

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES

El agua es fuente de vida, pero también puede ser el medio más eficiente para transmitir rápidamente patógenos. La cloración, desde principios del siglo XX, ha reducido drásticamente la incidencia de las principales enfermedades transmitidas por el agua. Pero diversos tratamientos del agua se iniciaron ya miles de años antes, y han evolucionado hasta conseguir lo que ahora nos parece obvio: un grifo del que brota continuamente agua potable. (LEGIONELLA, 2018).

El agua sin duda es el recurso esencial para la supervivencia de la humanidad, para el desarrollo económico, sanitario y social de las poblaciones, así como para el mantenimiento del equilibrio ambiental de los ecosistemas.

La depuración de aguas residuales se basa en 3 características fundamentales: físicas, químicas y biológicas.

Para las aguas urbanas su composición es, prácticamente, de origen urbano, domésticas o limpiezas de pavimentos. Están constituidas por aguas fecales, aguas de lavado, sustancias sólidas y diferentes restos de naturaleza inorgánica y orgánica.

Las aguas industriales, en la mayoría de ocasiones, necesitan de un tratamiento previo antes del vertido. Suelen tener una composición variada como se ha comentado anteriormente.

Las aguas de lluvia en su caída incorporan materiales en suspensión procedentes de la atmósfera, así como CO₂ y polvo.

Las aguas agrícolas, en su mayoría, se componen de fertilizantes, herbicidas etc. (LAB, 2021)

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas como la contaminación del agua en ríos, lagos, océanos, etc., es ya una perturbación presente a la sociedad actual, y se está presentando en aguas subterráneas la cual arroja concentraciones preocupantes de contaminantes.

Dicho problema reclama una solución urgente por parte de las autoridades, sociedad y en especial una propuesta de institutos de enseñanza superior, como los centros de investigación y universidades. (Acción, 2018)

Historia de las aguas residuales

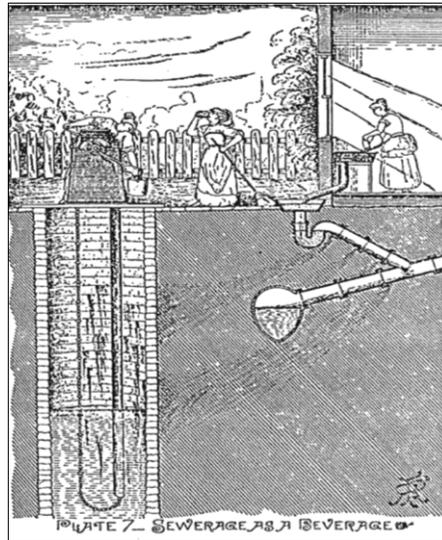
La mayoría de las actividades humanas que emplean agua producen aguas residuales, a medida que aumenta la demanda total de agua, la cantidad de aguas residuales producidas y la carga contaminante total de las mismas aumentan continuamente en el mundo entero. esto convirtiéndose en aguas residuales.

Las aguas residuales han sido desde hace 10 000 años un elemento inevitable y mortal para el ser humano. Nuestras sociedades han tenido que aprender, a lo largo de la historia, cómo tratar los desechos humanos con el fin de evitar enfermedades, pestes, contaminación ambiental y malos olores, entre otros obstáculos. (AQUASTAT, 2021)

En la Grecia antigua, ante la ausencia de ríos caudalosos, surgió una primera aplicación de las aguas negras a la fertilización agrícola. En algunas ciudades las alcantarillas llevaban las aguas negras a las afueras de la ciudad hacia un vertedero desde el que se transportaban por conductos a los campos de cultivo.

En el siglo 100 d.C., un decreto obligó a conectar los hogares a las alcantarillas, que experimentaron una gran evolución. Durante aquella época tuvo lugar otro paso importante: la separación de lo que hoy denominamos aguas grises de las negras. Las primeras, aguas residuales de los baños y termas, se reutilizaron para baldear las letrinas públicas. (Agua M. d., 2020)

Grabado de 1887 que muestra los peligros de filtración de aguas residuales a los pozos de agua potable por las juntas no selladas de los conductos. Hacia 1830 la situación en Londres se hizo insostenible. Al tremendo hedor que expelía la ciudad (el famoso Great Stink) se sumaron varias epidemias de cólera de gran mortandad. (Foundation, 2017)



Fuente: Fondation,2017

Figura I-1. Filtración de aguas negras a tuberías de agua potable

A finales del siglo XIX comenzaron a utilizarse los avances en microbiología para tratar las aguas residuales y en 1914 los ingenieros Edward Arden y William T. Lockett, descubrieron los fangos activos, uno de los sistemas de tratamiento biológico para la depuración de la contaminación orgánica de aguas residuales que todavía usamos en la actuales depuradoras. (AQUASTAT, 2021)

Sin embargo, la revolución industrial conllevó otro problema para el agua: la contaminación química, que se sumó a la fecal de las aguas negras. De este modo se dio la paradoja de que mientras avanzábamos en el tratamiento de la contaminación orgánica, los vertidos industriales comenzaron a contaminar ríos y mares muchas veces de un modo inconsciente con productos de los que más tarde descubrimos su nocividad: metales pesados, pesticidas, DDT, nitratos...

En la década de 1970 comenzó en el mundo desarrollado una gran reacción internacional en contra de la contaminación del agua, tanto la industrial como la fecal, pero hoy en día, en los países en vías de desarrollo, se calcula que el 90% de las aguas negras se vierten directamente sin depurar. Por esta causa, según la OMS, cada año fallecen 1,8 millones de niños menores de cinco años, uno cada 20 segundos. (Envitech, 2014)

Lamentablemente en la actualidad, según cálculos de la ONU, las aguas contaminadas causan más muertes que todas las guerras que hay actualmente en el mundo. De hecho, al menos 2.000 millones de personas se abastecen de fuentes de agua, supuestamente potable, que está contaminada por heces. (Acción, 2018)

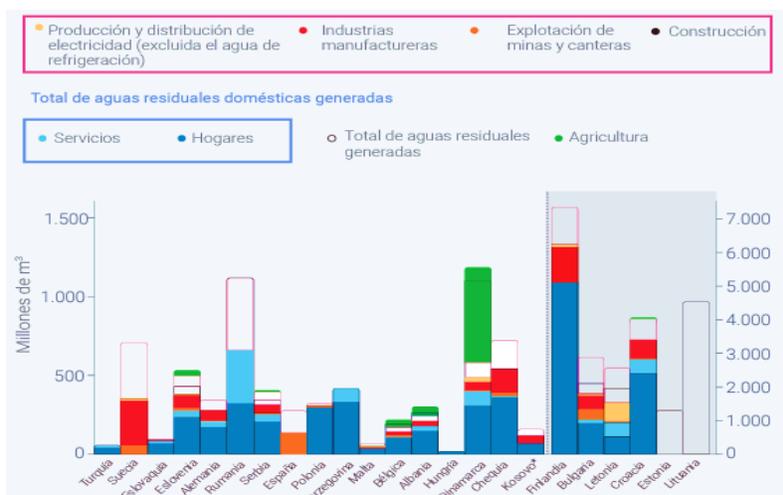
Esto se debe a que cerca del 90% de las aguas residuales en países en vías de desarrollo se vierten directamente sin ser depuradas. La Organización Mundial de la Salud ha advertido que cada año fallecen casi 2 millones de niños menores de 5 años por causas derivadas a la contaminación de aguas residuales. (OMS, 2022)

Contexto mundial aguas residuales generadas

La base de datos calcula que cada año se extraen en el mundo unos 3928×10^9 m³ de agua dulce. Se estima que el 44% de dicha agua (1716×10^9 m³) se consume principalmente en la agricultura a través de la evaporación en las tierras de cultivo irrigadas.

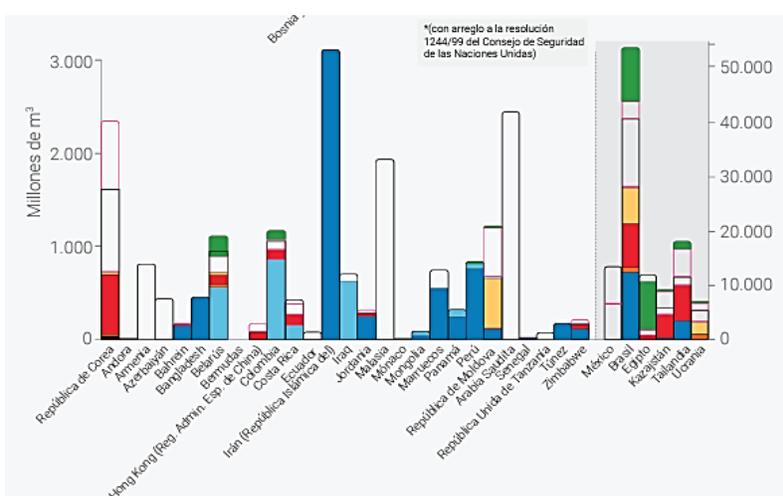
Se prevé que la demanda de agua aumente de forma significativa en las próximas décadas en el mundo entero. Además de la demanda de agua en el sector agrícola, que es actualmente responsable del 70% de la captación de agua a nivel mundial, se prevén grandes aumentos en la demanda del agua, en particular para la industria y la producción de energía. (FAO, 2017)

Por término medio, los países ricos tratan aproximadamente el 70% de las aguas residuales urbanas e industriales que generan. Dicha proporción se reduce al 38% en los países de rentas medio-altas y al 28% en los de rentas medio-bajas. En los países pobres, solo el 8% recibe algún tipo de tratamiento. Estas estimaciones apoyan la aproximación frecuentemente citada según la cual, a nivel mundial, más del 80% del total de las aguas residuales se vierten sin tratar.



Fuente: OCDE (2021)

Figura I-2. Flujo total de aguas residuales generadas

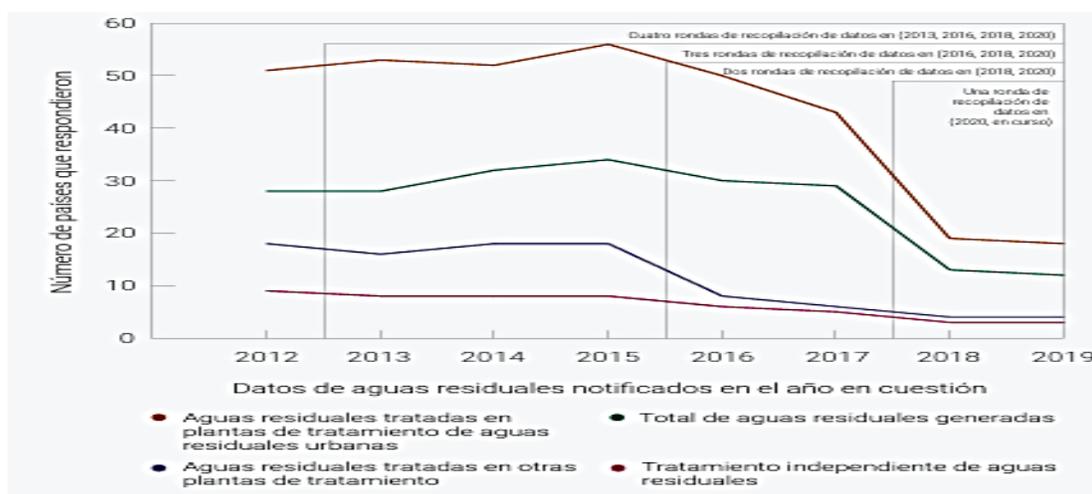


Fuente: OCDE (2021)

Figura I-3. Flujo total de aguas residuales generadas

El cuestionario sobre estadísticas medio ambientales de la UNSD y el PNUMA ha recopilado datos sobre la generación y el tratamiento de aguas residuales desde 2013, y ha incluido datos desde 1990 en el caso de algunos países. El cuestionario se envía a aproximadamente 165 países y abarca tanto el ámbito nacional como el urbano. No obstante, la tasa de respuesta media en cada ciclo de recopilación de datos ha sido de alrededor del 50% y la completitud y la calidad de los datos todavía representan un desafío.

Desde 2013, se han realizado cuatro rondas de recopilación de datos (en 2013, 2016, 2018 y 2020) y visto que los países a menudo necesitan varios años para recopilar y enviar la información sobre las estadísticas de los últimos años, existen relativamente pocos datos de 2016 en adelante. Por consiguiente, este informe se centra en las estadísticas sobre las aguas residuales industriales y totales de 2015, dado que los datos son más comprensivos. La Eurostat recopila datos de los Estados miembros de la Unión Europea y la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC), así como los países candidatos correspondientes. La OCDE trabaja con todos los Estados miembros que no abarca la Eurostat. Es importante, asimismo, destacar que existen otras bases de datos que aportan información sobre aguas residuales (por ejemplo, la base de datos AQUASTAT de la FAO).



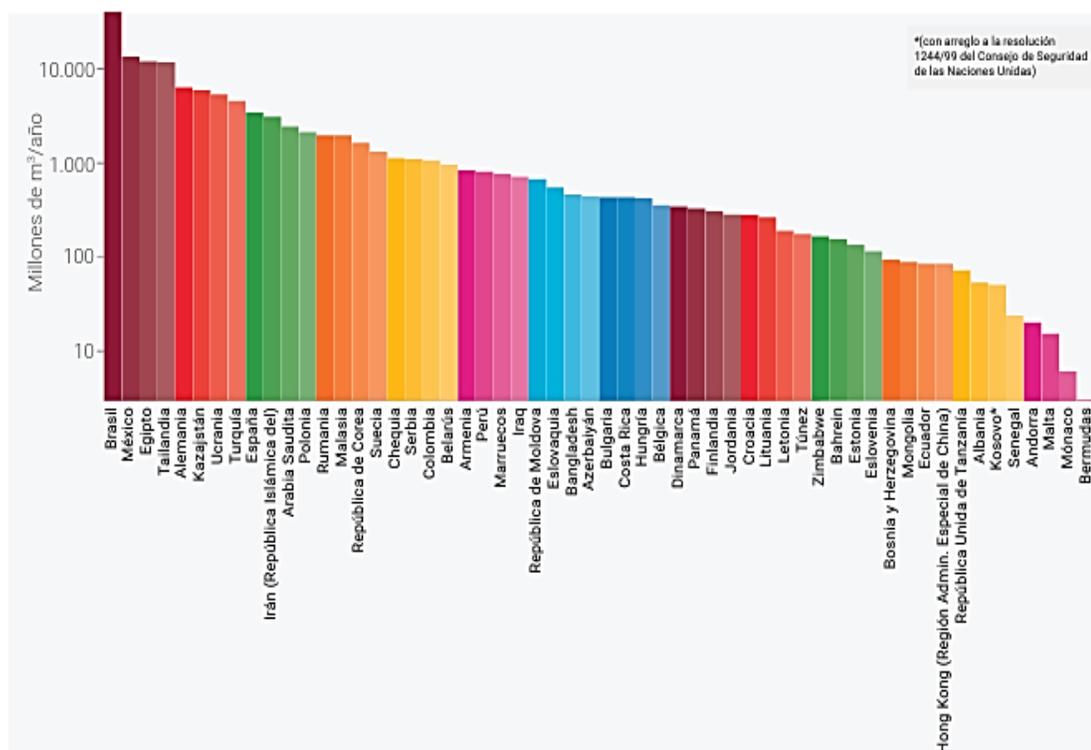
Fuente: PNU para el MA

Figura I-4. Flujos totales de aguas residuales tratadas.

Contexto mundial aguas residuales industriales

Los datos nacionales de que se dispone sobre el total de aguas residuales generadas en 2015 fruto de actividades económicas contabilizaron 131.871 millones de m³ de los 56 países que presentan información, que suponen el 22% de la población mundial (1.569 millones de habitantes; 84 litros de aguas residuales generadas per cápita). Esta cobertura de datos relativamente baja no permite la estimación de los flujos regionales

y mundiales de aguas residuales generados durante este período. No obstante, los datos comunicados fueron superiores en los Estados miembros de la Unión Europea, con un total de 25.378 millones de m³ de aguas residuales generadas de 23 países (360 millones de habitantes; 70 litros de aguas residuales generadas per cápita). (FAO, 2017)



Fuente: División de Estadística (2021)

Figura I-5. Flujos totales de aguas residuales generados notificados

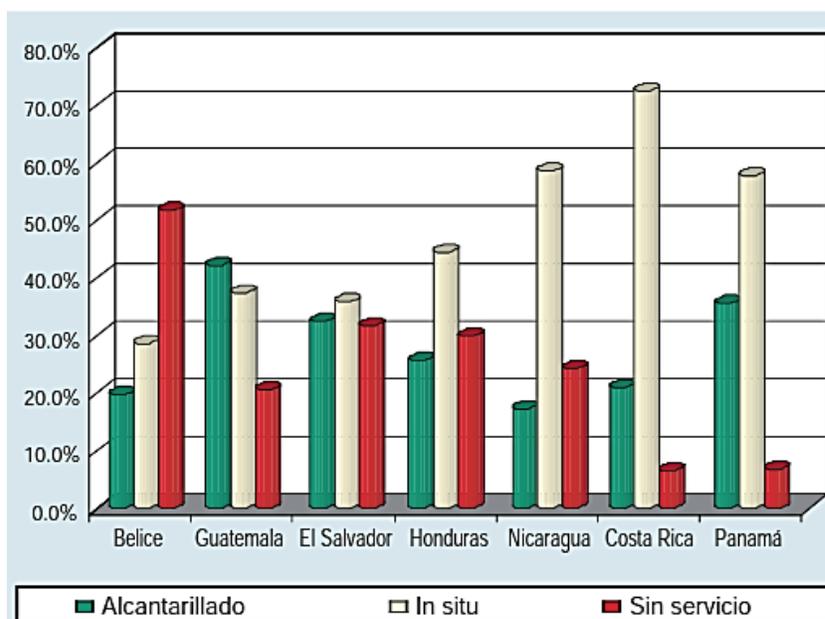
La principal fuente industrial de aguas residuales tiene su origen en las industrias manufactureras, aunque el cómputo en algunos otros sectores como el de la minería y la agricultura está ciertamente bastante limitado por el uso de recursos hídricos autoabastecidos, no conectados al suministro de agua potable general.

Contexto Latinoamérica aguas residuales generadas

América Latina es una de las regiones con mayor concentración de población en áreas urbanas, las que albergan a más de 360 millones de habitantes (74% de su población

total en 1998). La cobertura de tratamiento de las aguas residuales domesticas es de solo 14%.

En Latinoamérica, existe una división marcada entre las poblaciones de escasos recursos y las de altos ingresos, con respecto al acceso a los servicios de saneamiento. Aproximadamente 18% de la población de escasos recursos cuenta con agua de tubería en sus casas, comparado con 80% de la población de altos ingresos. (AQUASTAT, 2021)



Fuente: CEPIS 2000

Figura I-6. Distribución de la cobertura de saneamiento

Contexto nacional aguas residuales generadas

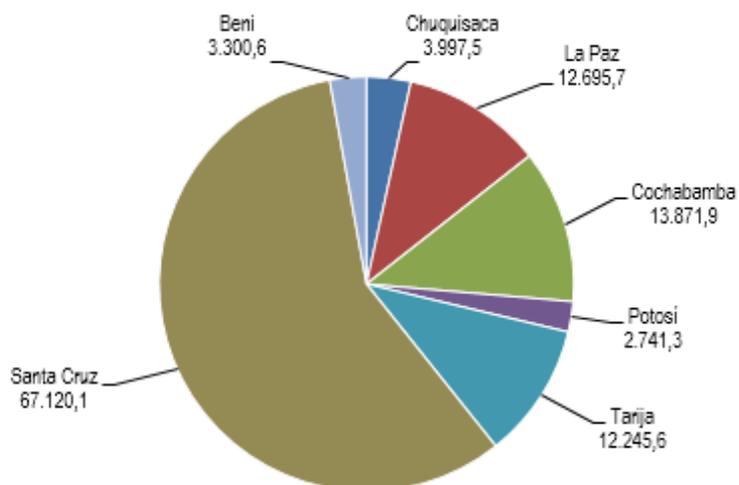
En las últimas dos décadas, Bolivia ha logrado avances importantes en el acceso a suministro de agua y servicios de saneamiento. Sin embargo, a pesar de que el acceso al agua potable y la recolección de aguas residuales han mejorado, la calidad de estos servicios todavía no es óptima, especialmente para la población más pobre. Interrupciones del servicio u obstrucciones en los sistemas de alcantarillado son comunes, así como deficiencias en la calidad del agua y el tratamiento de aguas

residuales siguen siendo desafíos, sobre todo en zonas que sufren escasez de agua. (FAO, 2017)

Tabla I-1. Aguas residuales generadas en Bolivia

CIUDAD	AÑO	FUENTE DE DATOS	ACTIVIDAD	VALOR	UNIDAD
La Paz	2019	AAPS	Aguas residuales generadas	12.695,7	Miles m ³
Santa Cruz	2019	AAPS	Aguas residuales generadas	67.120,1	Miles m ³
Cochabamba	2019	AAPS	Aguas residuales generadas	13.871,91	Miles m ³
Tarija	2019	AAPS	Aguas residuales generadas	12.245,6	Miles m ³
Beni	2019	AAPS	Aguas residuales generadas	3.300,6	Miles m ³
Chuquisaca	2019	AAPS	Aguas residuales generadas	3.997,5	Miles m ³
Potosí	2019	AAPS	Aguas residuales generadas	2.741,3	Miles m ³
Oruro	2019	AAPS	Agua residuales generadas	2.204,86	Miles m ³

Fuente: INE-AFCSAPySB 2019



Fuente: INE-AFCSAPySB 2019

Figura I-7. Volumen de aguas residuales

Contexto Local aguas residuales generadas

De acuerdo con el informe del Ministerio de Medio Ambiente y la OMS para el año 2019, el área urbana de Bolivia hay una cobertura tan solo del 54 %, y sumado con el porcentaje del área rural, se tiene en total 55% de personas con acceso a un servicio de alcantarillado sanitario, pero de este porcentaje sólo un 24,5% cuenta con la debida atención al tratamiento de las aguas residuales.

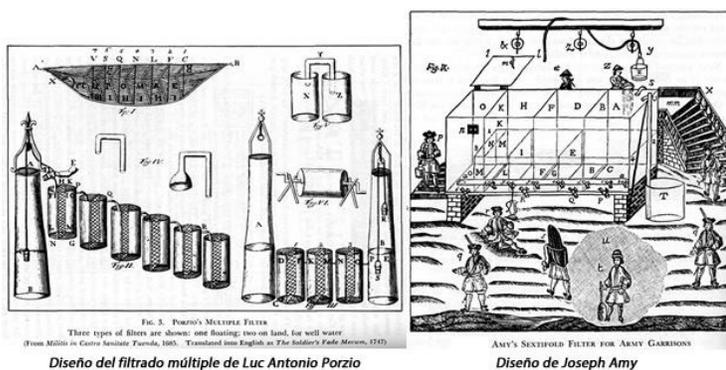
Tabla I-2. Aguas residuales generadas en Tarija

Municipio	FUENTE DE DATOS	ACTIVIDAD	VALOR	UNIDAD
Tarija	AAPS	Aguas residuales generadas	3061.4	Miles m ³
Yacuiba	AAPS	Aguas residuales generadas	1224.56	Miles m ³
Villa Montes	AAPS	Aguas residuales generadas	489.82	Miles m ³
Bermejo	AAPS	Aguas residuales generadas	489.82	Miles m ³
San Lorenzo	AAPS	Aguas residuales generadas	367.37	Miles m ³
Entre Ríos	AAPS	Aguas residuales generadas	244.91	Miles m ³
Padcaya	AAPS	Aguas residuales generadas	244.91	Miles m ³
Carapari	AAPS	Aguas residuales generadas	244.91	Miles m ³
Uriondo	AAPS	Aguas residuales generadas	1836.84	Miles m ³
El Puente	AAPS	Aguas residuales generadas	1836.84	Miles m ³
Yunchara	AAPS	Aguas residuales generadas	1224.56	Miles m ³

Fuente: INE-AFCSAPySB 2019

Historia del tratamiento de aguas residuales

Desde la caída del imperio romano en el año 500 al 1500 D.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento de aguas. En la edad media hubo una gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución donde las aguas residuales abocaban directamente a las aguas de consumo humano. En los siglos XVI y XVII las ciudades empiezan a recuperarse y en el año 1804 fue construido el primer sistema de tratamiento de aguas residuales en Paisley, Escocia, donde tres años más tarde se comenzó a transportar el agua filtrada a la ciudad de Glasgow. (Foundation, 2017)



Fuente: Foundation, 2017

Figura I-8. Sistema de potabilización de aguas

En 1806 empieza a funcionar en París la mayor planta de tratamiento de agua conocida hasta el momento. Allí, el agua sedimentaba durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consistían en arena, carbón y tenían una capacidad de seis horas. En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública.

Actualmente existe la necesidad de tratar y reutilizar las aguas ya sean residuales domésticas o industriales en edificaciones. Esto sustentado en la problemática ambiental actual y el costo del recurso, sin embargo, se deben instalar sistemas de tratamiento para poder reutilizar el agua.

Existen diferentes tecnologías para el reciclaje de las aguas grises: tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación, filtraciones), tratamientos biológicos (lodos activos, Reactores Biológicos Secuenciales SBR.) o una combinación de los dos (Reactor Biológico con Membranas MBR).

Generalmente, estos tratamientos se completan con filtros y sistemas de desinfección. Todos ellos deben asegurar la calidad del agua reciclada en los puntos de uso. Para el diseño del tratamiento se debe determinar la capacidad de captación de aguas grises, así como la necesidad de agua reciclada.

Los beneficios ecológicos potenciales del reciclaje de aguas residuales grises incluyen:

- Reducción de la extracción de agua dulce de los ríos y acuíferos.
- Menor impacto ambiental de fosas sépticas y plantas de tratamiento de aguas.
- Reducción del uso de energía y la contaminación química del tratamiento de agua
- Recarga de aguas subterráneas y recuperación de nutrientes

Además, se debe considerar que tanto el caudal de aguas grises como el de la demanda de agua tratada fluctúan a lo largo del día. Por ello, es importante dimensionar el equipo para aprovechar en lo máximo las aguas grises y disponer de un volumen de almacenamiento de aguas tratadas suficiente para cubrir la demanda.

Existen diferentes tecnologías para el reciclaje de las aguas grises: tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación, filtraciones), tratamientos biológicos (lodos activos, Reactores Biológicos Secuenciales SBR.) o una combinación de los dos (Reactor Biológico con Membranas MBR).

Generalmente, estos tratamientos se completan con filtros y sistemas de desinfección. Todos ellos deben asegurar la calidad del agua reciclada en los puntos de uso. Para el diseño del tratamiento se debe determinar la capacidad de captación de aguas grises, así como la necesidad de agua reciclada.

