamaño compacto, calidad superior de efluentes, menores requisitos de asistencia operativa en

comparación con los sistemas de tratamiento aeróbicos tradicionales, operaciones parcialmente automatizadas, facilidad de expansión futura y capacidad para cumplir con el cronograma de diseño/permisos/construcción.

En cuanto a preocupaciones de si el agua pueda o no afectar el sabor del jugo de uva, Will Nord, un veterano productor de uvas para vino de Napa que ha estado reutilizando aguas residuales tratadas durante años para regar sus viñedos, dijo: “En cuanto a las preocupaciones de si el agua pueda o no afectar el sabor del jugo de uva, ningún impacto en absoluto” (CNBC, 2015). Holley, otro productor de la zona también comentó “la industria, los administradores de viñedos y los propietarios de viñedos reconocen que esta opción es perfectamente aceptable y una gran alternativa” (CNBC, 2015).

3.2.9 Problemática Del Reúso de Las Aguas Residuales en el Perú

Según Fernández (2011) la problemática asociada al reúso de las aguas residuales en el país está ligado a:

- Está pendiente establecer un marco normativo que regule la reutilización de las aguas residuales y prohíba que esta se realice sin un tratamiento previo.
- Mayor implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales lo cual implicaría mayores inversiones.
- Riesgo a la salud pública por el uso de las aguas residuales sin un tratamiento adecuado.
- Deficiencias en los sistemas de tratamiento de aguas residuales actuales.
- Debilidad institucional para efectuar la vigilancia, control y fiscalización del cumplimiento de los compromisos ambientales y sanitarios.
- Retraso en la implementación de nuevas tecnologías de tratamiento conforme a los avances mundiales.
- Desconocimiento de cuánta agua residual generan las diferentes actividades y la necesidad de estas de ser reutilizadas.

3.2.10 Necesidad Nacional Para Mejorar la Gestión Del Reúso de Las Aguas Residuales en la Agricultura

Según Fernández (2011) para mejorar la gestión de reúso de las aguas residuales en el país hay que:

- Reducir el uso de las aguas residuales sin tratar en el riego de cultivos, lo cual pone en riesgo la salud de la población.
- Fomentar la formulación de un marco normativo que establezca los límites de calidad de las aguas residuales municipales tratadas que son destinadas al uso agrícola.
- Fortalecer las capacidades para la evaluación y control de la calidad de las aguas residuales tratadas con fines agrícolas, así como la evaluación del impacto en la salud y en el ambiente.
- Promover el uso de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales con fines de reúso.

3.3 Marco Legal

Ley de Recursos Hídricos – Ley 29338

La Ley de Recursos Hídricos, en su **Artículo 79**, establece que la Autoridad Nacional del Agua autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marino, previa opinión técnica favorable de las autoridades ambientales y de salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP).

El **Artículo 82** de la Ley de Recursos Hídricos de Perú aborda específicamente el tema del reúso de aguas residuales tratadas y establece lo siguiente:

El Estado promueve el reúso de aguas residuales tratadas como una medida para optimizar el uso del agua, especialmente en zonas con escasez hídrica. Las aguas residuales deben ser sometidas a tratamientos adecuados que aseguren la protección de

la salud pública y del medio ambiente y el tratamiento debe cumplir con los estándares de calidad que se establecen en las normas sectoriales.

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos – D.S. N° 001-2010-AG

El Artículo 148 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos establece disposiciones para el reúso de aguas residuales tratadas en Perú e indica que las aguas residuales pueden reutilizarse en determinadas actividades, siempre y cuando hayan sido tratadas adecuadamente garantizando la no afectación de la salud pública y el medio ambiente. En este caso se autoriza el reúso de las aguas residuales una vez se cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los diferentes usos sectoriales y se cuente con la certificación ambiental otorgada por la autoridad competente.

El Artículo 149 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos indica el procedimiento para el otorgamiento de las autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas. En este caso el titular de un derecho de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere, siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgado su derecho. Para actividades diferentes se requiere autorización de reúso del agua residual tratada.