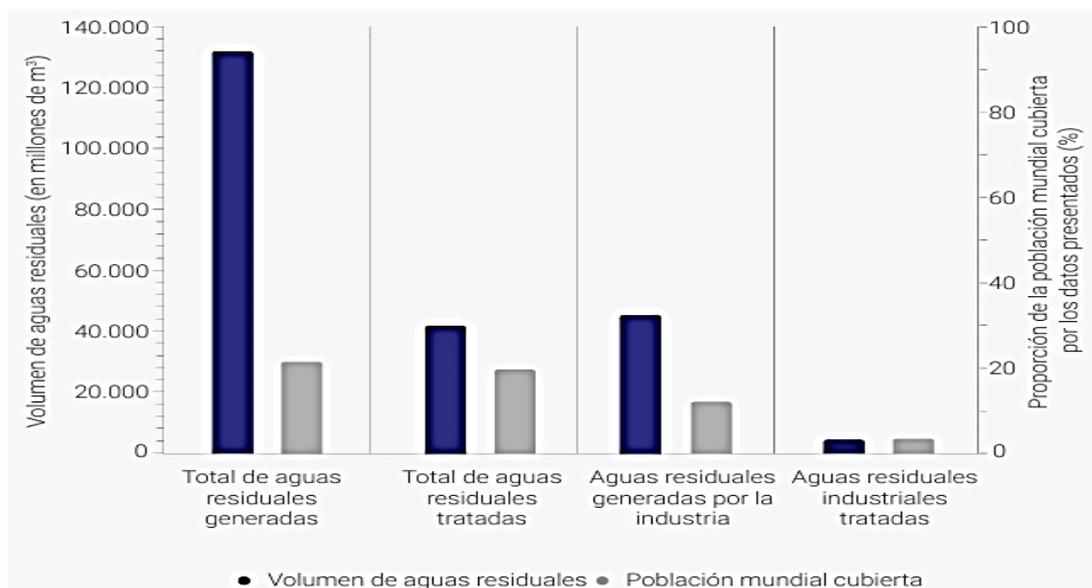
Los beneficios ecológicos potenciales del reciclaje de aguas residuales grises incluyen:

- Reducción de la extracción de agua dulce de los ríos y acuíferos.
- Menor impacto ambiental de fosas sépticas y plantas de tratamiento de aguas.
- Reducción del uso de energía y la contaminación química del tratamiento de agua
- Recarga de aguas subterráneas y recuperación de nutrientes

Además, se debe considerar que tanto el caudal de aguas grises como el de la demanda de agua tratada fluctúan a lo largo del día. Por ello, es importante dimensionar el equipo para aprovechar en lo máximo las aguas grises y disponer de un volumen de almacenamiento de aguas tratadas suficiente para cubrir la demanda. (FAO, 2017)

Contexto mundial tratamiento de aguas residuales

El riego con aguas residuales (crudas, parcialmente tratadas) involucra aproximadamente unos 20 millones de hectáreas, 200 millones de productores y un 10% de consumidores a nivel mundial. Aunque en la actualidad representa menos del 5% de los usos totales de agua, es probable que el uso de aguas residuales se extienda a medida que la escasez de agua se intensifique, especialmente en países de zonas áridas y semiáridas.



Fuente: OCDE 2021

Figura I-9. Flujos de aguas residuales industriales

Contexto Latinoamérica tratamiento de aguas residuales

Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. La OPS/OMS (2001) señala que en 1998 menos de 14% de los 600 m³/s de aguas residuales colectadas en América Latina recibían algún tratamiento antes de ser dispuestas en ríos y mares, y solo 6% tenían un tratamiento aceptable. Si a esto se agrega que 40% de la población urbana de la Región contrae enfermedades infecciosas asociadas al agua, estos vertimientos constituyen un importante vector de parásitos, bacterias y virus patógenos que demanda urgente atención. (Agua M. d., 2020)

Tabla I-3. Tratamiento de aguas residuales

Disposición de excretas	27%	86% sin tratar (516 m ³ /s) Desembocan a ríos y Mares
Redes de alcantarillado (600 m ³ /s)	63%	
Agua residual tratada	14%	
Agua residual con tratamiento aceptable	6%	

Fuente: OPS 2001

En los 8 países que comunicaron datos estandarizados de ámbito nacional previamente validados por sus gobiernos sobre la generación y el tratamiento de los flujos de aguas

residuales industriales, el 30% de todos los flujos generados por fuentes industriales en 2015 recibieron, como mínimo, algún tratamiento, lo que representa un 4% de la población mundial. (UNIDAS, 2021)

Tabla I-4. Aguas residuales tratadas

PAÍS	AÑO	FUENTE DE DATOS	ACTIVIDAD	VALOR	UNIDAD
Bolivia	2015	UNSD	Tratamiento de aguas residuales tratadas	117.457	Millones de m ³
Brasil	2015	UNSD	Tratamiento de aguas residuales tratadas	3.805,023	Millones de m ³
Colombia	2015	UNSD	Tratamiento de aguas residuales tratadas	84,239	Millones de m ³
Costa Rica	2015	UNSD	Tratamiento de aguas residuales tratadas	354,159	Millones de m ³
Ecuador	2015	UNSD	Tratamiento de aguas residuales tratadas	83,787	Millones de m ³
México	2015	OCDE	Tratamiento de aguas residuales tratadas	6.032,000	Millones de m ³
Panamá	2015	UNSD	Tratamiento de aguas residuales tratadas	172,681	Millones de m ³
Perú	2015	UNSD	Tratamiento de aguas residuales tratadas	634,475	Millones de m ³

Fuente: **ODS 2021**

El crecimiento explosivo de las ciudades ha generado una acelerada y caótica urbanización de tierras de cultivo y ha obligado a darle prioridad al uso de las aguas superficiales para consumo humano y la industria. Consecuentemente, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y se ha optado por el uso de aguas residuales como única alternativa de supervivencia. Esto se refleja en la existencia de más de 500.000 ha agrícolas irrigadas directamente con aguas residuales sin tratar (Bartone, 1990). Lo que preocupa más aun es el riesgo de una superficie agrícola mucho mayor con aguas superficiales que, al ser contaminadas por desagües urbanos, normalmente superan la calidad sanitaria para riego (coliformes fecales y nematodos) recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1989).

Tabla I-5. Aguas tratadas para riego

PAIS	VALOR	UNIDAD
México	350000	Mil ha
Colombia	16000	Mil ha
Perú	6600	Mil ha
Ecuador	3700	Mil ha

Fuente: SITyURAL 2002

Contexto nacional de tratamiento de aguas residuales

De 219 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) inventariadas en Bolivia, 113 no funcionan de manera adecuada, por lo que sólo el 30,5% de las aguas residuales de toda la población boliviana son tratadas adecuadamente. Adicionalmente, solo un 5% de los sistemas de tratamiento de agua residual funciona correctamente, mientras que el 95% presenta dificultades en la operación y mantenimiento. (UNIDAS, 2021)

Tabla I-6. Plantas de tratamiento de aguas residuales

DEPARTAMENTO	PTAR POR DEPARTAMENTO
La Paz	5
Santa Cruz	29
Cochabamba	9
Chuquisaca	2
Tarija	6
Potosí	4
Oruro	2
Beni	2
Pando	0
TOTAL	59

Fuente: AAPS 2020



Fuente: MMAyA 2020

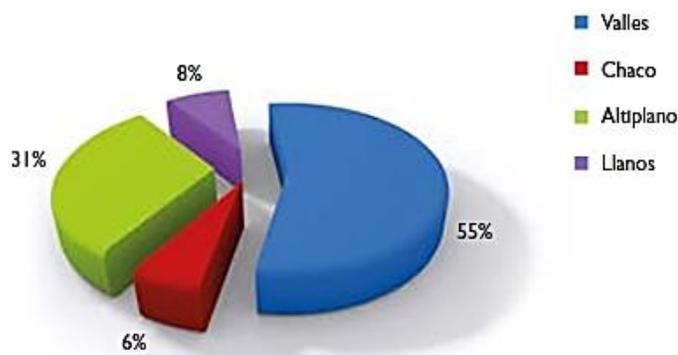
Figura I-10. Funcionamiento inadecuado de las PTAR

De acuerdo con dicho estudio, se evidenció que, en la mayoría de los casos, el problema lo constituye la deficiente o nula operación y mantenimiento de las PTAR, debido principalmente a la carencia de recursos económicos y personal capacitado.

En Bolivia se estima que solo el 27% de las aguas residuales son tratadas (Programa agua y saneamiento, 2018). De hecho, en las ciudades con más de 10000 habitantes, la tasa de tratamiento de aguas residuales es de solo 39%.

Actualmente, debido a los efectos del Cambio Climático, las lluvias son más irregulares y las amenazas por sequía o por exceso incrementan el riesgo sobre la producción agropecuaria, haciendo que las familias se sientan más vulnerables y se vean obligadas a una búsqueda permanente de alternativas para incrementar la disponibilidad de agua. La competencia por agua de riego es cada vez mayor en estas zonas, en las cuales es ya difícil emplazar grandes obras regulatorias sólo para abastecimiento de agua para las grandes ciudades o las ciudades intermedias. (Sciolo, 2020).

El Inventario Nacional de Sistemas de Riego para el año 2012, consigna 5.669 sistemas de riego en siete departamentos que coinciden con aquellos en los cuales se han levantado datos para el presente informe; de ellos sólo el 19% tiene uso de aguas reguladas y la mayor parte de ellos tiene como fuente al agua de río.



Fuente: Tratamiento y reuso 2018

Figura I-11. Riego con aguas tratadas

La ley de Medio Ambiente N° 1333, bajo el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, clasifica los cuerpos de agua en cuatro clases A, B, C y D, las tres primeras se consideran aptas para riego de hortalizas de consumo crudo y de frutas de pepita y carozo, que sean digeridas crudas; mientras que la clase D, no se considera apta para riego. (Sciolo, 2020).

Tabla I-7. Aguas residuales tratadas

CIUDAD	AÑO	FUENTE DE DATOS	ACTIVIDAD	%
La Paz	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	21.1
Santa Cruz	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	52.6
Cochabamba	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	33.3
Tarija	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	77.8
Beni	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	41.7
Chuquisaca	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	68.4
Potosí	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	46.3
Oruro	2019	AAPS	Aguas residuales Tratadas	54.5

Fuente: SITYURAL 2002

Contexto local de tratamiento de aguas residuales

El mayor volumen de aguas residuales que provienen del sistema de alcantarillado es tratado en las lagunas de Estabilización San Luis. El caudal de diseño es de 210 l/s, en la actualidad y en base a registros efectuados por COSAALT correspondientes al año 2011, el caudal medio que ingresa en planta es de 264 l/s.

El afluente mayoritario proviene de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Tarija, sin embargo, también recibe el aporte autorizado, pero no monitoreado de aguas residuales, entre los que destacan por el volumen de sus descargas, los siguientes 5 establecimientos principales: Cervecería CBN, Productos lácteos PIL, Vitivinícola Aranjuez, Embotelladora Coca Cola y Embotelladora La Cascada. (Agua M. d., 2020).

Tabla I-8. Aguas residuales tratadas

CATEGORIA	FUENTE DE DATOS	VALOR	UNIDAD	%
Domestica A	COSAALT	1.058,15	Miles m ³	85.63
Domestica Mínima	COSAALT	1.058,15	Miles m ³	0.44
Oficial	COSAALT	2.327,47	Miles m ³	4.22
Especial	COSAALT	3.587,51	Miles m ³	6.50
Comercial	COSAALT	3.587,50	Miles m ³	0.39
Industrial I	COSAALT	5.231,40	Miles m ³	0.93
Industrial II	COSAALT	4.231,40	Miles m ³	0.97
Industrial III	COSAALT	4.231,40	Miles m ³	0.28
Pila publica	COSAALT	-	Miles m ³	0.63

Fuente: Sistema de agua potable 2020

El aumento de la demanda de agua para la agricultura, la industria y el sustento de poblaciones urbanas y rurales ha llevado a una creciente escasez de agua. Se estima que la agricultura representa el mayor usuario de agua, con alrededor del 70% en comparación con el uso industrial (20%) y doméstico (10%). Además, el crecimiento poblacional involucra un incremento significativo en la demanda de agua y alimento, como así también una liberación de volúmenes de aguas residuales cada vez mayores que requieren de un tratamiento y disposición final adecuados.

En cinco municipios de Tarija 133 ha están bajo riego con aguas residuales no tratadas (o tratadas de manera deficiente). De las cuales 71 ha son regadas mediante reúso directo y 62 ha mediante reúso indirecto (mezcladas con agua de ríos o quebradas). Se identificó que en el municipio de El Puente no existe oferta de aguas residuales para el reúso. (UNIDAS, 2021).

En los demás municipios las áreas de estimadas de riego con aguas residuales resultaron ser:

Tabla I-9. Aguas residuales utilizadas

MUNICIPIO	ÁREA DE RIEGO CON AGUAS RESIDUALES	TIPO DE REUSÓ
San Lorenzo	47 ha	indirecto
Cercado	59 ha	Directo
Uriondo	14 ha	Indirecto
Padcaya	12 ha	Directo

Fuente: Ejecutivo Rentabilidad del reúso 2018

Para el 2015, a largo del río Guadalquivir predomina la condición biológica crítica. Algunas zonas como, después de la confluencia de las quebradas San Pedro y El Monte en Tarija y luego de su confluencia con el río Santa Ana, el Guadalquivir obtuvo una condición crítica. (Agua S. d., 2019).

Planta de engarrafado de GLP YPFB “El Portillo” Tarija

La Planta El Portillo, área compartida entre YPFB Corporación DCTJ, YPFB Logística, YPFB Transporte y YPFB Refinación inició sus operaciones dentro estas áreas aproximadamente entre 1986 y 1990, con la recepción, almacenamiento y despacho de combustibles líquidos, engarrafado de GLP y despacho de GLP por cisternas. (YPFB, 2022).

La Planta Engarrafadora de GLP (PEGLP) tiene la función principal de trasvasar el GLP desde el año 1986 en garrafas de 10 Kg y 45 Kg, a través de un sistema de recepción, almacenamiento, engarrafado y despacho.

- El GLP llega hasta la planta a través de una línea de 4” que deriva del poliducto PVT.
- Adicionalmente la planta también recibe producto a través de cisternas aprovechando equipos instalados en islas de bombas.
- Los proveedores de GLP de la planta son CLHB S.A. con el 97.6%, CHACO con el 1.3% y YPFB con el 0.2%.
- La Planta cuenta con cuatro tanques de almacenamiento.

Tabla I-10. Tanques de almacenamiento de GLP

	NUMERO	TIPO	Long (mm)	Esp (mm)	VOLUMEN (lt)
Tanque	05	Horizontal	14.794	14.30	77.251
Tanque	06	Horizontal	14.794	14.30	77.251
Tanque	07	Horizontal	14.794	14.30	77.251
Tanque	08	Horizontal	14.870	16.50	79.383

Fuente: YPFB DCTJ

Actividades características de la Planta de engarrafado de GLP YPFB “El Portillo”

De los tanques de almacenamiento, mediante un sistema de bombeo se inyecta G.L.P. a la envasadora, El transporte de GLP se realiza desde la ciudad de Villamontes hasta la ciudad de Tarija a través de poliducto.

A partir de los tanques de almacenamiento el gas licuado de petróleo es trasladado hacia la planta de envasado por medio del ducto (línea tronquera) de presión elevada, válvulas bolas, codos unidos a la cañería de forma soldada, también se encuentran filtros, válvulas de alivio entre otros; posteriormente el gas llega a las bombas las cuales llevan dicho gas a una presión de 170 psi aproximadamente hasta llegar a las balanzas de llenado. (YPFB, 2022).



Fuente: YPFB DCTJ

Fotografía I-1. Tanques de almacenamiento de GLP

Proceso de descarga de garrafas vacías (Procedimiento manual)

El jefe de planta o encargado designado, verifica que el camión de la empresa distribuidora de GLP, en el área o plataforma de garrafas vacías, se encuentre estacionado con dirección a la salida más próxima de la planta.

El Jefe de Planta o el Encargado designado, instruye al personal de la empresa distribuidora, procedan a descargar las garrafas vacías previamente seleccionadas por tara, en el área dispuesta para tal efecto. (YPFB, 2022).



Fuente: YPFB DCTJ

Fotografía I-2. Descarga de garrafas vacías

Procedimiento de llenado de garrafas

El operador de GLP, realizara las siguientes acciones por balanza de llenado:

- Colocará la garrafa vacía en la posición de llenado y conectará el cabezal neumático de llenado.
- Abrirá la válvula de la garrafa y accionara el botón de llenado, el cual interrumpirá automáticamente el llenado cuando la balanza registre el peso de 10 kg.
- Cerrará la válvula de la garrafa envasada con GLP y desconectará el cabezal de llenado.
- Retirárá la garrafa de la balanza de llenado y la enviará al circuito de verificación de hermeticidad, taponado y precintado.

En caso de que alguna garrafa a la salida del sistema de carga se encuentre por debajo del peso mínimo admisible, se procederá a rellenar la misma, utilizando la válvula de llenado manual. (YPFB, 2022).



Fuente: YPFB DCTJ

Fotografía I-3. Llenado de garrafas de GLP

Control de peso de garrafas

El Operador de GLP, deberá realizar un control de peso de garrafas envasadas, utilizando una balanza electrónica, por lo menos tres veces al día, tomando una muestra mínima de 10 unidades por balanza de llenado.

Serán aceptables todas las garrafas envasadas con GLP, cuyo peso final presente una variación de $\pm 1\%$, respecto al peso nominal (tara + 10 kg de producto), de conformidad al Anexo No 7 del Reglamento para la Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de GLP.

En caso de que alguna garrafa a la salida del sistema de carga, se encuentre por encima del peso máximo admisible, la cantidad de GLP excedente, deberá ser recuperado en el sistema de recuperación de la planta, para tal efecto el Encargado de planta deberá realizar la siguiente acción:

Colocará las garrafas identificadas en forma invertida en el caballete y las conecta a las mangueras flexibles de recuperación de producto. (YPFB, 2022).



Fuente: YPFB DCTJ

Fotografía I-4. Control de peso, balanza de relleno

Prueba de hermeticidad

El Operador de GLP, permitirá el paso de garrafas envasadas de GLP, al sistema de prueba de hermeticidad, para sumergirlas en el estanque de agua; verificara que no se produzcan burbujas que indicarían fuga de producto, en caso de existir alguna fuga, permitirá la salida de las garrafas y separara la que tenga fuga, se dará parte al Encargado o Jefe de Planta. En caso de prueba satisfactoria, permitirá la salida de las garrafas y reiniciará el proceso. (YPFB, 2022).



Fuente: YPFB DCTJ

Fotografía I-5. Prueba de hermeticidad

Proceso de taponamiento y precintado

El Operador de GLP, a la salida de las garrapas de la prueba de hermeticidad, procederá al montaje de los tapones de seguridad, empleando un taladro neumático reversible antiexplosivo.

El Operador de GLP, procederá a colocar los precintos termo contraíbles en la válvula de las garrapas. (YPFB, 2022).



Fuente: YPFB DCTJ

Fotografía I-6. Taponamiento y precintado

Proceso de carga de las garrapas llenas al camión distribuidor

El paso final del proceso de engarrapado de GLP es la carga manual de las garrapas llenas al camión por el personal de la empresa distribuidora de GLP. (YPFB, 2022).



Fuente: YPFB DCTJ

Fotografía I-7. Carguío e las garrapas llenas al Camión Distribuidor

Jabón Potásico utilizado como lubricante en transportadora de cadenas para Planta de engarrafado “El Portillo”

En el año 1986 se procede al armado de la planta de engarrafado de GLP con el sistema de transporte de cadenas automático.

En el año 1990 se innova e inaugura con la empresa KOSAN CRISPLANT A/S el uso de Jabón Potásico en el sistema de encadenado automático en las plantas engarrafadoras de las ciudades de La Paz, Cochabamba, Santa Cruz y Tarija.

El uso de jabón diluido en agua para la cadena transportadora de las garrafas a diferentes etapas del proceso evita la oxidación de las mismas.

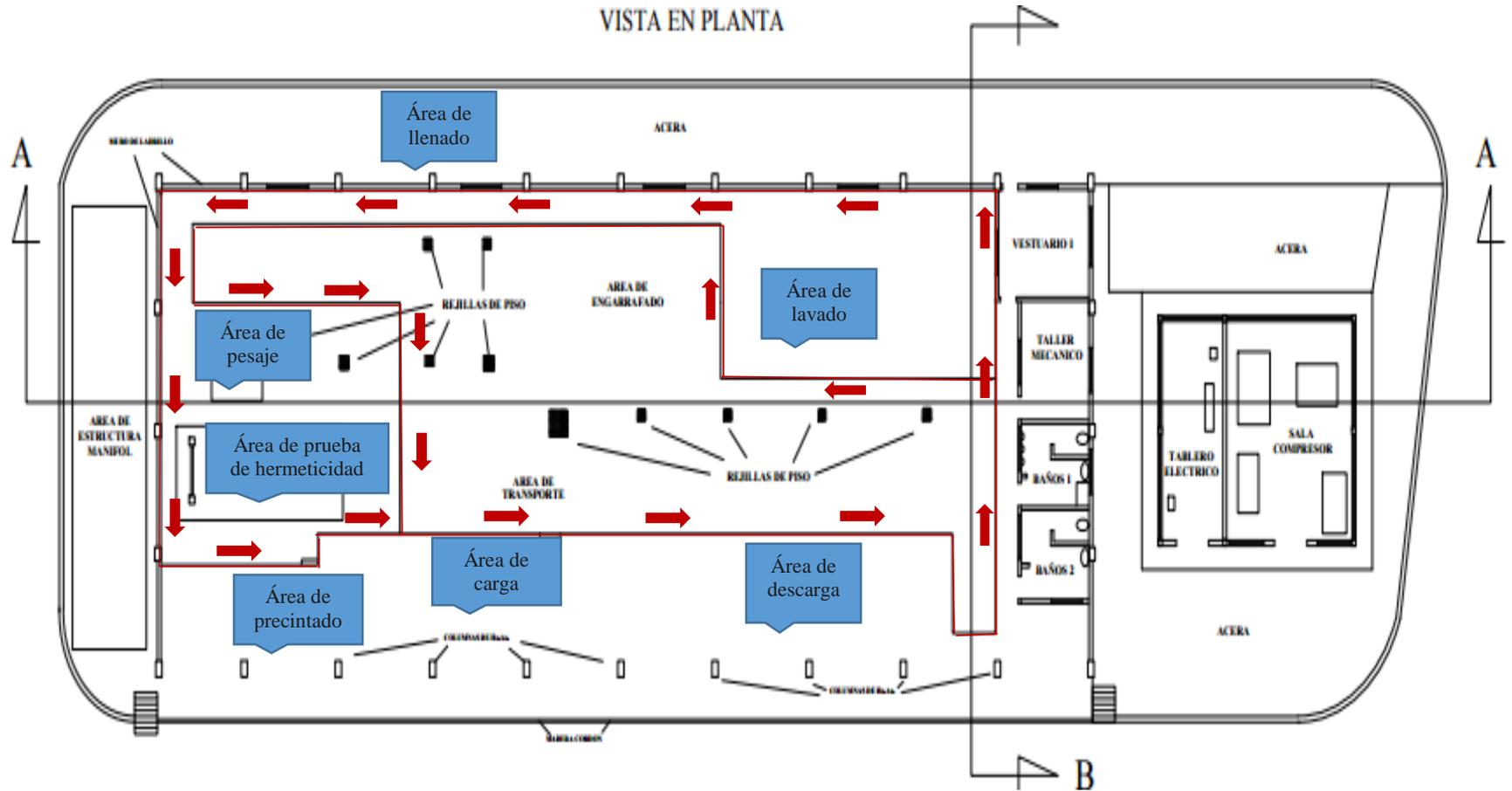
La dosificación es de 15 Kg de Jabón potásico en 1500 litros de aguas por semana, para el transporte de 5000 garrafas por día. (YPFB, 2022).

Tabla I-10. Composición de Jabón Potásico

COMPOSICIÓN	UNIDAD	VALOR
Ácido graso	%	30-40
Hidróxido potásico latente K(OH)	%	8-10
Hidróxido potásico libre K(OH)	%	0.5
Cloruro potásico KCl	%	1.0
Carbonato Potásico K_2CO_3	%	2.5
Siliciuro de sodio Na_2O/SiO_2	%	0.1
Sulfato de sodio Na_2SO_4	%	0.2
Agua H_2O	%	50-55

Fuente: Kosan Crisplant a/s

Diagrama de procesos de la planta de engarrafado de GLP YPFB “El Portillo” Tarija



Fuente: Distrito Comercial Tarija

Figura I-12. Plano de encadenado de transporte de garrafas

Aguas residuales de la planta

Desde la fecha de inicio de operaciones (1986 y 1990) en Planta “El Portillo”, el sistema de Aguas (Residuales, industriales y Fluviales) ha entrado en función. El cual a la fecha cuenta con varias falencias e irregularidades en su recolección, tratamiento y disposición final.

Planta “El Portillo” cuenta con tres pozos sépticos para el tratamiento de aguas residuales (aguas negras), los cuales se encuentran fuera de las instalaciones de Planta El Portillo. (YPFB, 2022).



Fuente: Google Maps

Fotografía I-8. Ubicación de Pozos sépticos fuera de Planta El Portillo

A la fecha los pozos sépticos mencionados se encuentran fuera de servicio, totalmente deteriorados y colapsados, ya por los años de este sistema y la saturación de los mismos. Provocando rebases de estos pozos sépticos y un vertido directo de aguas residuales a quebrada afluente al Rio Santa Ana que se encuentra detrás de las instalaciones de Planta “El Portillo”. (YPFB, 2022).



Fuente: Elaboración propia

Fotografía I-9. Pozos sépticos, fuera de instalaciones destruidos



Fuente: Elaboración propia

Fotografía I-10. Vertido de aguas residuales a quebrada

El consumo humano de agua dentro de las instalaciones del Distrito Comercial Tarija es proporcionado por empresas de agua de mesa y para el consumo de baños, cocinas y lavados proporcionados por conexión de pozos y para la descarga de las aguas estas están directamente conectados a fosas sépticas instaladas en la planta.

Una vez identificada la generación de agua residual dentro de la planta de embotellado, se procedió al estudio de su trayectoria, desde su uso en instalaciones dentro y fuera de la planta, hasta la descarga en la zona de impacto y su disposición final. Cuando se

hace efectivo el uso del agua en todas las instalaciones de la planta de engarrafado, se reúnen en la piscina sépticas primarias, ubicadas a unos 350 metros.

De la zona de operación; posteriormente es transportada mediante una tubería de 4" subterránea hacia la piscina API a 1 Km de distancia, ubicada en la zona de impacto, el agua reposa en esta fase por aproximadamente 3 semanas, dependiendo el caudal proveniente de la planta de engarrafado; el agua residual es transportada mediante una tubería de 10" s desembocando en la quebrada afluente al río Santa Ana, ubicada a 3 Km.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- Realizar el tratamiento de aguas residuales industriales jabonosas de la planta de engarrafado de GLP YPFB "El Portillo" mediante la operación de un Biofiltro a escala laboratorio.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización (análisis fisicoquímicos y microbiológico) y la cuantificación del volumen para determinar el nivel de carga orgánica que poseen.
- Determinar el sistema operativo a emplear para disminuir la carga contaminante orgánica y microbiológica de las aguas residuales.
- Establecer el sistema de tratamiento bajo condiciones determinadas para el buen funcionamiento.
- Controlar las variables dependientes e independientes de operación del proceso para identificar los errores o desvíos y evitar su repetición.
- Caracterizar las aguas obtenidas al final del tratamiento para su reutilización PEGLP.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. (Iagua, 2016).

2.1.2. Aguas residuales industriales

Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. (Vtmiod, 2006).

2.1.3. Aguas residuales grises

Este tipo de aguas residuales presentan niveles de materia orgánica con respecto a otros tipos de aguas residuales domesticas ya que no se incluyen la orina, las heces ni el papel higiénico. La materia orgánica será descompuesta por la acción bacteriana, dando esta descomposición origen a continuos cambios en las características del agua. Entre las sustancias biodegradables presentes en las aguas residuales se encuentran los compuestos nitrogenados tales como proteínas, urea, aminoácidos, aminas en un 40%; compuestos no nitrogenados como grasas y aceites en un 10%, y carbohidratos en un 50%. Las proteínas son extremadamente complejas y se encuentran en toda materia viviente animal o vegetal, los hidratos de carbono se encuentran formando azúcar, almidón, algodón, celulosas y fibras vegetales; los hidratos de carbono en el papel higiénico y el algodón son altamente resistentes a la descomposición, las grasas también son difíciles de descomponer.

La materia orgánica presente en las aguas residuales está sometida a cambios por acción química y bacterias para llegar a su oxidación y reducción de la materia orgánica en un porcentaje del 25 al 50% en pocas horas; el resto requiere de días o semanas.