El Artículo 150 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos establece los criterios para evaluar la calidad del agua para reúso.

Para el reúso de las aguas residuales se considerará como criterios de calidad de las aguas residuales tratadas, los parámetros de calidad establecidos por la autoridad competente, de acuerdo con los fines a los que se destine el reúso. Actualmente no existe normatividad peruana para el reúso de aguas residuales para diferentes fines, entre ellos el agrícola, por lo que en tanto la autoridad competente disponga la aplicación de los referidos parámetros de calidad, se utilizarán los parámetros establecidos en las “Directrices Sanitarias sobre el uso de aguas residuales en Agricultura y Acuicultura” de

la Organización Mundial de la Salud.

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Norma OS 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

La presente norma está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor.

La norma aborda aspectos como el dimensionamiento de las plantas, los procesos de tratamiento, los requisitos de construcción y las medidas de seguridad, con el fin de asegurar la eficiencia y la sostenibilidad en el manejo de las aguas residuales.

Aprueban los Estándares de Calidad Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM del 31-07-2008.

Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) son normas que establecen los niveles máximos permisibles de sustancias y parámetros en cuerpos de agua, con el fin de proteger la salud humana y preservar los ecosistemas acuáticos. Los ECA se aplican en diferentes cuerpos de agua, como ríos, lagos y mares, y varían según el uso que se les dé, ya sea para consumo humano, recreación, protección de fauna y flora acuática, riego o actividades industriales.

Los ECA-Agua están divididos en categorías según el uso del agua: Categoría 1: Agua para consumo humano. Categoría 2: Agua para recreación. Categoría 3: Agua para riego de cultivos y bebida de animales. Categoría 4: Agua para conservación del ambiente acuático. Categoría 5: Uso industrial.

Los ECA regulan diferentes aspectos como: concentración de metales pesados, sustancias tóxicas y compuestos químicos, parámetros microbiológicos como coliformes fecales, oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbidez del agua. Todo ello a fin de

garantizar que el agua en los cuerpos naturales mantenga una calidad adecuada para los diversos usos, evitando la contaminación y promoviendo la sostenibilidad de los recursos hídricos.

Las autoridades gubernamentales, como ministerios o agencias ambientales, son responsables de realizar el monitoreo y asegurar el cumplimiento de los ECA, implementando medidas de control y sanciones en caso de incumplimiento.

Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario – D.S. N° 021-2009-VIVIENDA y normas complementarias.

Mediante el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA se aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las aguas residuales no domésticas que descargan en el sistema de alcantarillado sanitario.

La normativa de los VMA establece límites máximos permitidos para diversos parámetros y a su vez indica que aquellos usuarios (industriales y comerciales) cuyas descargas presenten excesos de concentración (en DBO5, DQO, SST y Aceites y Grasas) deberán realizar pagos adicionales, esto último debido a que descargas con alta carga y sólidos dañan las tuberías de la red de alcantarillado, que se agrava más en redes con bajas pendientes y equipos con baja capacidad de bombeo, por lo que estiman conveniente que los gastos sean cubiertos por las industrias en función a las sobrecargas que presenten.

Estos valores buscan asegurar a su vez que las aguas residuales no domésticas cumplan con estándares ambientales y sanitarios al ingresar al sistema de alcantarillado, asegurando de esta forma el adecuado tratamiento.

Conclusiones

- Con los Biorreactores de Membrana (MBR) se asegura el cumplimiento de lo exigido por el Cliente, logrando incluso una calidad por encima de lo requerido.
 - DBO5 promedio del agua tratada está por debajo del límite de detección (<2.0 mg/L), siendo lo contractual 15.0 mg/L.
 - DQO promedio del agua tratada es 13.1 mg/L, siendo lo contractual 40.0 mg/L.
 - SST promedio del agua tratada es 5.9 mg/L, siendo lo contractual 30.0 mg/L.
 - Fosforo Total promedio del agua tratada es 5.6 mg/L, siendo lo contractual menor a 10.0 mg/L.
 - Aceites y grasas promedio del agua tratada es 0.9 mg/L, siendo lo contractual menor o igual a 1.0 mg/L.
 - Coliformes fecales del agua tratada por debajo del límite de detección (<1.8 NMP/100mL), siendo lo contractual 1000 NMP/100mL.
 - Huevos de Helmintos del agua tratada por debajo del límite de detección (<1.0 Huevos/L), siendo lo contractual menor a 1 Huevo/L, aproximadamente una remoción del 99.9%
- Para que la Agroexportadora pueda disponer de las aguas residuales municipales de Ica se ha realizado toda una gestión para su comercialización, logrando que la entidad privada le pague a EMAPICA el valor de 0.165 soles por m³ de agua cruda captada.
- Durante la operación asistida se ha visto que varios parámetros del agua residual cruda superan los valores de diseño; no obstante, la planta cumple con los valores de salida, lo que demuestra una importante flexibilidad.
 - DQO del agua de entrada de hasta 1232 mg/L siendo el valor de diseño de 800 mg/L.
 - SST del agua de entrada de hasta 708.0 mg/L, siendo lo contractual 250 mg/L

- Fosforo Total del agua de entrada de hasta 20.2 mg/L, siendo lo contractual 10 mg/L
- Aceites y grasas del agua de entrada de hasta 88.9 mg/L, siendo lo contractual 36.7 mg/L
- pH del agua de entrada de hasta 8, siendo lo contractual 7.2.
- El diseño de la PTAR satisface la necesidad del cliente. La PTAR en la actualidad tiene la capacidad de poder tratar hasta 285 L/s de agua residual; no obstante, a solicitud del cliente se ha tratado entre noviembre del 2021 y enero del 2022, 221 L/s en promedio, esto indica que la planta ha sido operada, al menos durante este periodo, con el 77% de su capacidad.
 - Caudal de entrada: Durante el periodo de operación asistida la PTAR ha ingresado en promedio 228 L/s de agua residual.
 - Caudal de salida: Durante el periodo de operación asistida la PTAR ha tratado en promedio 221 L/s, representando lo tratado el 97% de lo captado.
- La eficiencia de la planta durante el periodo de operación asistida (Nov-2021 y ENE-2022) fue:
 - La eficiencia de remoción de la DBO5 es 99.4%.
 - La eficiencia de remoción de la DQO es 98.3%.
 - La eficiencia de remoción de los SST del sistema completo es 98.5%.
 - La eficiencia de remoción del NT es 89.9%.
 - La eficiencia de remoción del PT es 55.6%.
 - La eficiencia de remoción de los Aceites y grasas es 98.3%.
 - La eficiencia de remoción de los coliformes fecales es 99.9%.
 - La eficiencia de remoción de los huevos de helminto es del 99.7%.

Recomendaciones

- Al igual que en muchos otros países se debería incentivar el reúso de las aguas residuales tratadas. A la fecha en el Perú solo se reúsa el 52% de las aguas negras.
- Fomentar la creación de leyes y normas que permitan la reutilización de las aguas residuales municipales en distintos usos.
- A fin de minimizar costos de operación, se recomienda la implementación de un secador solar para deshidratar aún más el lodo que sale de la centrifuga antes de su disposición final.
- Fomentar la economía circular en la PTAR a través del reúso de los desechos.
- Fomentar capacitaciones constantes para el personal encargado de la O&M de la PTAR a fin de evitar daños en las instalaciones existentes, sobre todo en el cuidado de las membranas cuyo costo es bastante elevado.
- El personal encargado de la O&M debería permanecer atento a ingresos atípicos de agua residual cruda, cuya naturaleza podría causar daño a las membranas y al proceso mismo.