Las aguas residuales normalmente en su origen, cuando están frescas, no presentan olores desagradables a temperaturas entre 20 y 25 grados centígrados. La descomposición inicia al cabo de dos horas, cuando comienzan a enturbiarse y a cambian de color, transformándose en aguas color marrón y al cabo de 6 a 8 horas se produce el desprendimiento de gases, luego tomarán color más oscuro, con producción de malos olores, y se convierten en aguas ácidas, se produce la estabilización y se convierten nuevamente en aguas sin olor, color ni sabor, obteniéndose materia estable como dióxido de carbono (CO₂), nitratos (NO₃), y sulfatos (SO₄).

Es por ello, que su contaminación se determina básicamente con los siguientes parámetros:

Tabla II-1. Parámetros de aguas grises

	Parámetros	Valor orientativo Aguas Grises	Valor típico Aguas Residuales
Parámetros Físicoquímicos	Sólidos en suspensión	45-330 mg/l	450 mg/l
	DBO ₅	90-290 mg/l	400 mg/l
	NTK	2,1-31,5 mg/l	50-60mg/l
	Turbidez	22-200 NTU	
Parámetros Microbiológicos	Coliformes totales	10 ¹ -10 ⁶ UFC/100ml	10 ⁶ -10 ⁷ UFC/100 ml
	Escherechia Coli	10 ¹ -10 ⁵ UFC/100ml	10 ⁵ -10 ⁶ UFC/100ml

Fuente: Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental 2011

2.2. Contaminantes típicos de aguas residuales industriales

2.2.1. Materia Orgánica

La materia orgánica está formada en 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de heces y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergente.

Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el

agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales.

2.2.2. Materia Inorgánica

Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables.

Es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. El oxígeno disuelto adecuado es necesario para una buena calidad del agua. La temperatura, la presión y la salinidad son los factores que afectan la capacidad del agua para disolver el oxígeno.

2.3. Características principales de aguas residuales industriales

2.3.1. Características físicas

Temperatura

La temperatura del agua residual, por lo general es un poco mayor que el agua de abastecimiento. Si sucede lo contrario es decir si el agua residual tiene una temperatura menor que la del agua, quiere decir que existe infiltración de aguas subterráneas o superficiales.

Si la temperatura es mayor a lo normal, indica que hay descargas de residuos industriales calientes. Conforme la temperatura aumenta, la viscosidad disminuye y por consiguiente aumenta la eficiencia de la sedimentación de las partículas presentes en el desagüe.

Color

El color es una característica del agua residual que indica su edad, por ejemplo, un color grisáceo es sinónimo de un agua residual reciente. A medida que aumenta el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al producirse condiciones más próximas a las anaerobias, el agua residual pasa de un color gris a gris oscuro para

finalmente tornarse de un color negro. Cuando el agua residual toma este color, suele clasificarse como agua séptica.

En cualquiera de los anteriores casos mostrados (color gris, gris oscuro y negro) se produce la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual. (Romo, 2012)

Olor

La presencia de malos olores en el agua residual es debida a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor particular, algo desagradable, pero a diferencia del olor del agua séptica resulta más tolerable. El olor característico del agua residual séptica a huevos podridos es gracias a la presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

Los malos olores son la causa principal del rechazo por parte de la población a la implantación de instalaciones de aguas residuales en su área de influencia (vecindad), por lo que toma mucha importancia estudiar los efectos que producen, cómo se detectan, cómo se caracterizan, medirlos y sobre todo cómo evitarlos. (Saenz, 2015).

Tabla II-2. Compuestos olorosos asociados al agua residual bruta

COMPUESTOS OLOROSOS	FORMULA QUÍMICA	CALIDAD DE OLOR
Animas	$CH_3NH_2(CH_3)_3H$	A pescado
Amoniaco	NH_3	Amoniacal
Diaminas	$NH_2(CH_2)_4NH_2$, $NH_2(CH_2)_5NH_2$	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrogeno	H_2S	Huevos podridos
Mercaptanos (ejm: metilo y etileno)	$CH_3SH, CH_3(CH_2)SH$	Coles descompuestas
Mercaptanos (ejm: butilo y crotilo)	$(CH_3)_3CSH, CH_3(CH_2)_3SH$	Mofeta
Sulfuros orgánicos	$(CH_3)_2S, (C_6H_5)_2S$	Coles podridas
Escatol ²	C_9H_9N	Materia fecal

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

Sólidos Totales ST

Están conformados por sólidos de distintos tamaños, que a su vez se definen como sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, coloides y sólidos disueltos.

Sólidos Suspendidos SST

Conocidos también como “sólidos no filtrables”. Estas partículas tienen un tamaño superior a 1,0 μm que son retenidas mediante filtración. Producen turbidez en el agua.

Sólidos filtrables SF

Conocidos como “sólidos disueltos”, se obtienen después de evaporar una muestra previamente filtrada con un filtro de 1,0 μm .

Sólidos Sedimentables SD

Son partículas (orgánicas y biológicas) con un tamaño mayor a 10 μm que se depositan en un depósito cónico llamado “cono de Imhoff”, de 1 Litro, durante 1 hora.

Conductividad eléctrica EC

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, varía en función de la temperatura y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua; por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con los sólidos disueltos totales TDS. (Suarez, 2006).

El mismo autor, menciona que la medida de la conductividad eléctrica se realiza in situ (inmediato) mediante un conductímetro provisto de célula de conductividad apropiada, expresado en diferentes unidades (Siemens/cm, mmhos/cm) y sus equivalencias son las siguientes:

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmhos/cm} = 1000 \mu\text{S/cm}$$

Para Vásquez (2000), la conductividad eléctrica, se determina en forma rápida y precisa y el agua utilizada para el riego tiene una CE normalmente entre 2,000 a 2,250 mmhos/cm, las escalas y límites son mostradas en los anexos correspondientes.

Turbidez TUR

La turbidez es la dificultad del agua, para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además, interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua (Sáenz, 1993).

La principal causa responsable de la turbidez en el agua son arcillas, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos, siendo las arcillas la causa más común de turbiedad. (Zambrano, 1998).

El impedimento del brote de semillas, actividad fotosintética, crecimiento y reducción en adecuación para consumo (por ej., lechugas sucias). Los efectos, sin embargo, no están restringidos sólo a efectos biológicos, el exceso de sólidos suspendidos pueda también producir obstrucción de componentes mecánicos de sistemas de riego. (Singleton, 1999).

El uso permanente de aguas con altos niveles de turbiedad ocasionaría la impermeabilización del suelo, por su contenido en material orgánico e inorgánico en suspensión específicamente arcillas, e cual reduciría la tasa de infiltración de una lámina de riego.

Según la OMS (1989) la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 UNT, y estará idealmente por debajo de 1 UNT. Los sistemas filtrantes, de las plantas de tratamiento del agua para consumo humano deben asegurar que la turbidez no supere 1 UNT* (0.6 UNT para filtración convencional o directa). (Singleton, 1999).

Densidad ρ

La densidad es un parámetro definido por la relación entre la masa y el volumen, se puede expresar en diversas unidades, teniendo como los más usuales kg/m^3 y g/cm^3 . De acuerdo a la densidad del agua residual se puede determinar la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y demás instalaciones de tratamiento.

Distribución de tamaño de partícula TPD

Determina el tiempo de sedimentabilidad por gravedad de las partículas más pesadas

Transmitancia %T

Evalúa la sustentabilidad del proceso para una posible desinfección por un UV.

2.3.2. Características químicas

Potencial de Hidrogeno pH

La concentración de hidrogeniones se expresa por el valor de pH, que indica el estado ácido o alcalino de una solución entre 0 a 14. (Mancilla, 2014).

Para Seoanes (1999), el pH es un parámetro que nos indica la concentración de protones (iones hidrogeno H^+) presentes en una disolución acuosa; la expresión que nos da el pH de una disolución es una relación logarítmica.

El intervalo de concentraciones que es adecuado para la correcta proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. La medida de pH es un indicador muy importante en el tratamiento de las aguas residuales, independientemente de si hacemos tratamientos biológicos o físico químicos, es necesario conocer y en ocasiones ajustar el pH de entrada, del agua a tratar, así como a lo largo de todo el proceso, ya que nos indica en cierto grado la dificultad del tratamiento a realizar. Se recomienda que el pH óptimo para el crecimiento de los organismos se encuentre entre 6,5 y 7,5.

Nitrógeno NT

La importancia del nitrógeno radica en que es esencial para la síntesis de proteínas, necesitan conocer sobre la presencia de este nutriente para evaluar el tratamiento del agua residual mediante procesos biológicos. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. (Crites, 2000).

Fosforo P

Este elemento tiene relevancia en el crecimiento y desarrollo de distintos organismos en un cuerpo de agua, pero ya en cantidades excesivas provoca una proliferación de algas y otros organismos biológicos perjudiciales. Las formas más comunes en las que se puede encontrar el fósforo son los ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. Los ortofosfatos más comunes de las aguas residuales están disponibles para el metabolismo biológico sin necesidad de que los organismos tengan que realizar una ruptura posterior del mismo. (Crites, 2000).

Cloruros CL-

Los cloruros en las aguas residuales son un parámetro importante relacionado con la reutilización de esta, estos en condiciones naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que se tienen contacto. En las aguas residuales los cloruros son añadidos como consecuencia del uso, las heces humanas tienen un aporte aproximado de 6g de cloruros por persona/ día. (Crites, 2000).

Azufre S

Este se puede encontrar de forma natural tanto en las aguas naturales como en las aguas residuales. Es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas en los organismos, por este motivo se libera cuando existe degradación de las mismas, los sulfatos reducen biológicamente a sulfuros en condiciones anaerobias y forman sulfuro de hidrógeno (H₂S) al combinarse con el hidrógeno. (Crites, 2000).

Gases

Se determinan gases disueltos tales como amoníaco, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno, esto con la finalidad de ayudar en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las mediciones de oxígeno disuelto y amoníaco se realizan para monitorear y controlar los procesos que tengan un tratamiento biológico aerobio. (Crites, 2000).

Oxígeno disuelto O₂

Es uno de los parámetros clave de la medición de la calidad del agua, los valores de oxígeno varían de 7 a 9 mg/L. La principal fuente de oxígeno es el aire en difusión con el agua, por la turbulencia en los cuerpos de agua y por el viento. Por ejemplo, en los lagos la fotosíntesis es la fuente más importante y en los ríos el nivel de turbulencia que estos posean, determinará tanto la producción primaria como su grado de eutrofización. (Peréz, 2003).

Así que la estimación de la contaminación orgánica del agua es compleja, ya que la oxidación de la materia orgánica conduce a un agotamiento del oxígeno disuelto disponible en el cuerpo de agua. Al medir la concentración de oxígeno disuelto, se puede obtener una estimación de cuál es la cantidad de sustancias orgánicas oxidables dentro de ésta. (Lorca, 2006).

Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)

Se forma a partir de una reacción biológica en sistemas de desagüe o plantas de tratamiento de aguas residuales. El H₂S se genera a través de una fermentación anaeróbica (sin oxígeno) de materia orgánica presente en aguas residuales.

En el interior de una tubería, si no hay oxígeno, los microorganismos se alimentan y producen sulfuro de hidrógeno, con un característico hedor a huevo podrido. Esto se denomina septicidad, y es la causa del H₂S y del hedor que lo acompaña.

Metano (CH₄)

Es el principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual.

Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para que una población microbiana heterogénea estabilice la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de aguas residuales.

Este parámetro es aplicable en aguas continentales, aguas residuales, aguas pluviales o de cualquier procedencia que pueda contener una cantidad significativa de materia orgánica. No es aplicable para agua potable, ya que al tener en su composición un índice muy bajo de materia oxidable, la precisión de este parámetro no sería adecuada.

Tabla II-3. Clasificación de aguas residuales según la DBO₅

ESTADO	NORMA BOLIVIANA	DBO ₅ (mg/l)
Agua pura	CLASE A	0-20
Agua Levemente Contaminada	CLASE B	20-100
Agua muy Contaminada	CLASE D	500-3000
Agua Extremadamente Contaminada		3000-15000

Fuente: Interpretación de aguas residuales; Dr Calderón, 2010

Demanda química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica a través de métodos químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua.

La relación de DBO₅/DQO muestra la biodegradabilidad de las aguas residuales.

Tabla II-4. Valores típicos de la relación DBO₅/DQO

RANGO DE VALORES QUE TOMA LA RELACION DBO ₅ /DQO	
≥0,4	Aguas muy biodegradables
0,2-0,4	Aguas biodegradables
≥0,2	Aguas poco biodegradables

Fuente: (Centro de las Nuevas Tecnologías de Agua de Sevilla, 2008)

Grasas y aceites

El contenido de estas en aguas residuales se determina por una extracción de muestra de residuo con triclorotrifluoroetano, químicamente tanto las grasas y aceites de origen vegetal o animal son similares, ya que básicamente son ésteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerina. Aquellos que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente denominados aceites y los que se han convertido en sólido llamados grasas. Las presencias de estos causan muchos problemas en tanque sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales. (Crites, 2000).

Alcalinidad

Esta se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos. En aguas residuales, la alcalinidad estará ligada a la presencia de hidróxidos (OH⁻), carbonatos (CO₃₋₂) y bicarbonatos (HCO₃₋) de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio y del ion amonio, la alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular las variaciones en el pH causado por la adición de ácidos. Las aguas residuales comúnmente poseen cierta alcalinidad que se obtiene por el origen mismo de las aguas. (Crites, 2000).

Metales

Los metales tienen interés en la parte de tratamiento, reutilización y vertimiento de los lodos y efluentes ya tratados, ya que todos los organismos necesitan para su adecuado desarrollo elementos tales como hierro, cromo, cobre, zinc en diferentes cantidades. Aunque los metales estén en cantidades micro o macro y sean necesarios para el desarrollo biológico, estos pueden convertirse en tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas. (Crites, 2000).

2.3.3. Características biológicas

Estas características se deben a la presencia de microorganismos en el agua residual, entre los cuales encontramos:

Bacterias

Muchas bacterias son inofensivas en el tracto intestinal, pero al estar un individuo infectado al momento de excretar en las heces se encuentran una gran cantidad de bacterias patógenas, contaminando de esta manera las aguas residuales domésticas. Los grupos de bacterias más comunes que se pueden encontrar en las aguas residuales domésticas son del género *Salmonella*, del género *Shigella* y *Escherichia coli*. (Crites, 2000)

Protozoos

Entre los organismos causantes de enfermedades los protozoarios *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora* y *Giardia lamblia* son de gran interés ya que tienen un alto impacto sobre la población especialmente las personas con deficiencias en el sistema inmunológico y de este tipo de microorganismos son los más comunes encontrarlos en las aguas residuales. (Crites, 2000).

Helmintos

Los parásitos de esta categoría que pueden encontrarse en las aguas residuales son las lombrices intestinales, por ejemplo, *Ascaris lumbricoides*, la tenía solitaria *Taenia saginata* y *Taenia solium*. La etapa infecciosa de estos varía, en algunos se presentan en el estado mayor adulto o de larva y en otros su etapa infecciosa se presenta en el estado de huevo, muchas especies resisten condiciones ambientales adversas y llegan a sobrevivir a distintos tipos de tratamientos convencionales. (Crites, 2000).

Virus

En las aguas residuales se pueden presentar las condiciones adecuadas para la proliferación de estos, se han detectado más de 100 clases diferentes de virus entéricos que pueden ser capaces de transmitir algún tipo de infección o enfermedad que provienen de las excretas. La mayoría de estos se reproducen en el tracto intestinal de individuos infectados y luego de ser expulsado en las heces se produce su desarrollo masivo. (Crites, 2000).

Algas

Su presencia en el agua residual es de suma importancia, ya que contribuyen, junto con las bacterias, a la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Es importante resaltar que el crecimiento de las algas se ve beneficiado por la presencia en las aguas residuales de varias formas de nitrógeno y fósforo. Sin embargo, las algas pueden traer consigo grandes inconvenientes en las aguas superficiales ya que, si las condiciones son favorables, se reproducen rápidamente, provocando el recubrimiento del agua superficial por colonias flotantes y dando lugar a procesos de eutrofización. Uno de los problemas más importantes al que le hace frente la ingeniería sanitaria es el que se refiere a la gestión de la calidad del agua, y es el de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de cualquier origen, de tal forma que los efluentes no contribuyan al crecimiento de las algas y otras plantas acuáticas.

Toxicidad

La toxicidad acuática aguda es la propiedad intrínseca de una sustancia de provocar efectos nocivos en los organismos acuáticos tras una exposición de corta duración. La toxicidad crónica es la propiedad teórica o real que tiene una sustancia de provocar efectos nocivos en los organismos acuáticos durante exposiciones determinadas en relación con el ciclo de vida del organismo.

2.3.4. Métodos y tratamientos para aguas residuales industriales

El objetivo básico del tratamiento de aguas es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad.

El entorno de las aguas residuales a nuestros ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas, y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamientos o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente.

En la concepción clásica del problema de la contaminación del agua, los ríos se consideran los receptores naturales de las aguas residuales, con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes. Las cargas, o concentraciones de contaminantes y nutrientes, constituyen el objeto de la regulación, por parte de las leyes, decretos y normas, para establecer la calidad apropiada del agua, de acuerdo con los diferentes usos aplicables a ella.

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda
- La calidad requerida del efluente
- La disponibilidad de terreno
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento
- La confiabilidad del sistema del tratamiento

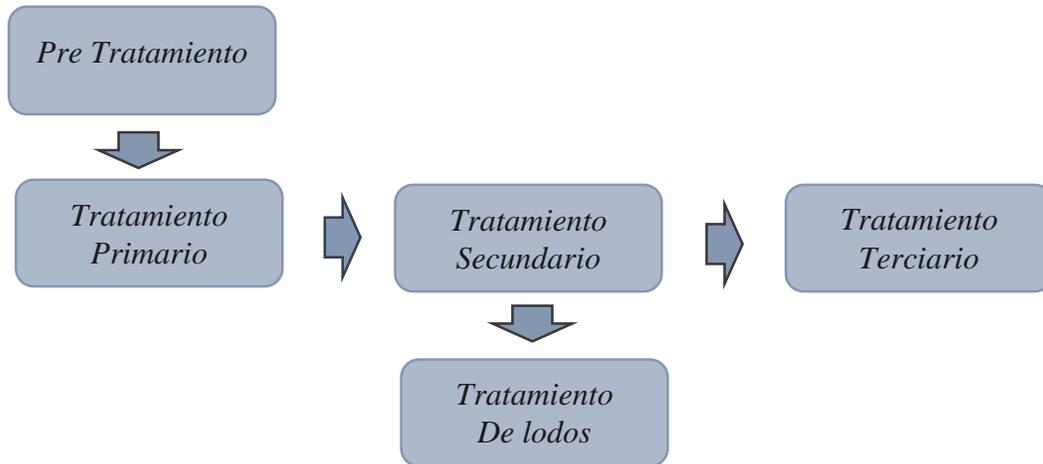
La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes.

Tren de tratamiento de aguas

El tren de tratamiento de las aguas residuales consiste en hacer pasar agua residual de entrada por una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como objetivo fundamental, eliminar la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua residual.

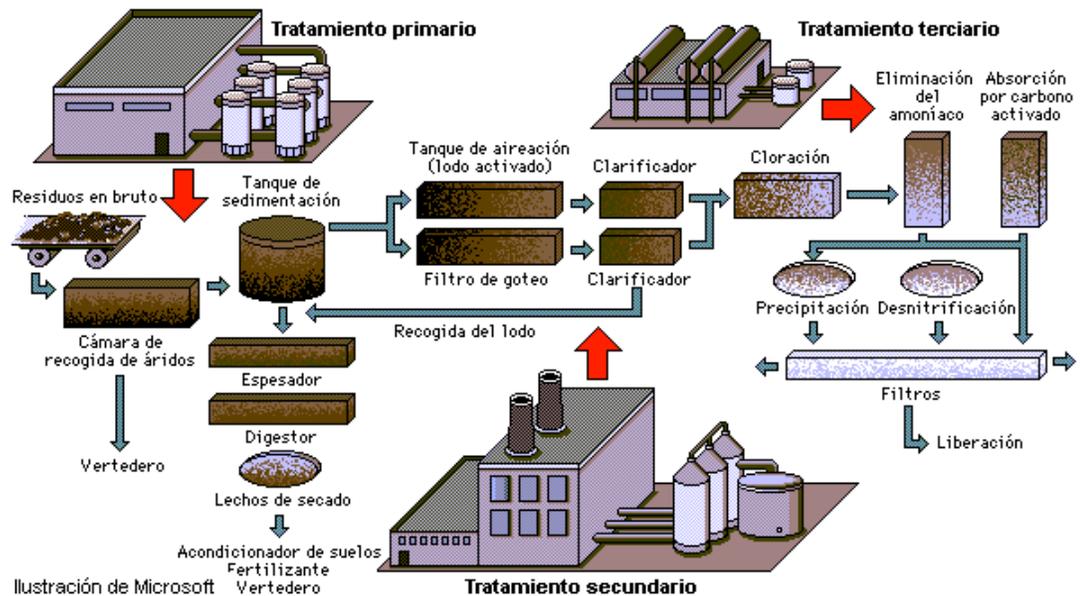
Los procesos son divididos en distintas etapas, las principales son descritas como sigue:

- 1.- Pre Tratamiento
- 2.- Tratamiento Primario
- 3.- Tratamiento Secundario
- 4.- Tratamiento Terciario o Desinfección



Fuente: SPENA 2016

Figura II-1. Tren de tratamiento de aguas residuales



Fuente: SPENA 2016

Figura II-2. Tratamiento de aguas residuales

2.3.5. Pre tratamiento

La función del pre-tratamiento es extraer de las aguas brutas la mayor cantidad posible de materias que arrastran, y que posteriormente ocasionan problemas en los tratamientos posteriores (tales como obstrucción de tuberías, formación de costras, enarenado de digestores anaerobios, etc.).

Las operaciones de pre-tratamiento que se incorporan en la cabecera de la línea de agua de la Estación depuradora de aguas residuales industriales serán en función de:

- La calidad de agua bruta (presencia de mayor o menor cantidad de sólidos, arenas, grasas, etc.)
- El tipo de tratamiento posterior en la línea de agua.
- El sistema de tratamiento de fangos empleado.
- La importancia de la instalación

Las operaciones que se pueden incorporar en un pre-tratamiento son las siguientes:

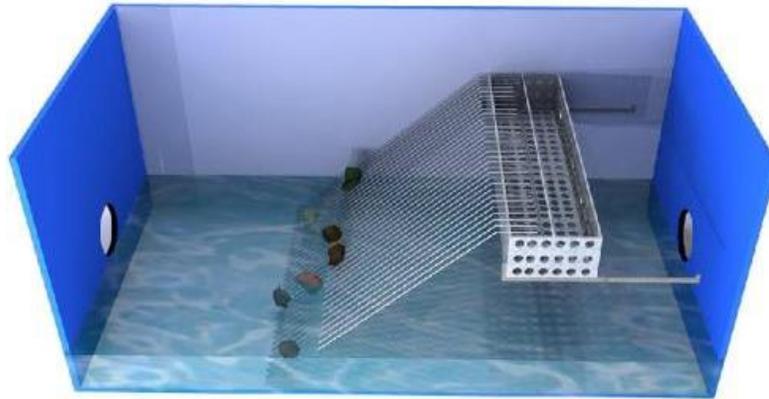
- Desbaste
- Tamices
- Desarenado
- Desengrasado

Desbaste

El objetivo general de un desbaste es eliminar los residuos sólidos que arrastra el agua residual, haciendo pasar esta, a través, de barrotes verticales o ligeramente inclinados, con una cierta separación entre ellos en función del tamaño del material a retener.

La rejilla desbaste grueso, cuya separación entre barras esta entre 50-100 mm y grosor de barrotes 12-25 mm y la rejilla desbaste fino que son las que tienen espacios entre barras entre 10-25 mm y grosor de barrotes 6-12 mm.

Actualmente se tiende al uso de tamices tanto en cabecera de la línea de agua como en la de fango. La luz de malla de un tamiz oscila entre 0.5mm – 1mm. El rendimiento del proceso con esta solución es muy elevado.



Fuente: Deagua Jordi Puigcaldes (2020)

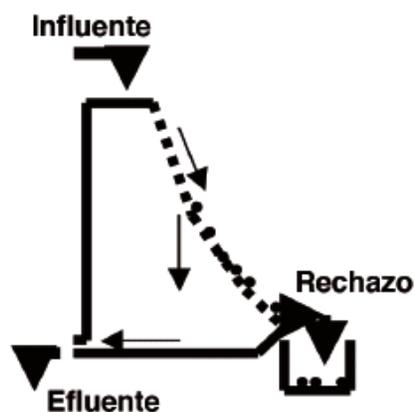
Figura II-3. Rejas de desbaste

Tamices

El tamizado consiste en una filtración sobre soporte delgado perforado. En función de las dimensiones de los orificios tenemos los siguientes tipos:

- **Macrotamizado:** Con paso superior a 0.3 mm. Se usa para retener la materia en suspensión, flotante, semiflotante, residuos vegetales o animales, ramas, etc.

Microtamizado: Con malla inferior a 100 micras. Se usan para eliminar materia en suspensión de aguas naturales o aguas residuales pre-tratadas.



Fuente: CENTA 2017

Figura II-4. Tamiz estático

Desarenado

Tiene por objetivo eliminar materias pesadas que sean superiores a 200 micras, para evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, proteger las bombas y otros equipos contra la abrasión, y evitar sobrecargas en procesos posteriores.

La operación está diseñada para eliminar (arenas), partículas, minerales, también se eliminan otros elementos de origen orgánico, como granos de café, semillas, cascara de huevos, fragmentos de metal, etc. La llegada de material de tipo inorgánico, arenas y gravas, a la E.D.A.R. es mayor cuando la red es unitaria, ya que las aguas de lluvia arrastran gran cantidad de sedimentos y disposiciones de las calles. También hay gran aportación de áridos cuando acceden a la red unitaria drenajes de escombreras o parques de almacenamiento de minerales.

El pozo de gruesos y el desbaste previo a los desarenadores evita la llegada de materiales de gran tamaño, de trapo, plástico, etc., que empeorarían el rendimiento del proceso.

Desengrasado

No siempre aparece el desengrasado en los pre-tratamientos de una E.D.A.R. Su objetivo es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materias flotantes que podrían perturbar procesos posteriores.

El desengrasado suele ser estático o mediante insuflación de aire para desemulsionar las grasas y conseguir una mejor flotación de estas.

En los desengrasadores estáticos son necesarios tiempos de retención altos. Los flotantes se cogen en la parte superior. Se usa en talleres.

La separación con aire podría realizarse en los decantadores primarios, que poseen raquetas para flotantes, pero cuando el volumen de grasas es importante este sistema de recogida es deficiente y hay que emplear otros.

El desengrasado se puede efectuar de forma combinada en el mismo depósito del desarenador aireado. Se crea una zona tranquilizada en la superficie en donde se

concentran las grasas y flotantes de donde se evacuan mediante rasquetas. Las partículas tienden a acercarse a las burbujas de aire y a flotar.



Fuente: Cdta 2011

Figura II-5. Desarenador y Desengrasador

2.3.6. Tratamientos primarios

El tratamiento primario generalmente elimina del 50% al 70% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, utiliza procesos físicos como la filtración y la sedimentación para eliminar arena, escombros, aceites, grasas y algunos sólidos más ligeros.

El objetivo del tratamiento primario es reducir los sólidos en suspensión del agua residual. Los sólidos suspendidos de un agua residual se determinan filtrando esta y pesando el material sólido retenido por el filtro. Se mide en mg/litro. El filtro utilizado retiene partículas superiores a una micra.

Los sólidos en suspensión incluyen:

- Los sólidos sedimentables (que sedimentan al permanecer el agua residual en reposo durante una hora).
- Los flotables (definibles por la contraposición a los sedimentables) y parte de los sólidos coloidales (tamaño entre 10-3 y 10 micras). Los tamaños superiores a 200 micras ya fueron eliminados en el desarenador.