Referencias bibliográficas

- Agudelo, M. (2019). El Valle de Ica (Perú) apuesta por una agroindustria conectada y digital. CAF.
- Amarildo Fernández, E. (2011). Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura.
- Autoridad Nacional del Agua - ANA (2016). Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas.
- Bajpai, P. (2017b). Pulp and Paper Industry: Emerging Waste Water Treatment Technologies. Elsevier.
- Benavides, L., Avellán, T., Caucci, S., Hahn, A., Kirschke, S., & Müller, A. (2019). Assessing Sustainability of Wastewater Management Systems in a Multi-Scalar, Transdisciplinary Manner in Latin America. *Water*, 11(2), 249.
- Bohórquez Rincón, C.G. & Sarmiento Higuera, D. A., (2017). Análisis del uso de biorreactores de membrana para tratamiento de aguas residuales y posible implementación en Colombia. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]
- Duong, K., & Saphores, J. M. (2015). Obstacles to wastewater reuse: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 2(3), 199-214.
- Félix López, M., Ormaza Murillo, M., Álvarez Santana, C., & Banchon, C. (2023). Exploring the Impact of Reclaimed Water on Latin America's Development. *Journal Of Ecological Engineering*, 24(10), 157-173.
- Flores Granados, M. G., Cuevas Rodríguez, G. & Gonzáles Sánchez, G. (2019). Comparación de un biorreactor con membranas sumergidas con un sistema convencional de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 57–64.

- Gil Meseguer, E., Bernabé Crespo, M. B., & Gómez Espín, J. M. (2018). Recycled Sewage - A Water Resource for Dry Regions of Southeastern Spain. *Water Resources Management*, 33(2), 725-737.
- Helmecke, M., Fries, E., & Schulte, C. (2020). Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. *Environmental Sciences Europe*, 32(1).
- Iglesias, R., Ortega E., Martínez, A., Simón, P., Moragas, L., Robusté, J., Belén García E. & Rodríguez-Roda, I. (2014). Guía técnica para la implantación de biorreactores de membrana. CEDEX.
- Jimenez, B., & Asano, T. (2015). Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. *Water Intelligence Online*, 7(0), 9781780401881.
- Jones, E. R., Van Vliet, M. T. H., Qadir, M., & Bierkens, M. F. P. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13(2), 237-254.
- Lazarova, V., & Bahri, A. (2004). *Water Reuse for Irrigation*. En CRC Press eBooks.
- MacInnis, G. (2015). *The Economic Power of Water - GE's Focus on Reuse* [Diapositivas]. SlideShare.
- Metcalf & Eddy. (2014) *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*. Fifth edition.
- MINAM. (2019). *Ley de los Recursos Hídricos: Ley No 29338*.
- Ministerio del Ambiente (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias.
- Mitsubishi Chemical Aqua Solutions. (2017) *Manual de instrucciones de STERAPORE 5600 Series (FF)*
- Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, L. P., & Hernández-Padilla, F. (2012). Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. *CLEAN - Soil Air Water*, 40(9), 926-932.

- OMS. (2006) Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta And Greywater, Volume 1-2. World Health Organization. Ginebra.
- Pandey A., & Singh R. K. (2014). Industrial Wastewater Treatment by Membrane Bioreactor System, *Elixir Chemical Engineering* 70, 2014, 23772-23777.
- Pescod, M.B. (1992) Wastewater treatment and use in agriculture - FAO Irrigation and drainage paper 47, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: Italy.
- Real, C., Calderón, C., & Mantilla, G. (2021, 1 diciembre). Análisis regional de los instrumentos normativos sobre vertidos, cuerpos receptores y economía circular.
- Rittman Bruce E., McCarty Perry L. (2001). The activated sludge process. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*, 2nd Edition. Mc Graw Hill. Nueva York., pp: 307-395.
- Shah, A., Bulleri, J., Ross, R., Carter, J., & Long, M. (2008). Successful Plant Scale Winery Wastewater Treatment Using Membrane Bioreactor in Northern California. *Proceedings Of The Water Environment Federation*, 2008(13), 3408-3425.
- SUNASS. (2022). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el ámbito de las Empresas Prestadoras.
- Ulloa-Murillo, L. M., Villegas, L. M., Rodríguez-Ortiz, A. R., Duque-Acevedo, M., & Cortés-García, F. J. (2022). Management of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in the Context of a Sustainable and Circular Model: Analysis of Trends in Latin America and the Caribbean. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 19(10), 6041.
- UNESCO. (2015) Urban water challenges in the Americas: A perspective from the Academies of Sciences. Inter-American Network of Academies of Sciences, UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean.

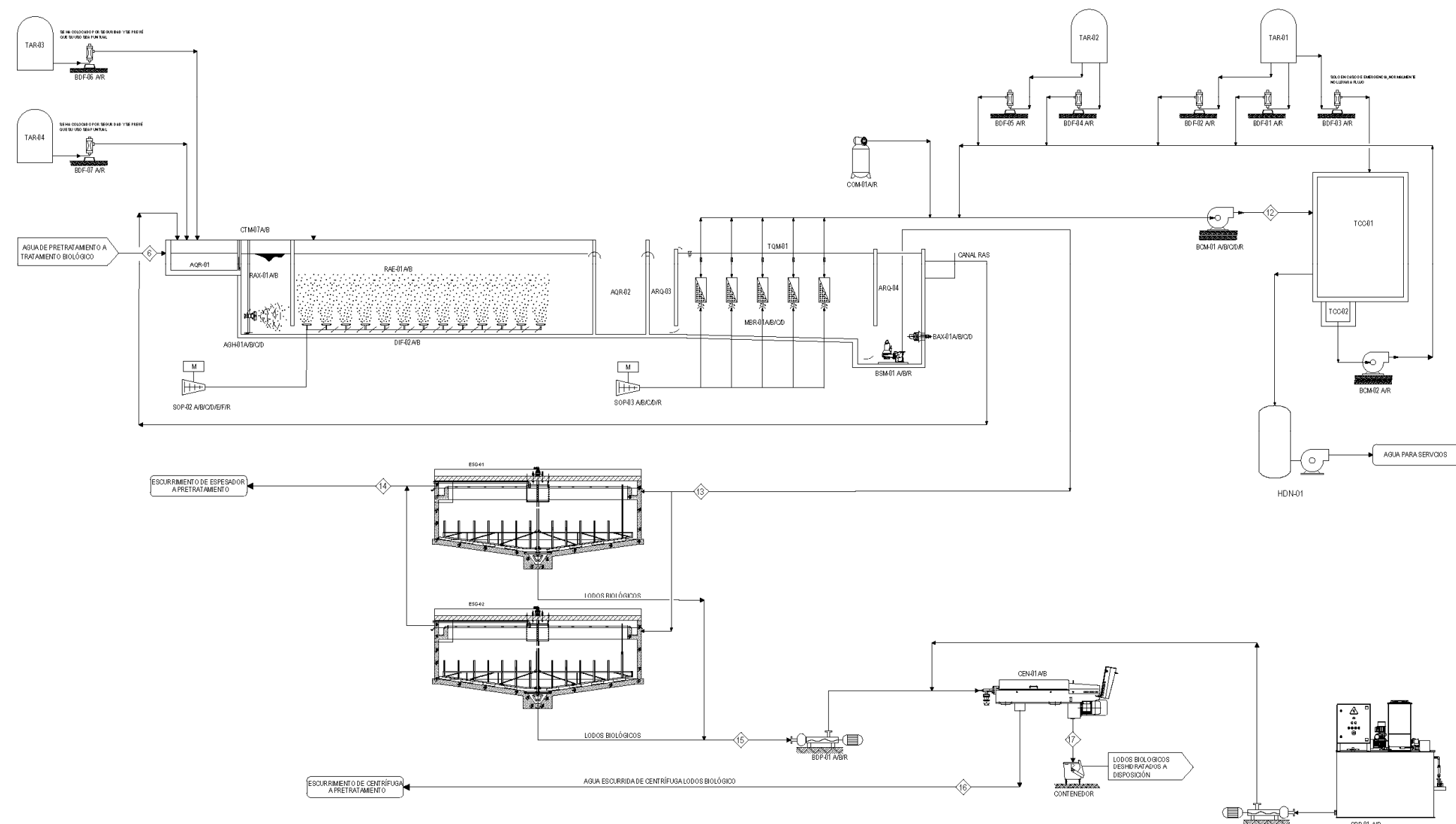
- Van Puijenbroek, P., Beusen, A., & Bouwman, A. (2018). Global nitrogen and phosphorus in urban waste water based on the Shared Socio-economic pathways. *Journal Of Environmental Management*, 231, 446-456.
- Veolia. (2023). ZeeWeed* MBR membranes demonstrate excellent longevity and meet reuse needs at American Canyon. <https://www.watertechnologies.com/case-study/zeeweeds-mbr-membranes-demonstrate-excellent-longevity-and-meet-reuse-needs-american>
- Von Sperling, M. (2015). Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. *Water Intelligence Online*, 6(0), 9781780402123.
- Wells, J. (2015). Wine from wastewater: It's not a joke, and it may be the future. *CNBC*.