Tipos de procesos

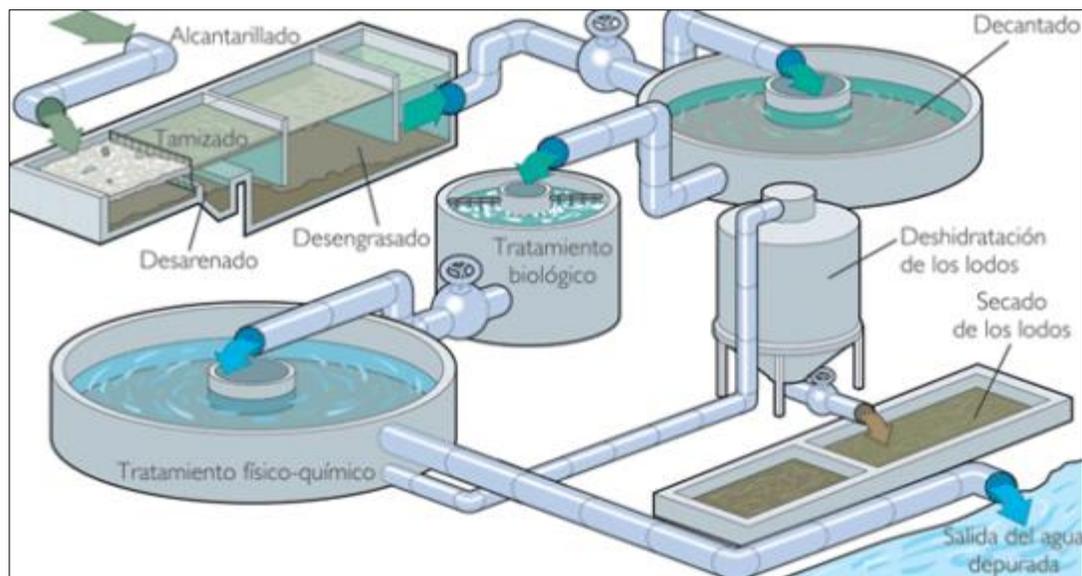
Se los puede clasificar así:

- Procesos de separación sólido-líquido

- 1.- Sedimentación (Decantación primaria)
- 2.- Flotación
- 3.- Proceso mixto (Decantación – Flotación)

- Procesos complementarios de mejora

- 1.- Floculación
- 2.- Coagulación (Procesos Físico – Químico)



Fuente: Emontanos 2013

Figura II-6. Tratamiento primario

Etapas del tratamiento Físico – Químico

Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar tres operaciones: Coagulación, floculación y decantación.

Coagulación

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un coagulo.



Fuente: Emontanos 2013

Figura II-7. Tratamiento primario

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio.

Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

Neutralización de la carga del coloide

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga.

Se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ion coagulante. Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Bario y Magnesio bivalentes, son en primera aproximación 30 veces superiores a los divalentes.

Para los coloides con carga positiva, la misma relación aproximada existe entre el ion cloruro, Cl^- monovalente, el sulfato, $(\text{SO}_4)^{-2}$, divalente, y el fosfato, $(\text{PO}_4)^{-3}$, trivalente.

Inmersión en un precipitado o floculo de barrido

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

pH

El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta.

Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o adyuvantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

- Cal viva
- Cal apagada
- Carbonato sódico
- Sosa caustica
- Ácidos minerales

Agitación rápida de la mezcla

Para que la coagulación sea optima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el coagulo.

Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1seg).

Tipo y cantidad de coagulante

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Las reacciones de precipitación que tiene lugar con cada coagulante son las siguientes:

- Sulfato de aluminio (también conocido como sulfato de alúmina) ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

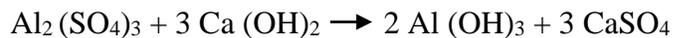
Cuando se añade sulfato de alúmina al agua residual que contiene alcalinidad de carbonato ácido de calcio y magnesio, la reacción que tiene lugar es la siguiente:



La reacción es análoga cuando se constituye el bicarbonato cálcico por la sal de magnesio.

Dosis: En tratamiento de aguas residuales, de 100 a 300 gr/m³, según el tipo de agua residual y la exigencia de calidad.

- Con cal



Dosis: se necesita de cal un tercio de la dosis de sulfato de alúmina comercial.

Floculación

La floculación trata la unión entre los floculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólido de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los floculos.

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- Por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana). En este caso se habla de floculación pericinetica o por convección natural es muy lenta.
- Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de estas, esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina floculación ortocinetica o por convección forzada.

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del floculo (floculo más pesado y voluminoso).

Hay diversos factores que influyen en la floculación:

Coagulación previa lo más perfecta posible

Para poder generar un adecuado proceso de coagulación es imprescindible realizar las respectivas pruebas de ensayo de manera preliminar para poder obtener la dosis óptima y de esta forma alcanzar un proceso de coagulación casi perfecto. Es importante que durante los ensayos se observen con detenimiento los diferentes comportamientos del proceso de coagulación para identificar los aspectos más relevantes que puedan ser aprovechados. Es recomendable repetir los ensayos con las dosis en las cuales se han obtenido los mejores resultados para identificar con más exactitud la dosis ideal para obtener la mejor coagulación. Durante este proceso es necesario observar de manera exhaustiva el comportamiento del proceso de coagulación para poder predecir el comportamiento en la totalidad del agua cruda. Este proceso es necesario hacerlo con mucha responsabilidad para poder seleccionar la mejor dosis de acuerdo con el agua cruda que va a ser tratada.

Agitación lenta y homogénea

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorecen la unión entre los floculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los floculos ya formados.

Temperatura de agua

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de floculos.

Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

Características del agua

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de floculos.

Tipos de floculantes según su naturaleza

- Minerales, por ejemplo, la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- Orgánicos, que son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético

Coadyuvantes

Tienen la función de mejorar la actuación de los coagulantes y floculantes. Los objetivos de los coadyuvantes pueden ser varios:

- **Corrección de pH:** Cada coagulante tiene un pH óptimo de trabajo. Por ejemplo, el sulfato de aluminio tiende acidificar el agua tratada empeorando las condiciones de coagulación, ya que actúa mejor a pH neutro. Para corregir el pH se le añade bases o sales alcalinas al agua (Cal, Hidróxido sódico, Carbonato sódico, etc.).
- **Oxidación de compuestos:** Se cree que el proceso de coagulación floculación mejora si se elimina por oxidación algunos compuestos orgánicos que pueden interferir en los procesos. Se pueden utilizar como oxidantes el cloro, el permanganato potásico, el ozono, etc. Cuando se emplea cloro, pre cloración, la dosis utilizada es generalmente la necesaria para llegar al break point.
- **Dar peso a las partículas:** Se utilizan los llamados agentes gravimétricos. Se utilizan en aguas con baja turbidez inicial. Se busca mejorar las velocidades de sedimentación. Se puede usar carbón activado en polvo, cal, arcillas, polímeros, etc. La adición de productos tales como la bentonita aumenta la densidad de las

partículas y el peso global de la suspensión, al tiempo que proporciona una superficie importante para la adsorción de compuestos orgánicos.

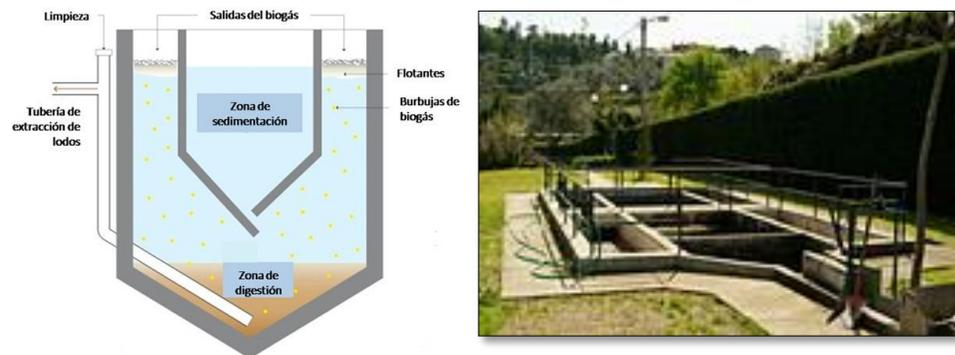
- **Sedimentación:** La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente.

Esta operación se emplea para eliminación de los floculos químicos cuando se emplea la coagulación química. En la mayoría de los casos el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado.

- **Fosa séptica:** Este sistema se utiliza para recibir la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales o de otras instalaciones sin tener una red de alcantarillado para las mismas. Son tanques que tienen como función sedimentar y desnatar, como un digestor anaerobio sin tener que mezclar ni calentar y se convierte en un tanque de almacenamiento de lodos.

Si un sistema presenta un tanque séptico además una instalación para disposición del efluente por absorción sobre el suelo, se tendrá un sistema convencional para el manejo de las aguas residuales in situ (Crites & Tchobanoglous, 2000).

- **Tanques Imhoff:** Consiste en un tanque de dos pisos donde la sedimentación se da en el compartimiento superior y la digestión y acumulación de lodos en el compartimiento inferior, este sistema se utiliza para tratamiento para aguas provenientes de zonas residenciales.
- Las principales ventajas del sistema es que tiene una sencilla operación, no tiene unidades mecánicas que requieran mantenimiento continuo y solo requiere de la remoción de espuma de forma diaria y realizar una inversión del flujo dos veces por mes para lograr una distribución uniforme de los sólidos en ambos extremos del digestor (Crites & Tchobanoglous, 2000).



Fuente: FENACORE 2020

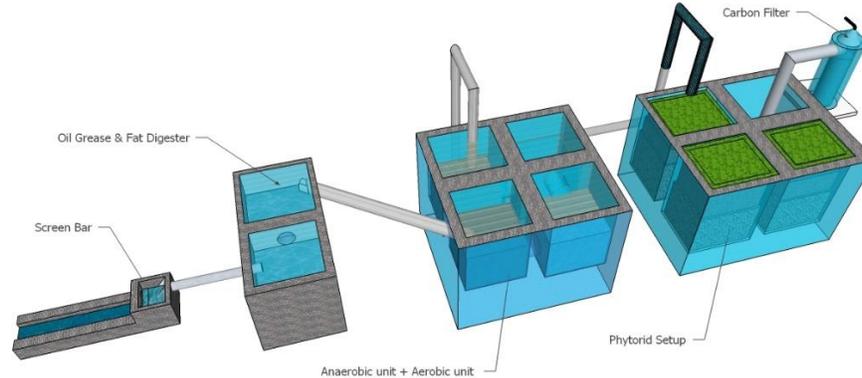
Figura II-8. Tanques Imhoff

- **Sedimentador primario:** Este sistema tiene como fin la eliminación de arenas, grasas, aceites, materia en suspensión o cualquier otro sólido suspendido presentes en el afluente de entrada. Las medidas que se establecen de eficiencia se basan en la remoción de los sólidos suspendidos, altura útil, tiempo de retención y tipo de sección transversal del tanque (Niño, Pérez, & Llobregat, 2004).

Un tratamiento de este tipo debería remover la mitad de los sólidos suspendidos del agua residual tratada, la bioxidación se considera despreciable. La ventaja que es de fácil operación y de bajo costo, aunque sus niveles de eficiencia normalmente no alcanzan para cumplir con las normas de calidad de agua (Campos, 2003).

2.3.7. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario aplica procesos biológicos adicionales como la aireación y el tratamiento de lodos activados para descomponer los biosólidos disueltos y suspendidos utilizando bacterias beneficiosas.



Fuente: SPENA 2016

Figura II-9. Tratamiento secundario

Reactor Anaerobio de flujo Ascendente (RAFA)

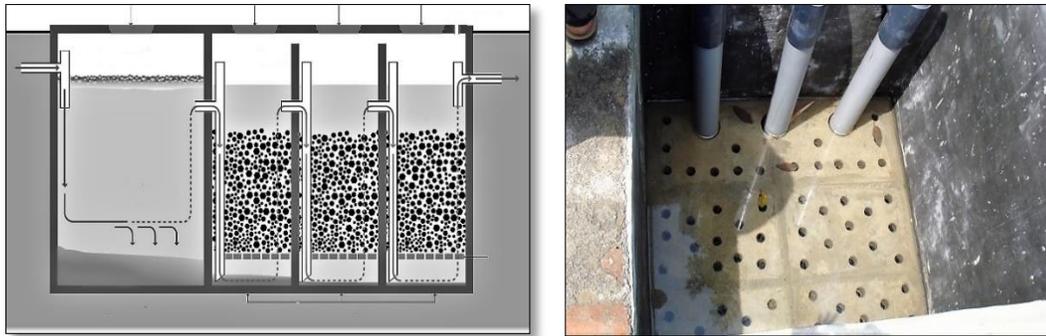
Como lo indica presenta un flujo ascendente y la parte superior cuenta con un sistema que separa gas-líquido-sólido, lo que evita la salida de los sólidos del efluente y ayuda a una mejor evacuación del gas. La debilidad de este proceso radica en la lentitud del proceso de arranque del reactor, es necesario darle uniformidad al caudal, corrección de pH continua y requiere un mayor cuidado versus otras alternativas (Salazar, 2003). Otra limitante es que en climas templados y subtropicales no ha sido muy utilizada por limitaciones de temperatura, ya que esta afecta la tasa de hidrólisis del material particulado, lo cual conlleva a una reducción de la eficiencia del tratamiento (Calvache, et al, 2002).

Filtro anaerobio

Son también conocidos como filtros sumergidos, este tipo de sistema está diseñado para que se lleve a cabo un tratamiento anaerobio por medio de un crecimiento de biomasa por adherencia. La principal diferencia ante un filtro percolador es que la alimentación del agua residual se da por el fondo del sistema y el producto final abandona por la parte superficial o superior. El material se encuentra completamente

sumergido en el agua residual entrante y por ello no hay presencia de aire en absoluto, de esta manera crea las condiciones anaerobias necesarias para su funcionamiento.

La única problemática significativa que presenta cuando se tienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión puede obstruir el filtro lo cual dañaría el sistema (Ramalho, 1993).

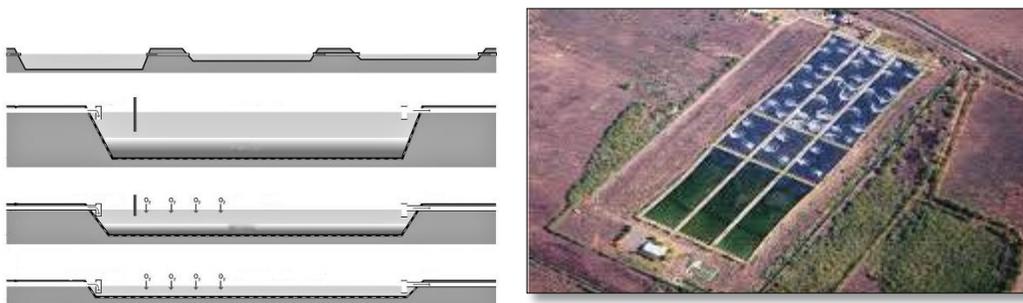


Fuente: BARRETO DILLON 2010

Figura II-10. Filtro anaeróbico de flujo ascendente

Lagunas de estabilización

Las lagunas son balsas con una profundidad entre 1 a 4 metros dependiendo del tipo de laguna, en la cual se realiza una oxigenación del agua residual mediante aireadores superficiales, turbinas o difusores (Ramalho, 1993).



Fuente: IMTA 2017

Figura II-11. Lagunas de estabilización

Existen diferentes tipos de lagunas en base a sus características y sus niveles de depuración tanto para tratamiento primario, secundario e inclusive terciario, pueden ser:

Lagunas facultativas

Tiene una profundidad que varía de 1.5 a 2 metros y una carga de materia orgánica por unidad de volumen, que favorezca el crecimiento de microorganismos aeróbicos y facultativos (estos últimos pueden desarrollarse con o sin oxígeno). Es del tipo de laguna más utilizada porque requieren menos terreno que cualquiera de las otras y la producción de olores es menor (Salazar, 2003).

Lagunas aerobias

Tienen poca profundidad no más de 80 cm, con lo que se propicia el crecimiento y desarrollo de algas las cuales suministran gran cantidad de oxígeno necesario para el funcionamiento de la laguna. Sus principales desventajas son que se necesita una extensión grande de terreno y no puede utilizarse directamente con las aguas residuales crudas, sino que necesitan un pre-tratamiento para luego pasar a la laguna (Salazar, 2003).

Lagunas de maduración

Tienen un tiempo de retención aproximado en 3 y 7 días ya que reciben el afluente de una laguna facultativa o de otro proceso biológico anterior. La principal función de este tipo de laguna es lograr una alta calidad microbiológica, es decir, eliminar patógenos hasta niveles deseados (Riquelme & Gómez, 2003).

Humedales

Su funcionamiento es parecido al de las lagunas, con la diferencia que se utilizan plantas acuáticas en vez de algas, las cuales brindan el oxígeno para el desarrollo de las bacterias. Hay que tomar en cuenta que se necesita una cosecha de las plantas

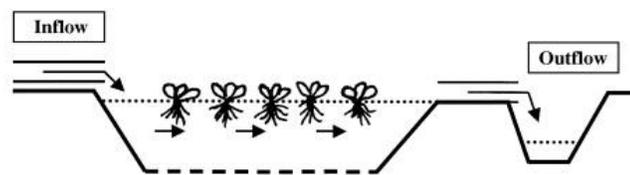
periódicamente, con lo que el proceso requiere de más atención que en una laguna (Salazar, 2003).

Pero las ventajas que presentan son bajos costos de explotación, gran calidad en del afluente al final del proceso, y una parte importante en cuestión de paisaje ya que puede integrarse al entorno. También son más flexibles y con menor susceptibilidad a las fluctuaciones que puede haber en relación con la carga contaminante (Ramos & Márquez, 2002).

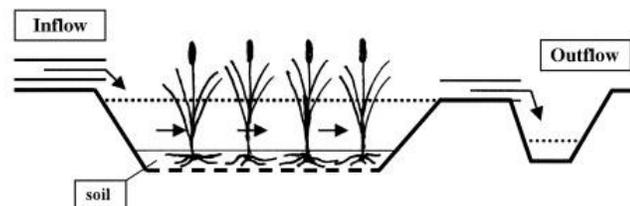
Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas diseñados y construidos para utilizar los procesos naturales que involucran la vegetación de los humedales, los suelos y sus conjuntos microbianos asociados para ayudar en el tratamiento de las aguas residuales. Están diseñados para aprovechar muchos de los procesos que ocurren en los humedales naturales, pero dentro de un ambiente más controlado (Hammer y Bastian, 1989).

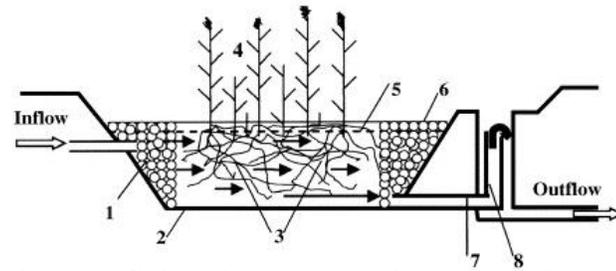
La clasificación básica se basa en el tipo de crecimiento micrófito, la clasificación adicional generalmente se basa en el régimen de flujo de agua, los humedales pueden estar contruidos con plantas de flotación libre (FFP), CW de superficie de agua con plantas emergentes (FWS) y CW subterráneos con flujos horizontales (HSSF o HF) y verticales (VSSF o VF) ya que los datos sobre CW con plantas de hojas flotantes y plantas sumergidas aun no son abundantes y, por lo tanto, no es posible realizar evaluaciones sólidas.



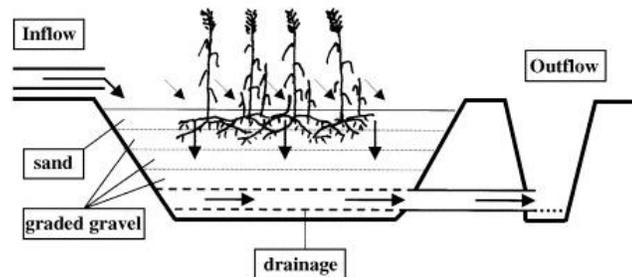
CW con plantas de flotación libre (FFP)



CW con superficie de agua libre y micrófitos emergentes (FWS)



CW con flujo subterráneo horizontal (HSSF, HF)



CW con flujo vertical flujo subterráneo (VSSF, VF)

Fuente: Vymazal, 2001

Figura II-12. - Clasificación de humedales

Las especies de plantas difieren en sus formas preferidas de nitrógeno absorbido, dependiendo de las formas disponibles en el suelo (Lambers 1998). Sin embargo, la mayoría de las plantas son capaces de absorber cualquier forma de nitrógeno soluble, especialmente si están aclimatadas a su presencia (Atkin, 1996).

En climas templados, la absorción de microfitos es un fenómeno de primavera-verano. Tanto las partes de la planta por encima como por debajo del suelo crecen durante este periodo, pero los fenómenos de muerte son diferentes. Plantas como *Typha* spp. o *Phragmites* australis en los climas del norte tienen un ciclo anual evidente de biomasa aérea: los nuevos brotes comienzan con biomasa cero a principios de la primavera y crecen a un ritmo máximo en primavera y principios de verano. El final del verano es un periodo de crecimiento reducido, y la muerte total de los brotes ocurren en otoño (Kadlec y Knight, 1996).

Las concentraciones de nutrientes de la vegetación tienden a ser más altas al principio de la temporada de crecimiento, y disminuyen a medida que la planta madura y envejece. Los patrones de cambios estacionales en la composición varían tanto para las

especies como para los nutrientes y probablemente no se puede hacer una generalización amplia (Vymazal, 1995).

La tasa potencial de absorción de nutrientes por la planta está limitada por su productividad neta (tasa de crecimiento) y la concentración de nutrientes en el tejido de la planta. El almacenamiento de nutrientes (existencias en pie) depende de manera similar de las concentraciones de nutrientes en los tejidos de las plantas y también del potencial final de acumulación de biomasa: es decir, la cosecha máxima en pie. Por lo tanto, las características deseables de una planta utilizada para la asimilación y el almacenamiento de nutrientes en los tejidos y la capacidad de lograr una cosecha alta (Reddy y DeBusk, 1987).

Tabla II-5.-Eficiencia de un Humedal o Biofiltro

PARAMETROS ESTUDIADOS	% DE REMOCIÓN
En efluentes Agroindustriales se registraron las siguientes eficiencias:	
- Coliformes fecales	
- DBO ₅	99 %
- DQO	99 %
- Sólidos Suspendidos Totales	96 %
- Nitrógeno total	99 %
	90 %
En efluentes provenientes de industria Petroquímica se tiene las siguientes eficiencias:	68 – 90 %
- Aceites y Grasas	99 %
- COV	

Fuente: Tecnología de Biofiltros, Fundación Chile

Typha spp (Totorá)

Taucer (1993) menciona que, la totora es una macrófita de gran importancia en las zonas lacustres y de abundante humedad, los totorales cumplen la función de purificar el agua desde un nivel secundario ha avanzado, mejorando la calidad de las mismas hasta alcanzar niveles equivalentes a aguas aptas para riego y hasta para ser utilizadas como aguas crudas en el proceso de potabilización.

La eficiencia de las tótoras para la remoción de cromo y cobre en sistemas de flotación de plantas en soluciones metálicas a diferentes concentraciones, donde se obtienen porcentajes de remoción del 16% al 46% en el caso del cromo y del 68% al 93% en el caso del cobre. La absorción es mayor a medida que aumenta la concentración de la solución metálica.

Oxígeno para procesos aeróbicos

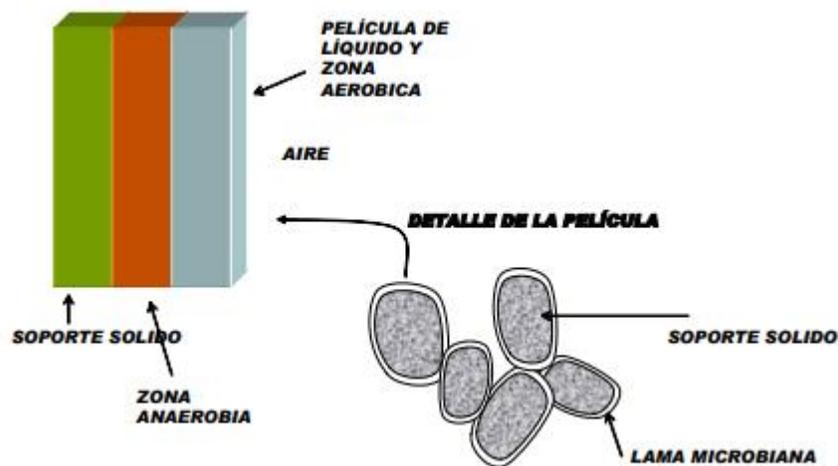
El oxígeno juega un papel fundamental en el metabolismo aerobio productor de energía como receptor final de los electrones y de los protones producidos en las reacciones de oxidación, además intervienen en el mecanismo de regulación del metabolismo en la forma directa, como inductor o como represor de la síntesis de enzimas respiratorias. De todos los microorganismos presentes en el agua residual, solo una pequeña parte de ellos son patógenos. El tratamiento aeróbico del agua residual aprovecha el crecimiento y proliferación de estos microorganismos como un medio útil para purificar el agua. La oxidación de los compuestos orgánicos para formar bióxido de carbono es el proceso que se aprovecha para la conversión requerida. La comprensión de la proporción adecuada de microorganismos aeróbicos, compuestos orgánicos solubles y el oxígeno disuelto para lograr una oxidación eficaz de los compuestos orgánicos, es una de las principales tareas de los ingenieros encargados de la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El oxígeno es un parámetro que debe analizarse en todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales antes, durante y después del proceso. Mientras que durante el proceso del tratamiento el oxígeno interviene en una de las etapas principales, también es importante medirlo en el agua residual del influente y después de tratada porque existe un análisis que determina la potencial carga orgánica del agua. Una planta de tratamiento típica consta de varias etapas con la finalidad de obtener una descarga de agua lo más inocua posible para la salud humana y para el ambiente; en cada una se busca ir disminuyendo cada vez más la carga de materia orgánica, microorganismos y compuestos tóxicos mediante procesos físico-químicos.

Película microbiana

El tratamiento de aguas residuales se puede efectuar en reactores de película biológica, poniendo en contacto dichas aguas con una población microbiana mixta, en forma de una película biológica adherida a la superficie de un medio sólido de soporte. En cualquier superficie en contacto con microorganismos donde se tengan los nutrientes necesarios, se desarrolla una capa biológicamente activa y, en consecuencia, las películas biológicas adheridas constituyen una característica de todo tipo de reactor biológico.

Los sistemas de películas adheridas se pueden considerar de dos tipos diferentes: sistemas estacionarios de película de medio fijo, y sistemas de película de medio en movimiento. En ambos tipos de sistemas, el agua residual se mueve en relación con la película microbiana y el soporte sólido al que está adherida. En el primer caso, el agua residual pasa sobre el medio estacionario y en el segundo caso, el medio se mueve a través del líquido. Los reactores de película biológica en medio fijo han estado en uso desde hace mucho tiempo para el tratamiento de las aguas residuales, pero los sistemas de medio en movimiento son relativamente recientes. (residuales, 2021)



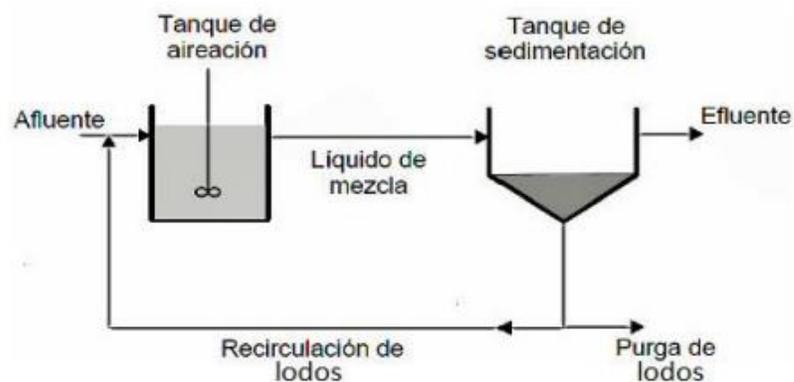
Fuente: Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales, 2021

Figura II-13. – Sistemas Alternos de Tratamiento de Aguas Residuales

Opciones de tratamiento y reúso de lodos y agua tratada

Los lodos que se extraen de las distintas fases de tratamiento consisten de 80-99% de agua por peso, en los cuales se concentran los patógenos con lo cual es necesario un tratamiento o estabilización para reducir los patógenos y eliminar olores que resulten ofensivos (Salazar, 2003).