Anexos

Anexo 1: Arreglo General de Planta (Equipos y Estructuras).....1

Anexo 2: Diagrama de Flujo de Procesos.....2

Tag	Equipo o estructura
OBRA DE DERIVACION	
CBE-01	Compuerta en derivacion
CBE-02	Compuerta en derivacion
CMR-01	Canal de entrada
OBRA DE LLEGADA	
CBV-01	Cuchara bascula
PRE-01	Polvo de Chancado bascula
RAJ-01	Reja Manual
QNT-01	Condensador de Sólidos Orgánicos
CANALES DE DESBORDO MEDIANO	
CTM-01 A/B	Compuerta manual de entrada cribado mediano
RAM-01 A/B	Reja mecánica mediana
CTM-02 A/B	Compuerta manual de salida cribado mediano
TR-01	Tomillo Transportador mediano
QNT-02	Condensador de Sólidos orgánicos
DESBORDO DESEMPESADO	
CTM-03 A/B	Comp. man. entrada a desarenado/desengrasado
DAC-01 A/B	Puente desarenador - desengrasador
SOP-01 A/B	Soplantes desarenado
CLA-01	Clasificador de arenas
DGG-01	Condensador de grasas
DIF-01 A/B	Difusores anodico/desarenado/desengrasado
BOM-01 A/B	Bomba de extracción de arenas
QNT-03	Condensador de arenas
TAG-01	Tanque lavado y vaciado
CANAL PARAHALL	
OMP-02	Medidor caudal agua pretrabada
CBE-03	Compuerta para bypass
CONTROL DE COLORES	
EXT-01	Echadores de aire
VAL-01 A/R	Valvulas de apertura
FCR-01 A/R	Filtro de carbon activado
CANALES DE CREBADO FINO	
CTM-04 A/B	Comp. man. de entrada de cribado fino
RAM-02 A/B	Reja mecánica fina
TR-02	Tomillo Transportador fino
CTM-05 A/B	Comp. man. de salida de cribado fino
QNT-04	Condensador de Sólidos finos
TRATAMIENTO BIOLÓGICO	
RAJ-02	Reja de entrada
CTM-06 A/B	Compuerta manual de entrada a reactor
RAJ-03 A/B	Reactor anoxico
RAJ-04 A/B	Reactor para reactor anoxico
RAJ-05 A/B	Reactor aerobico
DIF-02 A/B	Sistema de difusores reactor
SOP-02 A/B/C/D/E/F/R	Soplantes biológicos
ARA-02	Arqueta salida reactores
ARA-03	Arqueta de entrada MER
ARA-04	Arqueta de salida de MER
BAX-01 A/B/C/D	Bombas RAS
TOM-01	Tanque de membranas
MER-01 A/B/C/D	Medidas de membranas MER
SOP-03 A/B/C/D/R	Soplantes para membranas
BOM-02 A/B/C/D/R	Bombas de pasadas
BOM-03 A/R	Bombas de dilucion
BOM-04 A/R	Bombas de purga y drenaje de lodos
REACTIVOS QUÍMICOS	
HIP-001	Hipoclorito
TANQUE PARA HIPOCLORITO	
BOF-01 A/R	Bomba dosificadora limpieza de mantenimiento
BOF-02 A/R	Bomba dosificadora limpieza de recuperación
BOF-03 A/R	Bomba dosificadora emergencia
BT-01	Bomba de Transferencia hipoclorito de sódio
Acido cítrico	
TAR-02	Tanque ácido cítrico
BOF-04 A/R	Bomba dosificadora limpieza de recuperación
BOF-05 A/R	Bomba dosificadora limpieza de mantenimiento
DCH-01	Ducha lavador
Sosa	
TAR-03	Tanque sosa
BOF-06 A/R	Bomba dosificadora de sosa
BT-02	Bomba de Transferencia de sosa
Acido fórmico	
TAR-04	Tanque ácido fórmico
BOF-07 A/R	Bomba dosificadora de ácido fórmico
BT-03	Bomba de Transferencia de ácido fórmico
DCH-02	Ducha lavador
LINEA DE LODOS	
ESG-01	Espejamiento de Lodos
ESG-02	Espejamiento de Lodos
BOM-05 A/B/R	Bombas de espejamiento a centrifuga
CEN-01 A/R	Centrifuga
ESP-02 A/R	Bombas de pulimento
SPR-01 A/R	Sistema de preparación de polímeros
TANQUE DE SALIDA	
TCC-01	Tanque agua de limpieza/desinfección
TCC-02	Tanque de agua de lavado
COMP-01 A/R	Compresor de aire
COM-01 A/B	CCM
COM-02 A/B	Caudal control de motores
HEN-01	Grupo de presión