El tratamiento para estabilizar los lodos consiste en aplicar ya sea químicos o una combinación entre tiempo y temperatura para la remoción o transformación de los patógenos y los componentes orgánicos que puedan producir los malos olores. Una vez tratados se dispone de un proceso para secar el agua en exceso para facilitar el reúso o disposición final (Salazar, 2003).



Fuente: Valdez Chávez, C. and Vázquez González, A., 2003

Figura II-14. - Sistema típico del proceso de lodos activados

Digestión anaerobia

Consta de un proceso de descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno, la metodología consiste en introducir el lodo en un tanque cerrado y en el cual liberará gas (principalmente metano). Este se calienta a través de un intercambio de calor externo (Salazar, 2003).

Tratamiento con cal

Si el volumen de los lodos es poco y no se cuenta con suficiente espacio para secarlos o se encuentra cerca de una zona urbana, se toma la alternativa de esterilización con alteración de pH con cal, con la finalidad de elevar el pH a los lodos a 12 por 30 minutos (Salazar, 2003).

Compostaje, particularmente co-compostaje con residuos orgánicos

Se mezcla los lodos como basura orgánica en un proceso de compostaje, con esto se genera una acción exotérmica (70°C) de las bacterias, liberando a los mismos de los agentes patógenos (Salazar, 2003).

Patio a secar

Es la forma de tratamiento de lodos más sencillo, ya que el lodo tiene mucho contenido líquido; se coloca el lodo en una plataforma de ladrillo, la base está conformada por diferentes tipos de suelos con la función de filtrar el residuo líquido de los lodos.

Utilizando la radiación solar se deshidratan los lodos hasta que se vuelvan sólidos, este sistema dependiendo de factores como la temperatura solar, intensidad de lluvias, humedad de los suelos y la ubicación tendrá un periodo de secado que varía de 3 a 6 meses (Salazar, 2003).

Reúso de subproductos

Cualquiera que sea el sistema de tratamiento implementado se considera como objetivo principal la reducción o eliminación de los agentes contaminantes provenientes de las aguas residuales. Al culminar los procesos de tratamiento se obtendrán aguas residuales tratadas y lodos, que pueden ser utilizados nuevamente en distintas actividades dependiendo del uso que se le quiera dar.

Con el tratamiento adecuado el reusó no ocasiona deterioro de los suelos, aguas subterráneas, ni acumulación de agentes patógenos ya que se obtienen productos de calidad. Tomando en cuenta los riesgos que ocasionarían para la salud, beneficios,

aceptación de la población; basándose en la garantía de un tratamiento adecuado y apoyándose en la normativa vigente del país (Torres, 2000).

Reúso de agua tratada

Las aguas residuales de tipo doméstico pueden ser utilizadas en muchas áreas tanto económicas como cotidianas, por ejemplo, para el riego agrícola, riego de árboles y plantas en corredores de transporte, procesos industriales, cría de peces, relleno de acuíferos, etc. (Salazar, 2003).

En la agricultura puede presentar ventajas al ser un recurso de agua estable y constante que brinde los nutrientes para las plantas. Sin embargo, la reutilización no ha sido muy promovida en Latinoamérica ya que aún se les considera responsables de la mayoría de los problemas sanitarios (Salazar, 2003).

Reúso de lodos

El lodo ya tratado y estabilizado que se genera puede ser valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, puede tener aplicación en la agricultura como fertilizante. Las ventajas que brinda es que permite una mayor retención de la humedad, adiciona al suelo los nutrientes necesarios para las plantas y facilita retención al suelo, además de incrementar la actividad biológica del suelo y con su uso disminuir la aplicación de fertilizantes químicos (Salazar, 2003).

Filtros biológicos

Los filtros biológicos o percoladores son unidades de tratamiento secundario del tipo biológico con medio adherido o asistido. Es decir, el agua residual pasa a través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias y otros microorganismos, se desarrollan progresivamente adhiriéndose al empaque o medio filtrante formando una película biológica que precisamente permite la degradación biológica de la materia orgánica.

El empaque filtrante puede consistir en un lecho de roca volcánica, piedra chancada o material plástico con configuraciones especiales. Todos los empaques usados como

medio filtrante buscan maximizar la superficie de contacto sobre la cual se forma la masa biológica útil para el tratamiento.

Mientras que los filtros biológicos con frecuencia se han considerado apropiados para las aplicaciones de efluente de baja calidad, el diseño y las técnicas de operación corrientes pueden dar como resultado un rendimiento que se aproxime al de las plantas con lodos activados. Las nuevas técnicas incluyen el uso de distribuidores accionados por electricidad, disposición en serie, y ventilación forzada.

2.3.8. Tratamientos terciarios

El tratamiento terciario agrega un tercer nivel de tratamiento más avanzado y riguroso. El tratamiento primario y secundario generalmente limpia las aguas residuales solo lo suficiente como para descargarlas de manera segura en el medio ambiente en el medio ambiente.

El tratamiento terciario, por otro lado, puede lograr niveles de purificación del agua que hacen que el agua sea segura para la reutilización en procesos intensivos en agua o incluso como agua potable.

A menudo los tratamientos terciarios funcionan mediante el uso de una combinación de procesos físicos y químicos para eliminar los contaminantes microbiológicos dañinos de las aguas residuales. El proceso suele implicar la filtración seguida de un tratamiento desinfectante adicional. En algunos casos, el tratamiento terciario también puede utilizar otros tratamientos especializados como el almacenamiento en lagunas, la eliminación biológica de nutrientes y la eliminación de nitrógeno y fosforo.

Filtros

Los componentes de filtración terciaria pueden contener algunos materiales diferentes. Los filtros de arena y carbón activado son comunes, y los filtros también pueden contener tela tejida fina. Los filtros también vienen en algunos tipos diferentes, incluidos filtros de bolsa, filtros de tambor y filtros de disco:

Filtros de bolsa: Los filtros de bolsa son ideales para las plantas de tratamiento de aguas residuales que necesitan reducir los contaminantes a una clasificación de micras

específica. Pueden estar hechos de fieltro para servir como medio de profundidad o de malla para servir como medio de superficie.

Los filtros de bolsa y las cascaras vienen en varias formas y tamaños, incluidos filtros de una o varias bolsas y cascaras de plástico y metal, por lo que son útiles en una variedad de plantas y equipos de tratamiento.

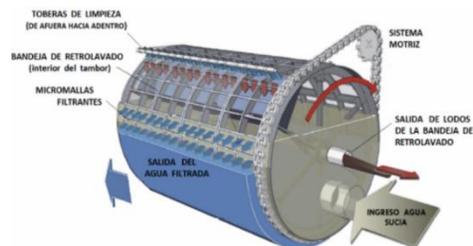
Filtros de poliestireno Expandido EPS (Plastoforno): El uso de filtro de poliestireno expandido es un método comprometedor para el tratamiento terciario de efluentes de desechos donde el efluente tratado biológicamente se filtra a través de una capa de perlas de poliestireno flotante.

La ventaja de tales filtros es en ausencia de bombas de retrolavado, contenedores de agua de lavado limpia, mientras que tienen baja energía costos, alta resistencia del poliestireno a varios contaminantes químicos que pueden estar en el efluente, fácil automatización de los modos de conmutación.

El filtro de poliestireno expandido brinda las condiciones para una alta adhesión de microorganismos y demuestra una eliminación promedio de 40% DBO, 28% DQO y 66% SST.

Filtros tambor: Un filtro de tambor consta de un tambor con un filtro de tela tejida alrededor. La gravedad envía las aguas residuales que fluyen hacia el filtro a través del tambor central. Los medios montados en el tambor luego separan las partículas sólidas del agua, y el agua filtrada se mueve a través de los medios y hacia el tanque de recolección.

Una vez que sea completa la separación, el retro lavado limpia los componentes del medio para garantizar su funcionamiento continuo.



Fuente: Faisan 2018

Figura II-15. - Filtros de tambor

Filtros de disco: Un filtro de disco consta de un tambor central unido a varios discos con filtros de tela. La gravedad empuja las aguas residuales desde el tambor hacia los filtros en un patrón de flujo de adentro hacia afuera. Luego, los medios montados en cada lado de los discos separan las partículas sólidas del líquido. El agua limpia fluye hacia un tanque de recolección y el retro lavado limpia los medios una vez que se saturan con partículas.

Desinfección

El proceso de desinfección terciaria puede tomar algunas formas diferentes:

Tratamiento con cloro

El cloro es uno de los desinfectantes más utilizados en el tratamiento de aguas residuales, particularmente en América del Norte, porque es económico, fácil de usar y eficaz.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden verter cloro en las aguas residuales para matar microorganismos dañinos como bacterias y virus. Sin embargo, el cloro puede dañar los ecosistemas acuáticos, por lo que las aguas residuales cloradas requieren declaración antes de su descarga al medio ambiente.

Cuando el cloro reacciona con material orgánico, a veces también puede formar compuestos potencialmente cancerígenos como trihalometanos y mutageno X.

Tratamiento con luz ultravioleta

La luz ultravioleta (UV) es un desinfectante común en el tratamiento terciario.

Las aguas residuales fluyen bajo bancos de luces ultravioleta, y la luz esteriliza los microorganismos al dañar sus estructuras genéticas. La luz ultravioleta normalmente no mata los virus y las bacterias, pero los hace incapaces de infectar a los humanos o la vida silvestre. Sin embargo, el efluente debe haber recibido un tratamiento agresivo de antemano, porque cualquier materia orgánica residual puede proteger a los

microorganismos de la luz ultravioleta. Las lámparas también requieren un nivel relativamente alto de mantenimiento.

Tratamiento con ozono

Un método alternativo es usar ozono, un compuesto formado mediante el uso de energía eléctrica para agregar un tercer átomo de oxígeno al O₂ diatómico estándar, como desinfectante.

El ozono es altamente reactivo y puede destruir la mayoría de los microorganismos con los que entra en contacto. Es más seguro que el cloro porque las plantas pueden generarlo en el sitio según sea necesario en lugar de almacenarlo a largo plazo y correr el riesgo de una fuga tóxica. Tampoco formara subproductos peligrosos en el agua. Sin embargo, el equipo de tratamiento es relativamente caro de mantener.

Descargar

Una vez que las aguas residuales han pasado por un tratamiento terciario, están listas para ser vertidas de nuevo al medio ambiente. Muchos municipios tienen requisitos específicos sobre la descarga de agua tratada, y el tratamiento terciario debería ser suficiente para cumplir con esos estándares, mantener el medio ambiente limpio y preservar la salud humana.

2.3.9. Reutilizar

Muchas plantas de tratamiento usan tratamiento terciario específicamente para hacer que el agua sea segura para ingestión humana. Después del tratamiento terciario, el agua ha sido suficientemente purificada para ser limpia y saludable como agua potable. El agua que ha recibido tratamiento terciario también es adecuada para numerosas operaciones que requieren agua limpia, como procesos industriales y de fabricación, extracción y refinación de petróleo y gas, refrigeración de servicios públicos y prácticas agrícolas como el riego.

2.3.10. Leyes, normativas y marco legal

En Bolivia hay una carencia en cuanto a normativas específicas a este tema, pues no hay una Norma o Reglamento que regule el vertido de Aguas Residuales No Domesticas (como hospitales, industrias y otros) a los sistemas de alcantarillado. Esta situación hace que las PTAR no funcionen adecuadamente según su diseño original, generando conflictos ambientales y hasta sociales.

Tampoco existe una Norma de Reúso de Aguas Residuales Tratadas que establezca:

- Parámetros de calidad de efluentes para diferentes tipos de cultivos; clasificación de los tipos de cultivos.
- Reglamentos y guías técnicas de Diseño de PTAR con fines de reúso.
- Establecimiento de los responsables (quién ejecuta, quién administra, etc.).

No existe una ley específica que regule el reúso de aguas residuales en la agricultura, sin embargo, existen leyes sectoriales que determinan reglas de uso del agua. De igual manera, en Bolivia las leyes están basadas en la protección del medio ambiente. Ver Anexos.

2.3.11. Modelos cinéticos de degradación de materia orgánica

Para modelar procesos biológicos, se necesita información sobre la estequiometria y cinética de las reacciones y sobre el régimen hidráulico del sistema. La estequiometria de una reacción se refiere a la cantidad de reactantes consumidos (tales como sustratos), y a la cantidad de productos formados (tales como microorganismos). El régimen hidráulico hace referencia a la configuración del flujo dentro y fuera del proceso y a la mezcla y distribución de los sólidos del fluido dentro del reactor.

Modelo de Fair

Este modelo está definido para condiciones de mezcla aproximada al flujo de pistón, cinética de decrecimiento de primer orden, y no tiene en cuenta la influencia de lodos en cuanto al aporte de éstos a la DBO.

Con la siguiente expresión:

$$Se = \frac{Sa}{(1 + nKt)^{1/n}}$$

Donde:

Se: Concentración, efluente (mg/l)

Sa: Concentración, afluente (mg/l)

n: Factor de respuesta al tratamiento

k: Constante cinetica (días)

t: Tiempo de retención hidráulico

El coeficiente n, es un factor de medida de la eficiencia del sistema, que involucra tanto el tipo de régimen de flujo, así como el posible retardo en la estabilización ocasionada por la coexistencia en el agua de materiales con diferentes velocidades de reacción.

Modelo de Marais-Shaw

La ecuación del modelo cinético propuesta por Marais-Shaw está determinada para un régimen de mezcla completa con cinética de primer orden bajo la siguiente ecuación ($n = 1$).

$$\frac{(Sa^n - Se^n)}{nt} = kSe^n$$

Donde:

$n=1$

$$Se = \frac{Sa}{1 + kt}$$

Modelo de flujo de Pistón

Parte de la ecuación propuesta por Fair cuando n tiende a 0 obteniéndose la siguiente ecuación:

$$Se = Sa \exp(-kt)$$

Al graficarse esta ecuación la pendiente m de la recta es $\exp(-kt)$, de donde conocido el tiempo de retención, el valor de k es:

$$k = \frac{-\ln m}{t}$$

Modelo de Thirumurthi

Este modelo está diseñado para ser aplicado a un régimen de flujo intermedio o disperso, y parte de la ecuación propuesta por Wehner y Wilhelm, de la cual Thirumurthi desarrolló un nomograma.

$$\frac{Se}{Sa} = \frac{4a \exp\left(\frac{1}{2d}\right)}{\left((1+a)^2 \exp\left(\frac{a}{2d}\right)\right) - \left((1-a)^2 \exp\left(\frac{-a}{2d}\right)\right)}$$

Donde:

$$a = \sqrt{1 + (4ktd)}$$

En la mayoría de lagunas de estabilización con coeficientes de dispersión menores de 2 es común utilizar la ecuación 12 simplificada de la siguiente forma:

$$\frac{Se}{Sa} = \frac{4a \exp\left(\frac{1-a}{2d}\right)}{(1+a)^2}$$

La ecuación puede utilizarse sin cometer errores significativos, si el valor de d es menor a 2.

CAPITULO III

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La presente investigación tiene el propósito de evaluar la posibilidad técnica y ambiental de tratar las aguas residuales provenientes de la planta de embotellado de GLP YPFB “El Portillo” mismas que se pretenden que sean utilizadas para el reúso en la Planta o también para el uso de riego de áreas verdes con tratamiento previo por medio de sistemas económicos y fáciles de operar, incluyendo los efectos en el suelo y productividad de tal forma que se minimicen los efectos adversos, permitiendo el uso y manejo del agua residual con el máximo aprovechamiento de las características fisicoquímicas que poseen.

Lo que consiste en aplicar un sistema de tratamiento primario con el uso de sulfato de aluminio como coagulante para la remoción de la turbidez y posteriormente con la aplicación de biofiltración.

Las aguas de la planta de embotellado de GLP tienen varias características que las diferencian de las aguas residuales domésticas o de otras fábricas, incluido el contenido orgánico, hidrocarburos, alto contenido de grasas y aceites, sólidos suspendidos y sedimentables.

Los principales métodos y procesos de depuración de contaminantes deben guiarse por las necesidades del medio ambiente y las características del agua remanente.

En el caso del agua procedente de la planta de embotellado de GLP, el principal objetivo del proceso es la reducción de materia orgánica, para lo cual se utilizan métodos biológicos, donde la reducción de partículas sólidas es fundamental para el pretratamiento.

La planta de embotellado “El Portillo” se encuentra ubicada en el Km 8^{1/2} carretera Gran Chaco en la ciudad de Tarija, Primera Sección de la Provincia Cercado del Departamento de Tarija.

Tabla III-1.-Coordenadas Geográficas

DESCRIPCIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS SISTEMA WGS 84 20 K		
Planta de engarrafado El Portillo	S	W	Altitud msnm
	21°33'59"	64°39'57"	1858

Fuente: Medición IN SITU (GPS)



Fuente: Google Maps

Figura III-1. - Ubicación Geográfica de la planta de engarrafado de GLP

Aguas residuales industriales de la planta de engarrafado

El sistema de aguas industriales con que cuenta la Planta; en general tiene un alcance de recolección de 120000 l de aguas industriales y/o posibles derrames que se generan en: Planta Engarrafadora El Portillo (YPFB DCTJ), Área de Tanques de almacenamiento e islas de despacho de Líquidos (YPFB Logística). Generando un volumen de aguas residuales de 5200 l/día y que como área de descarga final está la piscina API.

La Planta engarrafadora “El Portillo” a la fecha realiza descargas de 1600 l/día de aguas industriales a este sistema de recolección, como ser aguas de: Piscina de Prueba de

Hermeticidad, Lavado de Garrafas (Actividad no continua) y depósito de Jabón Potásico para lubricación de cadenas.

La contribución de estas aguas al sistema de aguas industriales, ha aportado volúmenes de aguas industriales a piscina API, teniendo como resultado que a la fecha esta piscina se encuentre trabajando a su capacidad total.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Fotografía III-1. – Piscina API

La cantidad de aguas residuales jabonosas generadas en la planta de envasado es de aproximadamente 1600 l promedio por día.

Cabe recalcar que no existe ningún tipo de separación del agua residual, con un contaminante importante dentro de instalaciones, las grasas y aceites. Por lo que, en la descarga final se observa una gran cantidad de grasas atrapadas en el cauce del efluente. Las aguas residuales de plantas de envasado de GLP se componen básicamente de un 95.5% de agua en su estado conocido como líquido y de 4.5% por peso de sólidos, sean estos disueltos o suspendidos. Este 4.5% es el que se requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio para transporte para estos sólidos.

Tabla III-2.-Características de las aguas residuales

LIQUIDO - AGUA	SOLIDO	GASES DISUELTOS	COMPONENTES BIOLÓGICOS
95.5 %	4.5 % (por peso) Suspendidos Disueltos	O ₂ CO ₂	Bacterias

	Coloidales Sedimentables	H ₂ O N ₂	Micro y Macro organismos Virus
--	-----------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

Fuente: Experimentos previos en Lab Ypfb DCTJ

3.1 MATERIALES

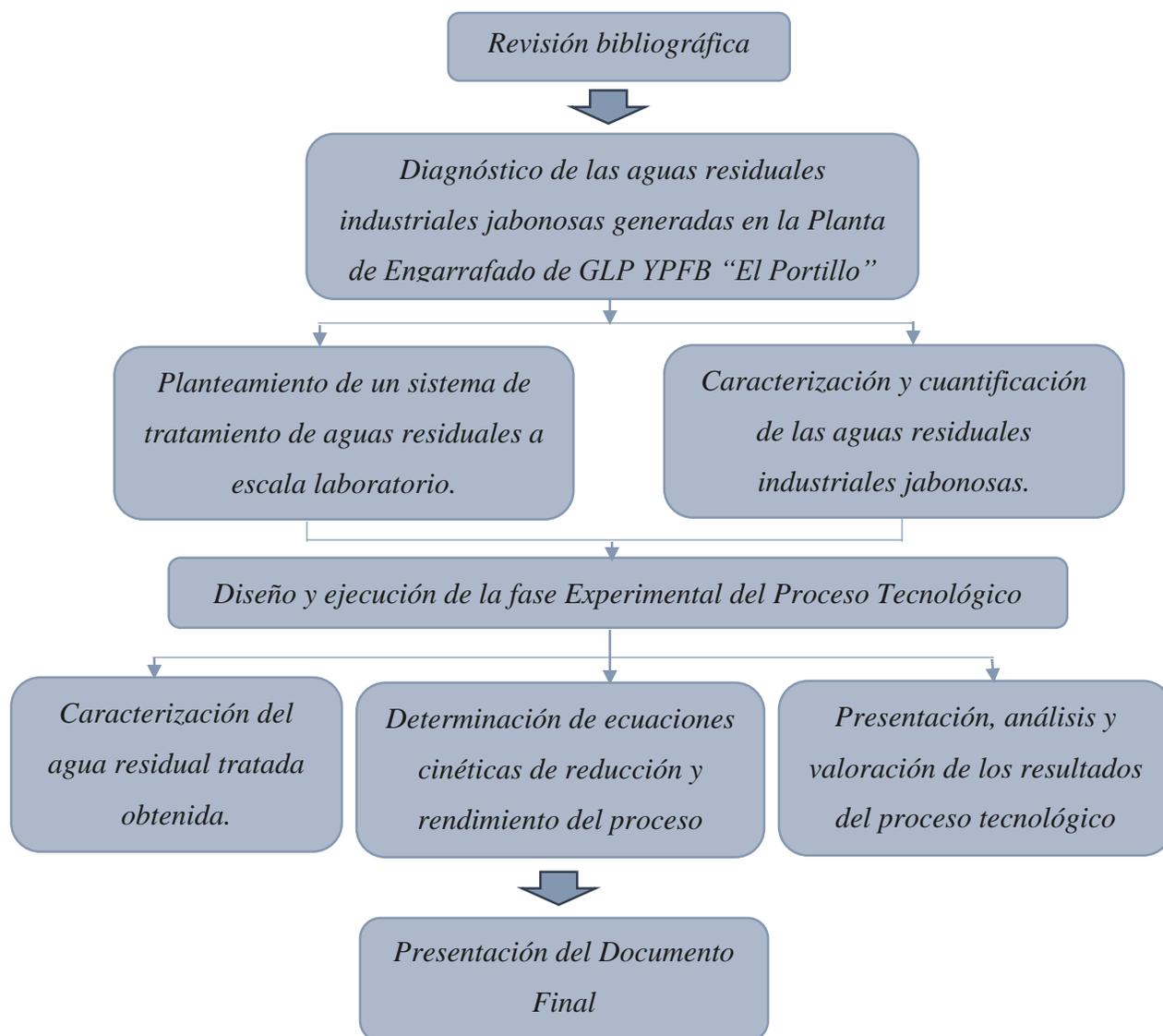
Para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales se utilizó los siguientes materiales.

Tabla III-3. Materiales

DETALLE DEL MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Tanque de 500 Lts	2	Unidad
Tubería	1	Mts
Accesorios	7	Unidad
Grava	10	Unidad
Malla milimétrica	5	Mts
Manguera 0.12"	10	Mts
Sulfato de Aluminio	2	Kg
Vaso precipitado	1	Unidad
Termómetro	1	Unidad
Ph Metro	1	Unidad
Equipos de oxigenación	2	Unidad

Fuente: Elaboración propia,2023

3.2 METODOLOGIA



Fuente: Elaboración propia, 2023

3.3 MUESTREO

El muestreo se realizó en la Planta Engarrafadora de GLP YPFB “El Portillo”, ubicado en la carretera al Chaco Km ½ Zona El Portillo.

La planta de engarrafado genera 1600 l/día de agua residuales que se dirigen a la piscina API para luego desembocar al efluente de la quebrada del rio Santa Ana.

Dentro de las instalaciones de la planta de engarrafado de GLP se encuentran instalados 7 bandejas de aproximadamente de 135 l. Las aguas residuales generadas son desechadas cada 7 días mediante una tubería de 4” de desagüe uniéndolas con las demás aguas residuales de diferentes áreas desembocando a un depósito y seguidamente a la quebrada afluente del rio Santa Ana.

Hechos los permisos de ingreso a la planta, es decir, a la zona operativa de engarrafado de GLP, se pudo evidenciar que existe sedimento y materia orgánica en las bandejas por donde pasan las cadenas transportadoras.

El recojo y almacenado de las aguas se realiza principalmente en la zona operativa de GLP, puesto que en esta área es donde se generan las aguas residuales industriales jabonosas. La captación de las aguas residuales se realiza directamente de las bandejas de almacenaje en baldes de 20 lt de capacidad cada siete días, donde se intenta alcanzar la mayor cantidad posible de la misma.

Se seleccionó un método para ser utilizado en la ejecución del proyecto:

3.3.1. Muestreo simple

Este tipo de muestras son tomadas en un punto específico durante un tiempo de minutos a segundos y representan la composición del agua en un tiempo y un punto determinado en el espacio en la zona de muestreo. Este tipo de muestras se pueden tomar como representativas de espacios y tiempos mayores si se conoce anteriormente que la composición del recurso es constante en el tiempo y que no existen gradientes de concentración espaciales. Las muestras puntuales se emplean para definir las características de descargas instantáneas y para realizar la identificación de la fuente y poder posteriormente evaluar los efectos potenciales en los procesos de tratamiento,

conocer las variaciones y los extremos en un flujo de desechos en determinado periodo, analizar la intermitencia de la descarga, es decir si esta ocurre de manera intermitente durante lapsos cortos y valorar la composición de la corriente para hacer campañas de muestreo constantemente.

3.3.2. Muestreo compuesto

Las muestras compuestas a la mezcla de varias muestras simples tomadas en el mismo punto en diferente intervalo de tiempo, cuyo volumen en la composición es proporcional al caudal, este tipo de muestreo se conoce también como muestras compuesta-tiempo.

3.4 TAMAÑO DE MUESTRA

- Para la obtención de la muestra se analiza en este caso la cantidad de agua residuales industriales jabonosas generadas por la planta de engarrafado.

$$VAR_{Muestra} = x * t$$

Donde:

$VAR_{Muestra}$ = Volumen de Agua Residual

x = Cantidad de Agua Residual

t = Tiempo (días, semanas o meses)

$$VAR_{Muestra} = \left(100 \frac{Lts}{dia}\right) * (10 dias)$$

$$VAR_{Muestra} = 1000 Lts$$

En base a esto se tomará cada 10 días una muestra de 1000 Lts de agua residual de las bandejas del encadenado de la planta de engarrafado para la alimentación del sistema de tratamiento de aguas.

- Para la obtención de la muestra que se llevara a laboratorio físico-químico se analiza en este caso la cantidad de agua residuales industriales jabonosas utilizada en el sistema de tratamiento tomado a la salida del biofiltro.

$$VAR_{Muestra} = x * t$$

Donde:

$VAR_{Muestra}$ = Volumen de Agua Residual

x = Cantidad de Agua Residual

t = Tiempo (días, semanas o meses)

$$VAR_{Muestra} = \left(0.2 \frac{Lts}{dia}\right) * (10 \text{ dias})$$

$$VAR_{Muestra} = 2 \text{ Lts}$$

En base a esto se tomará cada 10 días una muestra de 2 litros de agua residual tratada a la salida del sistema de tratamiento.

3.5 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

- a) Se realizará una entrevista para conocer más a fondo a la industria y sus procesos de trabajo.
- b) Se armará el filtro en instalaciones de la Planta de engarrafado de GLP, ubicado en la Carretera al Chaco Km ½ por cumplir con los siguientes requisitos mínimos: tener facilidad de acceso, facilitar las maniobras de carga y descarga, facilitar la toma de muestras.
- c) Para la elaboración del tratamiento de aguas residuales se seleccionará material de relleno para la filtración como es la grava de 3/8", al cual se adecuará en tamaño y cantidad.
- d) Se tomará un total de 1 muestras cada 10 días durante todo el proceso de tratamiento durante 4 meses, con un volumen necesario para realizar los análisis, en este caso se considerará 2 litros. Cada muestra se debe tomar de acuerdo a las especificaciones de la Norma.
- e) Por medio de los resultados obtenidos de laboratorio se procederá, a realizar los análisis correspondientes para determinar la eficiencia de remoción de cada parámetro solicitado.

3.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El Diseño Experimental se puede utilizar en una variedad de contextos. De forma general, se aplica en sistemas en los cuales se observan una o más variables experimentales dependientes y llamadas respuestas cuyo valor depende de los valores de una o más variables independientes x controlables llamadas factores.

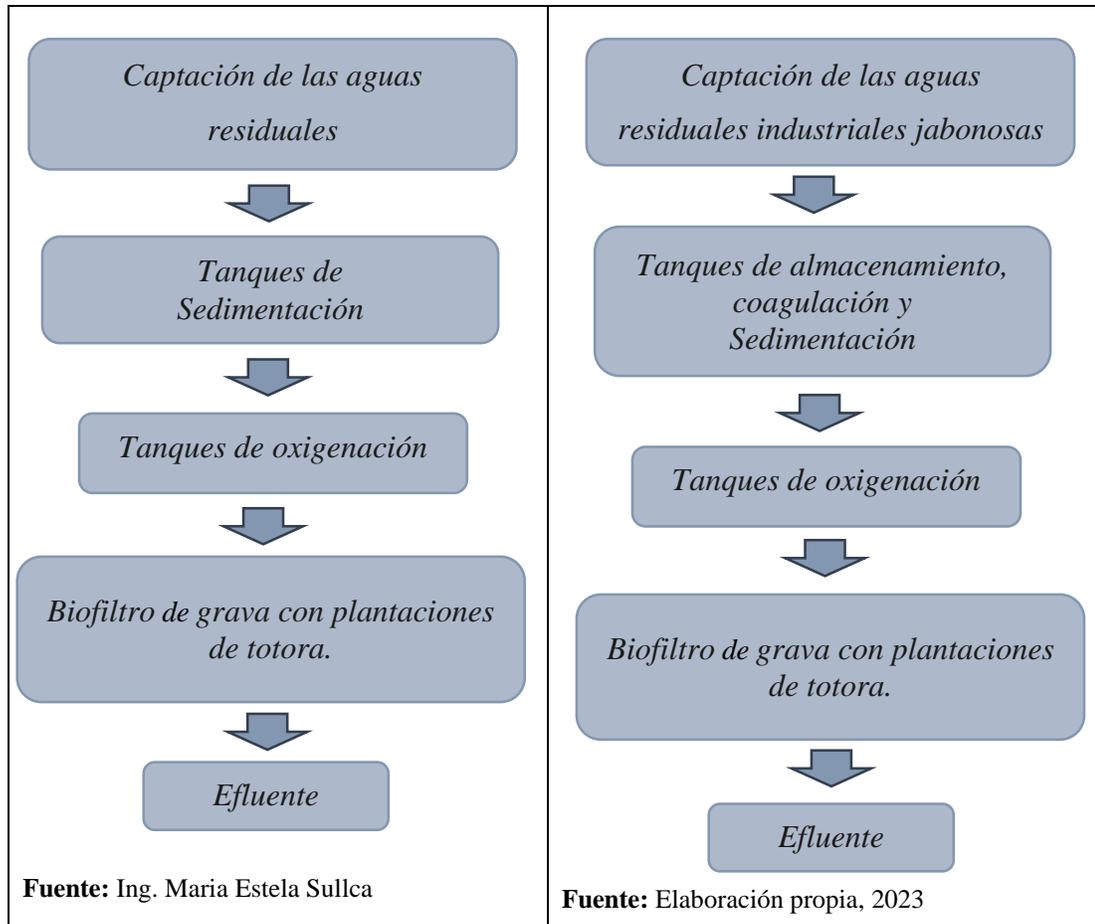
Las respuestas además pueden estar influidas por otras variables que no son controlables por el experimentador. La relación entre x e y no tienen por qué ser conocida.

Para el caso del sistema experimental tenemos:

Un sistema de tratamiento para la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales industriales de la Planta de Engarrafado de GLP, cuyo caudal de agua x_1 y tiempo de residencia x_2 pueden condicionar otras variables, entre otras, como los sólidos disueltos totales y^1 , DBO5 y^2 , DQO y^3 , grasas aceites y^4 y nitrógeno total y^5 .

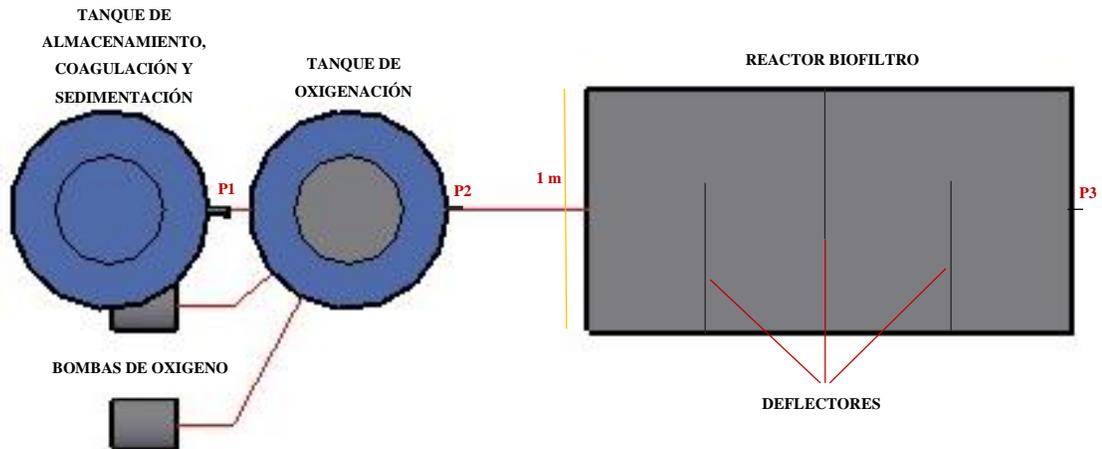
Con el software AUTOCAD se elabora el diseño de equipos y sus capacidades esto para tener un dato exacto sobre la elaboración del sistema de tratamiento.

3.6.1. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta



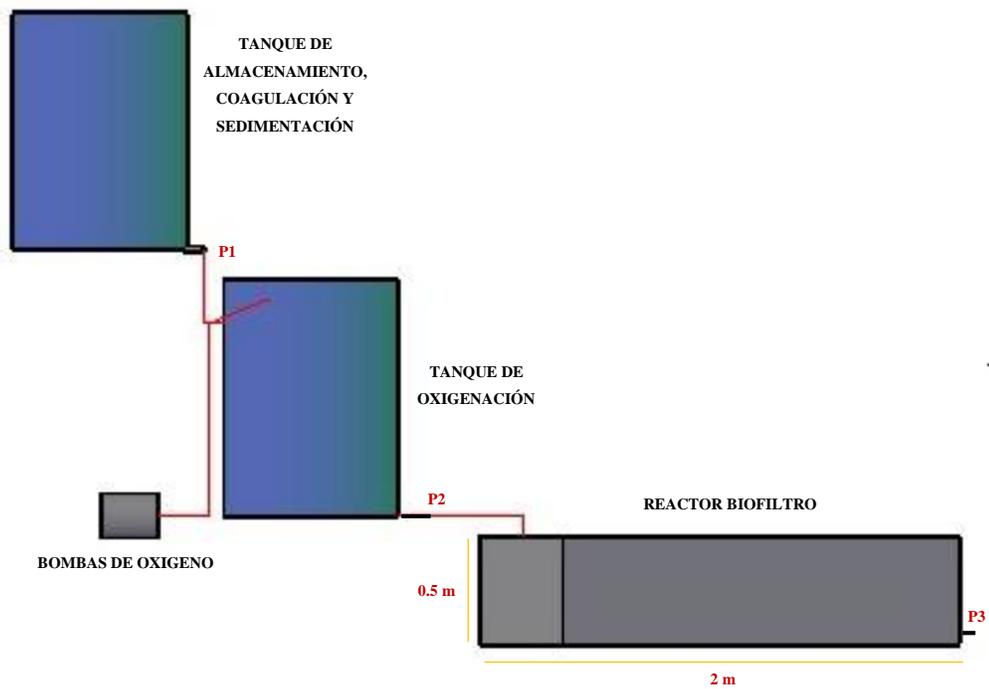
Cuadro III-1.- Diagrama de proceso

3.6.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales experimental



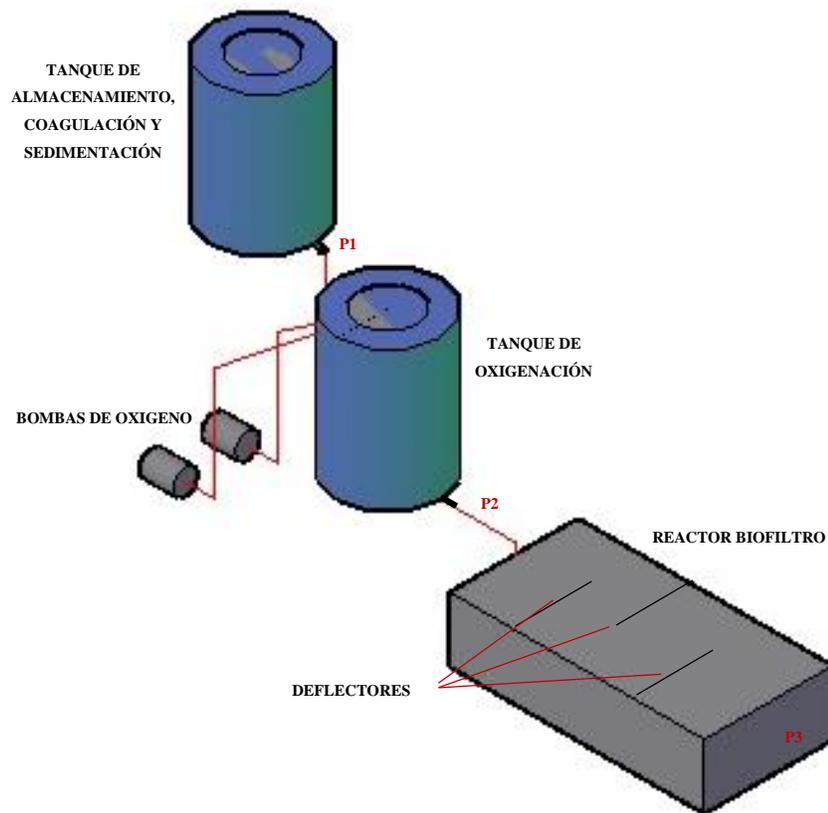
Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura III-2. – Vista en Planta de Arriba



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura III-3. – Vista de Planta de Perfil



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura III-4. – Vista de Planta de Frente

3.7 DISEÑO DE INSTRUMENTOS

3.7.1. Pre tratamiento

Dimensionamiento del canal de entrada y malla

El parámetro principal que se tomó en cuenta es el caudal máximo $Q_{Max} = 0.0125 \text{ m}^3/\text{h}$ (300 l/d) que tiene la planta en operación.

Para que se cumpla con las características específicas y completar el proceso de tratamiento se tiene los siguientes datos:

Tabla III-6.-Dimensiones de malla retenedora de solidos

MALLA		
Diámetro de entrada	0.45	m
Ancho	1	m
Largo	1	m
Abertura	1.35	mm
Espesor	0.28	mm
Inclinación	0	-
Eficiencia	0.90	90%

Fuente: Elaboración propia, 2023

La malla es la primera operación unitaria del proceso de tratamiento, es decir es el inicio del sistema, el cual se ubica en el canal de entrada hacia el sistema. La función de la malla es proteger las unidades del sistema y evitar que se tenga un inadecuado funcionamiento desde el inicio, cuya finalidad es la retención de objetos de mayor tamaño que sobrepasen las medidas establecidas con las cuales el sistema se vea comprometido. Por ejemplo, objetos como ramas, plásticos u otro material sólido que no se encuentre desintegrado o degradado, cuando el agua residual circule a través del sistema.

En relación a los materiales sólidos que queden atrapados en la malla se retiran manualmente, para luego darle una disposición final dependiendo del tipo de los mismos luego de que pierdan la humedad. Si son desechos biodegradables pueden ser enterrados y desechos no biodegradables ser llevados a contenedores de basura, pasando por una separación previa dependiendo de su naturaleza para dicho proceso.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Fotografía III-2. – Malla insatalada

3.7.2. Tratamiento primario

Tanque de almacenamiento, coagulación y sedimentación

Para que se cumpla con las características necesarias para completar el proceso de tratamiento se tiene lo siguiente:

Tabla III-7.-Dimensiones del tanque de coagulación y sedimentación

TANQUE DE COAGULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN		
Caudal de entrada	0.0125	m ³ /h
Caudal de salida	0.0018	m ³ /h
Diámetro	0.78	m
Alto	1.02	m
Profundidad	0.97	m
Volumen del tanque	450	Lts
Tiempo de retención	8.23	hrs
Coagulante Sulfato de Aluminio	1	Kg
Remoción DBO	35.62	%
Remoción de SST	62.57	%

Fuente: Elaboración propia, 2023

La función del tanque de coagulación y sedimentación fue seguir el proceso de sedimentación de partículas que contenga el agua jabonosa residual, bajo la teoría de que los sólidos encontrándose en un estado de reposo por el peso específico al ser superior al del agua estas tienden a depositarse en el fondo del sedimentador y aquellas partículas cuyo peso específico sea menor a la del agua tiendan a ascender mediante el coagulante (Sulfato de Aluminio). Cumpliendo con el objetivo de eliminar de manera fácil y eficaz los sólidos sedimentables y materia flotante, logrando reducir la cantidad de sólidos del agua residual.

Al dimensionar el tanque sedimentador se pretende una reducción eficiente tanto de los sólidos suspendidos que estos varían entre un 50% y 70% y entre el 25% y 40% de la DBO de forma progresiva y se depure de mejor manera el agua entrante para la siguiente fase del tratamiento.

El sistema se encuentra en un nivel de remoción de SST 62.57% y de DBO₅ de 35.62% por lo que los parámetros de nivel de remoción se encuentran en el rango de eficiencia propuestos teóricamente.

Las ventajas que presenta este sistema están enfocadas en la adaptación que tiene el diseño ante otro sistema porque permiten que los tiempos de remoción de los contaminantes sea regulada, evitando que se formen procesos extras anaeróbicos microbiológicos que alteren la calidad del agua tratada. Esta operación tiene un alto grado de confiabilidad, lo cual conlleva mejora de la calidad del agua tratada y la velocidad de respuesta entre el agua que ingresa y el agua que sale de la unidad.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-3. – Tanque de almacenamiento

Tanque de oxigenación y de reposo

Para que se cumpla con las características necesarias para completar el proceso de tratamiento se tiene lo siguiente:

Tabla III-8.-Dimensiones del tanque de oxigenación

TANQUE DE OXIGENACIÓN		
Caudal de salida	0.00204	m ³ /l
Diámetro	0.81	m
Alto	1.02	m
Profundidad	0.97	m
Volumen del tanque	450	Lts
Tiempo de retención	6	hrs
Remoción DBO	35.62	%
Remoción de SST	62.57	%
Potencia de bomba de aire	348	Amp

Fuente: Elaboración propia, 2023

Uno de los objetivos primarios del tratamiento de aguas es remover los nutrientes del agua tratada. Esto se logra al usar una combinación de tratamientos químicos y biológicos. Los desechos domésticos, agrícolas e industriales contienen altos niveles de nitrógeno y son los principales contribuyentes de polución por nutrientes en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La mayor remoción de nitrógeno ocurre en el tanque de oxigenación, donde el agua residual rica en nitrógeno encuentra una serie de procesos de óxido reducción. Estos procesos usan microbios para romper y convertir el nitrógeno orgánico en amonio, luego a nitratos, y finalmente a nitritos en un proceso llamado nitrificación.

Ya que la nitrificación es un proceso microbiano, monitorear el ambiente en un tanque de oxigenación es preciso para mantener una población microbiana suficiente y verificar la eficiencia del tratamiento. Una cantidad calculada de oxígeno se añadió al tanque para asegurar niveles óptimos en la nitrificación y descomposición de los desechos. Esto se debe a que la operación de las bombas de aireación es costosa, haciendo que el paso por los tanques sea el más costoso en el tratamiento de agua residual.

Además de una variedad de análisis realizados en el tanque de oxigenación para asegurar condiciones ideales, los dos parámetros más importantes son el pH y el oxígeno disuelto (OD) El pH en el tanque de oxigenación fue de 6.5 a 8.5 para evitar el estrés en las colonias microbianas, y permitirles una actividad biológica óptima.

Para determinar la ecuación de transferencia de oxígeno se usan principalmente dos teorías. La primera consiste en el establecimiento de un gradiente de presión parcial de oxígeno en el interior de la burbuja de gas a causa de la presencia de la película gaseosa. Se conoce como teoría de las películas laminares. La presión parcial creada en la interfase p^* está en equilibrio con la concentración de oxígeno disuelto C^* .

En el seno de líquido se establece un gradiente en la concentración del mismo debido a la película líquida. Se supone que el perfil de equilibrio es independiente del tiempo (régimen estacionario) y el equilibrio entre p^* y C^* se tiene instantáneamente al entrar en contacto el gas y el líquido.

La ecuación:

$$\frac{dC_L}{dt} = K_G * a'(p - p^*) = K_L * a'(C - C_L)$$

La segunda teoría considera nuevamente, la transferencia de oxígeno como una difusión continua entre la burbuja y el líquido, a través de una película única de poco espesor en régimen estacionario. Aplica la ley de Fick, a este mecanismo de transferencia considerada como unidireccional. La ecuación es:

$$\frac{dC_L}{dt} = K_L * a(C^* - C_L)$$

Debido a la dificultad para determinar el K_L y a de forma individual, normalmente se utiliza su producto ($K_L * a$) para especificar la transferencia de masa gas-líquido y se denomina coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.

El área interfacial está en función del coeficiente de retención de gas (E_g) y el diámetro promedio de las burbujas; en donde el primero es una relación entre el volumen desplazado al introducir el gas en el reactor y el volumen de mezcla gas-líquido.

Determinación teórica del coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno ($K_L * a$).

Tanque de burbujeo

Se determinó la siguiente Expresión:

$$K_L * a = \left[\left(\frac{0.6D}{D_T^2} \right) S_C^{0.5} B_0^{0.62} G_a^{0.31} \right] E_g^{1.1} \dots \dots (1)$$

Cálculo del Número de Bond Bo:

Donde:

g = Constante gravitacional = 980.665 cm/s²

ρ = Densidad del agua = 0.99823 gr/cm³

D_r = diámetro del reactor = 78 cm

τ = tensión superficial del agua = 72.8 g/s²

$$B_0 = g\rho_1 * D_r^2 / \tau$$

$$B_0 = 980.665 * 0.99823 * 78^2 / 72.8$$

$$B_0 = 81810.514$$

Cálculo del Número de Galileo:

Donde:

g = Constante gravitacional = 980.665 cm/s²

D_r = Diámetro del reactor = 78 cm

ν_c = Viscosidad cinemática = 0.010004 cm²/s = μ / ρ_1

μ = Viscosidad dinámica = 0.009986293 g /cm s

ρ_1 = Densidad del líquido = 1.36 g/ cm³

$$G_a = g * D_r^3 / \nu_c^2$$

$$G_a = 980.665 * 78^3 / 0.010004^2$$

$$G_a = 4.6167 \times 10^{10}$$

Cálculo del Número de Schmidt:

Donde:

ν_c = Viscosidad cinética = 0.010004 cm²/s

D = Difusividad del oxígeno en el agua = 2.105cm²/s

$$S_c = \nu_c / D$$

$$S_c = 0.01004 / 2.10 \times 10^5$$

$$S_c = 478.0952$$

Cálculo de la Fracción de gas retenido en la mezcla E_g :

Donde:

H_{1g} = Altura de la mezcla gas-liquido = 97 cm

H_1 = Altura del líquido cuando no existe aireación = 87 cm

$$E_g = \frac{H_{1g} - H_1}{H_{1g}}$$

$$E_g = \frac{97 - 87}{97}$$

$$E_g = 0.10$$

Cálculo del Coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno $K_L * a$:

$$K_L * a = [(0.6 * 2.10 \times 10^{-5} / 78^2) * 478.0952^{0.5} * 81810.514^{0.62} (4.6167 \times 10^{10})^{0.31}] 0.1^{1.1}$$

$$K_L * a = 10.1818 \times 10^{-3} / S$$

Para calcular el tiempo de absorción del oxígeno en el agua, debe tomarse en cuenta la velocidad con la que el oxígeno se absorbe en el agua, debemos referirnos a la ecuación de velocidad de absorción, que establece:

$$\frac{dC_L}{dt} = K_L a (C^* - C_L)$$

Donde:

C_L = Concentración de oxígeno disuelto en el medio = mg / l

C^* = Concentración saturada de oxígeno disuelto en el medio = mg / l

K_L = Coeficiente global de transferencia de masa con relación a la película líquida
cm/s

a = Superficie específica de intercambio = cm²/cm³

Separando variables e integrando se tiene:

$$\int \frac{dC_L}{C^* - C_L} = K_L * a \int dt$$

$$\ln \frac{C^* - C_L}{C^*} = -K_L * a * t$$

$$\ln\left(1 - \frac{C_L}{C^*}\right) = -K_L * a * t$$

De acuerdo a los valores experimentales que se obtuvieron en laboratorio, se tiene que:

$$C_L = 0.28 \text{ mg/l}$$

$$C^* = 7.02 \text{ mg/l}$$

Por tanto, remplazando valores, tenemos:

$$\ln\left(1 - \frac{0.28}{7.02}\right) = -10.1818 \times 10^{-3} t$$

$$t = \frac{-0.0407}{-10.1818 \times 10^{-3}}$$

$$t = 3.997 \text{ s}$$

Por lo que, en condiciones establecidas, se tiene que el tiempo requerido para alcanzar el nivel mínimo del oxígeno en el agua es de 7.02 mg/l, cantidad requerida para garantizar un proceso aeróbico en el biofiltro, por lo que el tiempo de burbujeo o de contacto del agua con el aire, es de 3.997 segundos o aproximadamente 4 s.

Cálculo del Volumen en el Tanque de Oxigenación

Vg = velocidad máxima de aireación reportada es de 0.1 m/s = 10 cm/s

$$h = 10 \text{ cm/s} * 3.997 \text{ s} = 39.97 \text{ cm}$$

La relación del tanque de oxigenación es:

$$d = 78 \text{ cm}$$

Por tanto, el volumen del tanque de aireación es de:

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 39^2 * 95$$

$$V = 4.539 \text{ m}^3$$

Tabla III-9.-Variables para el diseño del tanque de oxigenación

PARÁMETRO	SÍMBOLO	MEDIDA
Coficiente volumétrico de transferencias de oxigeno	$K_L \cdot a$	$10.1818 \times 10^{-3} / s$
Numero de Bond	B_0	81810.514
Numero de Galileo	G_a	4.6167×10^{10}
Numero de Schmidt	S_0	478.0952
Fracción de gas retenido en la mezcla	E_g	0.10
Tiempo de absorción de oxígeno en agua	T	3.997 s
Velocidad máxima de aireación	V_g	0.062 m/s
Altura del tanque de aireación	H	0.78 m
Volumen del tanque de aireación	V	4.539 m^3

Fuente: Elaboración propia, 2023



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-4. – Tanque de oxigenación

3.7.3. Biofiltro

Dimensionamiento y especificaciones del biofiltro

Para el funcionamiento del biofiltro se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones como el material granular que se va a emplear para realizar el diseño experimental.

Material granular

La filtración en medios granulares, es la forma más económica y eficiente de separar sólidos suspendidos que no son removidos por sedimentación.

La filtración es una operación unitaria de gran importancia dentro de un sistema de tratamiento y acondicionamiento de aguas. Generalmente la filtración se efectúa después de la separación de la mayoría de los sólidos suspendidos por sedimentación, aunque dependiendo de las características del agua, es posible que esta entre directamente a la etapa de filtración, sin ser sedimentada previamente.

Grava

El filtro de grava es un lecho que retiene las partículas suspendidas en el agua. El mecanismo de remoción de estos sólidos es de diferente naturaleza.

En este tipo de filtro, el agua fluye a través de un lecho de grava. Las propiedades del medio, causan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos, lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas, y con el medio formado en la superficie del gránulo de grava, siendo de esta manera retenido entre el material filtrante.

Una de las ventajas es su eficiencia en la clarificación del agua, es la facilidad y sencillez de construcción de un filtro de este tipo, cuando hay superficie o terreno disponible para su construcción. El cuerpo del filtro puede ser un tanque de concreto, el cual tiene un arreglo de tubería en el fondo de este filtro para captar el agua que fluye

a través del lecho de grava y llega ya filtrada al fondo del tanque, de donde es extraída después del proceso.

Tabla III-10.-Características de la grava

PARAMETRO	FLUJO SUB SUPERFICIAL
Porosidad	0.40
Volumen	3/8"
Espesor	0.9525 cm

Fuente: Elaboración propia, 2023



Fuente: Elaboración propia, 2023

Fotografía III-5. – Biofiltro

3.7.4. Generalidad de diseño

Estructura de entrada y salida

Es muy importante tener un adecuado diseño de estas estructuras para conseguir una adecuada distribución del fluido, evitar la colmatación y futuros cortocircuitos al interior del biofiltro, recomendado, por tanto:

- Una distribución uniforme a la entrada del biofiltro
- Una colecta uniforme a través de la anchura total del biofiltro.

El agua ingresa al biofiltro en caída tipo ducha ocupando todo el ancho del primer deflector para así poder tener un mejor aprovechamiento del área total del mismo sin tener pérdidas en la distribución.

Según los datos de cantidad de aguas jabonosas residuales producidas por la planta de llenado de GLP, el caudal de salida es de $16 \text{ m}^3/\text{dia}$.

La escala a ala que se trabajara es de 1.25% del caudal real.

$$Q = 16 \text{ m}^3 \times 1.25\% / 100\%$$

$$Q = 0.2 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Al haber investigado en trabajos anteriores donde nos indican que el tiempo de retención óptimo para el tratamiento de las aguas residuales es de 3 días, donde se calculara el volumen vacío de biofiltro el cual debe ser el siguiente:

$$V_B = 0.2 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 3 \text{ dias}$$

$$V_B = 0.6 \text{ m}^3$$

Por tanto, para calcular el volumen del biofiltro, conteniendo la masa de grava, partimos de los datos determinados que establecen el tamaño de las partículas de grava, porosidad, relación largo-ancho y pendiente del lecho como se muestra a continuación:

Tabla III-11.-Diseño del biofiltro

PARAMETROS	FLUJO SUB SUPERFICIAL
Porosidad de grava empleada	0.04663
Relación largo - ancho	2 : 1
Profundidad	0.50 m
Pendiente de fondo	2 %
Numero de deflectores	4
Tipo de relleno	Grava 3/8"

Fuente: Elaboración propia, 2023

Las dimensiones y características del Biofiltro a escala laboratorio, diseñado y construido para el tratamiento de aguas residuales.

Tabla III-12.-Características del biofiltro

PARAMETRO	SIMBOLO	MEDIDA
Caudal	Q	0.0018 m ³ /h
Volumen total del biofiltro	V _t	1 m ³
Largo del biofiltro	I _t	2 m
Ancho del biofiltro	a _t	1 m
Altura del nivel del agua	h _t	0.45 m
Altura total del biofiltro	h	0.50 m
Espacio entre deflectores	A ₁	0.50 m
Largo de los deflectores	A ₂	0.75 m
Numero de los deflectores	N	4
Velocidad del fluido	v	m/h

Fuente: Yeison Gomez (2017)

Microorganismos

En el proceso de biofiltración, el aire a tratar se pone en contacto con un lecho fijo, que, mediante microorganismos, es capaz de alcanzar altas eficiencias de depuración. Los microorganismos proliferan sobre el medio, utilizando como fuente de nutrientes y energía los compuestos odoríferos vía descomposición aerobia. Estos microorganismos son mesófilos, pudiendo crecer en un rango de temperaturas entre 15 - 45 °C, alcanzando un crecimiento óptimo entre 20 - 30 °C.

Las moléculas orgánicas complejas son divididas en pequeñas partes y productos parcialmente gaseosos (nitrógeno, dióxido de carbono), por bacterias. Con esto, la carga orgánica en el Biofiltro se reduce significativamente. Los sólidos suspendidos orgánicos asociados con las aguas residuales entrantes se acumularán, pero serán retenidas dentro del lecho filtrante por un largo tiempo y los constituyentes orgánicos serán mineralizados por las bacterias. La acumulación de sólidos mineralizados provocará la disminución del volumen de poros en el lecho filtrante y eventualmente será necesario remover una parte del material después de algunos años de operación.

Las reacciones de metabolismo primario son influenciadas por el tiempo de retención dentro del Biofiltro, el grado de carga, la distribución de las aguas residuales y las condiciones físicas y químicas del lecho. Un tiempo de retención adecuado a la cinética

de remoción, carga continua y una alimentación balanceada son prerequisites indispensables para una eficiencia de tratamiento satisfactoria.

3.8 FASE EXPERIMENTAL

3.8.1. Acondicionamiento y mantenimiento al sistema de tratamiento

El año 2017 el Ingeniero Yeison Freddy Gómez realizó el proyecto de grado “Tratamiento de aguas residuales sanitarias en la planta de GLP (El Portillo-Tarija), mediante el diseño de un biofiltro a escala” por lo que el material utilizado (Biofiltro) para este proyecto se encontraba en depósitos de la unidad de SMS.

Luego de definir los procedimientos con los que operará el sistema de tratamiento, se iniciaron los trabajos de mantenimiento y adecuación del mismo, teniendo en cuenta los componentes desgastados y aquellos que requieren reposición.

Para la habilitación del biofiltro se identificó algunos problemas y defectos tanto del mismo principalmente debido al deterioro con el tiempo, a la humedad y polvo. Las principales fallas observadas fueron:

- Deterioro en la pintura del Biofiltro (interior).
- Sarro y materia corrosiva en el biofiltro por lo que se hizo un mantenimiento completo y reposición de piezas en algunas partes.
- Los tanques para sedimentación y oxigenación fueron prestados por la unidad de SMS del distrito.
- Se compraron y modificaron materiales como válvulas entre procesos, mangueras de conexión, bridas, niples y llaves para una instalación adecuada. En cuanto a los depósitos, todo lo que había que hacer era limpiarlos a fondo con mucha agua y detergente, con el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de residuos.

En seguimiento a lo anterior, se elaboró un protocolo de muestreo que detalla los lugares y procedimientos para la toma de muestras de la planta de embotellado de GLP del Distrito Comercial Tarija, así como de los tres lugares señalados en el sistema de biofiltración.

Ejecutando los controles diarios para monitorear el proceso y, al final, establecer la calidad del agua residual. Para elaborar una propuesta de tratamiento de aguas residuales producidas por la planta de embotellado de GLP, fue necesario sistematizar los datos y realizar los cálculos necesarios.

3.8.2. Mantenimiento y repintado del biofiltro

En el Biofiltro se pudo evidenciar un deterioro claro, desde la presencia de sarro (óxido) en las paredes interiores y deflectores hasta partes con deterioro con soldadura necesaria, hasta el despintado en varios sectores de la zona interior y planchas.

Se procedió al mantenimiento del Biofiltro, comenzando con la soldadura de un deflector, seguidamente con la limpieza y removido del sarro. Con la ayuda de material de raspado y bicarbonato de sodio se pudo remover casi la totalidad del óxido, para luego enjuagar, secar y comenzar un pintado del Biofiltro con pintura Anticorrosiva color Metálico, con la finalidad de observar, una vez acabada la experiencia, si las paredes internas y deflectores del Biofiltro se encuentran corroídas o con óxido.

Cabe recalcar que, para poder observar el total de óxido presente en el Biofiltro, es necesario repintar las veces que sea necesario, hasta que ninguna superficie este libre o descubierta. Es así como se procedió, se repintó el Biofiltro un total de 2 veces, a lo largo de una semana.

3.8.3. Adición de malla milimétrica en el tanque 1

Tomando en cuenta las características de las aguas residuales, el agua proveniente de la planta de embotellado y el acercamiento de sólidos en los procesos, se optó por instalar una malla milimétrica plástica:

- Malla milimétrica de doble capa instalada en el tanque de sedimentación: Esta malla milimétrica se instaló en la cesta del tanque, es decir, en la parte superior de la misma. Se instaló con la mayor tensión posible, con la finalidad que en la primera capa de la malla no se genere un depósito de sólido debido al peso de la misma en cada carga nueva de muestra. Las dimensiones de la malla son 1.5 m. de largo x 1.5 m. de ancho.

El objetivo principal de esta malla es retener la mayor cantidad de sólidos en suspensión presentes en cada carga del agua residual, además de evitar el ingreso de hojas y/o insectos al tanque de sedimentación. Para el mantenimiento de las mallas se retira cuidadosamente todo el sólido posible de la malla y se enjuaga con abundante agua, para finalizar una nueva instalación en el tanque de sedimentación. Recordar que el sólido retirado de la malla debe ser recogido en una bolsa para ser sometido a luz y calor del sol, para que una vez seco, se pueda dar registro de su peso neto en la balanza analítica.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-6. – Instalacion de malla milimetrica

3.8.4. Malla milimétrica en el biofiltro

Esta malla se instaló con la principal finalidad de evitar el ingreso de insectos en el Biofiltro, además de polvo con partículas significativas. Las dimensiones de la malla son 2 m. de largo x 1 m. de ancho con aberturas de 1.35 mm. La ubicación de la instalación fue en la parte superior del Biofiltro, debajo de las capas (planchas) que lo protegen de los rayos UV.

3.8.5. Preparación del lecho filtrante

Una vez determinado el medio filtrante que se empleará, se procedió al mantenimiento de la misma. Se instaló un total de 10 bolsas de grava de 3/8" (0.9525cm) cada una en un espacio de deflector teniendo un total cuatro deflectores con grava y plantación de totora.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-7. – Recolección y plantación de totora

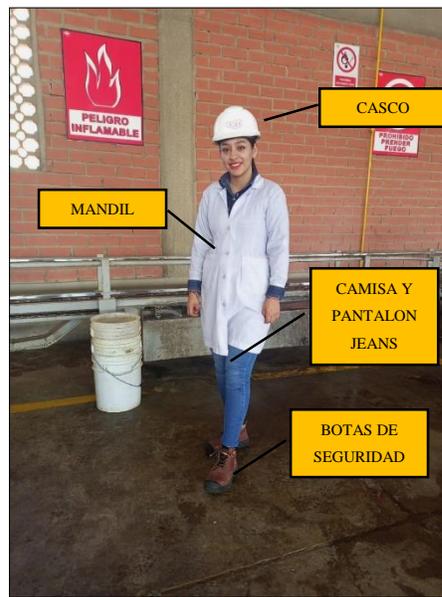
3.8.6. Seguridad industrial y salud ocupacional

Además de conocer las reglas y los procedimientos para realizar una muestra, también es fundamental tener en cuenta la seguridad del analista.

Dado que el muestreo se realizó en la zona de descarga de agua de la planta de engarrafado de GLP, el riesgo de percance es muy alto. Dado que la muestra se toma directamente de las bandejas por donde transportan las cadenas para el transporte de las garrafas, se debe tener cuidado al tomarla. Esto podría deberse a equipos y materiales encontrados. Esto condujo al desarrollo de un breve protocolo que se concentró en buenas técnicas de muestreo y medidas de protección y seguridad.

Se utilizó ropa EPP (Equipo de Protección Personal) en todo momento para ingresar a las instalaciones de la planta de engarrafado y realizar el muestreo.

La protección del muestreador es muy importante a la hora de realizar un muestreo, además de conocer las normas y procedimientos a seguir.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-8. – EPP para muestreo

3.8.7. Ejecución de la fase experimental

Una vez que se ha efectuado el acondicionamiento y mantenimiento pertinente, se procedió a trabajar con el proceso de tratamiento y el agua residual recogida directamente de las bandejas por donde pasan las cadenas transportadoras. El tiempo de retención en el Biofiltro fue de 3 días, por lo que, se utilizó el caudal con el que se trabajó con anterioridad en el Sistema a Escala con un correcto plan de muestreo.

Toma de muestra y monitoreo

El conjunto de cualidades físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apta para un uso particular se conoce como calidad del agua. Esta definición ha dado lugar a una serie de normas, que garantizan un cierto nivel de calidad para asegurar usos específicos, pero que no tienen en cuenta los efectos y repercusiones de la actividad humana sobre las aguas naturales.

El principal impacto humano sobre el agua es causado por la descarga de efluentes residuales en los sistemas naturales. Por lo tanto, se deben establecer los estándares de

calidad que deben cumplir las aguas residuales antes de ser vertidas a un sistema receptor.

Si se va a utilizar una muestra para determinar las propiedades de las aguas residuales, que debe ser representativa. Según el tiempo, los recursos y la experiencia disponibles para tomar una muestra, hay muchas formas diferentes de elegir una muestra representativa.

La primera muestra para empezar el tratamiento de las aguas residuales y como dato de punto de partida se mandó a analizar en el laboratorio de CEANID teniendo los resultados de DBO₅, DQO, Grasas y aceites, Nitrógeno total y Solidos sedimentables totales.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-9. – Toma de muestra

Muestras para alimentar al sistema de tratamiento de aguas residuales

Según los estudios previos para la ejecución del proyecto, se determinó una recepción de aproximadamente 1000 L de agua residual, por lo que, para la recepción del transporte de las mismas, se utilizó baldes de material plástico resistente, con sujetadores reforzados para facilitar su transporte, y con tapa hermética para evitar derrame. Los envases donde se transportó la muestra se acondicionaron para poder resistir el transporte del agua residual a una capacidad del 90% en su volumen total. Se utilizó un total de cinco baldes, todos con el mismo material y los mismos cuidados de limpieza, las cuales son el lavado con detergente al inicio y final del muestreo.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-10. – Transporte de muestras al sistema

La capacidad volumétrica de los envases es la siguiente:

- Los baldes tienen un volumen de 22 litros, sin embargo, el llenado era aproximado a 20 litros cada uno.
- Una vez en la zona de descarga de agua residual, se seleccionó el lugar idóneo para realizar el muestreo. Se seleccionó este punto de muestreo puesto que representa la totalidad de los contaminantes presentes en el agua, además de ser un lugar cómodo para insertar un recipiente para poder llenar poco a poco los envases de transporte.

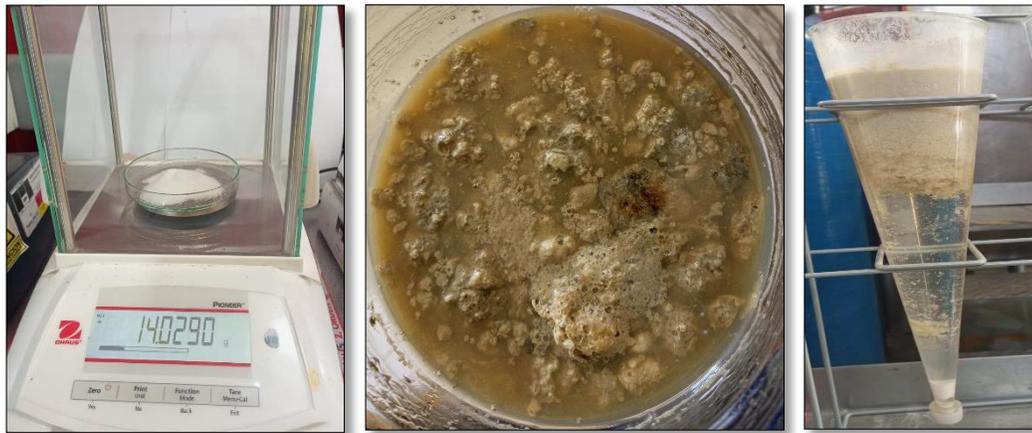


Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-11. – Descarga de muestra al tanque 01

Se debe tomar en cuenta el cuidado que se debe tener al manipular las muestras de agua residual en el transporte hacia la planta de tratamiento, priorizando la limpieza y la no contaminación de las muestras. En el vertido del agua residual en el tanque de almacenamiento debe ser de manera calmada y evitando los derrames.

Una vez puesta la muestra 500 lts de aguas residual jabonosa se dejó sedimentar por 1 día y al siguiente día se colocó coagulante sulfato de aluminio 14 g por 100 litros el cual se dejó reposar por 24 horas.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Fotografía III-12. – Coagulación

Al día siguiente se abrió la válvula del tanque 01 para descargar al tanque 02 y proceder a oxigenar la muestra.

Vaciado la parte clara al tanque 02 de oxigenación se procede a echar la muestra guardada al tanque 01 500 lts para completar la operación sacando anteriormente la parte sólida coagulada y proceder a hacer el anterior procedimiento.

Teniendo oxigenada el volumen de agua descargada al tanque 02 se procede a abrir la válvula que da al biofiltro hasta completar su recorrido formándose una película microbiana alrededor de la graba así tratándose por completo la filtración de las aguas teniendo el efluente a la salida del biofiltro y proceder a sacar una muestra para enviar al laboratorio para el control de los parámetros.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-13. – Pelicula microbiana

El sistema se alimenta de agua residual cada 10 días haciendo un mantenimiento cada 20 días de los tanques especialmente del tanque 01.

El biofiltro estuvo en funcionamiento durante 4 meses llegando a la estabilización, en los cuales se realizaron 12 muestras a la salida del biofiltro cada 10 días que se mandaron a laboratorio privado Lab PCB Ambiental S.R.L. se tomó una muestra cruda al inicio de la parte experimental esta se mandó al laboratorio CEANID.

Los controles de temperatura y pH se controlaron todos los días en la mañana y en la tarde durante los 4 meses del ensayo experimental.



Fuente: Elaboración propia,2023

Fotografía III-14. – Control de Parametros pH y Temperatura

De acuerdo al diseño experimental, el caudal es una de las variables independientes que debe variar en dos niveles, uno superior y otro inferior. Por ello se fija un límite superior de 20 l/h para un tiempo de retención de 72 h., y límite inferior de 18 l/h., para un tiempo de retención de 96 h.

Para que el sistema se trabajó en un estado estacionario y no se generó un desbalance de caudales en otros puntos de control del sistema, se realiza la regulación del caudal a la salida del biofiltro, para lo cual se empleó una probeta y un cronometro que nos indica el caudal de agua residual, este proceso se realizaba periódicamente para garantizar que la operación se verificaba de acuerdo a los parámetros establecidos.

El tiempo de residencia promedio es de 72 h con un intervalo de confianza de 12 h, esto indica que para una cantidad definida de agua residual el proceso de esta misma puede tardarse entre 64 h a 96 h.

3.9 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Tomando en cuenta la disponibilidad del laboratorio contratado, la capacidad económica y habiendo conseguido un sistema estacionario, se solicitó el análisis de un total de 13 lotes de muestras, a lo largo de 120 días calendario, cada una con un envase PET de 1 litro.

N° MUESTRA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PARÁMETROS FSC-QMC													
DBO ₅													
DQO													
Grasas y Aceites													
N _T													
S _T													

Fuente. - Elaboración propia, 2023

Cuadro III-2. - Análisis solicitados en Lab externo

- Muestra cruda
- Muestra efluente de entrada al biofiltro
- Muestra efluente salida al biofiltro

El método de muestreo fue similar al anterior, se recabó la primera muestra para la caracterización y posteriormente las muestras fueron transportadas al laboratorio del Distrito Comercial Tarija.

Se analizó un total de 120 muestras a lo largo de 120 días, cada una con un vaso precipitado de 250 ml, en el cual cada 5 días se sacó un promedio de los datos tabulados, bajo el siguiente detalle:

N° MUESTRA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PARÁMETROS FSC-QMC													
pH													
T°													

Fuente. - Elaboración propia, 2023

Cuadro III-3. - Análisis de ensayos experimentales en Lab interno

- Muestra cruda
- Muestra efluente de entrada al biofiltro
- Muestra efluente salida al biofiltro

Balance de materia

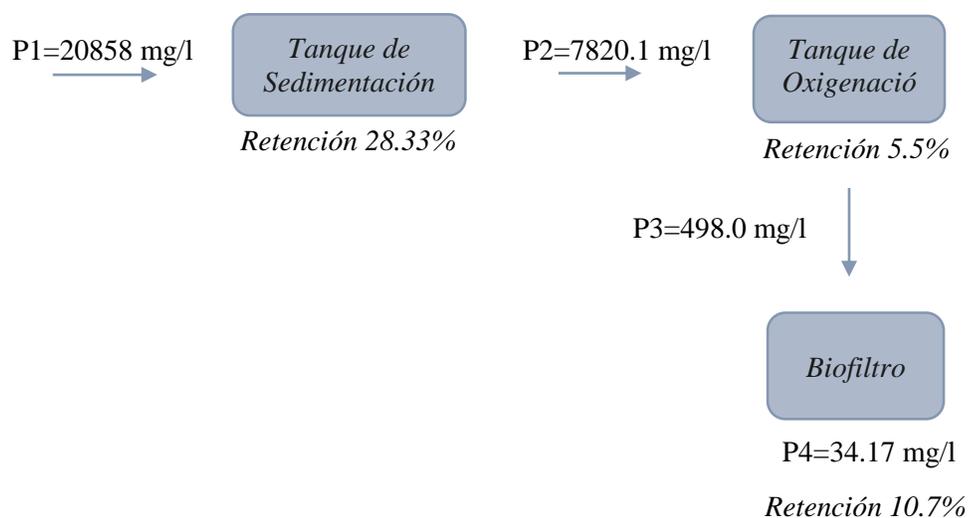
Balance de solidos totales

Tabla III-9.-Datos

Caudal		Q		0.0018 m ³ /h	
Variables	Unidad	P1	P2	P3	P4
Solidos totales	mg/l	20858	7820.1	498.0	34.17

Fuente: Elaboración propia, 2023

Diagrama de solidos totales



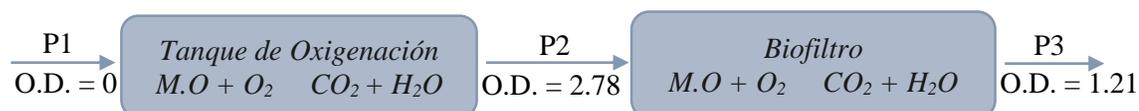
Balance de oxígeno

Tabla III-10.- Datos

PARAMETROS FISICOS	UNIDAD	CANTIDAD
Flujo másico de oxígeno en la corriente P1	Q_{MOP1}	2250.7 mg/min
Concentración de Oxígeno disuelto en P2	O.D. _{P2}	2.78 mg/l
Concentración de Oxígeno disuelto en P3	O.D. _{P3}	1.21 mg/l
Tiempo de retención	T.R.	3 días
Flujo volumétrico en todo el proceso	Q	0.052 l/min
Volumen inyectado al proceso	V	1000 L
Flujo másico de oxígeno en la corriente P2	Q_{MOP2}	x gr/min
Consumo microbiano de Oxígeno en el tanque de oxigenación	C.O.M. _{T.O.}	x gr/min
Consumo microbiano de Oxígeno en el Biofiltro	C.O.M. _B	x gr/min

Fuente: Elaboración propia, 2023

Diagrama de proceso de la oxigenación



P1 = Flujo de oxígeno inyectado

El accionar del oxígeno en el proceso de tratamiento comienza en la inyección del mismo al tanque de oxigenación.

Antes de plantear el balance, se debe uniformizar las dimensiones de cálculo, por lo que la concentración de oxígeno disuelto en el punto P2 y P3 se debe ajustar al volumen y tiempo de retención en el tanque de oxigenación. La expresión quedaría de la siguiente manera:

$$Q_{MOP2} = O.D.P2 * Q_{P2}$$

Donde:

Q_{MOP2} = Caudal másico de oxígeno en la corriente P2

O.D. P2 = Oxígeno disuelto en la corriente P2

Q_{P2} = Caudal volumétrico de la corriente P2

$$Q_{MOP2} = 2.78 \left(\frac{mg}{l} \right) * 0.052 \left(\frac{l}{min} \right)$$

$$Q_{MOP2} = 0.14456 \text{ mg/min}$$

Para el oxígeno que sale del biofiltro

$$Q_{MOP3} = O.D.P3 * Q_{P3}$$

Donde:

Q_{MOP3} = Caudal másico de oxígeno en la corriente P3

O.D. P3 = Oxígeno disuelto en la corriente P3

Q_{P3} = Caudal volumétrico de la corriente P3

$$Q_{MOP3} = 1.21 \left(\frac{mg}{l} \right) * 0.052 \left(\frac{l}{min} \right)$$

$$Q_{MOP3} = 0.063 \text{ mg/min}$$

Balance en el tanque de oxigenación

$$Q_{MOP1} = Q_{MOP2} + C.O.M.T.O.$$

$$C.O.M.T.O. = Q_{MOP1} - Q_{MOP2}$$

Donde:

Q_{MPO1} = Caudal másico de oxígeno en la corriente P1

Q_{MOP2} = Caudal másico de oxígeno en la corriente P2

C.O.M.T.O. = Consumo microbiano de Oxígeno en el tanque de oxigenación

$$C.O.M.T.O. = 2250.7 \left(\frac{mg}{min} \right) - 0.14456 \left(\frac{mg}{min} \right)$$

$$C.O.M.T.O. = 2250.55 \text{ mg/min}$$

Balance en el biofiltro

$$Q_{MOP2} = Q_{MOP3} + C.O.M.B$$

$$C.O.M.B = Q_{MOP2} - Q_{MOP3}$$

Donde:

Q_{MOP3} = Caudal másico de oxígeno en la corriente P3

Q_{MOP2} = Caudal másico de oxígeno en la corriente P2

C.O.M.B. = Consumo microbiano de Oxígeno en el Biofiltro

$$C.O.M.T.O. = 0.14456 \left(\frac{mg}{min} \right) - 0.063 \left(\frac{mg}{min} \right)$$

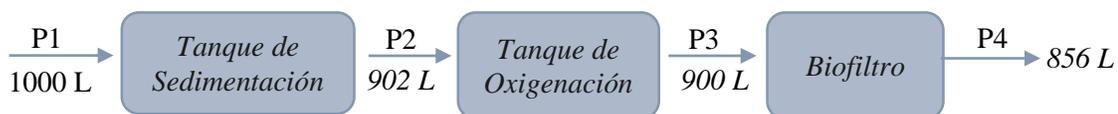
$$C.O.M.T.O. = 0.082 \text{ mg/min}$$

Balance de agua residual tratada

Tabla III-11.- Datos

Caudal		Q		0.0018 m ³ /h	
VARIABLES	Unidad	P1	P2	P3	P4
Agua residual	litros	1000	902	900	856

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de Agua residual

CAPITULO IV

4. RESULTADO

4.1 Ficha de ubicación de la Planta

Tabla IV-1. Datos generales de la empresa

Representante Legal	Ing. Oscar Rossinver Loayza Colque		
Dirección	Carretera al Chaco Km 12 ^{1/2} Zona El Portillo		
Nombre de la empresa	YPFB Corporación Distrito Comercial Tarija		
Tipo de Actividad	Almacenaje de combustibles líquidos, GLP y Traslado de GLP a garrafas de 10 y 45 Kg.		
Tipo de empresa	Privada	Publica	Mixta
		x	
Ubicación del proyecto	Departamento	Ciudad	Provincia
	Tarija	Tarija	Cercado
	Coordenadas		
	S	W	Altura msnm
	21°33'59"	64°39'57"	1858

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.2 Tabulación de resultados de datos

A continuación, se encuentran los datos experimentales de los resultados físico-químico enviados a laboratorio externo del agua residual después de la operación de tratamiento mediante coagulación con sulfato de aluminio, biofiltración con graba y plantaciones de totora, organizados por meses.

Tabla IV-2.-Resultados de análisis Físico-químicos

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (DÍAS)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Grasas y aceites (mg/l)	N _T (mg/l)	S _T (mg/l)
M ^o	28/11/2022	0	7630	42455	858	96	20858
M ₁	08/12/2022	10	4681	25122	605	84	15942
M ₂	18/12/2022	20	3062	13702	436	73	11846
M ₃	28/12/2022	30	2046	9384	300	62	7820
M ₄	05/01/2023	40	1562	5692	195	59	4573
M ₅	15/01/2023	50	1068	2941	119	51	2335
M ₆	25/01/2023	60	815	1535	78	48	1300
M ₇	04/02/2023	70	561	1124	50	34	969
M ₈	14/02/2023	80	344	917	37	30	705

M ₉	24/02/2023	90	122	382	23	25	498
M ₁₀	06/03/2023	100	68	102	12	19	279
M ₁₁	16/03/2023	120	34	70	5	13	92
M ₁₂	26/03/2023	140	20	33	<1	11	34

Fuente: Elaboración propia, 2023

Resultados de los Análisis Físicos de Aguas Residuales de la planta de embotellado de GLP (ensayos experimentales en Laboratorio de Planta).

Tabla IV-3.-Resultados Físicos ensayos experimentales

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (Días)	PH	TEMPERATURA (°C)
M ^o	28/11/2022	0	8.6	20.6
M ₁	08/12/2022	10	8.3	20.5
M ₂	18/12/2022	20	7.9	21.0
M ₃	28/12/2022	30	8.2	23.6
M ₄	05/01/2023	40	7.4	20.9
M ₅	15/01/2023	50	8.3	25.2
M ₆	25/01/2023	60	7.5	23.8
M ₇	04/02/2023	70	8.1	25.7
M ₈	14/02/2023	80	7.0	21.5
M ₉	24/02/2023	90	8.0	22.9
M ₁₀	06/03/2023	100	6.8	25.5
M ₁₁	16/03/2023	120	6.8	22.5
M ₁₂	26/03/2023	140	6.8	23.8

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.5 Análisis de los resultados

Para realizar las gráficas se utilizó el modelo cinético de FAIR mencionado en la parte teórica con el cual se calculó en el software IBM SPSS Statistics los puntos correspondientes al comportamiento de la DBO₅, DQO, Grasas y Aceite, Nitrógeno total y Sólidos totales tomando en cuenta los datos que registraban en la salida del Biofiltro. Esto con la finalidad de poder calcular la ecuación cinética del Biorreactor, donde se produce una degradación de materia orgánica y microbiana, gracias al desarrollo exponencial de la película microbiana alrededor de lecho filtrante.

Tabla IV-4. Datos del modelo

Parámetro	Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
k	0,008	0,002	0,002	,013
n	6,415	1,876	2,287	10,543

Fuente: Elaboración propia, 2023

DBO₅

Tabla IV-5. Comportamiento de DBO₅

ID	T (días)	Resultados Lab DBO ₅	Unid	DBO ₅ Val Absoluta	DBO ₅ Val Adimensional	DBO ₅ Modelo Fair
M ^o	0	7630	mg/l	1	1	1
M ₁	10	4681	mg/l	0,6134	0,61036	0,63
M ₂	20	3062	mg/l	0,4013	0,38592	0,41
M ₃	30	2046	mg/l	0,2681	0,25159	0,27
M ₄	40	1562	mg/l	0,2047	0,16846	0,18
M ₅	50	1068	mg/l	0,1399	0,11550	0,13
M ₆	60	815	mg/l	0,1068	0,08086	0,09
M ₇	70	561	mg/l	0,0735	0,05769	0,07
M ₈	80	344	mg/l	0,0450	0,04185	0,05
M ₉	90	122	mg/l	0,0159	0,03083	0,04
M ₁₀	100	68	mg/l	0,0089	0,02303	0,03
M ₁₁	110	34	mg/l	0,0044	0,01742	0,02
M ₁₂	120	20	mg/l	0,0026	0,01334	0,02

Fuente: Elaboración propia, 2023

El comportamiento de la DBO₅ durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales industriales jabonosas, tuvo una duración de cuatro meses (noviembre a marzo) con un tiempo de retención de 3 días, se monitoreo cada semana observando

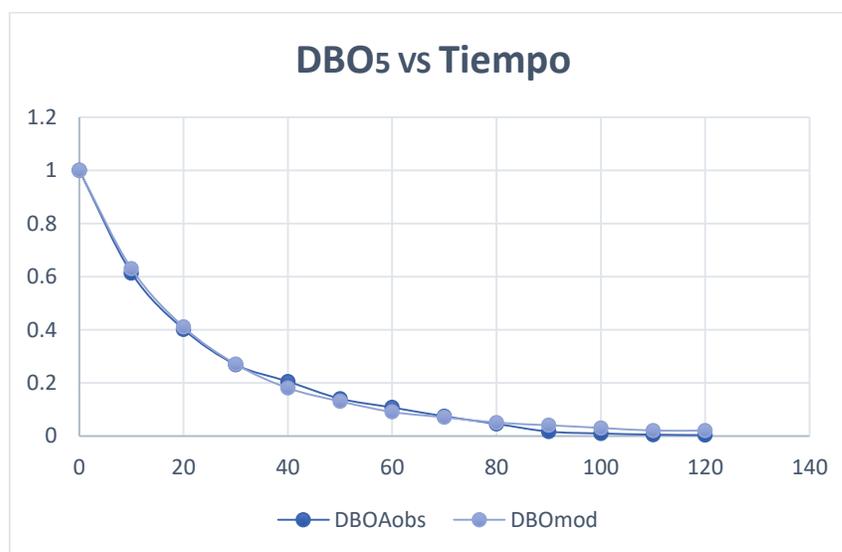
resultados descendientes con valores desde 7630 mg/l hasta 20 mg/l en el punto día final.

Empleando el Modelo de Fair, se determinó la cinética de la velocidad para este parámetro.

Ecuación cinética:

$$Se = \frac{Sa}{(1 + nKt)^{1/n}}$$

La sinterización de los datos y la ecuación de la cinética química se ven plasmados en la Figura IV-1, donde se observa la degradación de la DBO₅ con respecto al tiempo total del proceso de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura IV-1. – Comportamiento de DBO₅

Considerando los 3 días de retención de agua residual en el biofiltro, al observar atentamente la curva de la figura IV-1 de eliminación de DBO₅.

En general, esto se debe principalmente al uso del coagulante sulfato de aluminio que removió un 80% aproximadamente de DBO₅, las plantas macrofitas (totoras) que es

buen absorbente de materia orgánica y el aumento de aire que se inyecta en el tanque de oxigenación. Recordemos que el oxígeno es un factor muy importante en el tratamiento de aguas residuales, especialmente para aguas residuales con bastante materia orgánica, porque el oxígeno disuelto en el medio es casi nulo.

- **DQO**

Tabla IV-6. Comportamiento de DQO

<i>ID</i>	<i>T</i> (días)	<i>Resultados Lab</i> <i>DQO</i>	<i>Unid</i>	<i>DQO</i> <i>Val Absoluto</i>	<i>DQO</i> <i>Val Adimensional</i>	<i>DQO</i> <i>Modelo Fair</i>
M°	0	42455	mg/l	1	1	1
M ₁	10	25122	mg/l	0,5917	0,61036	0,58
M ₂	20	13702	mg/l	0,3227	0,38592	0,34
M ₃	30	9384	mg/l	0,2210	0,25159	0,2
M ₄	40	5692	mg/l	0,1340	0,16846	0,12
M ₅	50	2941	mg/l	0,0692	0,11550	0,07
M ₆	60	1535	mg/l	0,0361	0,08086	0,05
M ₇	70	1124	mg/l	0,0264	0,05769	0,03
M ₈	80	917	mg/l	0,0215	0,04185	0,02
M ₉	90	382	mg/l	0,0089	0,03083	0,01
M ₁₀	100	102	mg/l	0,0024	0,02303	0,01
M ₁₁	110	70	mg/l	0,0016	0,01742	0
M ₁₂	120	33	mg/l	0,0007	0,01334	0

Fuente: Elaboración propia, 2023

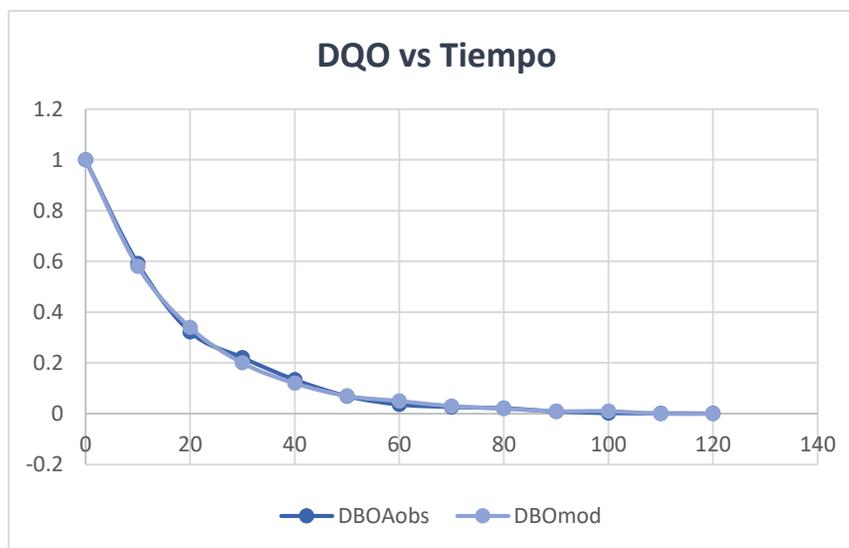
El comportamiento del DQO durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales industriales jabonosas, tuvo una duración de cuatro meses (noviembre a marzo) con un tiempo de retención de 3 días, se monitoreo cada semana observando resultados descendientes con valores desde 42455 mg/l hasta 33 mg/l en el punto día final.

Empleando el Modelo de Fair, se determinó la cinética de la velocidad para este parámetro.

Ecuación cinética:

$$Se = \frac{Sa}{(1 + nKt)^{1/n}}$$

La sinterización de los datos y la ecuación de la cinética química se ven plasmados en la Figura IV-2, donde se observa la degradación de la DQO con respecto al tiempo total del proceso de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura IV-2. – Comportamiento de DQO

Como podemos ver en el Gráfico IV-2 se tomaron 13 muestras cada 10 días de las cuales la primera corresponde al agua residual jabonosa y los restantes de agua filtrada, este estudio se lo realizó durante los 4 meses que duro el proceso de tratamiento, según los datos obtenidos por los análisis de laboratorio la demanda química de oxígeno (DQO) varía en relación al resultado de agua cruda.

En general, esto se debe principalmente al uso del coagulante sulfato de aluminio, las plantas macrofitas (totoras) que es buen absorbente de materia orgánica y el aumento de aire que se inyecta en el tanque de oxigenación. Recordemos que el oxígeno es un factor muy importante en el tratamiento.

- **Grasas y aceites**

Tabla IV-7. Comportamiento de Grasas y Aceites

<i>ID</i>	<i>T</i> (días)	<i>Resultados Lab</i> <i>GyA</i>	<i>Unid</i>	<i>GyA</i> <i>Val Absoluto</i>	<i>GyA</i> <i>Val Adimensional</i>	<i>GyA</i> <i>Modelo Fair</i>
M°	0	858	mg/l	1	1	1
M ₁	10	605	mg/l	0,7051	0,61036	0,69
M ₂	20	436	mg/l	0,5081	0,38592	0,48
M ₃	30	300	mg/l	0,3496	0,25159	0,33
M ₄	40	195	mg/l	0,2272	0,16846	0,23
M ₅	50	119	mg/l	0,1386	0,11550	0,16
M ₆	60	78	mg/l	0,0909	0,08086	0,11
M ₇	70	50	mg/l	0,0582	0,05769	0,08
M ₈	80	37	mg/l	0,0431	0,04185	0,05
M ₉	90	23	mg/l	0,0268	0,03083	0,04
M ₁₀	100	12	mg/l	0,0139	0,02303	0,03
M ₁₁	110	5	mg/l	0,0058	0,01742	0,02
M ₁₂	120	<1	mg/l	0	0,01334	0,01

Fuente: Elaboración propia, 2023

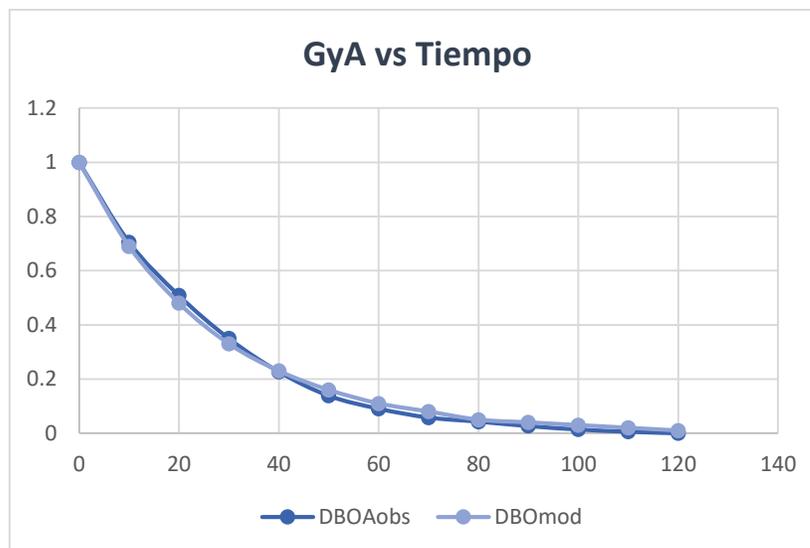
El comportamiento de la remoción de las grasas y aceites durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales industriales jabonosas, tuvo una duración de cuatro meses (noviembre a marzo) con un tiempo de retención de 3 días, se monitoreo cada semana observando resultados descendientes con valores desde 858 mg/l hasta <1 mg/l en el punto día final.

Empleando el Modelo de Fair, se determinó la cinética de la velocidad para este parámetro.

Ecuación cinética:

$$Se = \frac{Sa}{(1 + nKt)^{1/n}}$$

La sinterización de los datos y la ecuación de la cinética química se ven plasmados en la Figura IV-3, donde se observa la remoción de las grasas u aceites con respecto al tiempo total del proceso de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia,2023

Figura IV-3. – Comportamiento de GyA

En la Tabla IV-7 se muestran los resultados de la remoción de grasas y aceites después del proceso de tratamiento teniendo un porcentaje de remoción elevado en el primer tanque mediante la coagulación con sulfato de aluminio. El cual se puede evidenciar en la figura IV-3.

A partir de la concentración que sale al proceso y la que sale del pretratamiento se remueve casi en su totalidad la cantidad de grasas y aceites, por lo que se estima que se trabajó de forma correcta, controlando la cantidad de materia orgánica presente.

- Nitrógeno Total

Tabla IV-8. Comportamiento de Nitrógeno Total

<i>ID</i>	<i>T</i> (días)	<i>Resultados Lab</i> <i>N_T</i>	<i>Unid</i>	<i>N_T</i> <i>Val Absoluto</i>	<i>N_T</i> <i>Val Adimensional</i>	<i>N_T</i> <i>Modelo Fair</i>
M ^o	0	96	mg/l	1	1	1
M ₁	10	84	mg/l	0,875	0,61036	0,87

M ₂	20	73	mg/l	0,7604	0,38592	0,75
M ₃	30	62	mg/l	0,6458	0,25159	0,65
M ₄	40	59	mg/l	0,6145	0,16846	0,56
M ₅	50	51	mg/l	0,5312	0,11550	0,49
M ₆	60	48	mg/l	0,5	0,08086	0,42
M ₇	70	34	mg/l	0,3541	0,05769	0,37
M ₈	80	30	mg/l	0,3125	0,04185	0,32
M ₉	90	25	mg/l	0,2604	0,03083	0,28
M ₁₀	100	19	mg/l	0,1979	0,02303	0,24
M ₁₁	110	13	mg/l	0,1354	0,01742	0,21
M ₁₂	120	11	mg/l	0,1145	0,01334	0,18

Fuente: Elaboración propia, 2023

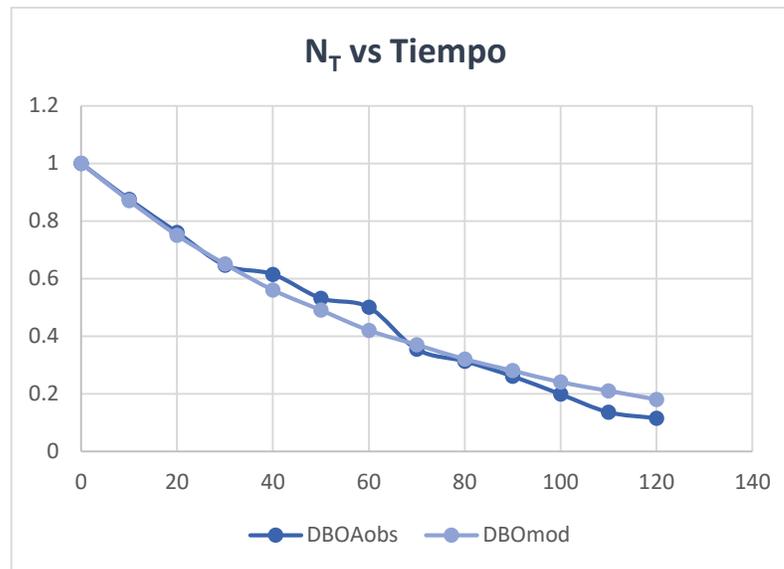
El comportamiento de la reducción de Nitrógeno total durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales industriales jabonosas, tuvo una duración de cuatro meses (noviembre a marzo) con un tiempo de retención de 3 días, se monitoreo cada semana observando resultados descendientes con valores desde 96 mg/l hasta 11 mg/l en el punto día final.

Empleando el Modelo de Fair, se determinó la cinética de la velocidad para este parámetro.

Ecuación cinética:

$$Se = \frac{Sa}{(1 + nKt)^{1/n}}$$

La sinterización de los datos y la ecuación de la cinética química se ven plasmados en la Figura IV-4, donde se observa la remoción de Nitrógeno total con respecto al tiempo total del proceso de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura IV-4. – Comportamiento de N_T

Considerando los 3 días de retención de agua residual en el biofiltro, al observar atentamente la curva de la figura IV-4 de eliminación de N_T .

En general, esto se debe principalmente las plantas macrofitas (totoras) que son buenas absorbentes de nitrógeno y el aumento de aire que se inyecta en el tanque de oxigenación. Recordemos que el oxígeno es un factor muy importante en el tratamiento de aguas residuales, especialmente para aguas residuales con bastante materia orgánica, porque el oxígeno disuelto en el medio es casi nulo.

- **Sólidos Totales**

Tabla VI-9. Comportamiento de Sólidos totales

<i>ID</i>	<i>T</i> (días)	<i>Resultados Lab</i> <i>S_T</i>	<i>Unid</i>	<i>S_T</i> <i>Val Absoluto</i>	<i>S_T</i> <i>Val Adimensional</i>	<i>S_T</i> <i>Modelo Fair</i>
M ^o	0	20858	mg/l	1	1	1
M ₁	10	15942	mg/l	0,7643	0,61036	0,7
M ₂	20	11846	mg/l	0,5679	0,38592	0,49
M ₃	30	7820	mg/l	0,3749	0,25159	0,34

M ₄	40	4573	mg/l	0,2192	0,16846	0,24
M ₅	50	2335	mg/l	0,1119	0,11550	0,17
M ₆	60	1300	mg/l	0,0623	0,08086	0,12
M ₇	70	969	mg/l	0,0464	0,05769	0,08
M ₈	80	705	mg/l	0,0337	0,04185	0,06
M ₉	90	498	mg/l	0,0238	0,03083	0,04
M ₁₀	100	279	mg/l	0,0133	0,02303	0,03
M ₁₁	110	92	mg/l	0,0044	0,01742	0,02
M ₁₂	120	34	mg/l	0,0016	0,01334	0,02

Fuente: Elaboración propia, 2023

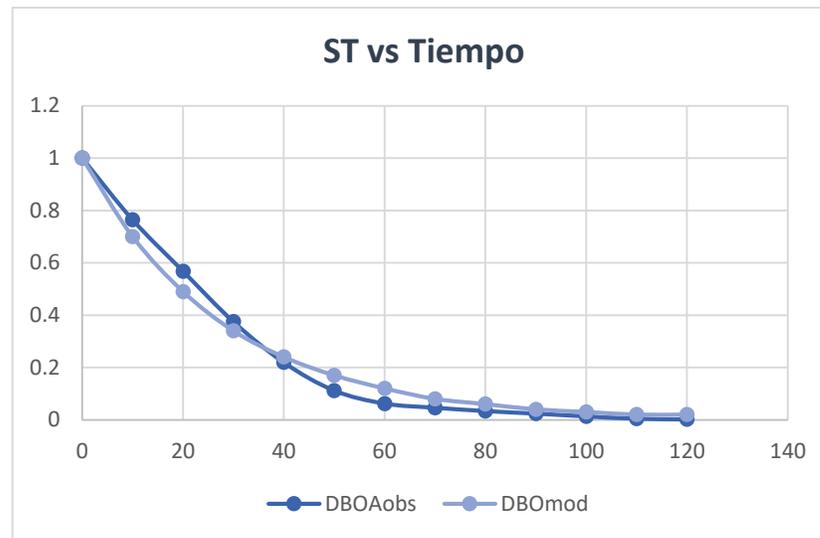
El comportamiento de la reducción de Sólidos durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales industriales jabonosas, tuvo una duración de cuatro meses (noviembre a marzo) con un tiempo de retención de 3 días, se monitoreo cada semana observando resultados descendientes con valores desde 20858 mg/l hasta 34 mg/l en el punto día final.

Empleando el Modelo de Fair, se determinó la cinética de la velocidad para este parámetro.

Ecuación cinética:

$$S_e = \frac{S_a}{(1 + nKt)^{1/n}}$$

La sinterización de los datos y la ecuación de la cinética química se ven plasmados en la Figura IV-5, donde se observa la remoción de Sólidos totales con respecto al tiempo total del proceso de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura IV-5. – Comportamiento de ST

Los resultados de los Sólidos Totales han sido favorables en todo el proceso de tratamiento, La curva de descenso que se muestra en la figura IV-5 se determina que gracias a la aplicación del coagulante sulfato de aluminio y el filtro de grava se retiene más del 88% de sólidos suspendidos en el agua.

Eficiencia del proceso de Biofiltración

Basados en los resultados obtenidos del análisis de aguas residuales industriales jabonosas empleando en las instalaciones de la Planta de embotellado de GLP que está ubicado en la Zona El Portillo en Tarija, los análisis efectuados son físico-químico y físicos. Se realizó el muestreo del agua al ingreso y a la salida del biofiltro (agua tratada), este muestreo nos permitió dar cuenta el tipo de calidad de agua y la eficiencia del biofiltro con el uso de grava y especies vegetales totora.

El sistema puede fallar en un momento o la calidad de efluente puede deteriorarse, para determinar o conocer las causas del problema y que acción tomar es aconsejable llevar a cabo un monitoreo y un programa de evaluación para poder verificar su eficiencia.

Dicha evaluación va dirigida a la medición de calidad del efluente y un análisis de los parámetros de control con el propósito de mejorar los procesos del biofiltro, en

conclusión, esta evaluación busca mejorar su funcionamiento, el cual debe basarse en un diagnóstico, frecuencia de muestreo, en el resultado de los parámetros analizados, en análisis y evaluación de resultados.

4.4 Calculo de la eficiencia del biofiltro

$$\eta_{Reactor} = \frac{(A\ Reactor)_{Entrada} - (A\ Reactor)_{Salida}}{(A\ Reactor)_{Entrada}} * 100$$

$$\eta_{Reactor} = \frac{1000\ Lt - 44\ Lt}{1000\ Lts} * 100$$

$$\eta_{Reactor} = 95.6\ \%$$

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a una evaluación de los resultados de las pruebas experimentales realizadas previamente, después y durante 4 meses del tratamiento de las aguas residuales industriales jabonosas de la planta de embotellado de GLP YPFB “El Portillo” mediante la operación de un Biofiltro a escala laboratorio la cual confirmó el grado de tratamiento que se le dio al agua residual para reusarla en la preparación de lubricante del encadenado para el funcionamiento de PLEG.

Se realizó el análisis físico-químico de las muestras de agua residual directamente tomadas de la zona de descarga para conocer el punto de partida de los parámetros, y observar como estos fueron cambiando después del tratamiento.

Se realizó la ejecución de la fase experimental en el sistema de tratamiento a escala laboratorio con una previa adecuación y mantenimiento a los tanques de sedimentación y oxigenación, así como del biofiltro en instalaciones del Distrito Comercial Tarija específicamente en la planta de embotellado de GLP. La duración del trabajo experimental de muestreo y tratamiento de agua residual fue de 120 días calendario, los análisis de los parámetros se realizaron en laboratorio sin mayores complicaciones y otros se solicitaron al laboratorio del CEANID y Lab PCB Ambiental S.RL.

Se logró estabilizar un sistema microbiológico anaerobio, sin inóculo, en 120 días de operación aproximadamente. La presencia de un soporte poroso (grava), un material que permita buena adherencia a las biopelículas, permite una mayor remoción de carga orgánica, ST y de NT.

El sistema operativo para el tratamiento de las aguas residuales a escala laboratorio demuestra que se pueden tratar las aguas residuales de la planta de embotellado de GLP con buena eficiencia, tal como se muestra en la siguiente lista de porcentajes de remoción del sistema de tratamiento: cuando se toman valores promedio de entrada y

salida. del sistema implementado frente a los límites permitidos de descarga de líquidos a cuerpos de agua superficiales:

Tabla V-1. Lista de valores

PARÁMETRO	UNIDADES	RMCH: Límites permisibles para descargas líquidas	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA %
DBO ₅	(mg/l)	< 20	7630	20	99.73
DQO	(mg/l)	< 40	42455	33	92.92
Grasas y aceites	(mg/l)	0.3	858	0	88.54
N _T	(mg/l)	12 c.N.	96	11	93.83
S _T	(mg/l)	<50	20858	34	99.41
pH	(mg/l)	6 a 9	8.6	6.8	-

Fuente: Elaboración propia, 2023

Uno de los elementos importantes para reducir la carga contaminante orgánica y microbiológica fue el coagulante sulfato de aluminio donde la dosis óptima del coagulante, las cuales fueron 100 mg/l y 120 mg/l donde se obtiene mayores porcentajes de remoción de carga contaminante, para el cual se calculó la eficiencia de remoción, obteniendo en promedio los siguientes resultados: parámetro Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se obtuvo una eficiencia de 73.79% y el parámetro Demanda química de oxígeno (DQO) se obtuvo 66.26% de eficiencia. A una temperatura promedio de 20 C° y potencial de hidrógeno (pH) 7.5 en el tanque 01.

De acuerdo a los resultados expuestos se observa que en los parámetros de DBO₅, DQO, NT, ST y pH logra ingresar al rango de clase C, como la norma establece.

Por otra parte, se ha logrado estabilizar el pH, lo cual contribuye a una disminución en la alcalinidad, misma que un inicio se tenía un valor de 8.6 y se obtiene estabilizar en un valor de 6.8, disminuyendo la capacidad para que el agua residual afecte negativamente a la flora y fauna acuática, aumentando de esta manera la autodepuración del agua en los cursos superficiales de agua.

Según análisis obtenidos en el estudio planteado, se concluye que el mantenimiento del Biofiltro debe efectuarse cada 20 días, antes de cada mes, ya que pasado estos días se va observando y comprobando que existe un cambio de color en el agua residual hasta enturbiarse, además de una mayor salida de sólidos totales, considerando de esta manera que el mantenimiento se realice cada 20 días.

El mantenimiento del tanque de almacenamiento, coagulación y sedimentación se hizo cada 10 días cuando es nuevamente alimentado y puesto para su funcionamiento.

El sistema de tratamiento propuesto, actúa eficientemente en la decoloración del agua residual jabonosa, por cuanto de una coloración gris-amarillo, pasa a ser incolora, lo cual favorece la posibilidad de uso posterior en la preparación del lubricante para el encadenado de la planta de GLP.

Los deflectores instalados al interior del Biofiltro coadyuvan a una adecuada distribución del agua al interior del Biofiltro, reduciendo las posibilidades de zonas muertas, a la vez que garantiza que el tiempo de retención sea similar para todo el fluido sin que haya adelantamientos o retrasos en el mismo, lo que aumenta la posibilidad de remoción de los contaminantes.

Para la elaboración del informe de resultados de los análisis de aguas residuales personal de SMS del DCTJ, participo en el proceso del tratamiento de aguas de la planta de GLP, de esta forma asegurando que no exista ninguna interferencia en los resultados obtenidos.

5.2 RECOMENDACIONES

Siendo que el recurso hídrico es un factor ambiental fundamental para cualquier organismo vivo, es imprescindible velar por su conservación y uso responsable, así mismo contar con mecanismos que permitan su reutilización, por lo que el presente estudio presenta una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, concluido el proyecto se brinda las siguientes recomendaciones:

-La implementación de un biofiltro como sistema aerobio para el tratamiento de las aguas residuales de la planta de engarrafado de GLP, es recomendable desde los puntos ambiental, tecnológico y económico, por cuanto en la experiencia realizada se adaptó

una tecnología que es compatible al proceso productivo, amigable con el ambiente, además que requiere de un mantenimiento fácil, liviano en poco tiempo , su inversión es muy inferior a diferencia de otros procesos de depuración y a los resultados que se obtienen.

-Preparar y capacitar al personal encargado del saneamiento ambiental, haciendo énfasis en el recurso hídrico ya que es un bien valioso en la actividad humana y para la definición de medidas que reduzcan la contaminación hacia los cuerpos receptores.

-Se recomienda realizar la inversión e instalación de un sistema de tratamiento para la planta de engarrafado de GLP YPFB “El Portillo”.

-Es importante continuar con los trabajos de investigación para optimizar los parámetros de diseño del proceso, a la par de mejorar el conocimiento sobre la cuantificación de la flora microbiana presente alrededor de la grava empleada como relleno y la forma como actúan en la remoción de la carga contaminante.

-El presente trabajo sirve de base para un proyecto real, sin embargo, de implementarse el mismo, es necesario hacer: un muestreo compuesto durante 24 horas (o dependiendo si la ciudad tiene una cámara de bombeo, en tal situación, sólo se hace hasta la hora donde la cámara de bombeo funciona), hacer un estudio de mecánica de suelos y un levantamiento topográfico para conocer el terreno.

-Para poder llevar a cabo este proceso de biofiltración es necesario la separación de sistema de depuración de aguas tanto residuales industriales como la de aguas residuales sanitarias que provienen de la planta de engarrafado como tal, ya que el mismo al mezclarse no podrán hacer posible la ejecución de dicho trabajo.

-De acuerdo a los resultados alcanzados en la investigación y a la normativa ambiental boliviana, el agua residual que ingresa a una planta de tratamiento que opera a través de un proceso aerobio y que cuenta con un biofiltro, es recomendable para usos posteriores de riego y actividades recreativas, tal como lo exige la normativa ambiental boliviana.