CORRIENTE Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
DESCRIPCIÓN	Q MEDIO	Agua residual ICA	Agua salida obra de limpieza	Agua entrada a planta de tratamiento	Entrada desarenado	Entrada rejas finas	Salida pretratamiento a reactor biológico	Sólidos separados en el biológico	Sólidos separados en el clarificador	Grasas separadas	Arenas separadas	Sólidos finos separados	Salida MER	Agua escurrida del espejamiento a pretratamiento	Lodo de espejamiento a clarificador	Escurrido de centrifuga a pretratamiento	Lodo de clarificación a contenedor para gestión	Perdidas de efluentes al agua tratada	
Flujo de diseño	Unidades	420,00	420,00	420,21	420,21	420,21	320,41	0,00	0,00	21,00	0,02	0,16	914,24	15,17	0,36	6,07	5,31	0,76	
Temperatura	°C	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	+35
pH		7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	+10
TDS	mg/L	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	1.220,00	+2.000
DB5	mg/L	400,00	382,85	382,85	382,85	382,85	344,56	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89	15,00
DOO	mg/L	300,00	700,61	702,61	700,61	700,61	688,05	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13,70	13,70	13,70	13,70	13,70	13,70	40,00
SST	mg/L	230,00	306,00	291,63	291,63	291,63	242,88	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12,30	10,00,00	1.000,00	25,00,00	2.500,00	200,00,00	30,00
Grasa y Aceite	mg/L	40,00	45,93	45,93	45,93	45,93	1,30	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	1,10
Nitrogeno Amoniacal	mg/L	37,00	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55	+10
Alumínico	mg/L CaCO3	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	-
NTU	mg/L	60,00	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	10
P	mg/L	10,00	9,66	9,66	9,66	9,66	9,66	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	+10
NO3	mg/L	0,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	10
Coliformos Totales	NMP/100 ml	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	+1.000
Heces de bacterias	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	+1
Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+0,2

NOTAS

EDICIÓN 01	
SECCION	FECHA
RECIBE	ENTREGA
PROC.MEC	
ELECTRICO	
AUTOMAT.	
CIVIL	

CLIENTE	PROYECTO	PLANO
EPIC PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROKASA (TARAGK) EN LA CIUDAD DE ICA	241-000-PFD-0001	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS