

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1.Introducción

1.1.1. Antecedentes

Dentro el Marco del Convenio de Cooperación Interinstitucional Internacional (CCII) firmado el 29 de julio de 2016, entre el MMAyA y la Compañía Privada Coreana Rothwell, en fecha 19 de abril de 2018 en la ciudad de Seúl - Corea, se estableció realizar un proyecto de demostración, en la ciudad de Tarija en calidad de donación siendo el mismo una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales de demostración, con tecnología de Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante (CSBR).

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Planta de Demostración y en el marco del Plan de Innovación Tecnológica, el MMAyA/VAPSB solicitará formalmente a Rothwell realizará Estudios Preliminares para la PTAR Tarija. Con este Estudio, tanto el Gobierno de Corea como el Gobierno de Bolivia a través del MMAyA/ VAPSB, podrán iniciar las gestiones correspondientes para la contribución de la tecnología de Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante CSBR, para mejorar la calidad de vida en el Municipio de Tarija, según los alcances de los Estudios.

Realizada la evaluación de todos los barrios que cuentan con Tanques Sépticos, se eligió el Barrio “Catedral”, para la construcción de la Planta de Demostración, el cual tiene la siguientes Coordenadas de Ubicación de la Planta: Latitud: 21° 32' 37.12'', Longitud: 64° 45' 32.03''.

De acuerdo al Memorándum de Entendimiento, Rothwell donará una Planta de Aguas Residuales, que tratará 100 m³/día (1.16 l/s)

De acuerdo a la visita realizada, a la ciudad de Tarija, en fecha 03 de mayo del presente, se ubicó el área adecuada para la construcción de la Planta de Demostración de Aguas Residuales, el Barrio que cumple con las características es el Barrio “Catedral”, ubicado

al Sud-Oeste de la ciudad. Este barrio cuenta con un tanque séptico de 100 m³ de capacidad.

De acuerdo a los datos de eficiencia presentados por Rothwell, se tiene buenos resultados en DBO, DQO, SST, T-N y T-P.

1.1.2. Problemática

Actualmente en la Ciudad de Tarija existe el tratamiento de las aguas residuales de la margen izquierda, cuya planta de tratamiento son las lagunas de estabilización, ubicadas en el Barrio San Luis, diseñado para una capacidad de 210 l/s donde actualmente llega un caudal de 350 l/s aproximadamente¹.

En la margen derecha actualmente no hay una planta de tratamiento de aguas residuales, todos los desagües van a las cámaras sépticas y de estas al río Guadalquivir.

Dado el crecimiento de los últimos años de la ciudad de Tarija, la mancha urbana se fue extendiendo hacia lugares topográficamente accidentados, haciendo imposible que con una sola planta de tratamiento a gravedad no se pueda satisfacer las necesidades, por esta razón se deberá pensar en micro plantas con tecnología adecuada ya que se ubicaran en sitios urbanizados.

Siendo el río Guadalquivir nuestra fuente principal de aprovechamiento de aguas para riego entre otras actividades y que se ve afectado ya que la actual planta de tratamiento no cumple con parámetros de vuelco de acuerdo a la normativa vigente (Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Conductividad, Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Sedimentables, Coliformes Fecales, Coliformes Totales), por lo que se está contaminando nuestro valioso río, sumado a los problemas sociales y de salud de los ciudadanos que viven en inmediaciones a la misma, donde se tiene la experiencia y genera malos olores para el medio.

¹ Informe de actividades gestión 2017, calidad del afluente lagunas de estabilización.

Por lo que se implementó en la ciudad de Tarija - barrio Catedral, una nueva tecnología de tratamiento de aguas residuales de última generación: bajo costo, tamaño reducido y fácil operación y mantenimiento

- El proceso del Reactor por Lotes de Secuenciación Modificada (SBR) Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante (CSBR) se desarrolló a principios de la década de 1990 sobre la base de un estudio en profundidad de las ventajas y desventajas de varias tecnologías convencionales.
- El proceso CSBR es adecuado para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales que son susceptibles de proceso biológico para la eliminación de DBO, Nitrógeno Amoniacal (N-NH₃), Nitrógeno Total de Kjendahl (NTK), Nitrato/Nitrito (N-NO₃/NO₂), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT) y Solidos Suspendidos Totales (SST). Desde 1995, el proceso CSBR se ha utilizado en proyectos de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) a nivel internacional.²

En ese entendido se va a aprovechar la implantación de una tecnología denominada CSBR, siendo un proyecto que nace del acuerdo entre el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)/Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB) y Rothwell Water (Korea), que dentro del marco de las regulaciones bolivianas se procederá a transferir la planta a la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Tarija Limitada.³

1.1. Justificación

1.1.1. Académica

Con la construcción de esta planta de tratamiento de demostración automatizada se pretende obtener conocimientos directos sobre la eficiencia de tratamientos del sistema CSBR, así mismo la afinación de los parámetros de diseño y funcionamiento ya que en la actualidad utilizamos parámetros teóricos, siendo los mismos distintos en cada región.

² (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

³ (COSAALT LTDA, 2019)

1.1.2. Técnica

Siendo un aporte esta planta de demostración con esta tecnología tenemos una alternativa más para aportar al avance de una solución a la coyuntura de la problemática general que se ve hoy en día por la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales. Por esto se plantea el diseño de una planta de demostración con la tecnología descrita que permita analizar la eficiencia de la tecnología y coadyuve en la decisión en el diseño de una planta macro.

1.1.3. Social

Implementando esta planta se evitará enfermedades en la población afectada, se perderán los olores y se reducirá el daño al medio ambiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinación de la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en época de lluvias, mediante la demostración con tecnología CSBR desde su construcción, puesta en marcha y funcionamiento en el Barrio Catedral – Tarija (2018 – 2019).

1.2.2. Objetivos específicos

- Levantamiento de la información de beneficiarios.
- Recopilación de la información del diseño de la planta de demostración considerando datos de diseño.
- Participación en la fase constructiva de la planta de demostración con tecnología CSBR.
- Puesta en marcha de la tecnología.
- Verificación de la eficiencia de tratamiento de acuerdo a los parámetros analizados con la normativa vigente en época de lluvias.

- Estimación de los costos en operación y mantenimiento de la planta de demostración.

1.3. Limitaciones del estudio

El presente trabajo es válido solamente para aguas residuales domésticas y para el barrio Catedral de la ciudad de Tarija, para otros lugares sirve como referencia, siendo lo ideal ajustarlo de acuerdo a los parámetros del lugar donde se desea emplear el diseño dado de que las condiciones son diferentes.

CAPÍTULO II

MARCOS DE REFERENCIA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Las Aguas Residuales – Definición

El hombre ha utilizado las aguas no sólo para su consumo, sino, con el paso del tiempo, para su actividad y para su confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos. De aquí surge la denominación de aguas residuales.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como uno de los derechos fundamentales de todo ser humano “el disfrute del grado máximo de salud posible”.

Considera la salud como un “estado completo de bienestar físico, mental y social”, y fija el nivel de salud por el grado de armonía, que exista entre el hombre y el medio que sirve de escenario a su vida.

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio tanto a corto, como a medio y largo plazo; por lo que la prevención y lucha contra ella constituye en la actualidad una necesidad de importancia prioritaria.

Contaminación, a los efectos de la Ley de Aguas, es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

La contaminación de los cuerpos receptores superficiales y subterráneos (ríos, lagos, embalses, acuíferos, mar) tiene su origen en:

- Precipitación atmosférica.
- Escorrentía agrícola y de zonas verdes.
- Escorrentía superficial de zonas urbanizadas.
- Vertidos de aguas procedentes del uso doméstico.

- Descargas de vertidos industriales.

Dentro de las distintas clasificaciones que pueden establecerse de aguas residuales, uno de los esquemas, más generalmente utilizado por su simplicidad, es el que las identifica por su procedencia:

- Drenaje
- Escorrentía
- Domestica
 - Fecales
 - Limpieza
- Industriales
 - Comerciales
 - Industriales
- Agrarias
 - Agrícolas
 - Ganaderas

En base a ello, las aguas contaminadas se clasifican también en:

AGUAS PLUVIALES. Son las aguas de la escorrentía superficial provocada por las precipitaciones atmosféricas (lluvia, nieve, granizo, ...). Se caracterizan por grandes aportaciones intermitentes de caudal, y por una contaminación importante en los primeros 15-30 minutos. Las cargas contaminantes se incorporan al agua al atravesar la atmósfera y por el lavado de superficies y terrenos.

AGUAS BLANCAS. Son aguas procedentes de la escorrentía superficial y de drenajes. Se caracterizan también por grandes aportaciones intermitentes y su contaminación, además de su importancia en los primeros 15-30 minutos de las escorrentías, está igualmente determinada por la aportada con los caudales drenados (aguas salobres, filtraciones de alcantarillado, etc.).

AGUAS NEGRAS O URBANAS. Son aguas recogidas en las aglomeraciones urbanas procedentes de los vertidos de la actividad humana doméstica, o a la mezcla de estas con

las procedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias integradas en dicha aglomeración, y con las de drenaje y esorrentía de dicho núcleo. Sus volúmenes son menores que los de las aguas blancas y sus caudales y contaminación mucha más regulares.

AGUAS INDUSTRIALES. Aguas procedentes de actividades industriales (preparación de materias primas, elaboración y acabado de productos, así como la transmisión de calor y frío).

Con independencia del posible contenido de sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden aparecer en las aguas industriales elementos propios de cada actividad industrial, entre los que pueden citarse: tóxicos, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, productos radioactivos, etc.

AGUAS AGRARIAS. Son aguas procedentes de actividades agrícolas y ganaderas. La denominación de aguas agrícolas se debe reservar a las precedentes exclusivamente de la actividad agrícola, aunque está muy generalizada (impropiamente) su aplicación también a las procedentes de actividades ganaderas. La contaminación de las aguas agrarias es muy importante, perjudicando sensiblemente las características del cauce o medio receptor.

Análogamente a las aguas industriales, las aguas agrarias, además de contenido en sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden contener elementos propios de las actividades agrarias: Fertilizantes, biosidas (plaguicidas, pesticidas, productos fitosanitarios, ...), estiércol, residuos varios, etc. Con respecto a los fertilizantes es importante destacar que antes eran de origen orgánico y hoy han sido casi sustituidos por abonos de origen inorgánico, tales como sulfatos, nitratos, fosfatos, etc., de especial incidencia en la contaminación de las aguas.⁴

⁴ (Manual de Depuración Uralita, 2004, págs. 3-5)

2.1.2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

2.1.2.1. Características físicas

Sólidos. Es la materia sólida contenida en el agua, ya sea disuelta o en suspensión. Los sólidos pueden estar constituidos por materia orgánica, arena, arcillas, materia coloidal, etc.

Olor. Es debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Temperatura. Suele ser más elevada que la del agua de suministro, debido principalmente a la incorporación de aguas con mayor temperatura procedente de los diferentes usos.

Densidad. Se define como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m^3 .

Color. Puede representar el tiempo de existencia del agua residual; se determina cualitativamente en función de su color y olor.

Turbiedad. Se emplea para determinar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales, en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

2.1.2.2. Características químicas

El número de parámetros para analizar, depende de las necesidades propias y de un mínimo establecido por la ley.

El estudio de las características químicas del agua residual, se aborda en cuatro parámetros:

Materia orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Compuestos orgánicos. Son aquellos que en su estructura química contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno.

Medición del contenido de materia orgánica. Los parámetros de mayor utilización para cuantificar materia orgánica son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Materia orgánica. Son sustancias de importancia para la determinación y control de la calidad del agua y se deben tanto al proceso natural del ciclo del agua, como, a las descargas hechas durante el ciclo del uso del agua.

Otros parámetros de gran importancia que caracterizan a las aguas residuales son:

1. Temperatura
2. pH
3. Materia flotante
4. Sólidos Totales (ST)
5. Sólidos sedimentables (SS)
6. Sólidos Suspendidos Totales (SST)
7. Sólidos Disueltos Totales (SDT)
8. Sólidos suspendidos Volátiles (SSV)
9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)
11. Nitrógeno total
12. Nitrógeno amoniacal
13. Nitratos
14. Nitritos
15. Fósforo total
16. Grasas y aceites
17. Sustancias azul de metileno (SAAM)
18. Arsénico
19. Cadmio
20. Sulfato
21. Cianuro
22. Zinc
23. Cobre

24. Mercurio
25. Níquel
26. Plomo
27. Bario
28. Dureza total
29. Sílice
30. Cloruros
31. Azufre
32. Compuestos orgánicos volátiles (COV)
33. Cloro

2.1.2.3. Características biológicas

Los principales grupos de organismos presentes, tanto en aguas residuales como superficiales, se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. Tal y como se muestra en el cuadro 2.1., la mayoría de los organismos pertenecen al grupo de las eubacterias. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.⁵

⁵ (Operación y Mantenimiento de Plantas de tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados, 2013, págs. 5-8)

Cuadro 2. 1. Clasificación de los Microorganismos

| GRUPO | ESTRUCTURA CELULAR | CARACTERIZACIÓN | MIEMBROS REPRESENTATIVOS |
|-------------------------|---------------------------|---|--|
| Eucariotas | Eucariota ^a | Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido. | Plantas (plantas de semilla, musgos y helechos) Animales (vertebrados e invertebrados). |
| | | Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos. | Protistas (algas, hongos y protozoos). |
| E bacterias | Procariota ^b | Química celular parecida a las eucariotas. | La mayoría de las bacterias. |
| Arqueo bacterias | Procariota ^b | Química celular distintiva. | Metanógenos, halófilos, termacidófilos. |

a: Contienen un núcleo definido. b: No contienen membrana nuclear.

Fuente: (Operación y Mantenimiento de Plantas de tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados, 2013)

Cuadro 2. 2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias

| CARACTERÍSTICAS | PROCEDENCIA |
|--------------------------------|---|
| PROPIEDADES FÍSICAS | |
| Color | Aguas residuales domésticas e industriales; degradación natural de materia orgánica. |
| Olor | Agua residual en descomposición; residuos industriales. |
| Sólidos | Agua de suministro; aguas residuales domésticas e industriales; erosión del suelo; infiltración y conexiones incontroladas. |
| Temperatura | Aguas residuales domésticas e industriales. |
| CONSTITUYENTES QUÍMICOS | |
| Orgánicos: | |
| Carbohidratos | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |

| CARACTERÍSTICAS | PROCEDENCIA |
|---|--|
| Grasas animales, aceites y grasa | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| Pesticidas | Residuos agrícolas. |
| Fenoles | Vertidos industriales. |
| Proteínas | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| Contaminantes prioritarios | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| Agentes tenso activos | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| Compuestos orgánicos volátiles | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| Otros | Degradación natural de materia orgánica. |
| | Inorgánicos: |
| Alcalinidad | Aguas residuales domesticas; agua de suministro; infiltración de agua subterránea. |
| Cloruros | Aguas residuales domesticas; agua de suministro; infiltración de agua subterránea. |
| Metales pesados | Vertidos industriales. |
| Nitrógeno | Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas. |
| pH | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| Fosforo | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía. |
| Azufre | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| | Gases: |
| Sulfato de hidrogeno | Descomposición de residuos orgánicos. |
| Metano | Descomposición de residuos orgánicos. |

| CARACTERÍSTICAS | PROCEDENCIA |
|----------------------------------|---|
| Oxígeno | Aguas de suministro; infiltración. |
| CONSTITUYENTES BIOLÓGICOS | |
| Animales | Curso de agua y plantas domésticas. |
| Plantas | Curso de agua y plantas domésticas. |
| PROTISTAS | |
| E bacterias | Aguas residuales domésticas; aguas superficiales; plantas de tratamiento de agua. |
| Arqueo bacterias | Aguas residuales domésticas; aguas superficiales; plantas de tratamiento de agua. |
| Virus | Aguas residuales domésticas. |

Fuente: (Operación y Mantenimiento de Plantas de tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados, 2013)

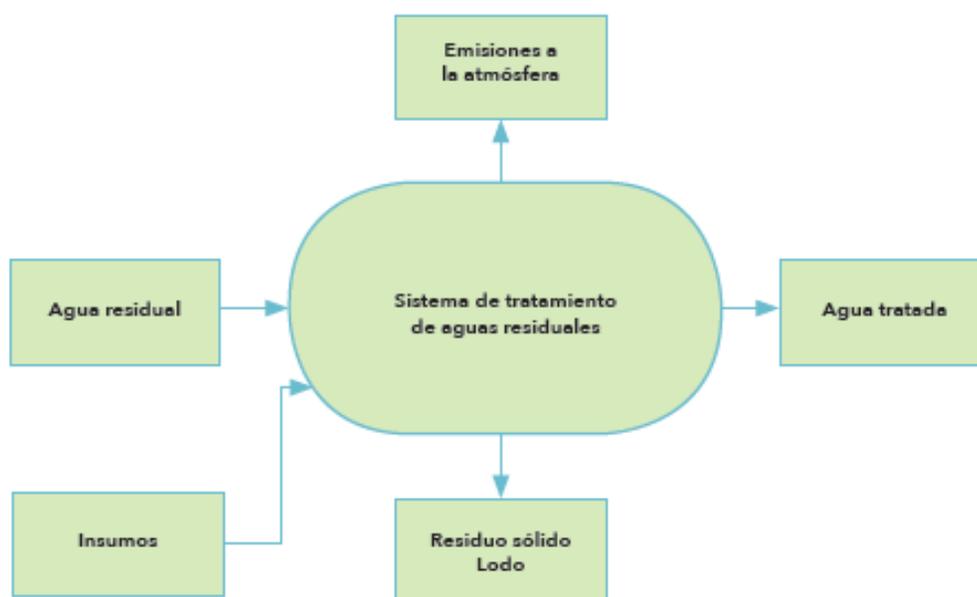
2.1.3. Tratamiento de aguas residuales

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará.

Un esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales se presenta en la Figura 2.1. El objetivo de depurar un agua residual se logra mediante la integración de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos) unitarios, que serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Dependiendo de ello, es posible generar emisiones gaseosas a la atmósfera e, invariablemente, la producción de material de desecho que puede ser un residuo sólido, como la materia retenida en las rejillas o tamices, o semisólido en forma de lodos.

En un sistema de tratamiento de aguas residuales, la ley de la conservación de la materia hace que al retirar de alguna forma el material contaminante del agua residual, éste solo se transforme o transfiera. Por esta simple razón, siempre se producirán residuos, tales como los lodos, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, acompañados por la generación de emisiones gaseosas. Las cantidades y calidad de estos residuos dependerán de las características del agua residual a tratar y evidentemente de la configuración del sistema de tratamiento.

Figura 2. 1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

Por otro lado, los requerimientos de insumos, tales como energía eléctrica y reactivos químicos, se darán en función de las tecnologías seleccionadas para integrar el sistema de tratamiento, y, por ende, el costo de operación dependerá también de ello.

En la Figura 2.2. se esquematiza un abanico de posibilidades tecnológicas para integrar un tren de tratamiento de aguas residuales. En esta figura se resalta la división en dos grandes grupos, los tratamientos fisicoquímicos y los biológicos. Los primeros hacen uso, como su nombre lo indica, de procesos físicos (uso de la gravedad, filtración por retención física, atracción electrostática, etc.) y de procesos químicos (coagulación, absorción,

oxidación, precipitación, etc.). El segundo tipo involucra la degradación o transformación del material orgánico por medio de microorganismos.

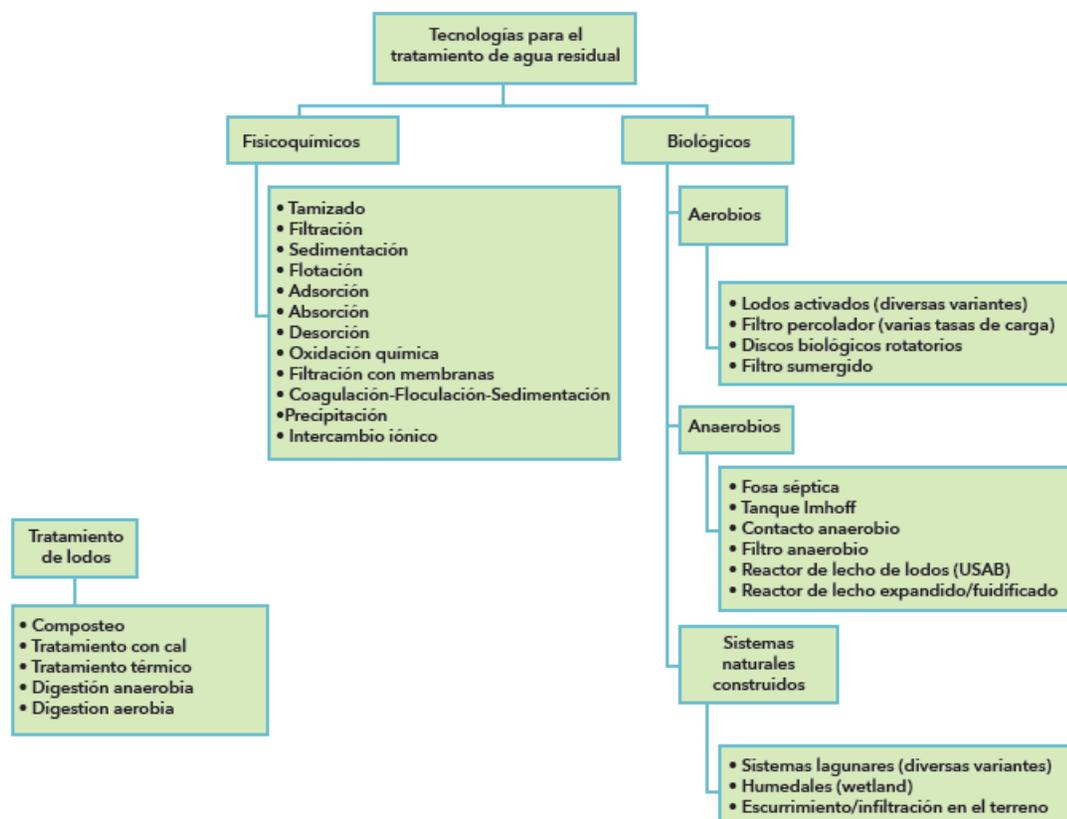
Dentro de los sistemas biológicos existen los sistemas aerobios (requieren oxígeno molecular disuelto) y los anaerobios (funcionan sin oxígeno). Un rubro aparte merecen los sistemas naturales construidos, los cuales aprovechan las transformaciones que se llevan a cabo en el medio natural, solamente que en estas unidades se busca incrementar su capacidad de tratamiento en unidades de proceso controladas. Tal es el caso de los humedales artificiales o el tratamiento mediante descargas directas a suelo.

Por otro lado, los sistemas anaerobios se pueden clasificar en tres generaciones que a su vez se integran según sea el nivel de interacción que posee el microorganismo con el sustrato a degradar (facilidad de transferencia de masa) y la relación entre el tiempo de retención del microorganismo en el sistema (denominado tiempo de retención celular, TRC) y el tiempo de retención hidráulica del sistema (TRH). Más adelante se abundará en esta clasificación.

Es necesario hacer notar que la oferta tecnológica en el mercado es amplia y se presenta bajo distintos nombres o denominaciones que en ocasiones tiene el carácter de marcas registradas. Sin embargo, invariablemente, sabiendo analizar cualquier tipo de sistema de tratamiento presentado bajo una marca registrada o nombre comercial, se podrá clasificar en algún tipo de proceso de tratamiento, o combinación de ellos, presentados en la Figura 2.2.

Como se indicó, los sistemas de tratamiento de agua residual generan lodos que hay que tratar para poder disponer de ellos adecuadamente. En la Figura 2.2. se señalan cinco sistemas de tratamiento de lodos (biológicos y fisicoquímicos) los cuales deben ser integrados con los sistemas de tratamiento de agua residual dentro de lo que se denomina el tren integral de tratamiento de aguas residuales (tratamiento de agua y lodos).

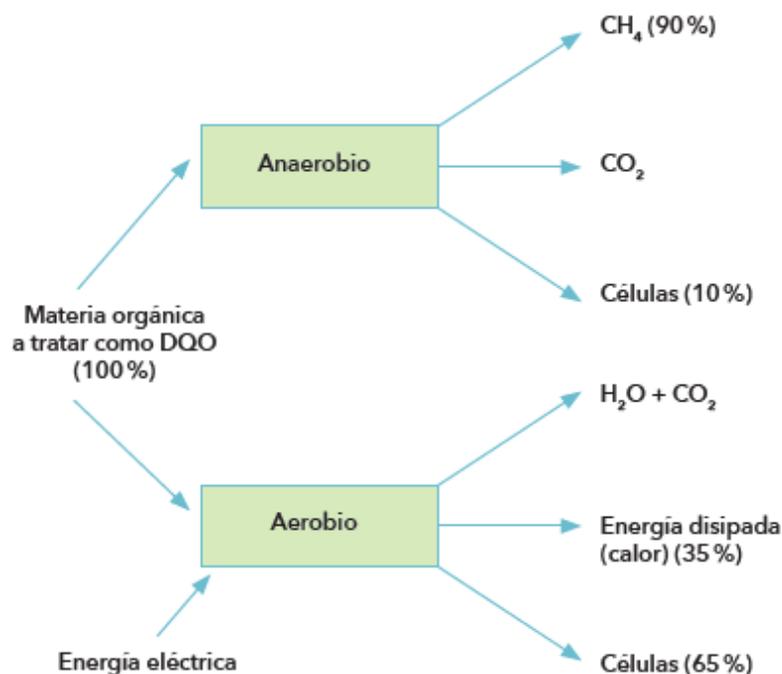
Figura 2. 2. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento las aguas residuales



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

En la Figura 2.3. se presenta un esquema del flujo que sigue la energía química contenida en la materia orgánica contaminante (sustrato), según sea procesada por vía anaerobia o aerobia. En el sistema aerobio, un 65% de la energía producida por el metabolismo microbiano se transforma en nuevas células (denominadas en forma general como lodos) mediante la síntesis (energía de anabolismo). El 35% restante se disipa como resultado de la liberación de energía que acompaña a los procesos vitales de la célula (energía de catabolismo). Estos lodos resultantes deben a su vez ser tratados previamente a su disposición final, lo cual implica costos adicionales importantes. Adicionalmente, para procesar el sustrato por vía aerobia en sistemas mecanizados, es necesario suministrar energía eléctrica para transferir oxígeno al agua y a los microorganismos, lo que se realiza con equipo electromecánico (aireadores mecánicos, compresores).

Figura 2. 3. Esquema del flujo de energía contenida en el sustrato en función del tipo de tratamiento aplicado (caso de sustrato fácilmente biodegradable)



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

Por otra parte, si este mismo sustrato se trata por vía anaerobia, el 90% de la energía contenida en él se encuentra en la molécula de metano, gas combustible que puede ser usado como fuente de energía para generar calor o electricidad, entre otros usos. Es de resaltar que prácticamente no hay consumo de energía para la operación del sistema anaerobio comparado con el sistema aerobio. Además, tan solo el 10% de la energía de sustrato se transforma en lodo, lo cual representa una gran ventaja sobre los sistemas aerobios pues hay hasta seis veces menos masa de lodos que tratar y disponer, lo que reduce significativamente los costos asociados a estos requerimientos.

La ventaja que posee el sistema aerobio sobre el anaerobio, y por lo cual es utilizado ampliamente, es que la calidad del agua tratada es superior al efluente anaerobio y permite cumplir con regulaciones ambientales estrictas. Los efluentes anaerobios mantienen materia orgánica disuelta (demanda química de oxígeno, DQO) y compuestos inorgánicos

en su forma reducida (amonio, sulfuro de hidrógeno), que generan mayores impactos al medio receptor.

Si se deseara utilizar el sistema anaerobio para sacar ventaja de las características antes mencionadas, este sistema debe ser seguido de un sistema aerobio de pulimento para terminar de degradar la materia contenida en el efluente anaerobio y así cumplir con las normas de descarga.

Una configuración del sistema de tratamiento de aguas residuales que considere en primera instancia un sistema anaerobio y en segunda un sistema aerobio acarrea ventajas económicas, sobre todo en lo referente a la operación y mantenimiento, sobre una opción solamente aerobia. El sistema anaerobio removerá alrededor de un 65% de la materia orgánica del agua residual sin requerimientos de energía para aireación; el resto de materia orgánica lo terminará de remover el sistema aerobio, produciendo agua con excelente calidad, y todo ello con una menor producción de lodos de desecho y un biogás que podría ser utilizado en la misma planta.

2.1.4. Tecnologías existentes

Como se ha visto, existe una gran variedad de operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de agua residual (Figura 2). Los componentes individuales de tratamiento se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos o biológicos unitarios. Estas operaciones y procesos unitarios se combinan en los sistemas de depuración de aguas residuales, dando lugar a un tren de tratamiento, como se muestra en la Figura 2.4.

Figura 2. 4. Ejemplos de integración de trenes de tratamiento de aguas residuales



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

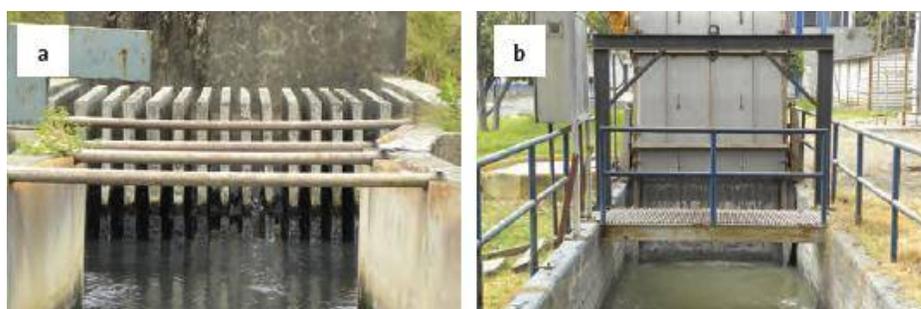
2.1.4.1. Definición de los niveles de tratamiento dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales

El nivel de tratamiento para un agua residual depende del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada, lo que puede estar determinado por alguna normatividad. A continuación, se describen someramente los distintos niveles de tratamiento.

TRATAMIENTO PRELIMINAR

El tratamiento preliminar de un agua residual, como se muestra en la Figura 2.5., se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares. Ejemplo de ello, es la eliminación de componentes de gran y mediano volumen como ramas, piedras, animales muertos, plásticos, o bien problemáticos, como arenas, grasas y aceites. El tratamiento se efectúa por medio de cribas o rejillas, desarenadores, flotadores o desgrasadores. En ciertas ocasiones se emplean trituradores para reducir el tamaño de ciertos desechos y reincorporarlos al tratamiento.

Figura 2. 5. Rejillas y sistemas de desarenado. a) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales, Brasil b) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales Cerro de la Estrella, México



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

TRATAMIENTO PRIMARIO

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Las cifras de

remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario (Figura 2.6.).

Figura 2. 6. Sedimentadores. a) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales, Brasil b) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales Cerro de la Estrella, México



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

TRATAMIENTO SECUNDARIO

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción.

Básicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados de la corriente de agua tratada, normalmente por sedimentación. De esta forma, una sustancia orgánica soluble se transforma en flóculos que son fácilmente retirados del agua. En el caso del agua residual doméstica o municipal, el objetivo principal es reducir el contenido orgánico y, en ciertos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo.

Los procesos biológicos se dividen en dos grupos; los anaerobios y los aerobios. El proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja tasa de síntesis bacteriana, es decir, una baja producción de lodos de desecho. Por lo contrario, en el tratamiento aerobio, una mayor cantidad de energía del sustrato es utilizada para la síntesis celular, por lo que hay una mayor generación de biomasa como lodo no estabilizado, cuyo tratamiento y disposición incrementa la dificultad técnica y el costo del tratamiento. Un esquema simplificado de este flujo de energía del sustrato se presenta en la Figura 2.3.

TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable.

Por lo general, el tratamiento terciario es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas (remoción de nutrientes) o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico. En tal caso, el arreglo de tratamiento terciario debe ser el necesario para alcanzar esa calidad específica, lo cual implica una gran diversidad de posibles combinaciones de operaciones y procesos unitarios.

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DEL LODO

La generación de lodo en cualquier tipo de tratamiento es inevitable y es un factor muy importante que debe ser considerado para una buena elección del proceso de tratamiento. Como se ha mencionado, la ley de la conservación de la materia conduce al hecho que la materia no se crea ni se destruye, solamente se transforma. En el caso de las plantas de tratamiento, los contaminantes se transforman, en parte, en lodo.

Algunos procesos para el tratamiento del lodo son la digestión anaerobia, la digestión aerobia, el composteo mezclado con residuos celulósicos, la estabilización con cal, la incineración y la pasteurización. Como destino final podrán ser desechados en lugares especialmente acondicionados para ello (mono-relleno sanitario) o si la legislación ambiental lo permite, en rellenos sanitarios municipales. Una opción atractiva para la disposición final es el aprovecharlos como mejoradores de suelos o fertilizantes agrícolas,

siempre y cuando cumplan con la normatividad asociada a la producción de biosólidos, nombre como se les conoce a los lodos tratados y acondicionados para su aprovechamiento en tierras.

SISTEMA DE CONTROL DE OLORES

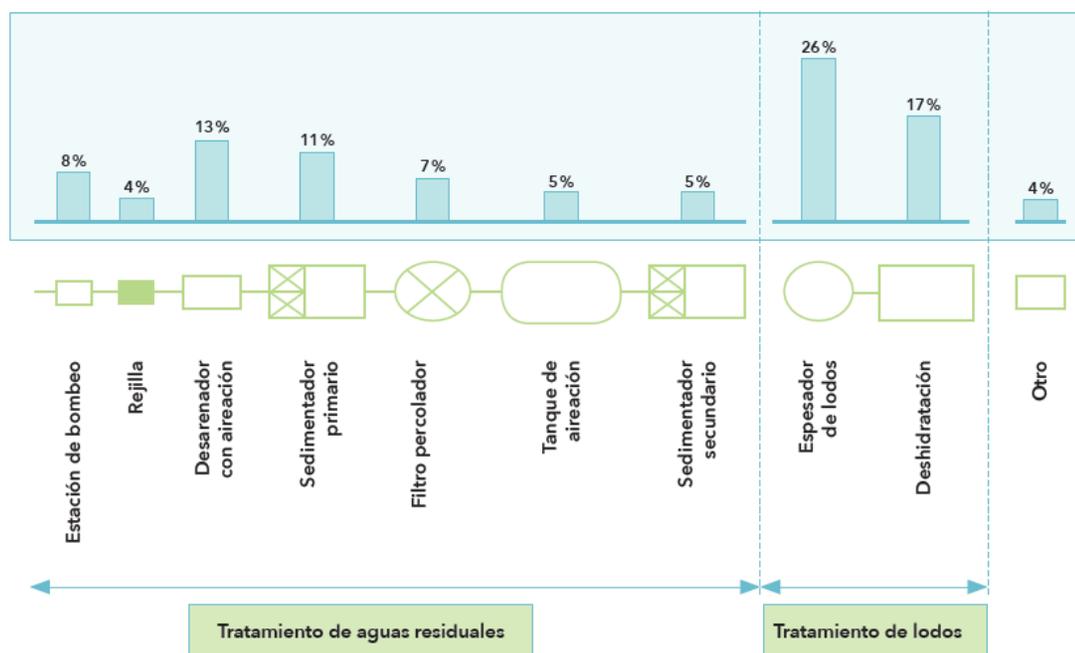
El impacto de los malos olores provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales ha acompañado siempre a estos sistemas. En este sentido, los malos olores son la principal preocupación de la población cuando se habla de la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales cercano a sus domicilios. En los últimos años, la preocupación por los derechos de la población a un ambiente saludable, asociada a la implementación de mejoras en la legislación ambiental se ha incrementado, lo que ha conducido hacia la importancia de minimizar las emisiones de olores en el tratamiento de aguas residuales, especialmente las domésticas o municipales. Este aspecto se ha convertido en un reto significativo en el ámbito del manejo de las aguas residuales.

En un tren de tratamiento completo, las unidades que mayormente se identifican como fuentes potenciales de malos olores son el tratamiento preliminar y el tratamiento de lodos. En un buen número de ocasiones, el problema de olores se da desde la red de drenaje, causando impactos en alcantarillas y cárcamos de bombeo y, obviamente, en la obra de entrada a la planta de tratamiento, lo cual implica que la generación de olores no necesariamente se debe a la planta de tratamiento en sí.

La Figura 2.7. presenta las diversas fuentes de olores en un tren de tratamiento de aguas residuales municipales, con los porcentajes de ocurrencia para cada una de ellas.⁶

⁶ (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013, págs. 7-15)

Figura 2. 7. Principales fuentes de olores en una planta de tratamiento



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

2.1.4.2. Procesos aerobios

PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

Este proceso ha sido y es uno de los más utilizados en el mundo para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico o municipal. Existen alrededor de 13 variantes de lodos activados; los sistemas de flujo pistón, totalmente mezclado de media carga y el de aireación extendida (baja carga) son los más comunes. Una variante particular es el reactor secuencial por lotes (sequencing batch reactor, SBR) que opera en forma discontinua con las etapas de alimentación, reacción, sedimentación y vaciado. La gran ventaja de este sistema es que se lleva a cabo en un solo tanque, el cual cuenta con dispositivos para proveer aeración, mezclado y sedimentación. Este sistema debe contar con al menos dos tanques que funcionen en forma alternada.

En los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digerirán para reproducirse y sobrevivir. Cuando la masa de microorganismo crece y es mezclada con la agitación introducida al tanque por medios

mecánicos o de inyección de aire, ésta tiende a agruparse (floculación) para formar una masa activa de microorganismos denominada lodo activado; a la mezcla de este lodo con el agua residual se llama licor mezclado. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. Una porción del lodo sedimentado debe ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismo y permitir así una adecuada degradación de la materia orgánica.

Debido a que en el tanque de aireación se produce lodo activado por la reproducción de los microorganismos, una cierta cantidad debe ser desechada del sistema con el objeto de mantener constante su concentración en el tanque de aireación; esto es lo que se conoce como lodo de purga. Por otra parte, un requerimiento básico del sistema de lodos activados es su adecuada aireación, que puede ser realizada mediante difusores de aire o aireadores mecánicos.

En el reactor completamente mezclado, las partículas que entran al tanque de aireación son inmediatamente distribuidas en todo el volumen del reactor logrando una homogeneidad completa en el mismo (Figura 2.9.). La concentración de contaminantes en el reactor es, idealmente, la misma en todo el volumen del reactor y por lo tanto en su salida.

Figura 2. 8. Lodos activados, a) Planta de tratamiento de aguas residuales Santa Rosa Jáuregui, México b) Planta de tratamiento de aguas residuales de Coyoacán, México



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

Por su parte, en el reactor con flujo pistón la concentración de materia orgánica es función de su ubicación en el tanque, de longitud considerable en comparación con su profundidad y anchura. Este tipo de reactor se puede concebir teóricamente como una sucesión infinita de tanques totalmente mezclados con volumen diferencial que le confieren una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

El reactor con aireación extendida es similar a uno completamente mezclado excepto en el tiempo de retención hidráulica y celular que es mayor para permitir la digestión del lodo por medio de la respiración endógena. En estos sistemas, se prescinde del sedimentador primario, de forma que la totalidad de la materia orgánica es recibida en el tanque de aeración. La baja carga orgánica y el largo tiempo de residencia de lodos, características de esta variante, permiten alcanzar la estabilización del lodo, mediante un proceso similar al de la digestión aerobia, realizado en forma simultánea al consumo de la materia orgánica del influente. La ventaja de esta variante es que simplifica considerablemente el manejo de lodos, aspecto importante sobre todo en pequeñas plantas de tratamiento. La desventaja inherente es que el costo por energía eléctrica es mayor por unidad de agua tratada en comparación con la variante convencional o completamente mezclada.

Cabe señalar que en años recientes se ha desarrollado tecnología que permite incorporar las ventajas de la biomasa fija a los sistemas de lodos activados. Esta consiste en colocar dentro del tanque de aireación material de empaque de talla pequeña (piezas de 1 a 2 cm de lado o diámetro) y de densidad semejante a la del agua, en un 30 a 40 % del volumen de dicho tanque. Este empaque, que sirve de soporte para la adhesión de microorganismos, se mantiene en suspensión en el licor mezclado por lo cual se mueve en conjunto con él en todo el volumen de aireación. El empaque permite concentrar el microorganismo en el licor mezclado, lo cual hace que el sistema absorba picos orgánicos con mayor facilidad y permita un diseño de tanques con menor volumen. A este sistema se le ha llamado reactor biológico de cama móvil o MBBR por sus siglas en inglés (Moving Bed Bio-Reactor).⁷

⁷ (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013, págs. 17-20)

2.1.4.3. Procesos anaerobios

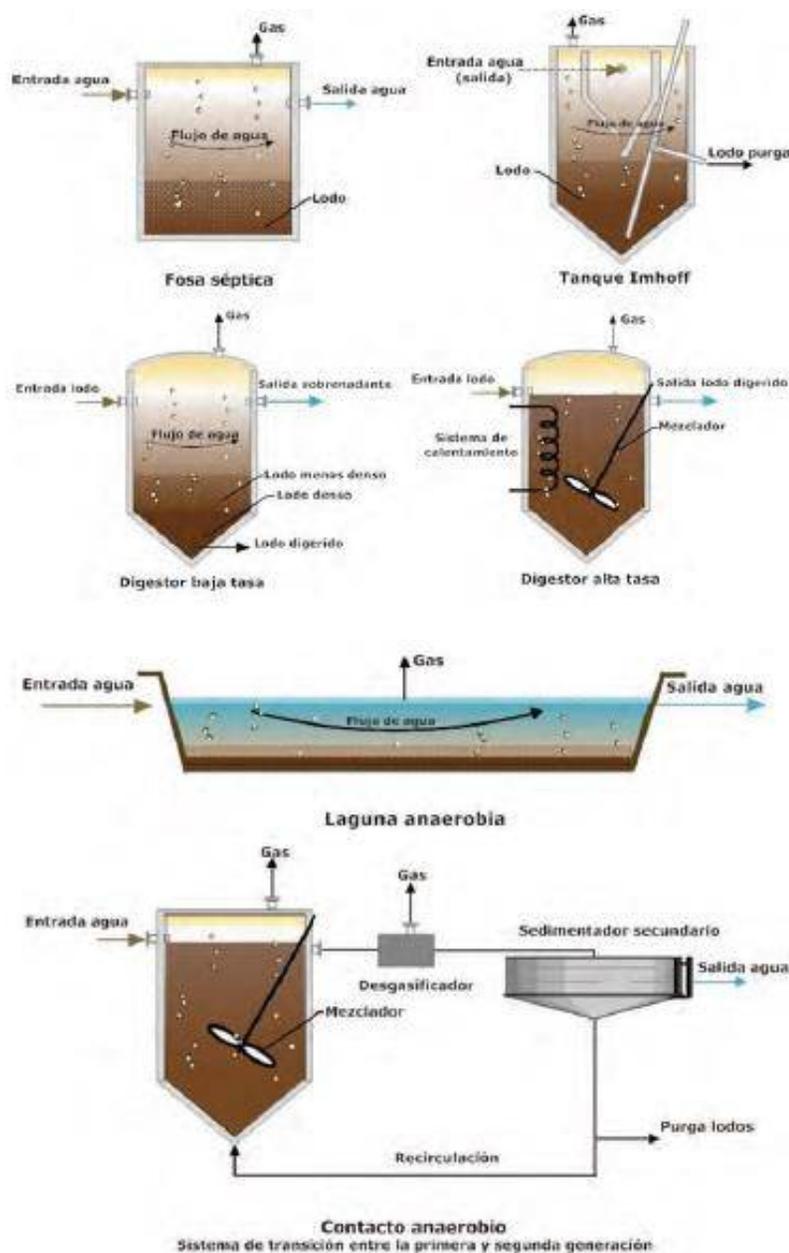
La clasificación común de las diversas configuraciones de reactores anaerobios se hace con base en generaciones, considerando que cada una de ellas tiene características semejantes y que el paso de una a otra se debe a mejoras de proceso que los hacen más compactos y capaces de soportar mayores cargas orgánicas. Básicamente, los reactores de primera generación son sistemas en su mayoría con biomasa sedimentada y sin mezclado, lo que limita grandemente la transferencia de masa (sustrato) entre el medio líquido y los microorganismos (Figura 2.10.). Así mismo, no tienen sistemas para incrementar su temperatura. La excepción en esto es el digestor de alta tasa, que tiene mezcla y sistema de calefacción con el uso del biogás producido. Otra excepción es el sistema conocido como reactor de contacto anaerobio, que viene a ser la variante anaerobia de los lodos activados. Este sistema, al incorporar la mezcla en el reactor y, sobre todo, al contar con un sedimentador de lodos y su recirculación al reactor, es realmente un sistema de transición entre la primera y la segunda generación. La recirculación de los lodos sedimentados permite el control del tiempo de retención celular en el reactor mezclado, lo que resulta en un incremento de la carga orgánica volumétrica a valores superiores a los del resto de los sistemas de la primera generación.

La segunda generación se inicia al lograr retener la biomasa en el sistema mediante la formación de una biopelícula sobre un empaque, o bien por la retención por sedimentación de un lodo denso activo, con la suficiente mezcla en la cama de lodos para favorecer la transferencia de masa (Figura 2.11.). En estos sistemas se incrementa claramente el tiempo de retención celular sobre el tiempo de residencia hidráulica, lo que se traduce en reactores más compactos y capaces de recibir una mayor carga orgánica volumétrica.

En la tercera generación se avanza en la transferencia de masa del sistema al incorporar una alta velocidad de flujo ascendente en el reactor, lo que, aunado a la elevada producción de biogás, resultado a su vez de la mayor carga volumétrica que pueden recibir estos reactores, provoca una fuerte mezcla en la cama de lodos, alcanzando su expansión y fluidificación (Figura 2.12.).

A continuación se presenta una breve descripción de los reactores anaerobios presentados en las Figuras 2.10., 2.11., 2.12.⁸

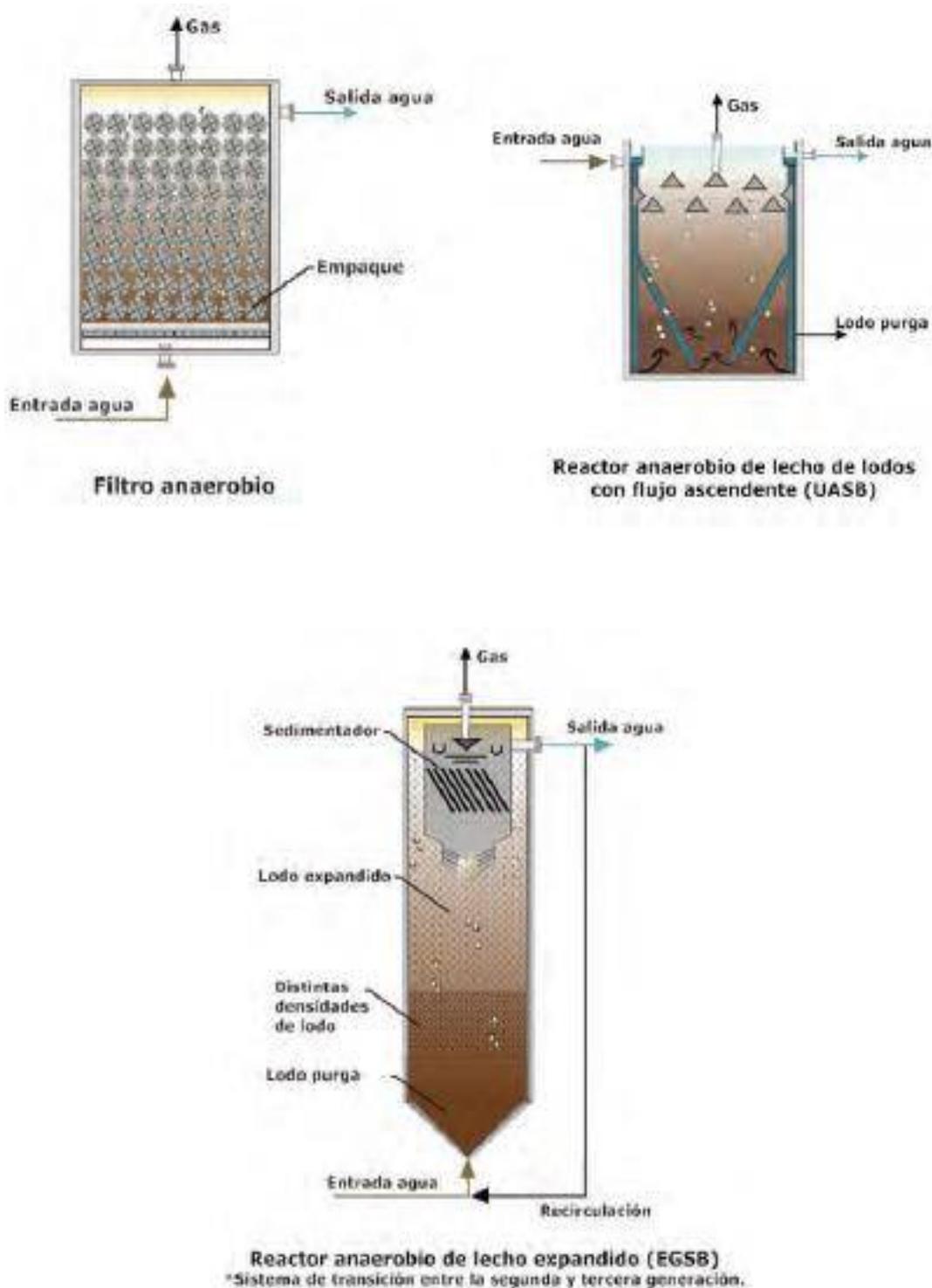
Figura 2. 9. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales primera generación



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

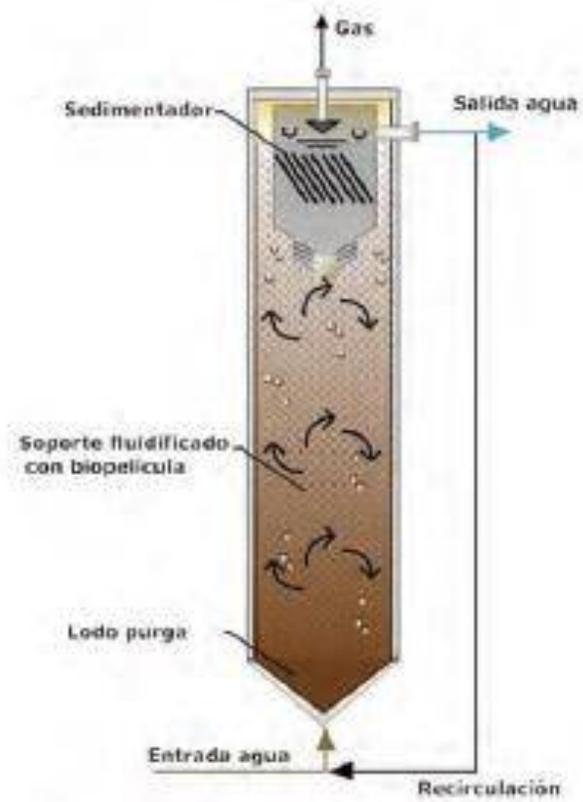
⁸ (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013, págs. 23-24)

Figura 2. 10. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales segunda generación



Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

Figura 2. 11. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales tercera generación



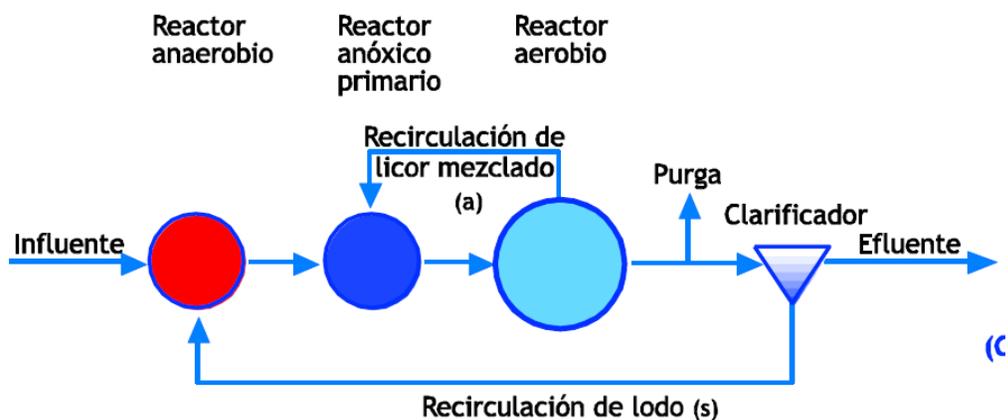
Reactor anaerobio de lecho fluidificado (100% expandido)

Fuente: (Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013)

2.1.5. Procesos convencionales de Eliminación Biológica de Nutrientes (BNR)

Figura 2. 12. Bardenpho Modificado de 3 etapas (A2O)

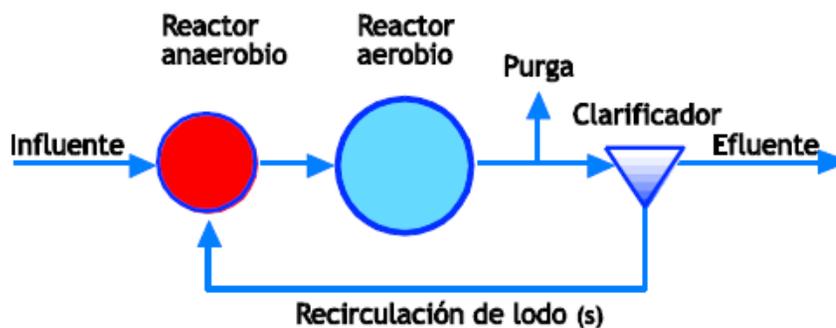
(A) Bardenpho Modificado de 3 etapas (A2O)



Fuente: (Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, 2017)

Figura 2. 13. Phoredox (A/O)

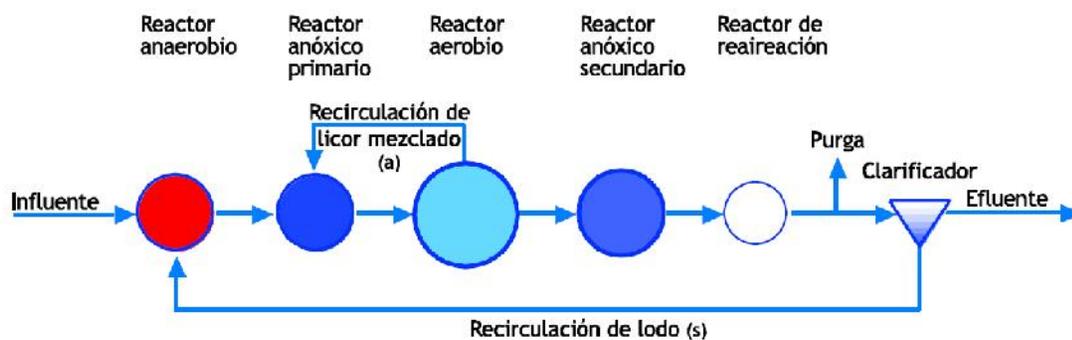
(B) Phoredox (A/O)



Fuente: (Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, 2017)

Figura 2. 14. Bardenpho Modificado de 5 etapas

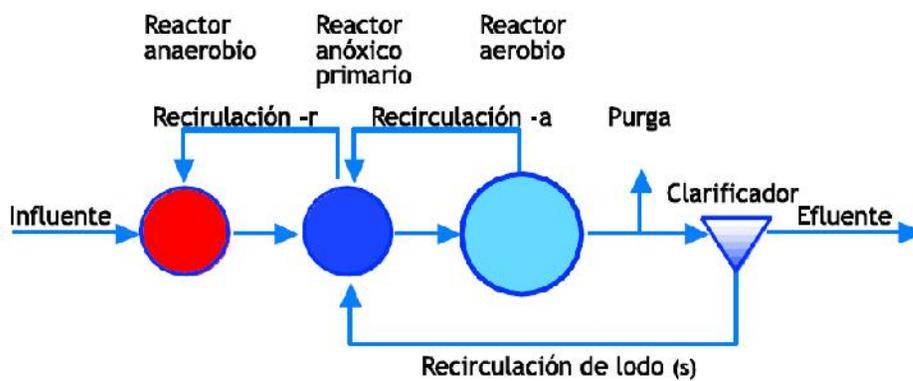
(C) Bardenpho Modificado de 5 etapas



Fuente: (Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, 2017)

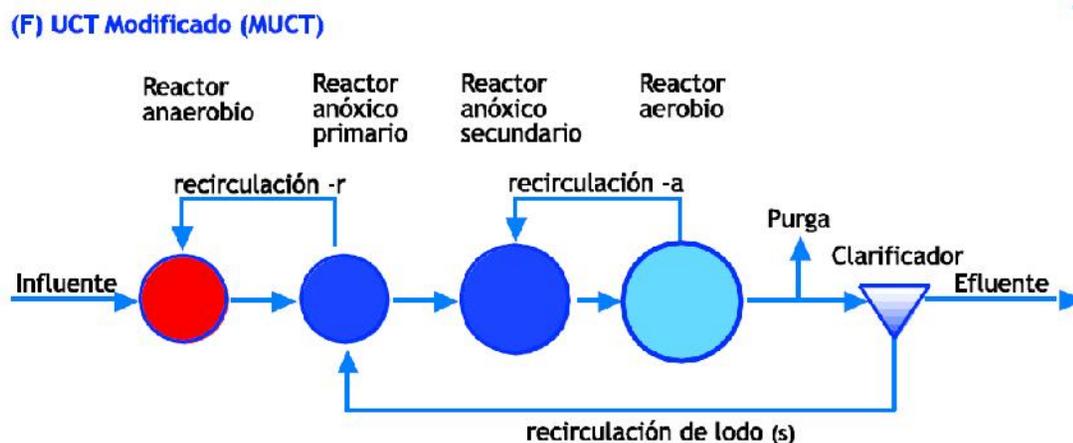
Figura 2. 15. UCT (VIP)

(E) UCT (VIP)



Fuente: (Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, 2017)

Figura 2. 16. MUCT (UCT Modificado)



Fuente: (Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, 2017)

2.1.5.1. Bardenpho Modificado

Aunque a principios de los 70s el fenómeno de remoción biológica de P había sido observado en un número de plantas a escala completa (Vacker et al., 1967; Scalf et al., 1969; Witherow, 1970; Milbury et al., 1971), y el primer sistema EBPR comercial (PhoStrip) había sido desarrollado, existía poca confianza de que los sistemas EBPR fueran tecnologías con aplicación potencial práctica. Mulbarger (1970) fue muy lejos al afirmar que "el diseño de plantas de tratamiento de lodos activados especializadas para un alto nivel de remoción de P deben ser evitadas y debe considerarse un efecto adicional positivo cuando esto ocurre". Sin embargo, de las investigaciones realizadas a mitad de la década de los 70s (Fuhs and Chen, 1975; Barnard, 1974a, b, 1975a, b, 1976a, b) una conclusión emergió y permitió que los sistemas con EBPR se explotaran ampliamente: la remoción biológica de P es estimulada cuando los organismos del lodo activado están sujetos a una secuencia de condiciones anaerobias y aerobias. Sin embargo, el diseño y la operación de la fase anaerobia es la que presenta problemas mayores.

En una investigación microbiológica, Fuhs y Chen (1975) concluyeron que los fenómenos ocurridos en los sistemas EBPR son mediados ya sea por un sólo grupo de organismos o por diversos grupos de organismos relacionados estrechamente. Ellos afirmaron que *Acinetobacter* es el principal género implicado y concluyeron que "las condiciones

anaerobias que preceden a las aerobias en tratamiento de aguas residuales podrían estar relacionadas con la existencia de *Acinetobacter* spp. Durante la anaerobiosis, esta flora podría tender a producir compuestos como etanol, acetato y succinato, los cuales sirven como fuente de carbono para *Acinetobacter* spp.". Fuhs y Chen no cuantificaron las "condiciones anaerobias" ni desarrollaron métodos prácticos para la implementación de los sistemas con EBPR.

El primer sistema con EBPR en el tren principal fue desarrollado por Barnard (1974a, b, 1975, 1976a, b) y Nicholls (1975). Barnard (1975), mientras investigaba la respuesta de nitrificación/des nitrificación en el sistema Bardenpho de 4 etapas que él desarrolló para este propósito, observó que el sistema removió P en exceso. Barnard (1974) postuló que "el requerimiento esencial para la remoción de fósforo en un sistema biológico es que, durante alguna etapa antes de la etapa final del proceso, el lodo o el licor mezclado pase a través de una etapa anaerobia durante la cual los fosfatos pueden o no ser liberados, seguido por una etapa aireada durante la cual los fosfatos serán removidos por los organismos o serán precipitados como resultados del cambio de potencial redox".

De acuerdo con las observaciones de Barnard (1974), Nicholls (1975) experimentó a escala completa los sistemas de lodos activados de Alexandra y Olifantsvlei (Johannesburgo, South África). Él instaló zonas anaerobias en diferentes partes de los dos sistemas de lodos activados y concluyó que "una buena remoción de fosfato puede ser esperado de un sistema Bardenpho modificado (es decir un Bardenpho de 4 etapas) cuando un tanque anaerobio es localizado al inicio del sistema de lodos activados".

Barnard (1976), en postulaciones más detalladas que desarrolló en 1974 concluyó que la masa de los organismos "debe pasar a través de una fase anaerobia donde la demanda de oxígeno exceda el suministro tanto de oxígeno o nitrato..." Él propuso la instalación de un reactor anaerobio antes de la entrada de la planta para "permitir que el licor mezclado se vuelva anaerobio a través de la acción del agua residual afluyente ". Barnard llamó a este principio el método "Phoredox", y lo aplicó al sistema Bardenpho de 4 etapas (entre otros), al cual incluyó un reactor anaerobio antes del reactor anóxico primario. De esta manera el reactor anaerobio recibe el afluyente y la línea de recirculación de lodos de los clarificadores secundarios. Esta configuración fue nombrada como Bardenpho

Modificado de 5 etapas (Figura 15C). Barnard también propuso que cuando la remoción de nitrógeno no es altamente requerida, el segundo reactor anóxico y los reactores de re aireación pueden excluirse, resultando así el sistema Bardenpho Modificado de 3 etapas (Figura 13A). Esta configuración también ha sido llamada como sistema anaerobio/anóxico/aerobio (A2O)⁹.

Para explicar el fenómeno de remoción aumentada o mejorada de P, Barnard (1976) hipotetizó que la liberación de P en sí misma no estimula la remoción de P, sólo indica que se ha alcanzado un potencial redox bajo en el reactor anaerobio, y es éste potencial redox bajo lo que estimula la remoción biológica de P. Barnard (1976) reconoció las dificultades asociadas con la medida del potencial redox, y propuso que la medida de la liberación de P en la zona anaerobia pueda servir como un sustituto para indicar que las condiciones necesarias para una remoción mejorada de P prevalecen.

De acuerdo con la hipótesis de Barnard, el nitrato recirculado al reactor anaerobio del sistema Bardenpho Modificado de 5 etapas determina hasta cierto grado el nivel en el cual el potencial redox que puede ser disminuido. En consecuencia, se puede esperar que el nitrato recirculado influencie adversamente en la remoción mejorada de P, como fue observado previamente por Barnard (1975).

Barnard (1976) aparentemente aceptó que la configuración Bardenpho Modificada debe reducir de manera suficiente el nitrato, de manera que la recirculación de lodos no interfiera en el mantenimiento del potencial redox bajo, necesario para la liberación de P en el reactor anaerobio. Él consideró que como contrapeso a la intrusión de nitrato se puede incrementar el tiempo de retención en el reactor anaerobio. Para el diseño de dicho reactor, Barnard (1976) sugirió un tiempo de retención nominal de una hora. En esta etapa no existía un método racional disponible para predecir la remoción de fósforo y nitrógeno.

⁹ La nomenclatura original de Barnard para los reactores anaerobio y anóxico fue adoptado en este capítulo. De esta manera, Anóxico: condición en la cual el nitrato está presente pero no el oxígeno, Anaerobio: condición en la cual ni el nitrato ni el oxígeno están presentes. Estas definiciones son inadecuadas aparentemente cuando se intenta comparar las condiciones de dos reactores del mismo tamaño, uno completamente mezclado y otro en flujo pistón. Por ejemplo, un reactor anaerobio completamente mezclado no tendrá nitrato en el reactor; mientras que un reactor de flujo pistón puede contener nitrato en una porción considerable a lo largo de la longitud del reactor, y ser entonces parcialmente "anóxico" y parcialmente "anaerobio". Desafortunadamente el concepto de Barnard no indica la intensidad de estas condiciones.

En el diseño, las remociones fueron estimadas en gran parte de la experiencia obtenida durante la operación de los experimentos.

El trabajo de Barnard, en el que se desarrolló un sistema que incorporó los requerimientos esenciales para sistemas con EBPR aunque éstos no fueron completamente entendidos, estimularon la investigación extensiva en este fenómeno con el fin de obtener experiencia acerca de su comportamiento, delinear de manera más precisa los factores que influyen en los sistemas con EBPR, y desarrollar criterios para su diseño.

2.1.5.2. Sistemas Phoredox o anaerobio/óxico (A/O)

En el sistema Barderpho Modificado, la configuración desarrollada por Barnard para sistemas con EBPR estuvo fuertemente influenciada por los requerimientos legales para la nitrificación en Sudáfrica. En caso de la que nitrificación no sea requerida, decrece la necesidad de tener zonas anóxicas para desnitrificar y edades de lodo altas para asegurar la nitrificación. Estos aspectos fueron reconocidos por Barnard (1976), quien aplicó el método "Phoredox" para un sistema de lodos activados sin nitrificación. La configuración para este sistema incluye un reactor anaerobio que recibe el afluente y la recirculación de lodos, seguido por un reactor aerobio. La edad de lodos y el tanque aerobio son diseñados y controlados para prevenir la nitrificación, aplicando por ejemplo edades de lodo bajas y cargas altas a la planta. Este sistema ha sido conocido en Sudáfrica como Phoredox.

Timmerman (1979) propuso un sistema anaerobio/óxico (A/O) que es esencialmente lo mismo que el sistema Phoredox. La configuración básica A/O es idéntica a la de Phoredox, pero en el A/O se propuso específicamente que las zonas anaerobias y aerobias sean divididas en compartimentos para obtener una configuración de reactores en serie que se acerque a condiciones de flujo pistón.

Aunque propuesto conceptualmente en 1976, los requerimientos para la nitrificación en Sudáfrica han prevenido la implementación de los sistemas Phoredox o A/O. El desempeño del sistema bajo las condiciones de Sudáfrica ha sido investigado a escala laboratorio por Burke et al. (1986), quien encontró dificultades en prevenir la nitrificación

a temperatura de 20°C incluso en edades de lodo menores a 3 días con una fracción de masa no aireada del 50%.

El sistema como A/O ha encontrado una aplicación más amplia en EUA y ha sido estudiado por numerosos investigadores obteniendo resultados mixtos (Hong et al., 1983; Kang et al., 1985a, etc.).

2.1.5.3. Sistema de la Universidad de La Ciudad del Cabo (UCT; VIP)

En una revisión de los esfuerzos que se realizaron sin éxito para obtener una remoción biológica consistente de P en un sistema Bardenpho Modificado, Rabinowitz y Marais (1980) llegaron a la conclusión de que sin importar otros factores que pueden afectar la remoción de P, el nitrato recirculado al reactor anaerobio parecía tener un impacto importante. Su efecto negativo en el reactor anaerobio fue después demostrado por Hascoet y Florentz (1985), entre otros.

Si el nitrato en la línea de recirculación al reactor anaerobio se mantiene a una concentración baja, entonces se espera alcanzar un sistema con EBPR estable. La principal complicación para obtener esta estabilidad en el sistema Bardenpho Modificado es que el nitrato descargado al reactor anaerobio está directamente vinculado con la concentración de nitrato en el efluente. Si por alguna razón la concentración de nitrato en el efluente incrementa mientras que la DQO se mantiene constante, por ejemplo, en caso de que la relación NTK/DQO afluente incremente, el sistema ofrece pocas opciones para reducir esto por métodos operacionales. El único medio disponible en la operación es reducir la recirculación de lodos, pero esto es una opción riesgosa debido a que la sedimentabilidad del licor mezclado en estas plantas tiende a ser más baja que en los sistemas puramente aerobios. Por este motivo, Rabinowitz y Marais (1980) investigaron otras configuraciones que podrían proteger al reactor anaerobio de una intrusión de nitrato, independizando así el reactor anaerobio de la concentración de nitrato en el efluente. Lo anterior derivó en el desarrollo del sistema de la Universidad de la Ciudad del Cabo.

En el sistema UCT, el lodo recirculado s es descargado al reactor anóxico primario. Una recirculación posterior permite (recirculación r) extraer licor mezclado del reactor anóxico

primario y conducirlo al reactor anaerobio. El licor mezclado es también recirculado del reactor aerobio al reactor anóxico (recirculación a). Mediante la manipulación de la relación de recirculación a , el nitrato en el reactor anóxico puede ser controlado para ser cero, y por lo tanto no se recirculará nitrato al reactor anaerobio. Así, las condiciones anaerobias en el reactor pueden ser mantenidas independientemente de la concentración de nitrato efluente y aunque la relación de NTK/DQO afluente a la planta varíe. Esta condición, aunque deseable, se alcanza en el sistema UCT a costa de (i) volumen del reactor anaerobio; para mantener una fracción de lodo en el reactor anaerobio igual a la existente en el sistema Bardenpho Modificado, el volumen del reactor anaerobio en el sistema UCT debe ser incrementado en una proporción $(1+r)/r$, y (ii) la incapacidad de alcanzar una des nitrificación completa tal y como se discute el efecto de la recirculación en la eficiencia de remoción de nitrógeno.

Experimentos de la configuración UCT a escala laboratorio usando el agua residual de la Ciudad del Cabo mostraron mejoría en la eficiencia del sistema EBPR tanto en magnitud como en confiabilidad, comparado con lo que se había obtenido en el sistema Bardenpho Modificado. Sin embargo, tal vez el logro más importante desde el punto de vista de la investigación fue que en el sistema UCT fue posible eliminar el impacto negativo que tenía el nitrato recirculado al reactor anaerobio en la remoción de P, por lo que otros factores que influenciaban en el sistema EBPR pudieron ser estudiados más fácilmente (Siebritz et al., 1982). A partir de los datos experimentales, los efectos de estos otros factores se volvieron evidentes: (i) para la misma DQO afluente un lote de agua residual presenta mayor remoción de P que el otro, esto fue observado tentativamente, pero no había sido explícitamente identificado debido al efecto del nitrato, y (ii) la magnitud de la remoción biológica de P pareció estar vinculada a algunas características del agua residual, todavía no identificadas.

Una variación del sistema UCT fue propuesto, llamado la Planta de la Iniciativa de Virginia (VIP, por sus siglas en inglés Virginia Initiative Plant, Daigger et al., 1987). La configuración básica para este sistema es idéntica al de UCT con excepción de dos puntos: (i) se usan series múltiples de reactores completamente mezclados y (ii) el sistema es operado a una edad de lodo corta, de 5 a 10 días.

2.1.5.4. Sistema UCT Modificado

La experiencia con el sistema UCT (Siebritz et al., 1980, 1982) indicó algunos problemas en cuanto al control.

La relación de licor mezclado recirculado (recirculación a) necesita ser controlado cuidadosamente para que el reactor anóxico primario sea simplemente sub-cargado con nitrato y evitar descargar nitrato en el reactor anaerobio. En una operación a escala completa este control cuidadoso de la relación de recirculación a no es posible debido a la incertidumbre en la relación NTK/DQO, particularmente bajo condiciones de caudal y carga cíclicos.

Para simplificar la operación del sistema UCT, se propuso una alternativa en la que no fuera necesaria un control cuidadoso de la recirculación a . Esto conllevó a una modificación del sistema UCT llamado UCT Modificado. En éste último el reactor anóxico es subdividido en dos reactores, en el primero se tiene una fracción de lodo de alrededor de 0.10 y en la segunda se tiene la fracción de lodo anóxico disponible de acuerdo al balance. En el primer reactor anóxico se recibe la recirculación de lodo (s) y se deriva la recirculación- r que va al reactor anaerobio. La recirculación a mínima es aquella en la cual se introduce sólo el nitrato necesario al segundo reactor anóxico para cargarlo hasta su potencial de des nitrificación. Una recirculación mayor al mínimo no removerá nitrato adicional, sólo introducirá más nitrato del que puede ser removido en el reactor y por lo tanto el nitrato aparecerá en el efluente. No tiene mayor impacto llegar a este punto ($a > a_{\text{mín}}$), simplemente el nitrato en el reactor aerobio se mantendrá constante. En consecuencia, se puede incrementar la recirculación a cualquier valor mayor a $a_{\text{mín}}$, para dar el tiempo de retención requerido sin afectar al reactor anóxico primario, prescindiendo así de un control cuidadoso de la recirculación a .

No obstante, esta ventaja obtenida tiene un costo (WRC, 1984): La relación máxima de NTK/DQO que da cero nitratos al reactor anaerobio es reducido de ± 0.14 en el sistema UCT a ± 0.11 en el sistema UCT Modificado. Sin embargo, una relación NTK/DQO de 0.11 mgN/mgDQO está presente en la mayor parte de las aguas residuales municipales crudas y clarificadas. Además, si la planta se diseña de manera que la recirculación r pueda

ser tomada ya sea del reactor anóxico primario o anóxico secundario, el sistema puede ser operado ya sea con una configuración UCT o UCT Modificada, como mejor convenga.¹⁰

2.1.6. Tecnología: Sistema de Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante (CSBR)

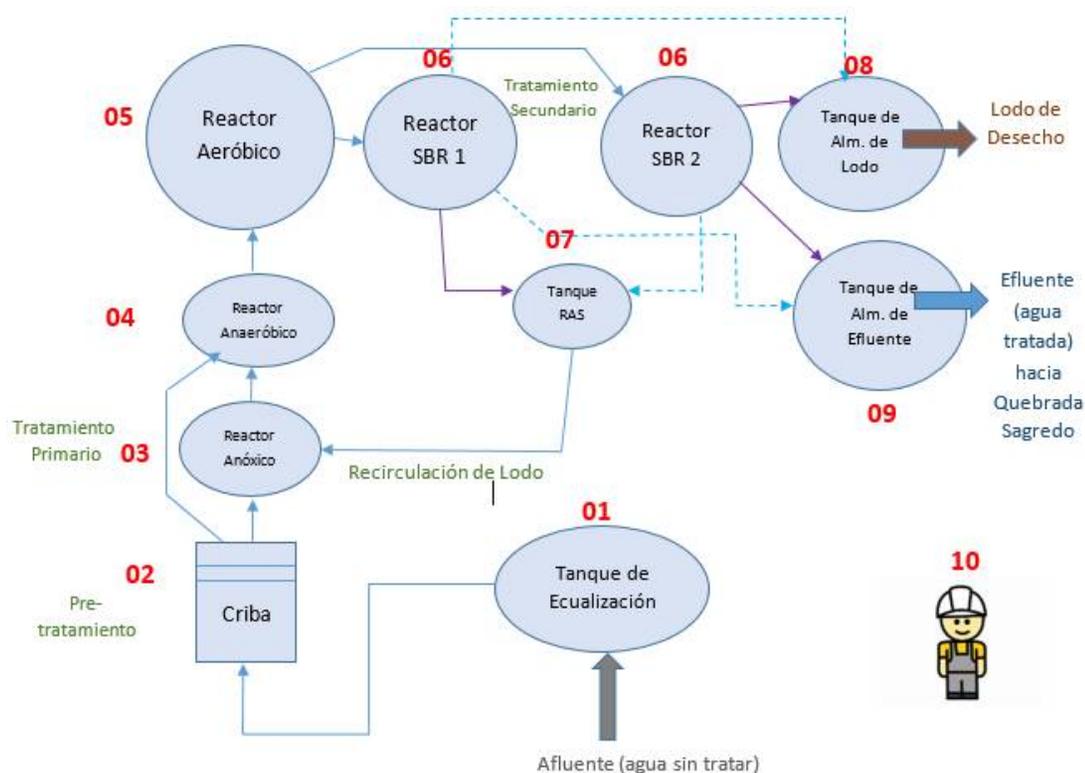
2.1.6.1. Introducción a la Tecnología CSBR

El proceso CSBR es un sistema SBR modificado de nivel constante y flujo continuo patentado. Incluye al menos una primera celda de Biorreactor de Flujo Continuo (o CFR en siglas) seguida de dos celdas SBR de nivel constante configuradas simétricamente para el reciclaje del Lodo Activado de Retorno (RAS), el tratamiento por lotes, el asentamiento inactivo y la decantación del sobrenadante tratado. Mientras se realiza el reciclaje del RAS, el tratamiento por lotes y el asentamiento inactivo (o el modo RBS en siglas) en una celda SBR, en la otra celda SBR se realiza la decantación del sobrenadante tratado, y viceversa.

Según los diferentes requisitos de tratamiento y de calidad del efluente, se agregarán más celdas CFR al sistema que precede a las dos celdas SBR. Las celdas CFR pueden operarse como celdas Anóxicas, Anaeróbicas o Aeróbicas, según se requiera, para la eliminación eficiente y confiable de nutrientes biológicos. El sobrenadante tratado se decanta alternadamente en las dos celdas sobre una base cíclica, y el Lodo Activado Residual (WAS) se retira de la celda SBR que está en el modo de decantación.

¹⁰ (Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, 2017, págs. 187-191)

Figura 2. 17. Flujo de Proceso de PTAR – Barrio Catedral



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 2. 3. Descripción de las etapas del proceso de la PTAR

| Paso | Componente | Cant. | Proceso |
|------|--------------------|-------|---|
| 01 | Tanque de Ecuación | 1 | Tanque cuya función es la de captar el agua del afluente del alcantarillado, homogenizando la variabilidad de la calidad y volumen de las aguas, para el apto funcionamiento de la planta. |
| 02 | Criba | 1 | Las cribas son rejillas que impiden el paso de sólidos de tamaño considerable desde el tanque de ecuación al reactor anóxico. |
| 03 | Reactor Anóxico | 1 | Reactor cuya característica es la ausencia de oxígeno en su proceso. Debido a eso, el objetivo principal de este proceso es la desnitrificación ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$). |
| 04 | Reactor Anaeróbico | 1 | La fuente de asimilación de los microorganismos es la materia orgánica. En este proceso se metaboliza, además de materia orgánica, fósforo. |

| Paso | Componente | Cant. | Proceso |
|-------------|----------------------------|--------------|---|
| 05 | Reactor Aeróbico | 1 | Reactor que cuenta con aireación en su proceso, por lo que la fuente de asimilación principal de los microorganismos es el oxígeno. El objetivo principal de este proceso es la nitrificación. |
| 06 | Reactor SBR | 2 | Estos dos tanques operan en ciclos intercalados y se repite alternativamente cada ciclo: mientras en un tanque se da el proceso de reacción anóxica y aeróbica, en el otro se da el proceso de decantación (descarga del agua tratada). |
| 07 | Cámara RAS | 1 | Este tanque acumula los lodos activados de retorno (RAS) descargados del tanque SBR en etapa de reacción y los recircula al tanque anóxico. |
| 08 | Tanque de Alm. de Lodos | 1 | Los lodos en exceso del sistema son removidos por bombeo hacia este tanque, donde se almacenarán hasta ser trasladados a la PTAR San Luis para su disposición final. |
| 09 | Tanque de Alm. de Efluente | 1 | Este tanque almacena el agua tratada proveniente del proceso de decantación del tanque SBR. Posteriormente esta agua tratada se puede descargar fuera del sistema por gravedad o por bombeo. |
| 10 | Operario de la planta | 1 | Es el personal asignado que al día estará 2 horas para verificar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

2.1.6.2. Descripción de las Etapas del Proceso

El afluente (aguas residuales domésticas) ingresa al Tanque de Ecuilización, cuya función es la de captar el agua del afluente del alcantarillado, homogenizando la variabilidad de la calidad y volumen de las aguas para el apto funcionamiento de la PTAR.

El agua residual luego ingresa a un Pre-Tratamiento a través de una Criba, lo cual es fundamental para acondicionar el agua residual hasta los parámetros de diseño requeridos. La criba de barras paralelas retiene sólidos gruesos y finos en el afluente como huesos, papel, bolsa, fibras, pelos, etc. Estas cribas prevendrán el daño en el equipamiento de la PTAR y la interferencia en proceso biológico, lo cual podría generar paradas innecesarias y mayor costo de mantenimiento.

A continuación, el flujo de las aguas residuales del afluente se divide entre las celdas Anóxica y Anaeróbica con el fin de optimizar la eliminación de nitrógeno y fósforo biológico. Una fracción del 20% se ha asignado a la celda Anóxica y un 80% a la celda Anaeróbica, según las características de diseño de la PTAR. Esta división de flujo se puede ajustar después del inicio, dependiendo de las características reales de las aguas residuales en el afluente.

Las celdas Anóxica, Anaeróbica y Aeróbica se operan en serie con licor mixto que fluye de la celda Anóxica a la celda Aeróbica de la misma manera que el proceso de lodos activados convencionales en serie, sin cambios en el modo de operación cíclica. Las celdas SBR 1 y SBR2 son celdas idénticas que operan de manera alternada.

En la celda Anóxica se da la mayor eliminación de nitrógeno (des nitrificación). El nitrógeno se elimina mediante la des nitrificación de microorganismos a través de la reducción de nitrato a gas nitrógeno, que luego se retira del licor mixto.

La celda Anaeróbica es una celda en la que los microorganismos heterótrofos facultativos convierten la DQO (orgánica) fácilmente biodegradable (fácilmente fermentable) en SCVFA (ácido graso volátil de cadena corta), que luego es retirado y almacenado por el organismo que acumula fósforo (PAO) como PHA (poli-3-hidroxialcanoatos) dentro del cuerpo celular. En este proceso se libera, además de materia orgánica, fósforo.

El agua residual luego fluye de la celda Anaeróbica a la celda Aeróbica. Este reactor que cuenta con aireación en su proceso, por lo que la fuente de asimilación principal de los microorganismos es el oxígeno. El objetivo principal de este proceso es la nitrificación.

En la celda Aeróbica la PAO utiliza el PHA almacenado como fuente de energía para captar el orto-fosfato y almacena el fosfato como poli fosfato dentro del cuerpo celular. La eliminación del fósforo es luego activada a través de la eliminación del exceso de lodo activado del biorreactor CSBR.

El agua residual luego ingresa a las celdas SBR 1 y SBR 2 en forma simultánea. Las celdas SBR 1 y SBR2 funcionan de manera alternada de forma cíclica. Cuando la celda SBR 2 funciona como decantador del efluente tratado, la celda SBR 1 funcionará como una celda

de reciclaje de RAS / Tratamiento por lotes / Asentamiento inactivo en el mismo ciclo operativo. La celda SBR 1 pasará por las tres fases de operación en el siguiente orden: reciclaje de RAS, tratamiento por lotes y asentamiento inactivo de forma secuencial.

En la fase RAS, el equipo de aireación en la celda SBR 1 se enciende, bombeando el licor mixto de la celda SBR 1 hacia la Cámara RAS, para que la Cámara RAS luego lo recircule a la celda Anóxica, recirculando el lodo activado acumulado en la celda SBR 1 durante el ciclo operativo anterior.

La aireación en la celda SBR 1 se puede activar y desactivar durante la fase RAS para optimizar la eliminación de nitrógeno del sistema CSBR. Una vez completada la fase RAS, la bomba RAS se apaga, lo que detiene el flujo de licor mixto a través de la celda SBR 1, convirtiendo la celda SBR 1 en una celda de tratamiento por lotes para un tratamiento adicional por lotes del contenido de la celda.

Al final del tratamiento por lotes, la aireación y la mezcla en la celda SBR 1 se apagan, creando un ambiente de asentamiento inactivo para la separación del efluente tratado final del lodo activado y preparando la celda para funcionar como una celda de decantación en el siguiente ciclo de operación.

Cuando la celda SBR 2 opera como decantador del efluente tratado, el efluente tratado decanta hacia el Tanque de Almacenamiento de Efluente, donde luego será descargado por gravedad o bombeado fuera del sistema para el uso final que se requiera. Asimismo, los lodos en exceso del sistema son removidos por bombeo desde la celda SBR 2 hacia el Tanque de Almacenamiento de Lodos de Desecho, para su posterior disposición final fuera del sistema.

2.1.6.3. Características

Nitrógeno estable y eliminación de fósforo en simultáneo

- Proporciona fases de tratamiento por lotes en los tanques SBR, similares a los sistemas SBR clásicos, lo cual mejora la eficiencia en la remoción de DBO, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3/\text{NO}_2\text{-N}$, TN y TP.

- Definición clara del rol de cada tanque, aprovechando las mejores características de los procesos convencionales de Eliminación Biológica de Nutrientes (BNR), tales como: proceso anaerobio/aerobio (A/O), proceso anaerobio/anóxico/aerobio (A2O), proceso de la Universidad de la Ciudad del Cabo “Cape Town University” (UCT), proceso de UCT modificado (MUCT), etc.
- Mejora de la eficiencia y confiabilidad del sistema para la eliminación de TN y TP.

Excelente calidad de efluente

- Proporciona sedimentación por lotes para la separación de los lodos activados del efluente tratado, llegando a obtener un efluente de excelente calidad.

Excelente capacidad para tratar cambios en la calidad del agua

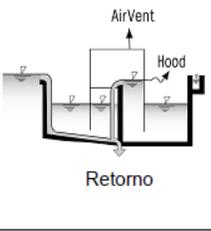
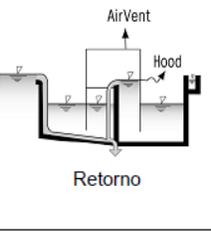
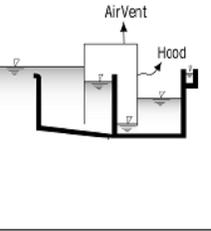
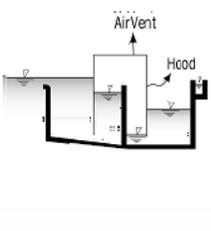
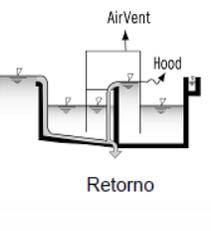
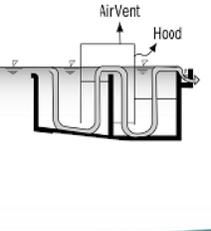
- El proceso es estable incluso en caudales bajos y series de transformaciones en las condiciones de operación.

Mantenimiento sencillo y económico

- No hay necesidad de clarificadores primarios costosos y mecanismos asociados de eliminación de lodos y bombas, reduciendo los costos del sistema y el tamaño de la planta.
- Ordena los dos tanques SBR configurados simétricamente, como un tanque de tratamiento no principal en el extremo del efluente del sistema, minimizando la duplicación de equipos y reduciendo enormemente los costos del sistema.
- Proporciona decantadores fijos flotantes de nivel de líquido constante, simplificando enormemente el diseño del sistema y aumentando la confiabilidad operativa.

2.1.6.4. Método de Operación

Figura 2. 18. Método de Operación del sistema CSBR

| | | | | | |
|--|-------------------------|--|---|--|-------------------------|
| 1. Anoxico & Retorno | 10 min | 2. Aerobico & Retorno | 60 min | 3. Aerobico & Sin Retorno | 10 min |
|  | 1.5~3.0Q |  | 1.5~3.0Q |  | - |
| | Valv. Retorno ABIERTA | | Valv. Retorno ABIERTA | | Valv. Retorno CERRADA |
| | Valv. Vent Aire CERRADA | | Valv. Vent Aire CERRADA | | Valv. Vent Aire CERRADA |
| Retorno | Aerobico Intermitente | Retorno | Aerobico | Aerobic | |
| 4. Sedimentacion | 40 min | 5. Limpiar Canal de Retorno | Durante el proceso de pre-sedimentacion | 6. Efluente | 120 min |
|  | - |  | 1.5~3.0Q |  | 1.0Q |
| | Valv. Retorno CERRADA | | Valv. Retorno ABIERTA | | Valv. Retorno CERRADA |
| | Valv. Vent Aire CERRADA | | Valv. Vent Aire CERRADA | | Valv. Vent Aire ABIERTA |
| Descarga lodo Retomo lodo | | Retorno | - | Descarga lodo Retomo lodo | |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

2.2. Marco normativo

2.2.1. Nueva Constitucional Política del Estado

Se considerará la primera y cuarta parte de la Nueva Constitución Política del Estado:

PRIMERA PARTE

Bases Fundamentales del Estado Derechos, Deberes y Garantías

Título III

Derechos fundamentales y garantías

Capítulo segundo: derechos fundamentales

Artículo 20.

- I. Toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas domiciliario, postal y telecomunicaciones.
- III. El acceso al agua y alcantarillado constituyen derechos humanos, no son objeto de concesión ni privatización y están sujetos a régimen de licencias y registros, conforme a ley.¹¹

¹¹ (Constitución Política del Estado, 2009, págs. 16-17)

CUARTA PARTE

Estructura y organización económica del Estado

Título I

Organización Económica del Estado

Capítulo primero: Disposiciones Generales

Artículo 309. La forma de organización económica estatal comprende a las empresas y otras entidades económicas de propiedad estatal, que cumplirán los siguientes objetivos:

2. Administrar los servicios básicos de agua potable y alcantarillado directamente o por medio de empresas públicas, comunitarias, cooperativas o mixtas.¹²

Artículo 374.

- I. El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes. La ley establecerá las condiciones y limitaciones de todos los usos.
- II. El Estado reconocerá, respetará y protegerá los usos y costumbres de las comunidades, de sus autoridades locales y de las organizaciones indígena originarias campesinas sobre el derecho, el manejo y la gestión sustentable del agua.
- III. Las aguas fósiles, glaciales, humedales, subterráneas, minerales, medicinales y otras son prioritarias para el Estado, que deberá garantizar su conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral; son inalienables, inembargables e imprescriptibles.¹³

¹² (Constitución Política del Estado, 2009, pág. 122)

¹³ (Constitución Política del Estado, 2009, págs. 140-141)

Artículo 375.

- I. Es deber del Estado desarrollar planes de uso, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas.
- II. El Estado regulará el manejo y gestión sustentable de los recursos hídricos y de las cuencas para riego, seguridad alimentaria y servicios básicos, respetando los usos y costumbres de las comunidades.
- III. Es deber del Estado realizar los estudios para la identificación de aguas fósiles y su consiguiente protección, manejo y aprovechamiento sustentable.

Artículo 376. Los recursos hídricos de los ríos, lagos y lagunas que conforman las cuencas hidrográficas, por su potencialidad, por la variedad de recursos naturales que contienen y por ser parte fundamental de los ecosistemas, se consideran recursos estratégicos para el desarrollo y la soberanía boliviana. El Estado evitará acciones en las nacientes y zonas intermedias de los ríos que ocasionen daños a los ecosistemas o disminuyan los caudales, preservará el estado natural y velará por el desarrollo y bienestar de la población.

Artículo 377.

- I. Todo tratado internacional que suscriba el Estado sobre los recursos hídricos garantizará la soberanía del país y priorizará el interés del Estado.
- II. El Estado resguardará de forma permanente las aguas fronterizas y transfronterizas, para la conservación de la riqueza hídrica que contribuirá a la integración de los pueblos.¹⁴

2.2.2. Ley N°1333 del Medio Ambiente, promulgada el 27 de abril de 1992

Se considerará el Título I, III, IV, V y VI del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica:

¹⁴ (Constitución Política del Estado, 2009, pág. 141)

REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

CAPÍTULO III

DE LA CLASIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUAS

ARTÍCULO 4º. La clasificación de los cuerpos de agua, según las clases señaladas en el Cuadro N° 1 - Anexo A del presente reglamento, basada en su aptitud de uso y de acuerdo con las políticas ambientales del país en el marco del desarrollo sostenible, será determinada por el MDSMA. Para ello, las instancias ambientales dependientes del prefecto deberán proponer una clasificación, adjuntando la documentación suficiente para comprobar la pertinencia de dicha clasificación. Esta documentación contendrá como mínimo: Análisis de aguas del curso receptor a ser clasificado, que incluya al menos los parámetros básicos, fotografías que documenten el uso actual del cuerpo receptor, investigación de las condiciones de contaminación natural y actual por aguas residuales crudas o tratadas, condiciones biológicas, estudio de las fuentes contaminantes actuales y la probable evolución en el futuro en cuanto a la cantidad y calidad de las descargas.

Esta clasificación general de cuerpos de agua; en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos:

- a) CLASE “A” Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.
- b) CLASE “B” Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

- c) CLASE “C” Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.
- d) CLASE “D” Aguas de calidad mínima, que, para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de pre sedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

En caso de que la clasificación de un cuerpo de agua afecte la viabilidad económica de un establecimiento, el Representante Legal de éste podrá apelar dicha clasificación ante la autoridad ambiental competente, previa presentación del respectivo análisis costo - beneficio.¹⁵

ARTÍCULO 6º. Se considera como PARAMETROS BÁSICOS, los siguientes: DBO5; DQO; Colifecales NMP; Oxígeno Disuelto; Arsénico Total; Cadmio; Cianuros; Cromo Hexavalente; Fosfato Total; Mercurio; Plomo; Aldrín; Clordano; Dieldrín; DDT; Endrín; Malatión; Paratión.¹⁶

TÍTULO III

DE LOS PROCEDIMIENTOS TÉCNICO ADMINISTRATIVOS

CAPÍTULO III

DE LA DESCARGA DE EFLUENTES EN CUERPOS DE AGUA

ARTÍCULO 16º. La autorización para descargar efluentes en cuerpos de agua, estará incluida en la DIA, en la DAA y en el Certificado de Dispensación establecidos en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental.¹⁷

¹⁵ (Ley N°1333 del Medio Ambiente, 1992, pág. 51)

¹⁶ (Ley N°1333 del Medio Ambiente, 1992, págs. 51-52)

¹⁷ (Ley N°1333 del Medio Ambiente, 1992, pág. 55)

CAPÍTULO IV
DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

ARTÍCULO 29°. Las tasas y tarifas por descarga de las aguas residuales crudas o tratadas a los colectores serán calculadas por los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado y las administraciones de parques industriales, en relación al volumen de agua, la DBO₅ y los sólidos suspendidos totales, tomando en cuenta las siguientes condiciones:

- a) Las aguas residuales tienen, como promedio, una DBO₅ de 250 mg/l y los sólidos suspendidos totales una concentración de 200 mg/l. Las descargas de agua residual con concentraciones mayores a estas cifras, estarán sujetas a una tarifa adicional en relación a las cargas en toneladas por mes, tanto de DBO₅ como de sólidos suspendidos totales. Dichas tarifas serán calculadas por los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado correspondientes.¹⁸

TÍTULO IV
DEL MONITOREO, EVALUACION, PREVENCIÓN, PROTECCIÓN
Y CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA

CAPÍTULO II
DE LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA

ARTÍCULO 49°. Los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado desarrollarán programas permanentes de control, reparación y rehabilitación de las redes de agua y desagüe, a fin de eliminar el riesgo de conexiones cruzadas entre agua potable

¹⁸ (Ley N°1333 del Medio Ambiente, 1992, pág. 58)

y alcantarillado, y de colapso de instalaciones en mal estado o antiguas, eligiendo materiales de tuberías con una vida útil de por lo menos 50 años, o bien utilizar materiales de la mejor calidad compatibilizados con la agresividad química del suelo y del agua.¹⁹

CAPÍTULO V

DEL REUSO DE AGUAS

ARTÍCULO 67°. El reúso de aguas residuales crudas o tratadas por terceros, será autorizado por el Prefecto cuando el interesado demuestre que estas aguas satisfacen las condiciones de calidad establecidas en el cuadro N° 1, Anexo A-1 del presente Reglamento.²⁰

TÍTULO VI

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

CAPÍTULO ÚNICO

ARTÍCULO 72° En tanto sean definidas las Clases de los cuerpos receptores a las que hacen referencia los Art. 4, 5, 6 y 7 del presente reglamento, regirán los parámetros y sus respectivos valores límite, incluidos en el Anexo A-2. Una vez determinada la Clase de un determinado cuerpo de agua, se aplicará los criterios de evaluación de impacto ambiental y adecuación ambiental, en base a los límites establecidos en el Cuadro A-1 - Anexo A-1 del presente reglamento.

Para ello se debe distinguir entre actividades existentes a la fecha de promulgación del presente reglamento y aquellas nuevas.²¹

2.2.3. Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, 29 de octubre de 1999

Se considerará el Título I de la Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario:

¹⁹ (Ley N°1333 del Medio Ambiente, 1992, pág. 61)

²⁰ (Ley N°1333 del Medio Ambiente, 1992, pág. 64)

²¹ (Ley N°1333 del Medio Ambiente, 1992, pág. 66)

TÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

CAPÍTULO III

SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO

Artículo 9°.- (Competencia Nacional) Las políticas, normas y regulación de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario son de competencia nacional. Las concesiones, la regulación de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario y las servidumbres relacionadas con los mismos son competencia de la Superintendencia de Saneamiento Básico.²²

2.2.4. Ley N°300, Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien

Se considerará el Título III de la Ley N°300:

TÍTULO III

BASES Y ORIENTACIONES DEL VIVIR BIEN A TRAVÉS DEL DESARROLLO INTEGRAL EN ARMONÍA Y EQUILIBRIO CON LA MADRE TIERRA

CAPÍTULO I

BASES Y ORIENTACIONES

Artículo 27. (AGUA). Las bases y orientaciones del Vivir Bien a través del desarrollo integral en agua son:

1. Garantizar el derecho al agua para la vida, priorizando su uso, acceso y aprovechamiento como recurso estratégico en cantidad y calidad suficiente para satisfacer de forma integral e indistinta la conservación de los sistemas de vida, la

²² (Ley N°2029 de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, 1999, pág. 3)

satisfacción de las necesidades domésticas de las personas y los procesos productivos para garantizar la soberanía y seguridad alimentaria.

2. Toda actividad industrial y extractiva, que implique el aprovechamiento del agua según corresponda, debe implementar, entre otros, dinámicas extractivas y de transformación adecuadas que incluyen plantas y/o procesos de tratamiento que minimicen los efectos de la contaminación, así como la regulación de la descarga de desechos tóxicos a las fuentes de agua. Los pequeños productores mineros, cooperativas mineras y empresas comunitarias, desarrollarán estas acciones conjuntamente con el Estado Plurinacional de Bolivia.
3. El agua en todos sus ciclos hídricos y estados, superficiales y subterráneos, así como sus servicios, no podrán ser objeto de apropiaciones privadas ni ser mercantilizados. El acceso al agua estará sujeto a un régimen de licencia, registros y autorizaciones conforme a Ley del Agua específica.
4. Regular, proteger y planificar el uso, acceso y aprovechamiento adecuado, racional y sustentable de los componentes hídricos, con participación social, estableciendo prioridades para el uso del agua potable para el consumo humano.
5. Regular, monitorear y fiscalizar los parámetros y niveles de la calidad de agua.
6. Promover el aprovechamiento y uso sustentable del agua para la producción de alimentos de acuerdo a las prioridades y potencialidades productivas de las diferentes zonas.
7. Garantizar la conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral de las aguas fósiles, glaciales, humedales, subterráneas, minerales, medicinales y otras, priorizando el uso del agua para la vida.
8. Promover el aprovechamiento de los recursos hídricos de los ríos, lagos y lagunas que conforman las cuencas hidrográficas, considerados recursos estratégicos por su potencialidad, por la variedad de recursos naturales que contienen y por ser parte fundamental de los ecosistemas, para el desarrollo y la soberanía boliviana.
9. Regular y desarrollar planes interinstitucionales de conservación y manejo sustentable de las cuencas hidrográficas, bajo parámetros y lineamientos emitidos por el nivel central del Estado Plurinacional de Bolivia, de acuerdo a lo establecido en la Constitución Política del Estado, destinados a garantizar la soberanía con

seguridad alimentaria y los servicios básicos y la conservación de los sistemas de vida, en el marco de las normas y procedimientos propios de los pueblos indígena originario campesinos, comunidades interculturales y afro bolivianas, conforme a Ley.

10. Desarrollar planes de gestión integral de las aguas en beneficio del pueblo y resguardar de forma permanente las aguas fronterizas y transfronterizas, para la conservación de la riqueza hídrica que contribuirá a la integración y salud de los pueblos.
11. Adoptar, innovar y desarrollar prácticas y tecnologías para el uso eficiente, la captación, almacenamiento, reciclaje y tratamiento de agua.
12. Desarrollar políticas para el cuidado y protección de las cabeceras de cuenca, fuentes de agua, reservorios y otras, que se encuentran afectados por el cambio climático, la ampliación de la frontera agrícola o los asentamientos humanos no planificados y otros.
13. El aprovechamiento del agua para uso industrial estará sujeto a una regulación específica a ser determinada por la autoridad nacional competente, cuyos beneficios, cuando corresponda, serán invertidos en proyectos locales de desarrollo integral.²³

2.2.5. Norma Boliviana de Diseños de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial (NB688)

Esta norma establece disposiciones para las etapas de concepción, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y control de todas las obras, de tal manera que se garantice su efectividad, seguridad, estabilidad, durabilidad, educabilidad, calidad y sostenibilidad a lo largo de su vida útil.

El presente capítulo establece las condiciones requeridas para la concepción y desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales. De esta manera

²³ (Ley N°300 Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral Para Vivir Bien, 2012, págs. 33-35)

permite orientar la planificación, diseño, construcción, supervisión técnica, operación, mantenimiento y seguimiento de estos sistemas y sus componentes.

Se incluyen los elementos de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o pluviales que conforman los alcantarillados sanitarios, pluviales y combinados, sus diferentes componentes y estaciones de bombeo. Se consideran además nuevas tecnologías y sistemas aislados de disposición como alternativas a los sistemas convencionales.²⁴

2.2.6. Guía Técnica para el Reúso de Aguas Residuales en la Agricultura

El concepto de calidad del agua se refiere a las características del agua que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico, en otras palabras, la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario (Ayers y Westcot, 1987). Cuando se habla de aguas residuales, la calidad del agua de riego puede variar significativamente según su origen (doméstico, industrial, entre otros), y también según el tipo y cantidad de contaminantes presentes en ella.

El aprovechamiento de las aguas residuales con fines de reúso en agricultura supone poner especial atención a la calidad del agua, tanto desde el punto de vista agronómico, como desde el punto de vista microbiológico. Por lo antes mencionado, el elemento clave en el manejo del agua será la determinación previa de su calidad, principalmente con base en su origen y en una verificación a través de muestras de agua. Lo anterior, para analizar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que establezca la normatividad vigente en caso que exista, caso contrario, tomando en cuenta los límites que establece la OMS para el reúso.

Algunos parámetros agronómicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego son: Conductividad Eléctrica (CE), cationes: Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K); aniones: Carbonato (CO_3^{2-}), Bicarbonatos (HCO_3^{2-}), Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}) y Nitrato (NO_3^-), entre otros. Solamente cuando se sospeche que la calidad del

²⁴ (NB688 Reglamentos Técnicos de Diseños de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial, 2007, pág. 29)

agua tiene algún problema relacionado con la presencia de metales pesados, se deberá solicitar la determinación de alguno(s) en específico, con base en el listado de la normatividad vigente o tomando como referencia los más importantes por sus efectos sobre la salud humana, tales como: Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. Para el análisis, deberán considerarse los límites establecidos dentro de la misma normatividad o las referencias internacionales.

Los parámetros bacteriológicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego para cultivos agrícolas son: Coliformes Fecales C.F. (media geométrica/100 ml) y Huevos de Helmintos H.H./L, que son indicadores internacionales utilizados para establecer la contaminación del agua por bacterias y parásitos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal en humanos. La determinación de su presencia o ausencia en el agua de riego es importante, porque éstos afectarán la calidad sanitaria de los productos regados e incrementarán el riesgo de contraer enfermedades en los consumidores de éstos productos.

Un aspecto más de la importancia de determinar la calidad del agua de riego radica principalmente en que ésta puede afectar las características físicas de los suelos, como su permeabilidad y los puede degradar. Por ejemplo: por la acumulación de sales, afectando con ello el principal patrimonio de los agricultores. Además, una mala calidad del agua también puede afectar el rendimiento potencial de los cultivos regados, disminuyendo con ello el ingreso que los productores obtengan de la actividad agrícola.²⁵

²⁵ (GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA, 2018, pág. 12)

Cuadro 2. 4. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego

| Parámetro | Unidades | Grado de restricción para su uso | | | |
|-------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|-------------|
| | | Ninguno | Ligero | Moderado | Severo |
| Salinidad $CE_w^{(1)}$ | Ds/m | <0,7 | 0,7 – 3,0 | >3,0 | |
| TDS | mg/l | <450 | 450 – 2.000 | >2.000 | |
| TSS | mg/l | <50 | 50 – 100 | >100 | |
| RAS | 0 – 3 | meq/l | >0,7 EC_w | 0,7 – 0,2 EC_w | <0,2 EC_w |
| RAS | 3 – 6 | meq/l | >1,2 EC_w | 1,2 – 0,3 EC_w | <0,3 EC_w |
| RAS | 6 – 12 | meq/l | >1,9 EC_w | 1,9 – 0,5 EC_w | <0,5 EC_w |
| RAS | 12 - 20 | meq/l | >2,9 EC_w | 2,9 – 1,3 EC_w | <1,3 EC_w |
| RAS | 20 – 40 | meq/l | >5,0 EC_w | 5,0 – 2,9 EC_w | <2,9 EC_w |
| Sodio (Na^+) | Riego por aspersión | meq/l | <3 | >3 | |
| Sodio (Na^+) | Riego superficial | meq/l | <3 | 3 – 9 | >9 |
| Cloruro (Cl^-) | Riego por aspersión | meq/l | <3 | >3 | |
| Cloruro (Cl^-) | Riego superficial | meq/l | <4 | 4 – 10 | >10 |
| Cloruro (Cl_2) | Total residual | mg/l | <1 | 1 – 5 | >5 |
| Bicarbonato (HCO_3) | | mg/l | <90 | 90 – 500 | >500 |
| Boro (B) | | mg/l | <0,7 | 0,7 – 3,0 | >3,0 |
| Sulfuro de hidrógeno | | mg/l | <0,5 | 0,5 – 2,0 | >2,0 |
| Hierro (Fe) | Riego por goteo | mg/l | <0,1 | 0,1 – 1,5 | >1,5 |
| Manganeso (Mn) | Riego por goteo | mg/l | <0,1 | 0,1 – 1,5 | >1,5 |
| Nitrógeno total | | mg/l | <5 | 5 – 30 | >30 |
| pH | | | Amplitud normal 6,5 – 8 | | |

Fuente: (GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA, 2018, pág. 14)

El aspecto bacteriológico también debe ser evaluado e interpretado con base en los referentes internacionales o en la normatividad vigente de cada país, considerando los límites de contaminantes patógenos presentes en el agua de riego, ya que su calidad tiene influencia en la calidad sanitaria de los productos, y con los riesgos asociados, a la salud pública de los consumidores. Mara y Cairncross (1990) mencionan que para aguas de riego que contengan ≤ 1 H.H./L se pueden regar árboles forestales, cultivos industriales, árboles frutales y pastos o forrajes. En cambio, para el agua cuya calidad bacteriológica sea de ≤ 1 H.H./L y ≤ 1000 Coliformes Fecales C.F. (media geométrica/100 ml) se pueden

regar plantas comestibles, terrenos deportivos y parques públicos. En México con esta calidad de agua, se pueden regar cultivos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras (aunque estas últimas se recomiendan sean desinfectadas o cocidas antes de su ingesta).²⁶

2.2.7. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

La FAO publicó en 1999 la guía sugerida para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento (Cuadro 2.5.).

Cuadro 2. 5. Guías sugeridas para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento

| Tipos de reúso agrícola | Calidad del agua residual | Opción de tratamiento |
|--|--|--|
| Reúso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente | pH 6,5 – 8,4 DBO <10 mg*1 ⁻¹ <2 UNT <14 NMP coli fecal/100 ml* <1 huevos/l (nematodos intestinales) | Secundario Filtración desinfección |
| Reúso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente | pH 6,5 – 8,4 <30 mg*1 ⁻¹ DBO <30 mg*1 ⁻¹ SS <200 NMP coli fecal/100 ml | Secundario desinfección |
| Reúso agrícola en cultivos que no se consumen | pH 6,5 – 8,4 <30 mg*1 ⁻¹ DBO <30 mg*1 ⁻¹ SS <200 NMP coli fecal/100 ml | Secundario desinfección |

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1999, pág. 350)

DBO, demanda bioquímica de oxígeno; SS, sólidos suspendidos; UNIT, unidades nefelométricas de turbidez; RAS, relación adsorción/sodio; NMP, número más probable

*Coliformes fecales NMP/100 ml: media geométrica de más de 10 muestras por mes; ninguna debe ser mayor de 200 NMP/100 ml.

²⁶ (GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA, 2018, pág. 17)

2.2.8. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

Se considerará la Sección IV de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados

Unidos:

SECCIÓN IV

PUESTA EN MARCHA DE INSTALACIONES SECUNDARIAS

Los procesos de tratamiento secundario utilizados en el tratamiento de aguas residuales municipales ayudan a proporcionar el alto grado de tratamiento requerido para garantizar la protección de las aguas receptoras. Los procesos de tratamiento secundario consisten en sistemas biológicos complejos que requieren un delicado equilibrio de alimentos y medio ambiente. Dado que es durante la puesta en marcha que se está desarrollando la población de microorganismos requerida para el tratamiento adecuado, la puesta en marcha de procesos secundarios es más crítica que su funcionamiento normal debido a la mayor necesidad de control del proceso. Una puesta en marcha adecuada del proceso secundario garantiza la máxima eficacia del tratamiento desde el día inicial de operación.

Esta sección proporciona consideraciones y técnicas para iniciar procesos de tratamiento secundario. La guía es lo suficientemente general como para aplicarla a cualquier tamaño o tipo de proceso de tratamiento secundario. Se supone que las consideraciones de las secciones anteriores sobre la preparación para la puesta en marcha y la puesta en marcha de las instalaciones de pretratamiento, tratamiento primario y cloración se han incorporado a los procedimientos de puesta en marcha.

Los problemas operativos comunes y sus soluciones que no se analizan en este manual se pueden encontrar en el "Manual de procedimiento de la EPA para evaluar el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales" y en el MOP No. 11 de la WPCF, "Operación de plantas de tratamiento de aguas residuales". El manual de operación y mantenimiento de cada planta de tratamiento también debe contener información valiosa para ayudar a resolver problemas operativos.

Lodo activado

El proceso de lodo activado es un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales. El lodo activado, en general, consiste principalmente en bacterias, protozoos y rotíferos que viven en las aguas residuales en presencia de oxígeno disuelto. El lodo activado convierte las sustancias orgánicas en forma finamente dividida, coloidal y disuelta en productos oxidados y un floculo sedimentable. Este floculo, ahora como lodo activado, se elimina del agua residual por sedimentación dejando un efluente de alta calidad. La acción biológica se logra en tanques de aireación donde los organismos se mantienen en un ambiente aeróbico mediante la introducción de oxígeno en una mezcla de lodo activado y aguas residuales. El asentamiento del floculo se realiza en tanques de sedimentación secundarios.

Las aguas residuales crudas no contienen suficientes organismos para estabilizar adecuadamente los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales; por lo tanto, es necesario desarrollar suficiente masa microbiana (lodo activado) y distribuir y mantener la masa a través del agua residual para lograr el tratamiento diseñado. A medida que los organismos se alimentan de los compuestos orgánicos y aumentan en número, se retiran del depósito de aireación y se depositan en un clarificador; la porción apropiada se recircula a la cuenca de aireación para proporcionar la masa deseada de organismos necesarios para tratar eficientemente las aguas residuales.

El objetivo principal de la puesta en marcha es desarrollar un floculo microbiano adecuado (lodo activado) lo más rápido posible. Este desarrollo dará como resultado un aumento en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y una carga reducida en las aguas receptoras a medida que el floculo de lodo activado se deposite y elimine en los tanques de sedimentación. Una parte de este floculo sedimentado (lodo activado) se devuelve a los tanques de aireación hasta que se haya establecido en el proceso una concentración deseable de organismos, expresados como sólidos suspendidos en licor mixto (MLSS). Una vez que se establece esta concentración, el exceso de floculos sedimentados (lodo activado) se desperdicia para mantener la concentración adecuada de MLSS en el proceso.

El proceso de lodo activado tiene varias modificaciones que proporcionan diferentes enfoques para el tratamiento biológico de residuos, dependiendo de las características de las aguas residuales a tratar. El Cuadro 2.6. ilustra algunas de las diferencias en estas modificaciones del proceso. (Tenga en cuenta las diferencias en la concentración de MLSS).

Es esencial que se proporcionen análisis de laboratorio y cronogramas de control durante el arranque. Aunque los siguientes procedimientos deberían aplicarse para iniciar cualquiera de las modificaciones del proceso del proceso de lodos activados, el supervisor debe aprovechar toda la información disponible para él. La (s) persona (s) responsable (s) de la puesta en marcha debe obtener los criterios de diseño del proceso, como el flujo de influentes, la carga de DBO₅, la edad del lodo, el tiempo de detención, la temperatura y la concentración de sólidos suspendidos en licor mixto (MLSS). El uso de estos parámetros como parámetros de control debe discutirse con el ingeniero de diseño para su comentario y para cualquier corrección que considere debe hacerse. Una vez que se ha obtenido la información correcta, se puede estimar la concentración deseada de MLSS de inicio deseada. Utilizando el flujo de diseño y la concentración de MLSS de diseño y midiendo el flujo real y calculando la carga de DBO₅ que ingresa a la cuenca, se puede determinar la concentración de MLSS de inicio deseada en una sola cuenca de aireación.²⁷

Cuadro 2. 6. Modificaciones del Proceso de Lodo Activado

| Modificación de proceso | Edad del lodo (días) | Eficiencia de eliminación de DBO% | MLSS, mg / litro | Aplicación |
|--------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|---|
| Convencional | 5-15 | 85-95 | 1.500-3.000 | Residuos domésticos de baja resistencia, susceptibles a cargas de choque. |
| Completo - mezclar | 5-15 | 85-95 | 3.000-6.000 | Aplicación general, resistente a cargas de choque. |
| Aireación escalonada | 5-15 | 85-95 | 2.000-3.500 | Aplicación general a una amplia gama de residuos. |
| Aireación modificada | 0.2-0.5 | 60-75 | 200-500 | Grado intermedio de tratamiento donde el tejido celular en el efluente no es objeto de ionización |

²⁷ (Start-Up of Municipal Wastewater Treatment Facilities, 1973, págs. 31-33)

| Modificación de proceso | Edad del lodo (días) | Eficiencia de eliminación de DBO% | MLSS, mg / litro | Aplicación |
|--------------------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|---|
| Estabilización de contacto | 5-15 | 80-90 | *(1.000-3.000) **(4.000-10.000) | Expansión de sistemas existentes, plantas empacadoras, flexible |
| Aireación extendida | 20-30 | 75-95 | 3.000-6.000 | Pequeñas comunidades, plantas empacadas, flexible |
| Proceso Kraus | 5-15 | 85-95 | 2.000-3.000 | Residuos de bajo contenido de nitrógeno y alta resistencia |
| Aireación de alta velocidad | 5-10 | 75-90 | 4.000-10.000 | Úselo con aireadores de turbina para transferir oxígeno y controlar el tamaño del témpano, aplicación general |
| Sistemas de oxígeno puro | 8-20 | 85-95 | 6.000-8.000 | Aplicación general, uso donde está disponible un volumen limitado, uso cerca de una fuente económica de oxígeno |

NOTA: Los valores MLSS no deben usarse como el diseño MLSS.

* Unidad de contacto

** Unidad de estabilización de sólidos

Fuente: (Similar a Wastewater Engineering, McGraw-Hill Company, Inc., 1972, Figura No. 12-3)

2.3. Marco Institucional

2.3.1. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Entre los años 1980 y 1997, se crearon las siguientes carreras: Ingeniería Química, Ingeniería de Alimentos, Ingeniería Civil, Ingeniería en Sistemas, Farmacia y Bioquímica, Instituto de Zootecnia en Villamontes, Instituto Superior de Contabilidad también en Yacuiba y el Instituto Superior de Contabilidad y Cooperativas en Bermejo.

Una etapa notable en este desarrollo fue el nombramiento de Universidad Piloto para el Cambio y Transformación de la Educación Superior, a través de la IESALC-UNESCO en la década del noventa; lo que determinó el Rediseño Curricular y la Nueva Estructura Académica implementada en el año 2002, proceso que aún sigue vigente.

El año 2006 la UAJMS logró un nuevo convenio con la UNESCO para la consolidación del proceso de Cambio y Transformación iniciado en gestiones pasadas, fruto de los logros positivos obtenidos a la fecha, para constituirse en un referente de Universidad Regional a nivel Latinoamericano, que desarrolla procesos de transformación y modernización en el marco de la Declaración Mundial sobre la Educación Superior en el Siglo XXI.

La **Misión** de la UAJMS, es formar profesionales integrales con valores éticos y morales creativos e innovadores; capaces de generar y adecuar conocimientos relevantes, estar al servicio del estudiante y la sociedad, orientando su accionar en un proceso de educación continua y constituirse en un referente de universidad regional.

La **Visión** de la UAJMS, es una institución pública de educación superior, con un cogobierno docente estudiantil, democrática descentralizada y eficiente, dispone de un claustro académico con formación de posgrado y sus estudiantes imbuidos de un espíritu de superación y vocación de servicio a la sociedad. (Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)

2.3.2. La Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Tarija Limitada (COSAALT LTDA.)

En la actualidad, mediante Resolución Administrativa Regulatoria AAPS N° 251/2010 de fecha 14 de diciembre de 2010, la AAPS, en ejercicio de su competencia, confiere la Licencia del servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Tarija a COSAALT Ltda., basado en tres artículos:

Art. Primero. - Al amparo de la Constitución Política del Estado, Art. 20 PRG. III Art. 373 y de la Ley 2066 de 11 de abril de 2000, Art 44 y siguientes y Decreto Supremo N° 0726 de fecha 6 de diciembre de 2010, se otorga Licencia a la EPSA COSAALT Ltda., para la prestación del servicio en el área de servicio establecido en el Contrato de Concesión, así como la autorización para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico de las fuentes de agua descrita en el referido documento contractual, observando la normativa sectorial y ambiental y el respeto a los usos y costumbres.

Art. Segundo. - En tanto se implemente la reglamentación y procedimientos correspondientes a la Licencia, en cumplimiento de la Disposición Transitoria Octava de la CPE y el Decreto Supremo N° 0726 de fecha 6 de diciembre de 2010, los derechos y obligaciones adquiridas por la EPSA establecidos y aprobados por la Ex Superintendencia y actual AAPS mantienen su plena y absoluta vigencia.

Art. Tercero. - Asimismo a los fines de la migración al nuevo marco normativo del sector, la AAPS implementará el proceso de regulación de las áreas de servicio de la EPSA.

Para cumplir con los términos de la Licencia, COSAALT Ltda., desarrolla los planes de desarrollo institucional y con este propósito, en el POA 2013, la Cooperativa ha establecido el siguiente marco para el desarrollo de sus actividades:

Misión. Aplicar la filosofía cooperativista para servir a la colectividad en el abastecimiento de agua potable y alcantarillado, preservando la salud de la población y el medio ambiente.

Visión. Ser una EPSA líder en el Sur de Bolivia, comprometida con la mejora continua y sustentable de su capital humano y de los recursos que administra, capaz de dotar de un servicio de agua potable y alcantarillados continuo, oportuno y de calidad a la ciudad de Tarija. (Estudio de Precios y Tarifas de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario "COSAALT LTDA", 2019-2023; Estudio de Precios y Tarifas de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario "COSAALT LTDA", 2019-2023)

2.3.3. Convenio Específico Interinstitucional entre la Facultad de Ciencias y Tecnología y la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario

El presente convenio específico tiene por objeto implementar la práctica profesional, en la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario Tarija (COSAALT LTDA), para orientar la tesis de grado que estarán enmarcadas en la Operación de la puesta en marcha de la Micro planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología CSBR en el barrio Catedral de la Ciudad de Tarija, destinado a complementar la teoría con la practica favorable para adquirir destreza y habilidad en el ejercicio profesional de los estudiantes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, a través de la práctica profesional y/o trabajos de investigación, contribuir a aportar con conocimientos de rigor científico que permitirá coadyuvar en el cumplimiento de los objetivos propios de COSAALT LTDA, (Ver anexo B).

2.3.4. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)

Misión Institucional. El Ministerio de Medio Ambiente y Agua en el marco del Plan de Desarrollo Económico y Social, promueve el desarrollo equitativo, reciproco y en armonía con la Madre Tierra, mediante la gestión integral del recurso hídrico, el acceso al agua potable y saneamiento, el riego para la seguridad alimentaria, así como el manejo integral del ambiente y los sistemas de vida, para Vivir Bien.

Visión Institucional. Al 2020 el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, fortalecido institucionalmente, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social,

gestiona de manera integral y sustentable los recursos hídricos y medioambientales en los sistemas de vida, desarrollando, difundiendo y respetando los derechos de la Madre Tierra.

Objetivos Institucionales.

1: Promover la universalización de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas urbana y rural, en forma concurrente y participativa.

2: Impulsar modelos de desarrollo territorial mediante una gestión integrada de recursos hídricos y manejo integral de cuencas para contribuir a la seguridad alimentaria a través de sistemas de almacenamiento y uso eficiente del agua.

3: promover la gestión de la calidad ambiental y el manejo de los componentes de la madre tierra para el desarrollo territorial integral en Armonía con la Madre Tierra.

4: implementar la gestión pública transparente con servidores públicos éticos, competentes y comprometidos. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015)

2.3.5. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB)

Según el Decreto Supremo N° 29894 - Estructura Organizativa del Poder Ejecutivo del Estado Plurinacional, de 7 de febrero de 2009, las atribuciones del VAPSB son las siguientes:

ARTÍCULO 96.- (ATRIBUCIONES del VICEMINISTERIO de AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO). Las atribuciones del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, en el marco de las competencias asignadas al nivel central por la Constitución Política del Estado, son las siguientes:

- a) Coadyuvar en la formulación e implementación de políticas, planes y normas para el desarrollo, provisión y mejoramiento de los servicios de agua potable saneamiento básico (alcantarillado sanitario, disposición de excretas, residuos sólidos y drenaje pluvial).

- b) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios de agua potable y saneamiento básico.
- c) Impulsar y ejecutar políticas, planes, programas y proyectos, así como gestionar financiamiento para la inversión destinados a ampliar la cobertura de los servicios de saneamiento básico en todo el territorio nacional, particularmente en el área rural y en sectores de la población urbana y periurbana de bajos ingresos, coordinando con las instancias correspondientes.
- d) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios de agua potable y saneamiento básico.
- e) Coordinar la fiscalización y ejecución de los proyectos y programas relativos a los servicios de agua potable y saneamiento básico en el nivel nacional.
- f) Coordinar con las diferentes instancias de la organización territorial del Estado, en el ámbito competencial exclusivo, compartido y concurrentes, la elaboración e implementación y fiscalización de políticas planes programas y proyectos relativos al sector de saneamiento básico.
- g) Implementar, sustentar y fortalecer el Sistema de Información Sectorial Nacional.
- h) Coadyuvar en la implementación de políticas, planes, programas y proyectos de fortalecimiento institucional y asistencia técnica a entidades prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento básico.
- i) Promover y canalizar cooperación financiera a las entidades territoriales descentralizadas y autónomas, con el fin de desarrollar políticas, planes, programas y proyectos de agua potable y saneamiento básico.
- j) Gestionar a través del Despacho del Ministro de Medio Ambiente y Agua el financiamiento para el establecimiento de programas, proyectos de agua potable y saneamiento básico.

Principales funciones del VAPSB:

- Gestionar financiamiento para proyectos a diseño final evaluados como factibles.
- Implementar programas de agua potable y saneamiento.
- Efectuar el monitoreo y seguimiento de proyectos en ejecución.
- Desarrollar y difundir la normativa sectorial.
- Impulsar la gestión integral de residuos sólidos.

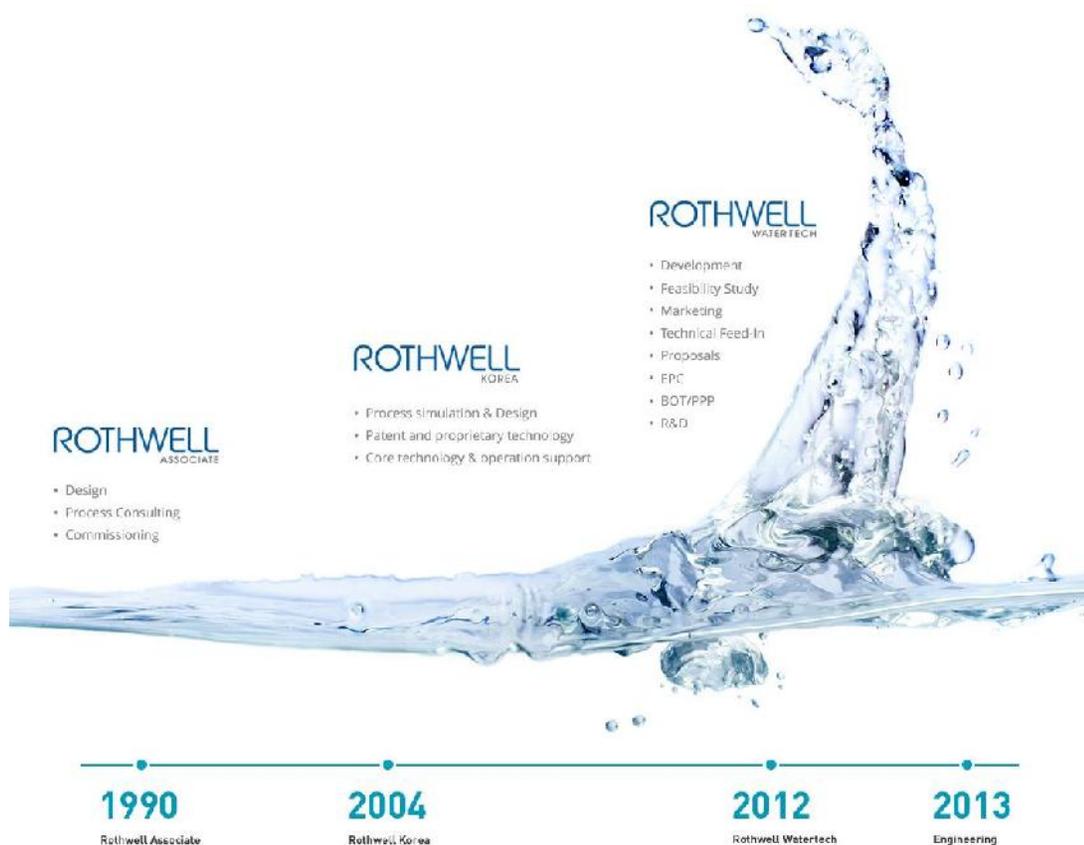
Todo esto para facilitar la provisión de los servicios de agua potable y saneamiento a la población boliviana. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015)

2.3.6. ROTHWELL WATER CO. LTD.

Es una empresa surcoreana establecida en el año 2012 en Seúl, que ofrece tecnología para el tratamiento de agua y aguas residuales; soluciones de sistemas de procesos; y desarrollo, financiamiento, consultoría, diseño, gestión de construcción, adquisición, operación y mantención de instalaciones.

En el año 2018, Rothwell Water y el gobierno boliviano suscribieron un acuerdo para instalar una planta demostrativa de tratamiento de aguas residuales domesticas con una capacidad de 100 m³/d (1,16 l/s), que utilizará tecnología de tubería compacta vertical de bajo costo.

Figura 2. 19. Historia ROTHWELL



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Con las crecientes preocupaciones ambientales y el cambio climático global promovido por la industrialización y la urbanización, el valor económico del agua se ha vuelto más valioso y esencial que nunca.

Global Water Intelligence predice que el mercado del agua aumentará a \$ 865 mil millones para 2025 de \$ 482,8 mil millones en 2010. Además, la revista de economía mundialmente famosa, Fortune, predice que "La industria del agua superará a la industria del petróleo en este siglo XXI".

Rothwell ha desarrollado una reputación altamente respetada en proyectos de aguas residuales BNR (Eliminación de Nutrientes Biológicos) a bajo costo y eficientes a bajo costo a nivel mundial durante los últimos 20 años.

Rothwell Korea Co., Ltd. y Rothwell Associates Canadá, pioneros en los procesos de eliminación de nutrientes biológicos, han brindado amplios servicios de consultoría relacionados con la tecnología CSBR.

Rothwell Watertech Glocal Inc. se estableció recientemente en 2012 para brindar servicios de ingeniería total, desarrollo de proyectos, soluciones financieras y de negocios a lo largo de los ciclos de vida del proyecto con una amplia experiencia en gestión de proyectos desde Turn Key hasta proyectos BOT / PPP para diversas aplicaciones.

Con toda la combinación de una competencia excepcional en servicios de ingeniería avanzada, tecnologías internacionales rentables y servicios de gestión de proyectos altamente efectivos, ahora Rothwell se compone de Financiamiento de Proyectos, I + D y Diseño Avanzado de Procesos, Servicios de Adquisiciones, Gestión de la Construcción, Operación y Mantenimiento vinculados a las Garantías de Desempeño.

Este nuevo y poderoso equipo experimentado ahora está posicionado para la disponibilidad, reutilización y sostenibilidad de agua local y global avanzada en todo el mundo. Y, por lo tanto, el Grupo Rothwell está preparado para participar como uno de los 10 principales mercados mundiales en tecnología de agua en los próximos años, brindando estos servicios, experiencia y tecnologías únicas con firmas asociadas, clientes y usuarios finales de todo el mundo. (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Proyectos típicos de ingeniería realizadas por la empresa ROTHWELL

A continuación se presenta un resumen de las plantas de tratamiento realizadas por ROTHWELL en diferentes lugares y capacidades:



Sanming 80.000 m³ / d WWTP para eliminación de DBO, NH₃-N y TSS, ciudad de Sanming, provincia de Fujian, China (CSBR)



Yeosu BNR WWTP (Fase I 120.000 m³ / d, Fase II 180.000 m³ / d), Ciudad de Yeosu, Provincia de ChunNam, Corea (CSBR)



Goyang BNR WWTP (Fase I 80.000 m³ / d, Fase II 120.000 m³ / d), Ciudad de Go Yang, Provincia de Kyung Gee, Corea (CSBR)



Parque industrial Kunjang BNR WWTP (31.000 m³ / d), ciudad de Kun San, provincia de ChunBuk, Corea (CSBR)



JinKun BNR WWTP (Fase I 80.000 m³ / d, Fase II 120.000 m³ / d), Ciudad de NamYangJoo, Provincia de Kyung Gee, Corea (CSBR)



Esteban BNR WWTP (6.000 m³ / d), Ciudad de Esteban, Saskatchewan, Canadá (Stantec / Aqua MSBR)



Jeonju WWTP Expansión BNR (Fase I 100.000 m³ / d, Fase II 200.000 m³ / d), Ciudad de Jeonju, Provincia de Chun Buk, Corea (CSBR)



Planta de recuperación de aguas residuales BNR del Aeropuerto Internacional de Incheon (Fase I 20.000 m³ / d, Fase II 35.000 m³ / d), Isla Young Jong, Ciudad de Incheon, Corea (Stantec / Aqua MSBR)



Okotoks WWTP 2.500 m³ / d Modificación de zanja de oxidación, Ciudad de Okotoks, Alberta, Canadá (Stantec / Aqua MSBR)

2.3.7. Convenio de Cooperación Interinstitucional Internacional (CCII)

1. ANTECEDENTES

- ✓ En fecha 17 al 19 de mayo de 2018, el Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico y la Dirección General de Planificación del MMAyA, participaron en el Foro 2018 Global Project Plaza, organizado por la Agencia de Promoción de Inversiones Comerciales de Corea (KOTRA), dentro el Marco del Convenio de Cooperación Interinstitucional Internacional (CCII), firmado el 29 de julio de 2016, celebrada en Corea del Sur, entre el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia y la compañía privada coreana Rothwell Water Co. Ltd.

- ✓ En fecha 04 de mayo de 2018, la Dirección General de Planificación, envió nota NI/MMAyA/DGP N° 0059/2018, al Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, donde se adjunta Memorándum de Entendimiento con la Empresa Rothwell Water Co. Ltd., para su consideración, al mismo tiempo se solicita la emisión de un Informe Técnico que valore la pertinencia de suscripción del mismo.

2. OBJETIVO

- ✓ Valorar la pertinencia para la suscripción del memorándum de entendimiento para la construcción de una planta de demostración de aguas residuales, la cual será donada por Rothwell Water Co. LTD y construirla en una urbanización de la ciudad de Tarija, que tenga características técnicas requeridas.

3. ANALISIS

Dentro el Marco del Convenio de Cooperación Interinstitucional Internacional (CCII) firmado el 29 de julio de 2016, entre el MMAyA y la Compañía Privada Coreana Rothwell, en fecha 19 de abril de 2018 en la ciudad de Seúl - Corea, se estableció realizar otro proyecto demostrativo, además del Lago Titicaca, en la ciudad de Tarija en calidad de donación considerando los siguientes aspectos:

1. Planta de Tratamiento de demostración para Aguas Residuales, con tecnología de Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante (CSBR) en Tarija:
 - a. Una vez que se establezca la ubicación de la Planta demostrativa, el MMAyA proporcionará a Rothwell los datos técnicos requeridos, para proceder con el diseño y definir el CAPEX y el OPEX de la Planta demostrativa con tecnología Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante CSBR.
 - b. Rothwell asumirá los costos de ingeniería, fabricación, construcción y puesta en servicio para la puesta en marcha de la Planta de demostración.
 - c. El MMAyA mediante su Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB), ubicara una urbanización en el Municipio de Tarija, que tenga

características técnicas requeridas por Rothwell, para la instalación de la planta y ponerla en prueba.

- d. Cumplidas las condiciones indicadas, Rothwell procederá a la fabricación, instalación y puesta en marcha de la Planta de 100 m³/d. (1.16 l/s)
- e. Posteriormente, MMAyA/VAPSB y Rothwell procederán a llevar a cabo la Verificación de Rendimiento de la Planta de demostración con los criterios predeterminados y el alcance del trabajo de prueba, donde Rothwell proporcionará los equipos de prueba y los productos químicos suficientes.
- f. Una vez que se haya completado con éxito la Verificación del Rendimiento de la Planta demostrativa, y se hayan realizado los procedimientos de capacitación al personal asignado para la operación y mantenimiento de la Planta, el MMAyA/VAPSB procederá, dentro del marco de las regulaciones bolivianas relevantes, a transferir la Planta a la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija (COSAALT).
- g. Rothwell, deberá capacitar a personal técnico asignado para la Operación y Mantenimiento de la Planta, mínimamente durante 3 meses. (Puesta en marcha, operación y mantenimiento).
- h. La EPSA y/o la entidad prestadora de servicios respectiva, serán los responsables de operar la planta y encargarse de su mantenimiento.
- i. Rothwell, a través de sus oficinas en América Latina y Bolivia, y a solicitud del MMAyA/VAPSB, puede proporcionar servicios de asesoramiento a las EPSA`s y/o Gobiernos Autónomos Municipales (GAM`s), para mejorar las condiciones de operación, mantenimiento y sostenibilidad de las Plantas de Tratamiento de Agua Residuales.

4. ESTUDIOS PRELIMINARES

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Planta de demostración y en el marco del Plan de Innovación Tecnológica, el MMAyA/VAPSB solicitará formalmente a Rothwell realizará Estudios Preliminares para la PTAR Tarija. Con este Estudio, tanto el Gobierno de Corea como el Gobierno de Bolivia a través del MMAyA/ VAPSB, podrán iniciar las gestiones correspondientes para la contribución de la tecnología de Reactor de Secuencia

de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante CSBR, para mejorar la calidad de vida en el Municipio de Tarija, según los alcances de los Estudios.

- a. El MMAyA, mediante el VAPSB entregará oportunamente información técnica, social, ambiental y económica acerca de los servicios de alcantarillado sanitario del Municipio de Tarija, de acuerdo a requerimiento de Rothwell.
- b. Rothwell realizará los Estudios Preliminares para la PTAR Tarija y entregará este Estudio al MMAyA/VAPSB sin costo alguno. (se deberá considerar procedimientos y normativas bolivianas).
- c. El MMAyA/VAPSB, conforme los procedimientos y normas sectoriales bolivianas, podrá utilizar estos Estudios para comparar la tecnología de Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante CSBR con otras tecnologías, y en caso favorable, tomar recaudos para realizar las gestiones intergubernamentales para la implementación de estas plantas.

El MMAyA/VAPSB, gestiona financiamiento para el Estudio de Pre-inversión para los Colectores y Emisario para la ciudad de Tarija. Por lo expuesto, Rothwell debe coordinar para el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con la Consultora a cargo del Estudio de Pre-inversión de los Colectores y Emisario.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DEMOSTRATIVA CON TECNOLOGÍA CSBR EN EL BARRIO CATEDRAL

3.1. Antecedentes Generales

3.1.1. Ubicación Geográfica

El Municipio de Cercado – Tarija se encuentra situado en el corazón del Departamento de Tarija, es una de las 6 provincias en que se divide el departamento, comprende el área urbana de la ciudad de Tarija capital y un área rural constituida por 8 distritos (Lazareto, Tolomosa, San Mateo, Santa Ana, Yesera, San Agustín, Junacas, Alto España) y aproximadamente 73 comunidades rurales.

Se ubica dentro del Valle Central de Tarija, con altitudes que varían desde los 1.250 metros sobre el nivel del mar en la parte más baja, por la comunidad de Tipas, llegando al piedemonte con altura de 2.100 msnm y pasando a elevaciones de más de 4.300 msnm, como la montaña de la reserva biológica de Sama. (Plan Territorial de Desarrollo Integral, 2016-2020, pág. 28)

La ciudad de Tarija, se halla situada al sur entre los 21°31'54'' de Latitud Austral y los 64°43'52'' de Longitud Occidental del Meridiano de Greenwich, siendo la capital del departamento del mismo nombre, el cual posee una extensión de 34,623 km² que representa el 3,42 % del territorio nacional.

Limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con la República Argentina, al este con la República del Paraguay y al oeste con los departamentos de Potosí y Chuquisaca, la capital del departamento se encuentra a una altitud de 1886 m.s.n.m. ver figura N° 3.1.²⁸

²⁸ (COSAA LTDA, 2019)

Figura 3. 1. Ubicación del Proyecto Dentro del Contexto Nacional (BOLIVIA)



Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

Figura 3. 2. Ubicación del Proyecto Dentro del Contexto Regional (TARIJA)



Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

Figura 3. 3. Plano de la Mancha Urbana de la Ciudad de Tarija donde está emplazado el Proyecto (CERCADO)

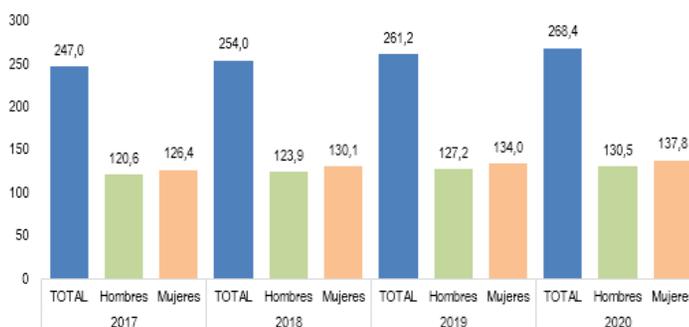


Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

3.1.2. Población

El municipio de Tarija tiene una población proyectada para este año 2019 de aproximadamente 261.200 habitantes, de los cuales 51,2% es mujer y 48,8%, hombre; para el 2020 habrá cerca de 268.400 personas en esta región del país, informó el Instituto Nacional de Estadística (ver gráfica 3.1.).²⁹

**Gráfica 3. 1. Municipio de Tarija: Proyecciones de Población por Sexo, 2017-2020
(En Miles de Habitantes)**



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística, 2014)

²⁹ (Instituto Nacional de Estadística, 2017)

3.1.3. Dotación Actual l/hab/d

La dotación per-cápita estimada en la Ciudad de Tarija según COSAALT, se muestra en el cuadro 3.1.

Cuadro 3. 1. El caudal de demanda proyectada

| AÑO | Población (hab) | Dotación (l/hab/d) | Caudal de demanda (l/s) |
|------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 2018 | 254.000 | 200 | 595.9 |

Fuente: (Plan de Desarrollo Quincenal , 2014-2018)

3.1.4. Tarifas del Alcantarillado Sanitario

A continuación, se presenta la matriz de la estructura tarifaria para el servicio de agua potable y el servicio de alcantarillado sanitario, considerando la escala de categorías y los rangos de consumo establecidos para cada categoría de usuarios.

La estructura tarifaria inicial ha sido aprobada en el ex Contrato de Concesión de Aprovechamiento de Aguas y Concesión del Servicio Público de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Tarija suscrita entre la Ex SISAB y COSAALT Ltda., y entra en vigencia a partir del 16 de febrero de 2001.

Al importe determinado por los servicios, se añade en forma mensual el importe de Bs. 1,50 por concepto de reposición de formulario, cifra que es similar para el conjunto de socios independientemente de su categoría, sea por consumo medido y no medido.

Cuadro 3. 2. Actual Estructura Tarifaria de COSAALT Ltda. a junio de 2018
Expresado en bolivianos

| Servicio Alcantarillado Sanitario | | | |
|--|------------------|-------------------|-------------------|
| N° | CATEGORIAS | Consumo medido | Consumo No medido |
| | | Cargo Fijo Bs/mes | Cargo Fijo Bs/mes |
| 1 | Doméstica A | 13,12 | 32,11 |
| 2 | Doméstica Mínima | 13,12 | 14,25 |
| 3 | Oficial | 43,74 | 49,20 |
| 4 | Especial | 54,03 | 54,69 |
| 5 | Comercial | 54,03 | 77,89 |
| 6 | Industrial 1 | 171,86 | 146,28 |
| 7 | Industrial 2 | 171,86 | 624,53 |
| 8 | Industrial 3 | 171,86 | |
| 9 | Pila Pública | | |

Fuente: (Estudio de Precios y Tarifas de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario "COSAALT LTDA", 2019-2023)

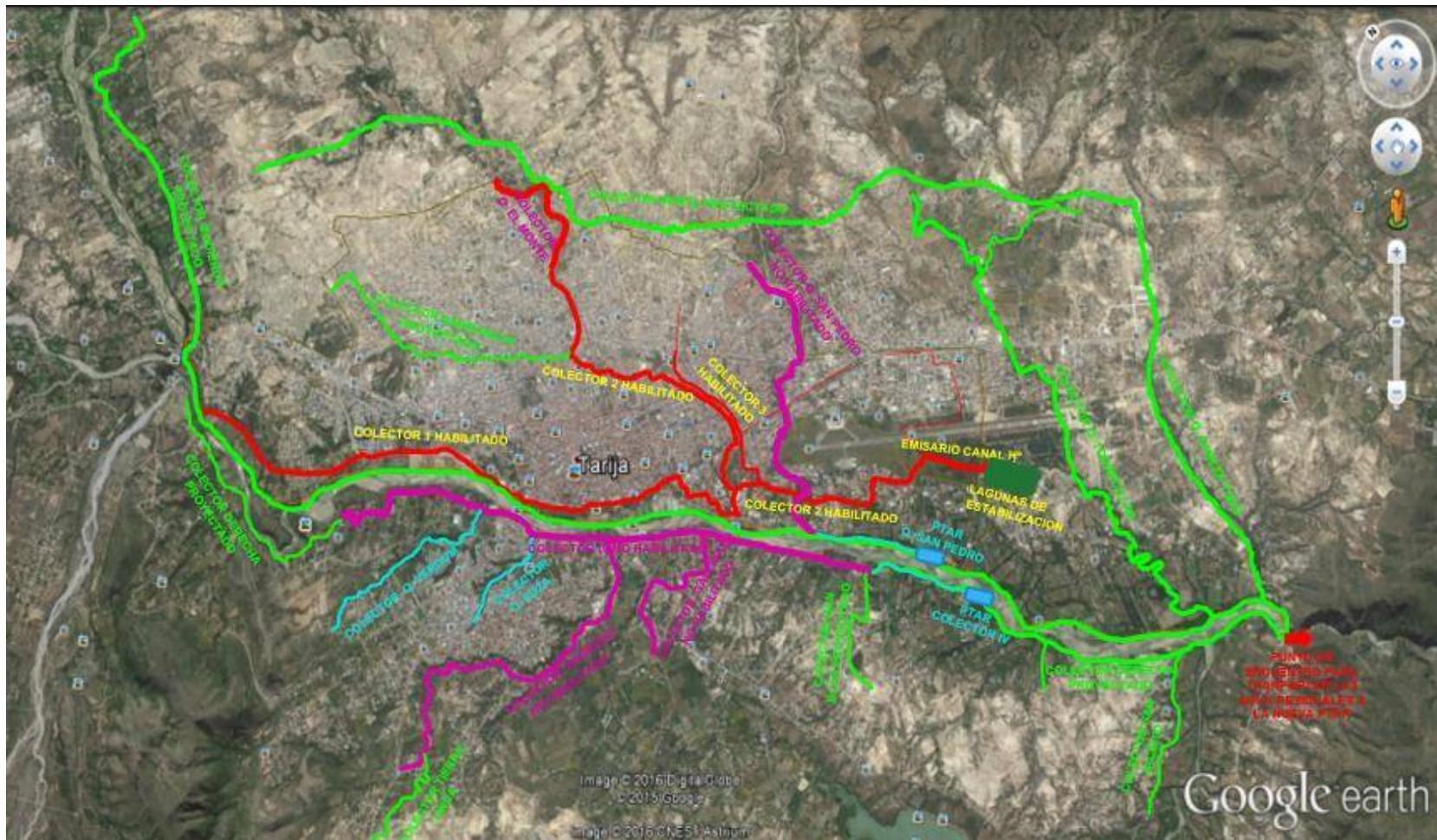
3.1.5. Descripción actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Tarija

3.1.5.1. Descripción General

El sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Tarija se ha dividido en dos grandes sectores: izquierdo y derecho, debido a que el río Guadalquivir atraviesa la ciudad y el flujo se da por gravedad.

La descripción del sistema de alcantarillado sanitario se realizará diferenciando claramente cada uno de estos sectores, ver figura 3.4.

Figura 3. 4. Colectores Habilitados, No Habilitados y Proyectos



Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

3.1.5.2. Estado Actual del Sistema de Alcantarillado Sanitario

Red Antigua: Comprende el alcantarillado sanitario de la parte central de la ciudad, fue construido en 1.946 con tuberías de concreto simple, diámetros desde 150 mm hasta 600 mm y longitud de 37.122 m, corresponde al 20% de la longitud total de los colectores.

Red Nueva: Construido por UNEPRAT – CODETAR, de 1.987 a 1.990, con tuberías de 150 mm hasta 800 mm y longitud de 50.194 m, corresponde al 28% de la longitud total de los colectores.

Cuadro 3. 3. Colectores del sistema de alcantarillado sanitario

| N° | Descripción | Unidad | Cantidad | Porcentaje |
|-------|---|--------|----------|------------|
| 1 | Tubería de hormigón simple 150 mm 6” | m | 267.093 | 68,57 |
| 2 | Tubería de hormigón simple 200 mm 8” | m | 76.851 | 19,73 |
| 3 | Tubería de hormigón simple 250 mm 10” | m | 16.673 | 4,28 |
| 4 | Tubería de hormigón simple 300 mm 12” | m | 7.984 | 2,05 |
| 5 | Tubería de hormigón simple 350 mm 14” | m | 3.154 | 0,81 |
| 6 | Tubería de hormigón simple 375 mm 15” | m | 5.274 | 1,35 |
| 7 | Tubería de hormigón simple 400 mm 16” | m | 1.610 | 0,41 |
| 8 | Tubería de hormigón simple 450 mm 18” | m | 1.866 | 0,48 |
| 9 | Tubería de hormigón simple 500 mm 20” | m | 516 | 0,13 |
| 10 | Tubería de hormigón simple 600 mm 24” | m | 3.185 | 0,82 |
| 11 | Tubería de hormigón simple 700 mm 28” | m | 1.153 | 0,30 |
| 12 | Tubería de hormigón simple 800 mm 32” | m | 3.173 | 0,81 |
| 13 | Tubería de hormigón simple 1.000 mm 40” | m | 957 | 0,24 |
| Total | | m | 389.489 | 100 |

Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

Colectores del Sector Izquierdo del Río Guadalquivir

En este sector se encuentra la parte central o principal de la ciudad, dividido por dos quebradas El Monte y San Pedro y subdividido en tres grandes áreas, comprendiendo cada una de ellas un colector principal.

El colector I, desde el barrio Paraíso, Guadalquivir hasta el barrio el Tejar, con diámetros desde 250 mm hasta 600 mm y longitud de 7.490 m.

El colector II, situado en la margen derecha de la quebrada El Monte, desde el barrio La Florida, barrio el Tejar hasta las Lagunas de estabilización con diámetros desde 350 mm hasta 800 mm y 6.770 m de longitud.

El colector III, situado en la margen izquierda de la quebrada El Monte, desde el barrio Pedro Antonio Flores hasta el barrio San Gerónimo, con diámetros desde 250 mm hasta 600 mm y longitud de 1.825 m.

Estos tres colectores constituyen el sistema central del alcantarillado sanitario de la ciudad.

El Emisario, desde los predios del aeropuerto hasta las lagunas de estabilización San Luis, es un canal de hormigón de 1mx1m longitud 765 m.

Colectores del Sector Derecho del Río Guadalquivir

El sector derecho comprende los sistemas independientes o aislados de: Tabladita, Senac, Urbanización Catedral, Luis de Fuentes.

Estos sistemas tienen un tratamiento primario en cámaras sépticas con efluentes que llegan al Río Guadalquivir a través de las quebradas Verdúm, Sagredo y otras de menor importancia.

Colectores ejecutados por la gobernación: proyecto Saneamiento del Río Guadalquivir, que no se encuentran habilitados

El colector IV, desde el barrio Aranjuez, San Martín hasta el barrio Miraflores, con diámetros desde 250 mm hasta 700 mm y longitud de 6.460 m.

El colector Sagredo, situado en la quebrada Sagredo, desde el barrio Virgen de Guadalupe, barrio Catedral hasta llegar al colector IV en la Floresta con diámetros desde 350 mm hasta 600 mm y 4.905 m de longitud.

El Colector Gallinazo, Situado en la quebrada el gallinazo pasa por el barrio Miraflores hasta llegar al colector IV con diámetros desde 315 mm hasta 400 mm y 2.000 m de longitud.

El colector Quebrada San Pedro, situado en la margen izquierda de la quebrada San Pedro, desde el barrio 7 de septiembre hasta el barrio San Gerónimo, con diámetros desde 315 mm hasta 350 mm y longitud de 3.861 m.

Colectores no ejecutados por la gobernación y colectores nuevos proyectados por COSAALT

El colector Cabeza de Toro, desde la Urbanización Las Velas, Nueva Terminal hasta el Angosto del Temporal, con diámetros desde 400 mm hasta 800 mm y longitud de 4.470 m.

El colector Quebrada Torrecillas, situado en la quebrada Torrecillas, desde el barrio Nuevo Amanecer, San Jorge II hasta llegar al colector Margen Izquierdo del Rio Guadalquivir, con diámetros desde 350 mm hasta 700 mm y 7.760 m de longitud.

El Colector Margen Izquierdo Rio Guadalquivir, desde la Comunidad de San Mateo, Los Álamos, Aranjuez, San Luis hasta el Angosto del Temporal diámetros desde 250 mm hasta 800 mm y 18.900 m de longitud.

El colector Norte, desde Monte Sud, Barrios periurbanos de la ciudad hasta el Colector Cabeza de Toro en la Urbanización Vela, con diferentes diámetros y longitud de 11.370 m.

Colectores secundarios, El Colector Las Barrancas, Margen Derecho, San Blas, San Jacinto y Tierra Linda, con diferentes diámetros y longitud de 11.350 m.

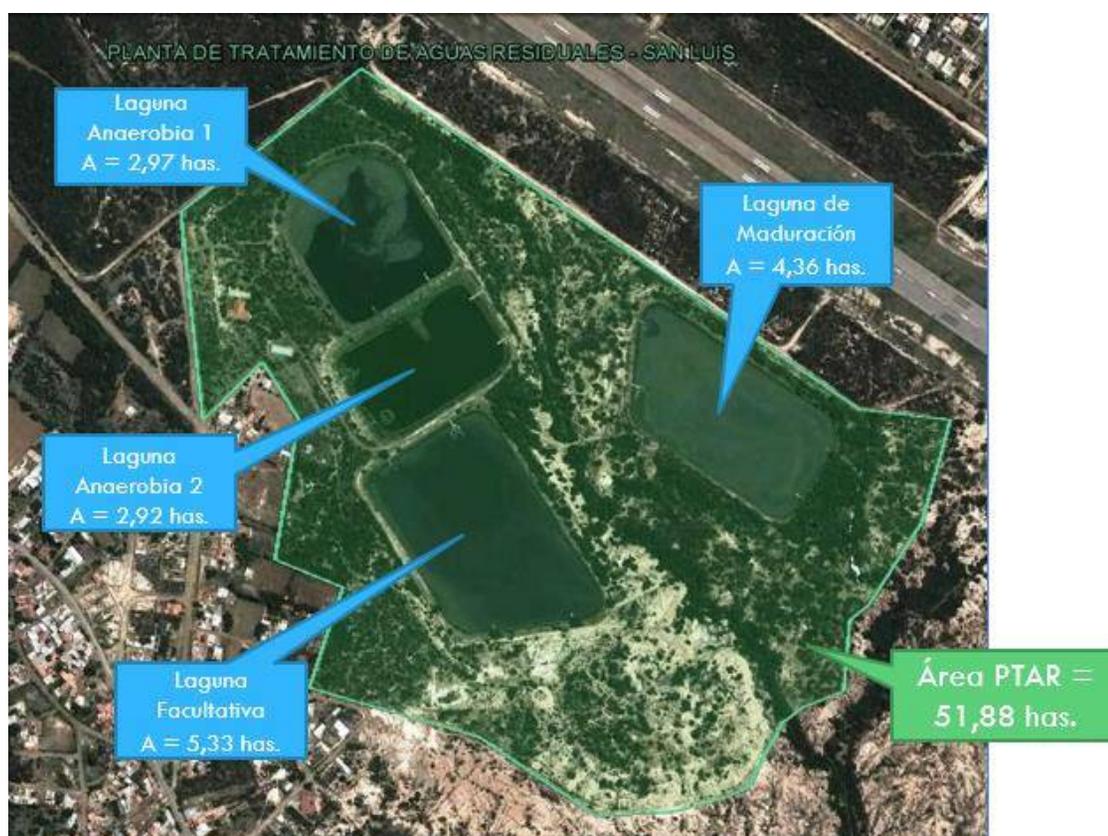
3.1.5.3. Planta de tratamiento de Aguas Residuales De San Luis

La PTAR consiste en lagunas de estabilización, las cuales están ubicadas al Sur-Este de la ciudad, a 5 km del centro.

El área total de los terrenos destinados a estas instalaciones es de 55,88 has y limita al Norte con el Aeropuerto, al Sur con San Luis, al Este con la quebrada de Torrecillas y al Oeste con el camino antiguo a San Luis.

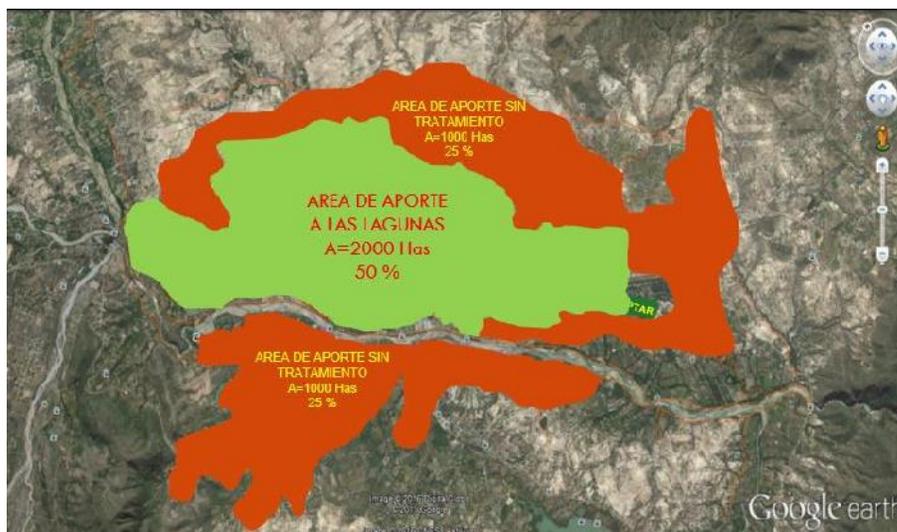
Las lagunas de estabilización están compuestas por: dos anaerobias en paralelo, una facultativa en serie y una de maduración en serie.

Figura 3. 5.Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis



Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

Figura 3. 6. Área de Aporte a las Lagunas de Estabilización (Actual)



Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

Datos técnicos de las lagunas de estabilización según diseño:

Caudal medio anual = 280 l/s

Caudal Pico tiempo de lluvias = 400 l/s

Análisis del Agua Residual en el Afluente:

DBO = 333 mg/l

DQO = 673 mg/l

Sólidos suspensión = 161mg/l

COLIFORMES = 2×10^8 NMP/100 ml

Análisis del Agua Residual en el Efluente:

DBO = 74 mg/l

DQO = 200 mg/l

Sólidos suspensión = 60 mg/lit

COLIFORMES = 7×10^6 NMP/100 ml

3.1.5.4. Ubicación Cámaras Sépticas

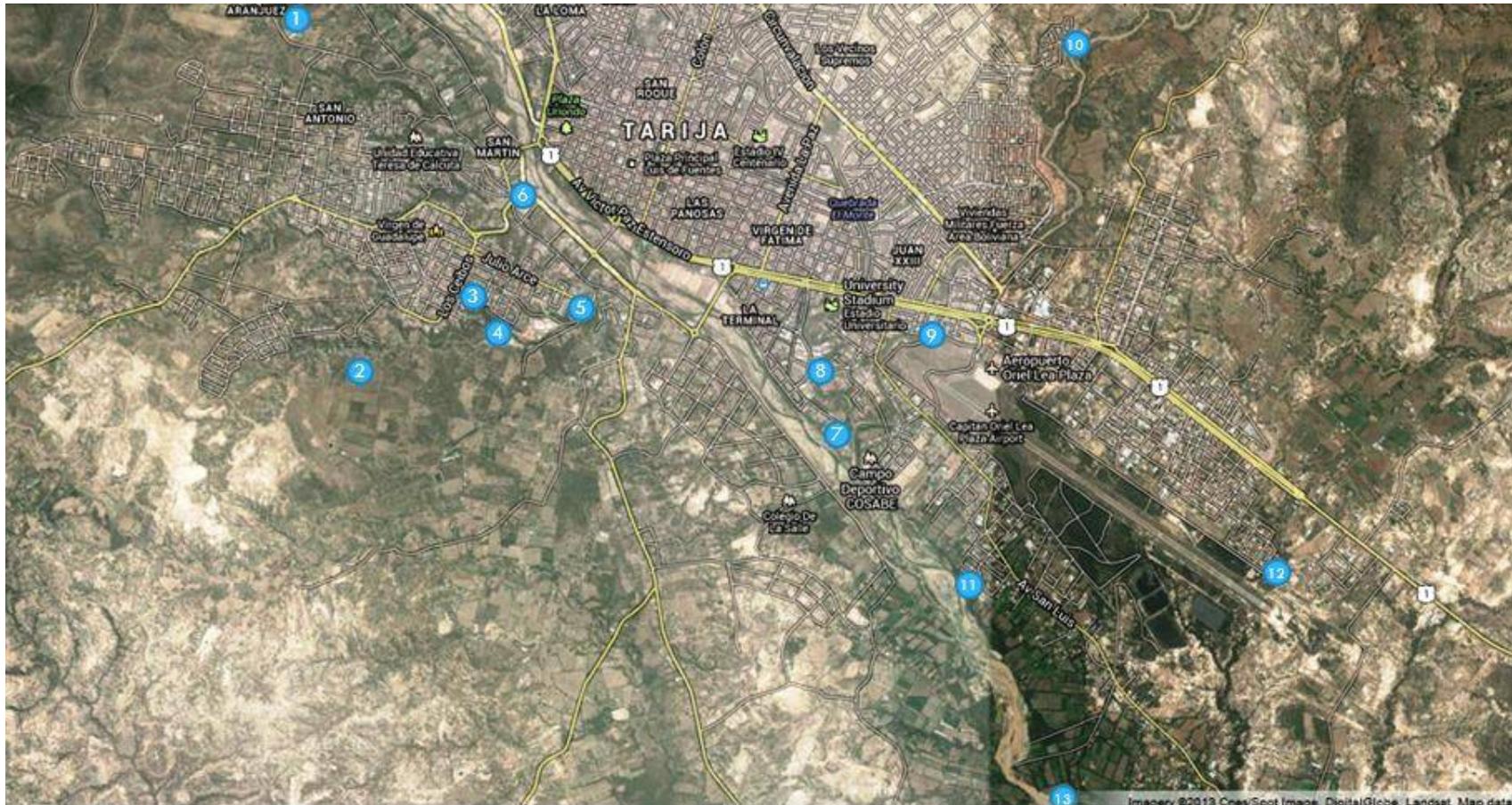
De acuerdo a la información presentada por COSAALT, la ciudad de Tarija cuenta con 16 Cámaras Sépticas más una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Lagunaje), ubicada en la Zona San Luis.

Cuadro 3. 4. Detalle de Cámaras Sépticas

| Nº | BARRIO | CAPACIDAD (m ³) |
|----|--|-----------------------------|
| 1 | Barrio Tabladita – Urb. El Carmen | 42 |
| 2 | Barrio Catedral – Oda. Sagredo | 42 |
| 3 | Barrio Senac – Av. Los Ceibos | 100 |
| 4 | Barrio Luis de Fuentes – Viv. De Cosaalt | 42 |
| 5 | Barrio El Tejar – detrás Policía | 36 |
| 6 | Barrio Lindo San Gerónimo – Viv. LAB | 18 |
| 7 | Barrio Lindo San Gerónimo – Oda. San Pedro | 18 |
| 8 | Barrio 7 de septiembre – Oda. El Gringo | 100 |
| 9 | Barrio Petrolero – Cancha de Fútbol | 100 |
| 10 | Barrio San Jorge II – Qda. Torrecillas | 40 |
| 11 | Barrio San Luis – Rio Guadalquivir | 35 |
| 12 | Barrio Morros Blancos – Qda. San Pedro | 38 |
| 13 | Barrio San Luis – Qda. Torrecillas | 12 |
| 14 | Barrio San Luis – Qda. Torrecillas | 100 |
| 15 | Barrio San Luis – Rio Guadalquivir | 100 |
| 16 | Barrio San Luis – Rio Guadalquivir | 120 |

Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

Figura 3. 7. Ubicación de las 16 Tanques Sépticos + PTAR San Luis



Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

3.2. Diseño de la Planta Demostrativa

Rothwell Wáter Co., Ltd. (Rothwell) ha diseñado el proceso CSBR (Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante) de la Planta de Demostración de Tarija a partir de las características de las aguas residuales del afluente local para alcanzar la máxima eliminación de nitrógeno y fósforo biológico.

3.2.1. Selección del sitio de ubicación.

Según el procedimiento de los acuerdos alcanzados en el Foro 2018 Global Project Plaza, el Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB), realizó una visita a la ciudad de Tarija, con la finalidad de realizar un diagnóstico del actual sistema de alcantarillado sanitario y PTAR`s - Tarija, para la ubicación de la Planta de demostración. (Ver figura 3.8.).

De acuerdo a la información presentada por COSAALT, la ciudad de Tarija cuenta con 16 Cámaras Sépticas más una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Lagunaje), ubicada en la Zona San Luis. (Ver Cuadro 3.4.).

Realizada la evaluación de todos los barrios que cuentan con Tanques Sépticos, se eligió el Barrio “Catedral”, para la construcción de la Planta de demostración.

3.2.2. Ubicación del sitio y Delimitación del área de influencia de aporte de las aguas residuales a la Planta de Demostración

La zona del proyecto se encuentra ubicado en el área urbana de la Ciudad de Tarija - Provincia Cercado del Departamento de Tarija, específicamente parte del Barrio Catedral, ver Figura 3.9. y 3.10. El mismo colinda:

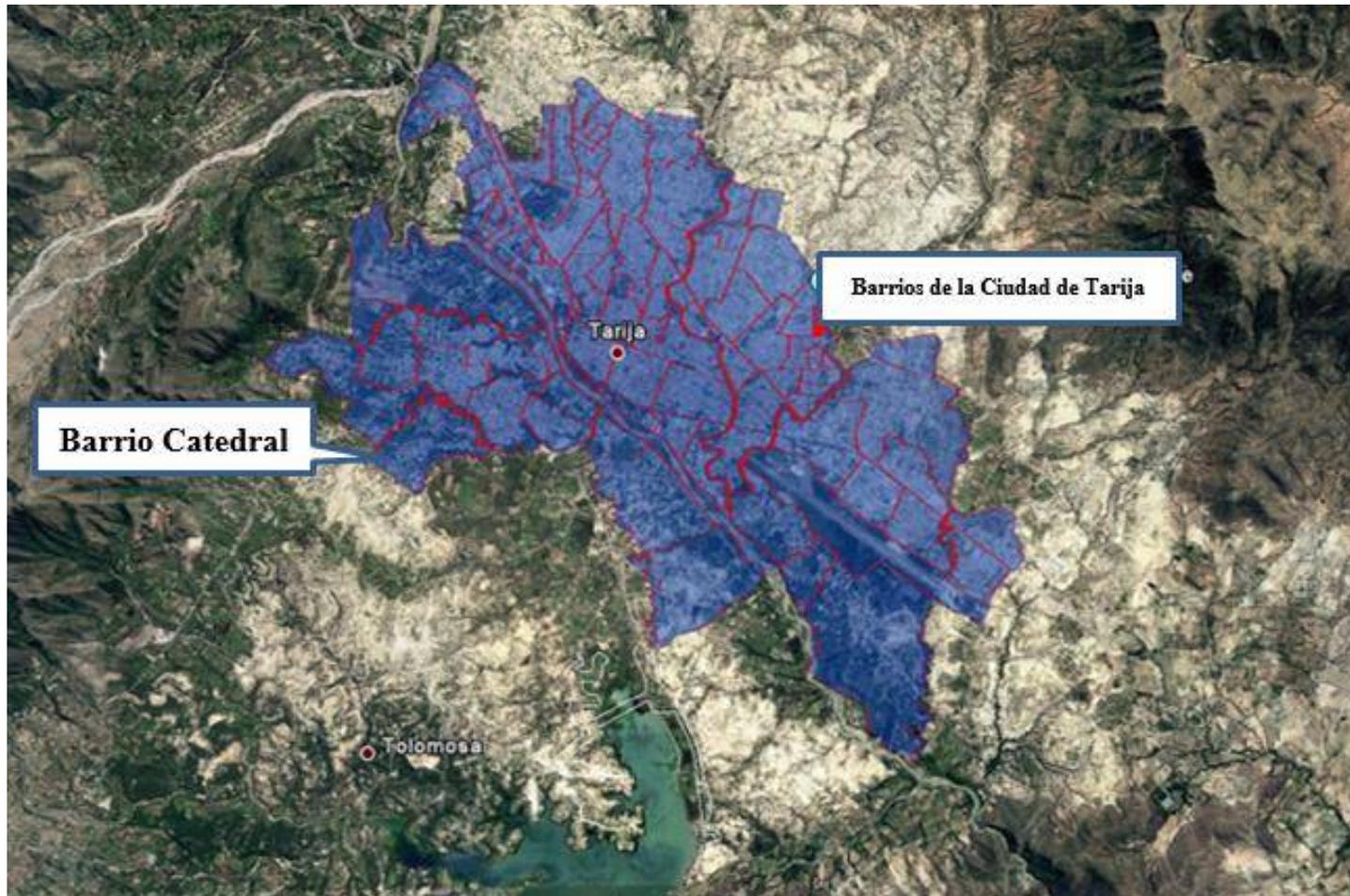
- Al Norte con la Urbanización Santa Rosa
- Al Sur con la quebrada Sagredo
- Al Este con el Barrio Cartelone
- Al Oeste con el Barrio Virgen de Guadalupe

Realizada la evaluación por parte de COSAALT de todos los barrios que no llegan a conectarse a algún colector o que por topografía la pendiente es contraria y que descargan sus aguas servidas a un cuerpo de agua, se eligió el Barrio “Catedral” para la construcción de la Planta demostrativa. Ver figura 3.11., en la cual se muestran los colectores de color verde y los mismos se encuentran con pendiente contraria para que lleguen a conectarse al colector principal hacia la PTAR de San Blas.

Las coordenadas de Ubicación de la Planta de demostración son:

- Latitud: 21° 32' 37.12”
- Longitud: 64° 45' 32.03”

Figura 3. 8. Barrios del GAM de Tarija y Ubicación del Barrio "Catedral"



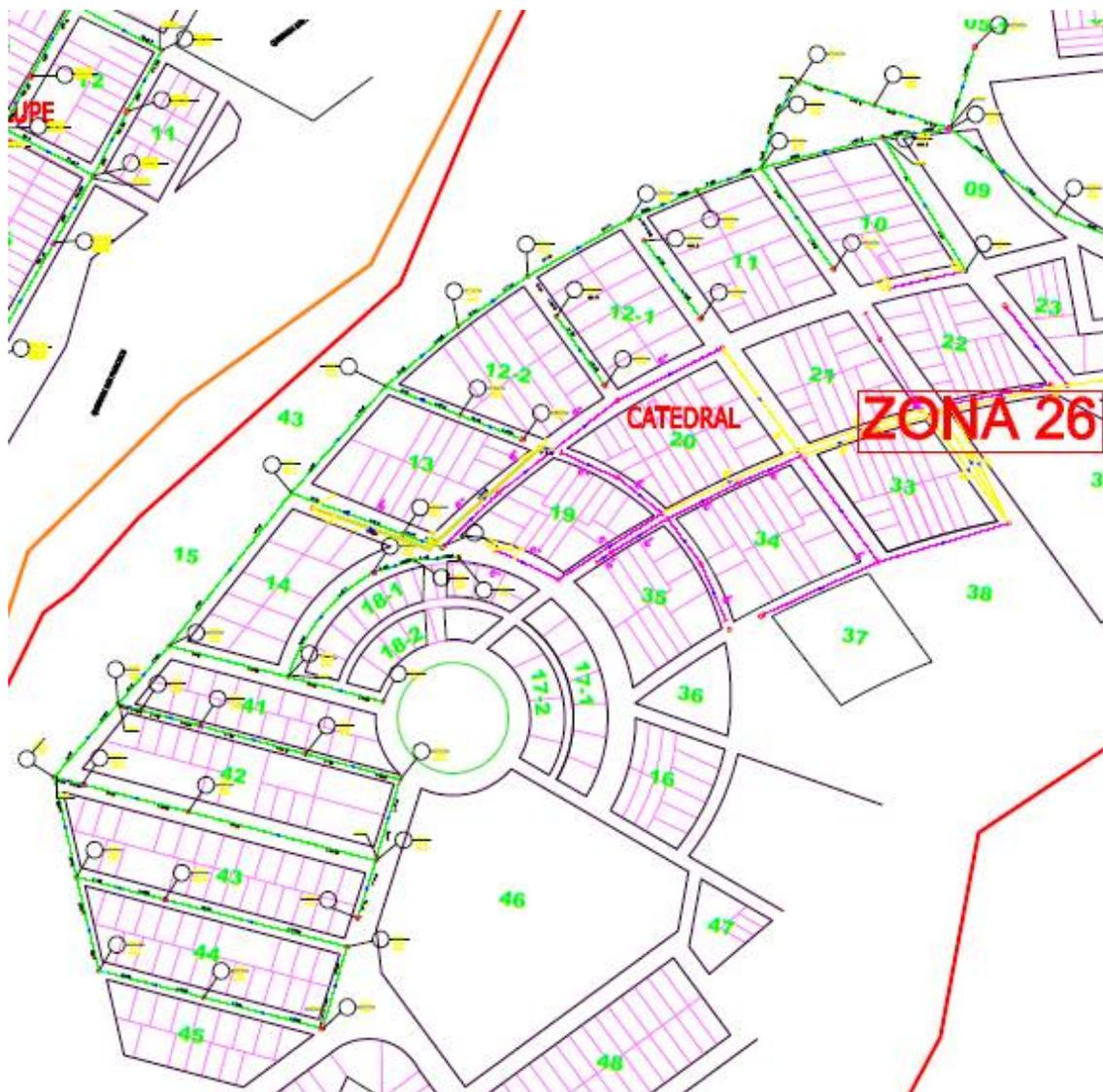
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 9. Ubicación del Barrio "Catedral"



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 10. Colectores de color verde hacia la PTAR Catedral



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Parámetros de diseño para la construcción de la Planta de Demostración

De acuerdo al Memorándum de Entendimiento, Rothwell donará una Planta de Aguas Residuales, que tratará 100 m³/día (1.16 l/s), para lo cual, de acuerdo a la visita de campo realizada a la ciudad de Tarija, se presentó los siguientes datos:

Cuadro 3. 5. Parámetros requeridos y a ser tratados

| Factores | Unidad | Valores | | | |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------|------------|--|
| Caudal de Flujo | m ³ /d | 100 | | | |
| Características del Afluente | | Aguas residuales domesticas | | | |
| Calidad y Requerimientos de diseño | | Afluente | | | |
| Calidad y Requerimientos de diseño | | Efluente | | | |
| | | Afluente | Requerimientos | Regulación | |
| DBO5 | mg/l | 500 | 80 | 350 | |
| DQOCr | mg/l | 1000 | 250 | 700 | |
| SST | mg/l | 180 | 60 | 156 | |
| Nitrógeno Total | mg/l | 21 | 15 | 37 | |
| Fósforo Total | mg/l | 5 | 2 | 8 | |
| | | Temperatura del Agua | | | |
| - Invierno | °C | 0 | | | |
| - Verano | °C | 26 | | | |

Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

3.2.4. Población que aporta sus aguas servidas a la PTAR de Demostración

La población actual, referida al número de habitantes dentro el área de proyecto se determinó mediante un censo a la población dentro del área de estudio.

Para lo cual no se puede aplicar los datos estadísticos del INE (2012) para determinar la población actual porque los mismos no se encuentran independientemente por sectores y en el Plan de Desarrollo Municipal se encuentran por distritos y no así por barrios.

Por lo tanto, se reunió la información por parte de COSAALT, en base a los socios conectados, de donde se obtuvo la lista de beneficiarios que aportan sus aguas residuales a la planta de demostración la cual se encuentra en la Zona 26; manzanos 10, 11, 12-1, 12-2, 13, 14, 18-1, 18-2, 41, 42, 43, 44 y 45, ver figura 3.11.

De esta manera, para la recolección de información de los beneficiarios se realizó lo siguiente:

- Se obtuvo un primer informe por parte de COSAALT de la lista de beneficiarios a la planta demostrativa hasta el mes de enero de 2019 donde se cuenta con los siguientes datos (Ver anexo C-1):

Cuadro 3. 6. Informe de COSAALT hasta enero de 2019

| | |
|---------------------------------------|------|
| Número de beneficiarios total (casas) | 132 |
| Número de conectados | 20 |
| Número sin conexión | 112 |
| Porcentaje de conectados | 15 % |
| Porcentaje sin conexión | 85 % |

Fuente: Elaboración propia

- En la etapa de construcción de la PTAR de demostración se llevaba a cabo las socializaciones a los beneficiarios por parte de ROTHWELL, COSAALT y la junta vecinal del barrio comenzando en Diciembre de 2018 hasta Marzo del presente año 2019 aproximadamente, para lo cual se realizaron encuestas a los vecinos para saber cuántas personas habitan en la vivienda, con qué tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales cuenta y si están dispuestos a

conectarse a la actual red de alcantarillado sanitario que se dirige a la futura planta de demostración para su tratamiento, (Ver anexo C-2).

Existió un número de viviendas que no fueron encuestadas por no encontrarse nadie en el momento de la visita, otras que se reusaron a brindar información y se pudo evidenciar que algunas seguían en lotes. De acuerdo a información de los vecinos y de la junta vecinal el área de influencia a la planta de demostración no cuenta con aporte de colegio, industria o algún sector público; siendo el aporte netamente doméstico.

Por lo tanto, de acuerdo a las encuestas realizadas se puede dar el valor promedio de alrededor 5 miembros por familia, (Ver anexo C-1).

- Durante el tiempo en que la empresa ROTHWELL se encontraba solucionando algunos problemas para que la planta de demostración entre en funcionamiento sin inconvenientes, la misma solicito que COSAALT agilice el tema de las conexiones a la red de alcantarillado sanitario; por lo tanto, se realizó un nuevo informe del avance a la misma hasta mayo de 2019, (Ver anexo C-3). Para lo cual se tiene los siguientes resultados:

Cuadro 3. 7. Informe de COSAALT hasta mayo de 2019

| | |
|---------------------------------------|------|
| Número de beneficiarios total (casas) | 136 |
| Numero de conectados | 105 |
| Número sin conexión | 31 |
| Porcentaje de conectados | 77 % |
| Porcentaje sin conexión | 23 % |

Fuente: Elaboración propia

- Luego, se solicita un último informe por parte de COSAALT hasta el mes de septiembre antes de la puesta en marcha de la planta, (Ver anexo C-4). En el cual se tiene los siguientes resultados:

Cuadro 3. 8. Informe de COSAALT hasta septiembre de 2019

| | |
|---------------------------------------|------|
| Número de beneficiarios total (casas) | 139 |
| Número de conectados | 111 |
| Número sin conexión | 28 |
| Porcentaje de conectados | 80 % |
| Porcentaje sin conexión | 20 % |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, analizando la recopilación de la información de la población se tiene:

Cuadro 3. 9. Análisis de la recopilación de la información de la población

| Descripción | Enero | Mayo | Septiembre |
|---------------------------------------|-------|------|------------|
| Número de beneficiarios total (casas) | 132 | 136 | 139 |
| Número de conectados | 20 | 105 | 111 |
| Número sin conexión | 112 | 31 | 28 |
| Porcentaje de conectados | 15 % | 77 % | 80 % |
| Porcentaje sin conexión | 85 % | 23 % | 20 % |

Fuente: Elaboración propia

En un inicio, hasta el mes de enero del presente año no se tenía una buena cantidad de conectados a la red de alcantarillado sanitario. En ese entonces los que si se encontraban conectados sus aguas residuales domesticas finalizaban en la quebrada Sagredo.

Luego de solicitar la ampliación de conexiones y obteniendo el informe hasta el mes de mayo del presente año, se puede apreciar un gran incremento de conexiones nuevas a 105 comparando con el informe del mes de enero del presente año que se tenía un total de 20 beneficiarios conectados con un aumento de 4 beneficiarios nuevos.

Por último, hasta septiembre del presente año de acuerdo al informe obtenido se observa un bajo aumento de conectados, pero se incrementa el número de beneficiarios a 3. Así que, se espera que se llegue al 100% de socios conectados.

Teniendo en cuenta el último informe hasta el mes de septiembre de 2019, asumiendo que cada conexión cuenta con un promedio de 5 miembros de acuerdo a las encuestas realizadas se tiene la población actual de:

$$P_0 = N^{\circ} \text{ de conexiones} * N^{\circ} \text{ de miembros en cada familia}$$

Donde:

P_0 Población actual, en habitantes.

$$P_0 = 111 * 5 \text{ hab}$$

$$P_0 = 555 \text{ hab}$$

Donde, la población total sería:

$$P_T = N^{\circ} \text{ de conexiones totales} * N^{\circ} \text{ de miembros en cada familia}$$

Donde:

P_T Población total, en habitantes.

$$P_0 = 139 * 5 \text{ hab}$$

$$P_0 = 695 \text{ hab}$$

3.2.5. Caudal de ingreso actual a la Planta de Demostración

El caudal de aporte hacia la PTAR de demostración se lo realizó volumétricamente y por la dificultad que se presenta al llenar y vaciar el tanque se lo hizo una vez, de esta manera tenemos un aproximado del afluente que se explica a continuación:

En fecha 17 de junio de 2019, llenamos el tanque de ecualización en horas de la mañana (aproximadamente de 8 am a 12 pm, 4 horas y 20 minutos) a 1,8 m de altura; por lo tanto, el volumen de llenado fue:

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

$$V = \pi * (1,2 \text{ m})^2 * 1,8 \text{ m}$$

$$\mathbf{V = 8,14 \text{ m}^3}$$

Donde:

V Volumen, en m^3

r Radio del tanque, en m

h Altura de llenado

tardamos 260 minutos en llenar 8,14 m^3 ; por lo tanto, el flujo del afluente durante el tiempo de 4 horas es:

$$Q_{\text{afluente}} = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q_{afluente} Caudal del afluente, en $\frac{m^3}{hr}$

V Volumen, en m^3

t Tiempo de llenado del tanque, en min

$$Q_{\text{afluente}} = \frac{8,14 \text{ m}^3}{260 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}$$

$$\mathbf{Q_{\text{afluente}} = 1,88 \frac{m^3}{hr}}$$

Por la fecha, este resultado del flujo del afluente corresponde a 105 casas (familias) conectadas en ese entonces a la red de alcantarillado que llega a la PTAR Catedral.

El número total de familias que se conectarán es de 136, por lo que 105 corresponde al 77 % de las conexiones a la red de alcantarillado.

Debido a que solo se obtuvo el caudal del afluente en ciertas horas del día y no durante las 24 horas, entonces se realizará el cálculo de acuerdo a la población y dotación real de acuerdo a volúmenes de agua potable consumidos en el área de aporte a la PTAR, explicando a continuación:

Dotación media diaria

La contribución de las aguas residuales depende principalmente del abastecimiento de agua. Para el dimensionamiento del sistema de alcantarillado sanitario debe ser utilizado el consumo de agua efectivo per cápita, sin tomar en cuenta las pérdidas de agua.

Para el caso de sistemas nuevos de alcantarillado sanitario, la dotación media diaria de agua debe ser obtenida sobre la base de la población y zona geográfica dada, según lo especificado en el cuadro 3.10.

Cuadro 3. 10. Dotación media (l/hab/d)

| Zona | Población (hab) | | | | | |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | Hasta 500 | De 501 a 2.000 | De 2.001 a 5.000 | De 5.000 a 20.000 | De 20.001 a 100.000 | Más de 100.000 |
| Del Altiplano | 30 a 50 | 30 a 70 | 50 a 80 | 80 a 100 | 100 a 150 | 150 a 200 |
| De los Valles | 50 a 70 | 50 a 90 | 70 a 100 | 100 a 140 | 150 a 200 | 200 a 250 |
| De los Llanos | 70 a 90 | 70 a 110 | 90 a 120 | 120 a 180 | 200 a 250 | 250 a 350 |
| NOTAS | | (1) | | | (2) | |

Fuente: Norma Boliviana NB 689

(1) Justificar a través de un estudio social

(2) Justificar a través de un estudio socio-económico

Las dotaciones indicadas son referenciales y deben ajustarse sobre la base de estudios que identifiquen la demanda de agua, capacidad de la fuente de abastecimiento y las condiciones socioeconómicas de la población; deben utilizarse datos de poblaciones con características similares.

De esta manera, considerando la población actual y realizando un análisis a la información con los consumos mensuales en promedio por parte de COSAALT se tiene una dotación de agua real al área de influencia que aporta a la PTAR de 95 l/hab/d, donde la fuente de agua potable es mediante el sedimentador ubicado en el barrio Alto Senac y de Planta de Tratamiento de Agua Potable del barrio Tabladita; estos aportes llegan a un tanque de almacenamiento semienterrado ubicado en el barrio Catedral que tiene una disposición mediante gravedad al área de influencia hacia la PTAR.

Cuadro 3. 11. Dotación media (l/hab/d) de acuerdo a la población actual

| Descripción | | Población actual | Dotación media |
|-------------------|------------|------------------|----------------|
| | | (hab) | (l/hab/d) |
| Mayo | Conectados | 525 | 90 |
| | Total | 680 | 90 |
| Septiembre | Conectados | 555 | 90 |
| | Total | 695 | 90 |

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de retorno

El coeficiente de retorno (C) es la relación que existe entre el caudal medio de aguas residuales domésticas y el caudal medio de agua que consume la población. Del total de agua consumida, solo una parte contribuye al alcantarillado, pues el saldo es utilizado para lavado de vehículos, lavado de aceras y calles, riego de jardines y huertas, irrigación de parques públicos, terrazas de residencias y otros. De esta manera, el coeficiente de retorno

depende de factores locales como la localización y tipo de vivienda, condición de las calles (pavimentadas o no), tipo de clima u otros factores.

Se deben utilizar valores entre el 60 % al 80 % de la dotación de agua potable. Valores menores y mayores a este rango deben ser justificados por el proyectista.

Contribuciones de aguas residuales domésticas (Q_{MD})

El caudal medio diario doméstico (Q_{MD}), debe ser calculado utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{MD} = \frac{P_0 * D_0 * C}{86400}$$

Donde:

Q_{MD} = Caudal medio diario doméstico, en L/s

C = Coeficiente de retorno, adimensional

P_0 = Población actual, en hab

D_0 = Consumo de agua per cápita actual, en l/hab/d

$$Q_{MD} = \frac{525 * 90 * 0,8}{86400}$$

$$Q_{MD} = 0,438 \text{ l/s}$$

Cuadro 3. 12. Caudal medio diario doméstico (m³/d)

| Descripción | | Población actual (hab) | Dotación media (L/hab/d) | Caudal medio diario doméstico, en l/s | Caudal medio diario doméstico, en m ³ /d |
|-------------------|------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|
| Mayo | Conectados | 525 | 90 | 0.438 | 37.8 |
| | Total | 680 | 90 | 0.567 | 48.96 |
| Septiembre | Conectados | 555 | 90 | 0.463 | 39.96 |
| | Total | 695 | 90 | 0.579 | 50.04 |

Fuente: Elaboración propia

– **Caudal máximo diario**

Es el consumo máximo durante 24 horas observado durante un período de un año sin tomar en cuenta los gastos producidos por los incendios.

Se lo determinará multiplicando el consumo medio diario por un coeficiente k_1 que varía entre 1.2 a 1.5 según las características de la población.

$$Q_{\text{max diario}} = Q_{\text{m.d.}} * K_1$$

Donde:

$Q_{\text{max diario}}$ = caudal máximo diario (l/s)

Q_{medio} = caudal medio diario (l/s)

K_1 = Coeficiente de variación diaria y este valor oscila entre 1.2 y 1.5. Se adoptó el valor de 1.2 debido a que la temperatura en Cercado es constante en todo el año por lo que habrá poca variación en el consumo con respecto al consumo medio y para darle seguridad a nuestra captación.

$$Q_{\text{max diario}} = 0,438 * 1,2$$

$$Q_{\text{max diario}} = 0,525 \text{ l/s}$$

Cuadro 3. 13. Caudal máximo diario doméstico (m³/d)

| Descripción | | Población actual (hab) | Caudal medio diario doméstico, en l/s | k1 | Caudal máximo diario doméstico, en l/s | Caudal máximo diario doméstico, en m ³ /d |
|-------------------|------------|------------------------|---------------------------------------|-----|--|--|
| Mayo | Conectados | 525 | 0.438 | 1.2 | 0.525 | 47.25 |
| | Total | 680 | 0.567 | 1.2 | 0.680 | 61.20 |
| Septiembre | Conectados | 555 | 0.463 | 1.2 | 0.555 | 49.95 |
| | Total | 695 | 0.579 | 1.2 | 0.695 | 62.55 |

Fuente: Elaboración propia

– Caudal de infiltración

Con la finalidad de establecer valores de infiltración en tubos se presenta el siguiente cuadro donde se muestra el caudal de infiltración en l/seg/m, es decir por metro lineal de tubería.

Es inevitable la infiltración de aguas subterráneas principalmente freáticas a través de fisuras en los colectores, juntas mal ejecutadas y en la unión de colectores con las cámaras de inspección y en las mismas cámaras cuando no son estancas.

El coeficiente de infiltración varía según: La altura del nivel freático sobre el fondo del colector, permeabilidad del suelo y cantidad de precipitación anual y dimensiones, estado y tipo de alcantarillas y cuidado en la construcción de cámaras de inspección.

Cuadro 3. 14. Valores de infiltración en tubos (l/seg/m)

| Tubo de: | Cemento | | Arcilla | | Arcilla vitrificada | | PVC | |
|----------|---------|--------|---------|--------|---------------------|--------|-----------|---------|
| | Cemento | Goma | Cemento | Goma | Cemento | Goma | Pegamento | Goma |
| NF Bajo | 0,0005 | 0,0002 | 0,0005 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,00005 |
| NFAlto | 0,0008 | 0,0002 | 0,0007 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0001 | 0,00015 | 0,00005 |

Fuente: (NB688 Reglamentos Técnicos de Diseños de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial, 2007)

$$Q_i = 0,0001 \text{ l/s/m} * L_T$$

$$Q_i = 0,0001 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 3.438,358 \text{ m}$$

$$Q_i = 0,344 \text{ l/s}$$

$$Q_i = 29,707 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

– **Coefficientes por conexiones erradas**

En los caudales de aguas residuales se deben considerar los caudales pluviales provenientes de malas conexiones o conexiones erradas, los cuales determinan fijar un coeficiente de seguridad del 5% al 10% del caudal máximo previsto de aguas residuales.

Cuadro 3. 15. Caudal de conexiones erradas (m³/d/m)

| Descripción | Población actual (hab) | Caudal máximo diario doméstico, en l/s | | Caudal de conexiones erradas, en l/s | | Caudal de conexiones erradas, en m ³ /d | |
|-------------------|------------------------|--|-------|--------------------------------------|------|--|--|
| | | | | | | | |
| Mayo | Conectados | 525 | 0.525 | 0.05250 | 4.54 | | |
| | Total | 680 | 0.680 | 0.06800 | 5.88 | | |
| Septiembre | Conectados | 555 | 0.555 | 0.05550 | 4.80 | | |
| | Total | 695 | 0.695 | 0.06950 | 6.00 | | |

Fuente: Elaboración propia

Caudal de diseño final

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{max diario}} + Q_i + Q_e$$

Donde:

$Q_{\text{max diario}}$ = Caudal máximo diario, en l/s

Q_i = Caudal de infiltración, en l/s

Q_e = Caudal de conexiones erradas, en l/s

Cuadro 3. 16. Caudal máximo doméstico (m³/d)

| Descripción | | Población actual (hab) | Caudal máximo diario doméstico en l/s | Caudal de infiltración en l/s | Caudal de conexiones erradas en l/s | Caudal máximo doméstico en l/s | Caudal máximo doméstico en m ³ /d |
|-------------------|------------|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| Mayo | Conectados | 525 | 0.525 | 0.34384 | 0.05250 | 0.921 | 79.60 |
| | Total | 680 | 0.680 | 0.34384 | 0.06800 | 1.092 | 94.33 |
| Septiembre | Conectados | 555 | 0.555 | 0.34384 | 0.05550 | 0.954 | 82.45 |
| | Total | 695 | 0.695 | 0.34384 | 0.06950 | 1.108 | 95.76 |

Fuente: Elaboración propia

El caudal actual del afluente que se obtuvo teóricamente de acuerdo a la población actual y dotación real se tiene una aproximación que no sobrepasa el diseño, así que se consideran aceptables los resultados del cálculo.

3.2.6. Dimensionamiento

Al brindarse la información de la memoria de cálculo (Ver anexo D-1), se tienen un resumen del dimensionamiento para la PTAR en el Barrio Catedral en Tarija (Ver Cuadro

3.18.). así mismo se presenta los planos de diseño (Ver anexo D-2) y los dibujos esquemáticos de los tanques a detalle (Ver anexo D-3).

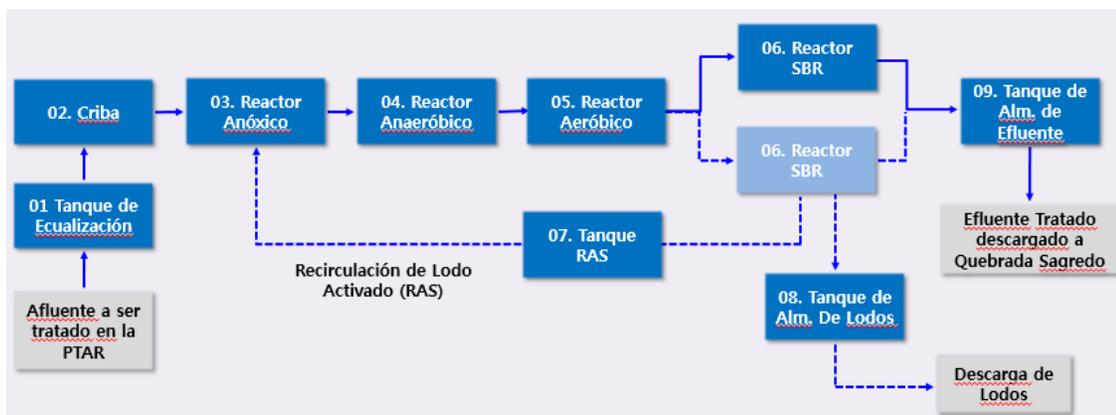
Cuadro 3. 17. Resumen del dimensionamiento para la PTAR de Demostración en el Barrio Catedral - Tarija

| Estructura CSBR - Volumen Biorreactor | | | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------------|----------|---------------------------|-------------------------------------|----|
| N° | Nombre del tanque | Tamaño (m) | Cantidad | Volumen (m ³) | Tiempo de retención en cada reactor | |
| T-06 | Cámara RAS | D 1,0 x H 4,08 xHa 3,55 | 1 | 2,8 | 0,67 | hr |
| T-02 | Tanque anoxico | D 1,2 x H 4,08 xHa 3,55 | 1 | 4 | 0,96 | hr |
| T-03 | Tanque anaeróbico | D 1,2 x H 4,08 xHa 3,55 | 1 | 4 | 5,02 | hr |
| T-04 | Tanque aeróbico | D 2,74xH 4,26xHa 3,55 | 1 | 20,9 | 5,02 | hr |
| T-05A | SBR Tanque #1 (Condición de decantación) | D 2,2 x H 4,0 x Ha 3,55 | 1 | 13,5 | 3,24 | hr |
| T-05B | SBR Tanque #2 (Condición de reacción) | D 2,2 x H 4,0 x Ha 3,55 | 1 | 13,5 | 3,24 | hr |
| Total | | | | 58,7 | 14,1 | hr |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Las aguas residuales domésticas (afluente) que ingresan a la PTAR atraviesan la siguiente secuencia de procesos (ver Figura 3.12.):

Figura 3. 11. Proceso de la PTAR – Barrio Catedral



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Aplicación Final

El efluente tratado se trasladará al tanque de Almacenamiento de Efluente, donde luego será descargado por gravedad hacia la Quebrada Sagredo o bombeado fuera del sistema para riego de forestación y/o parques urbanos. En caso de que la PTAR no funcione, un bypass conduce el agua a la quebrada aleña (Quebrada Sagredo).

De acuerdo a la memoria de cálculo se tiene el balance de masa de la PTAR de Demostración para el Barrio Catedral (ver Cuadro 3.19.).

Cuadro 3. 18. Balance de Masa

BALANCE DE MASA

(Planta de Demostracion Tarija, Invierno, 15 grados)

1. Afluente

| Items | Conc. (mg/L) | Carga (kg/dia) |
|------------|--------------|----------------|
| Q (m3/dia) | 100 | |
| DBO | 500 | 50 |
| DQO | 1000 | 100 |
| SS | 180 | 18 |
| T - N | 21 | 2.1 |
| T - P | 5 | 0.5 |

2. CSBR Afluente

| Items | Conc. (mg/L) | Carga (kg/dia) |
|------------|--------------|----------------|
| Q (m3/dia) | 100 | |
| DBO | 500 | 50 |
| DQO | 1000 | 100 |
| SS | 180 | 18 |
| T - N | 21 | 2.1 |
| T - P | 5 | 0.5 |

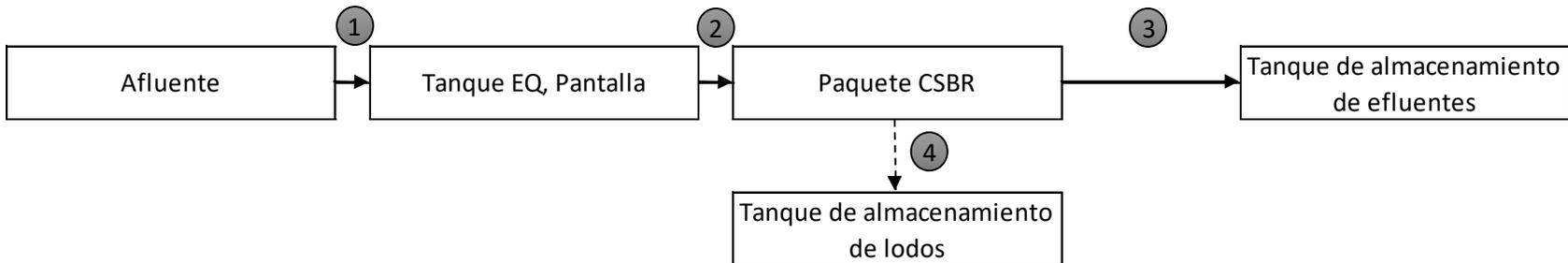
3. Efluente de CSBR

| Items | Conc. (mg/L) | Carga (kg/dia) |
|------------|--------------|----------------|
| Q (m3/dia) | 97.33 | |
| DBO | 80 | 7.79 |
| DQO | 250 | 24.33 |
| SS | 60 | 5.84 |
| T - N | 15 | 1.46 |
| T - P | 2 | 0.19 |

| Relacion de eliminacion (%) |
|-----------------------------|
| 84% |
| 76% |
| 68% |
| 30% |
| 61% |

4. WAS

| Items | Conc. (mg/L) | Carga (kg/dia) |
|------------|--------------|----------------|
| Q (m3/dia) | 2.67 | |
| DBO | 9.171 | 24.51 |
| DQO | 9.688 | 25.89 |
| SS | 11 | 29.39 |
| T - N | 725 | 1.94 |
| T - P | 114 | 0.31 |



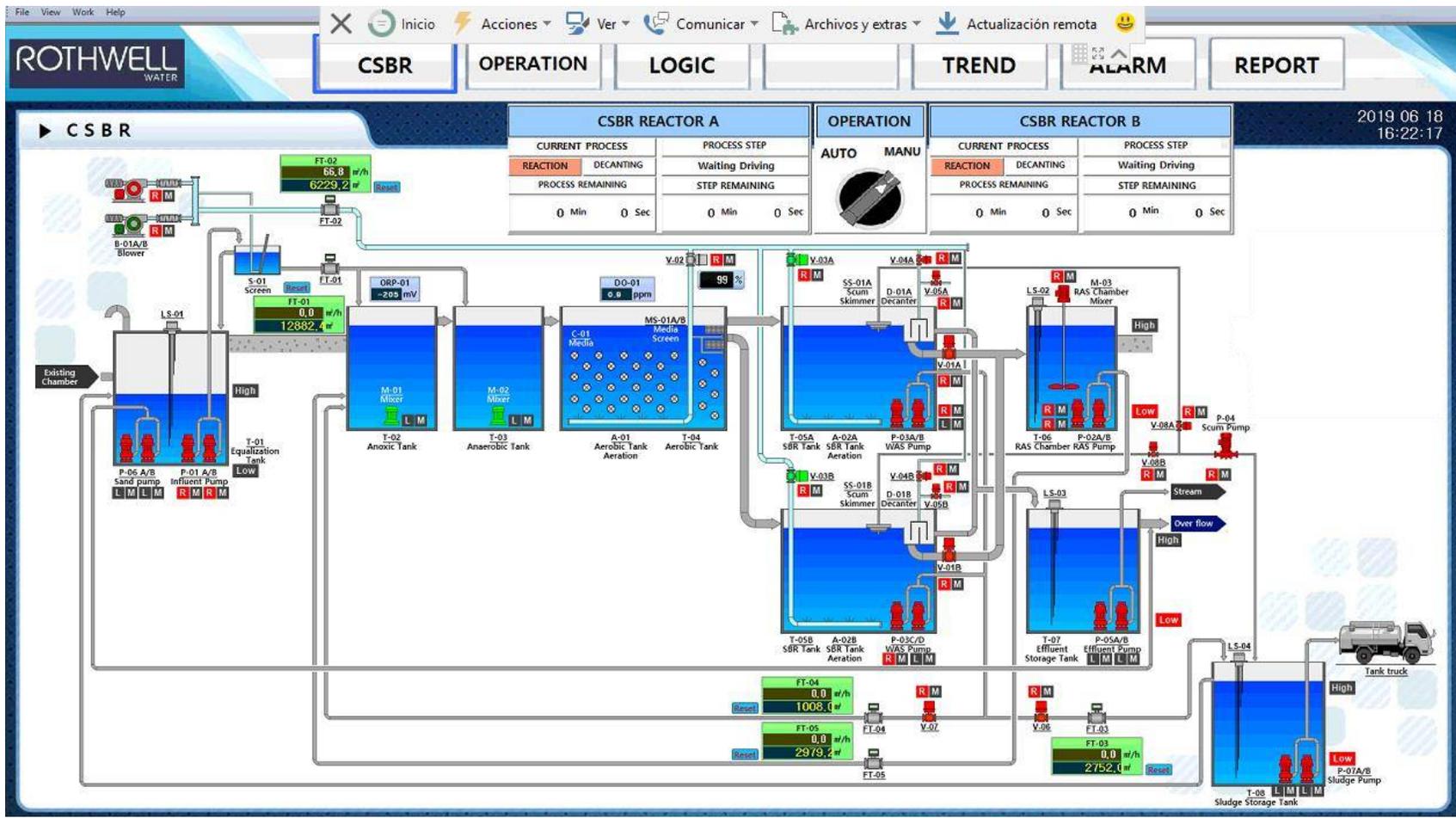
Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

3.2.7. Operación HMI (Software de Control):

Pantalla de monitoreo del proceso

La pantalla muestra el sistema Tarija CSBR como se muestra a continuación. La pantalla HMI se muestra en la Figura 3.13., después de que se ejecuta el programa

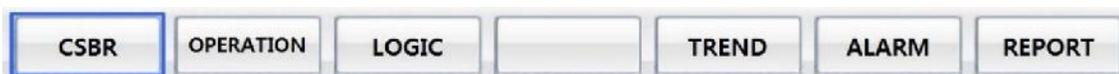
Figura 3. 12. Sistema de monitoreo central, no requiere un inicio de sección



Fuente: Elaboración propia

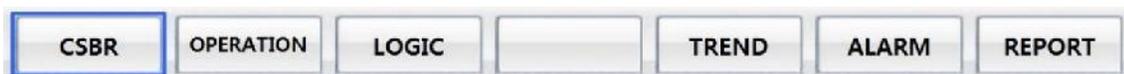
El sistema de monitoreo CSBR consta de 6 partes considerando las condiciones de operación.

- ① CSBR ②Operación ③Lógica ④Tendencia ⑤Alarma ⑥Informe



Al hacer clic en el botón, la pantalla cambia a la parte diferente.

3.2.7.1. CSBR



La pantalla CSBR muestra colectivamente el estado de operación del biorreactor operado actualmente, incluido el estado de operación del tanque de SBR, la etapa y el tiempo de tratamiento, y así sucesivamente. Ver figura 3.

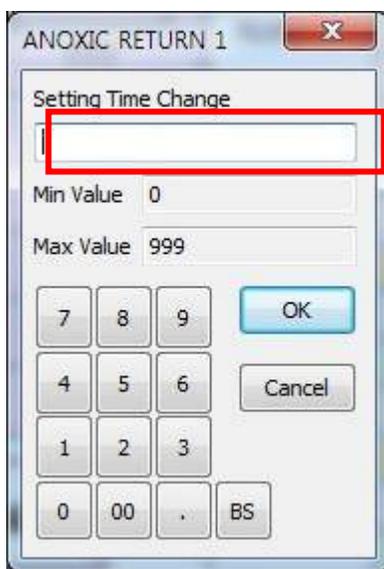
El biorreactor consta de A2O (tanque anóxico, tanque anaeróbico y tanque aeróbico), dos tanques SBR y cámara RAS para 24 horas de operación continua. Estos dos reactores SBR se operan repitiendo la descarga de agua y el proceso de reacción alternativamente cada 2 horas con 4 horas como ciclo básico.

Para operar adecuadamente la planta de tratamiento, incluido el biorreactor, hay un tanque de control de flujo y una pantalla para eliminar los sólidos de entrada en frente del tanque de reacción. Hay un tanque de almacenamiento de efluentes y un tanque de almacenamiento de lodo para controlar la descarga de agua tratada y el exceso de lodo.

La configuración principal se puede cambiar aquí y el menú de "OPERACIÓN" se divide en tres partes.

- a. Estado del proceso
- b. Ajuste de tiempo de proceso
- c. Otra configuración de tiempo de detalle

Haga clic en la hora que desea modificar en la pantalla y aparecerá la siguiente ventana.



Si hace clic en los números que desea modificar y hace clic en el botón "Aceptar", los números modificados se aplicarán al programa y también a la pantalla.

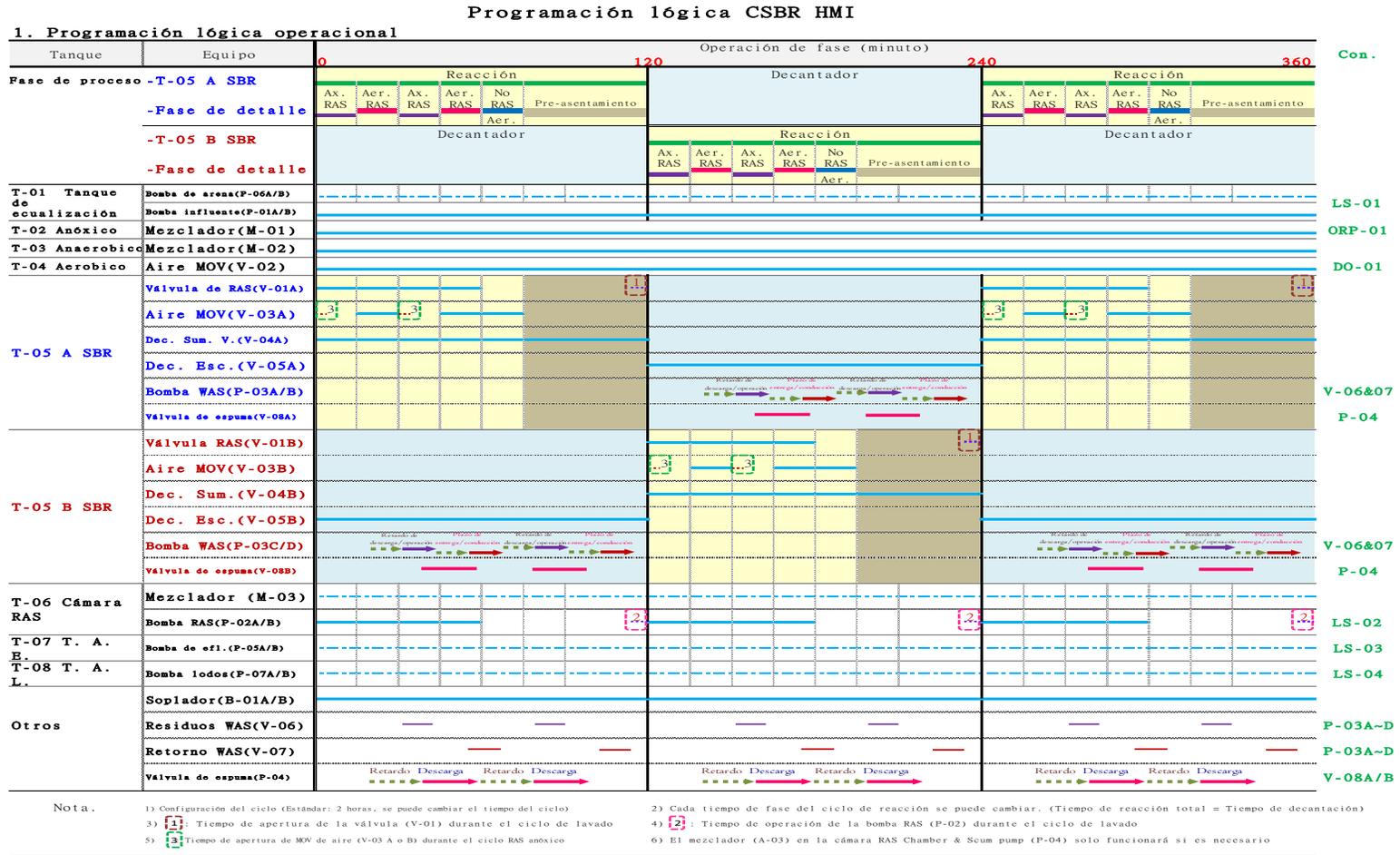
Cuando haya terminado, simplemente haga clic en la "X" en la esquina superior derecha para cerrar la ventana. Los ajustes se aplican en el siguiente tiempo de proceso.

3.2.7.3. Programación Lógica CSBR HMI

La parte "lógica" describe una descripción del cronograma de tiempo de operación, como el tiempo para la etapa de procesamiento y el equipo y las válvulas. Este es el contenido básico para el proceso de operación CSBR.



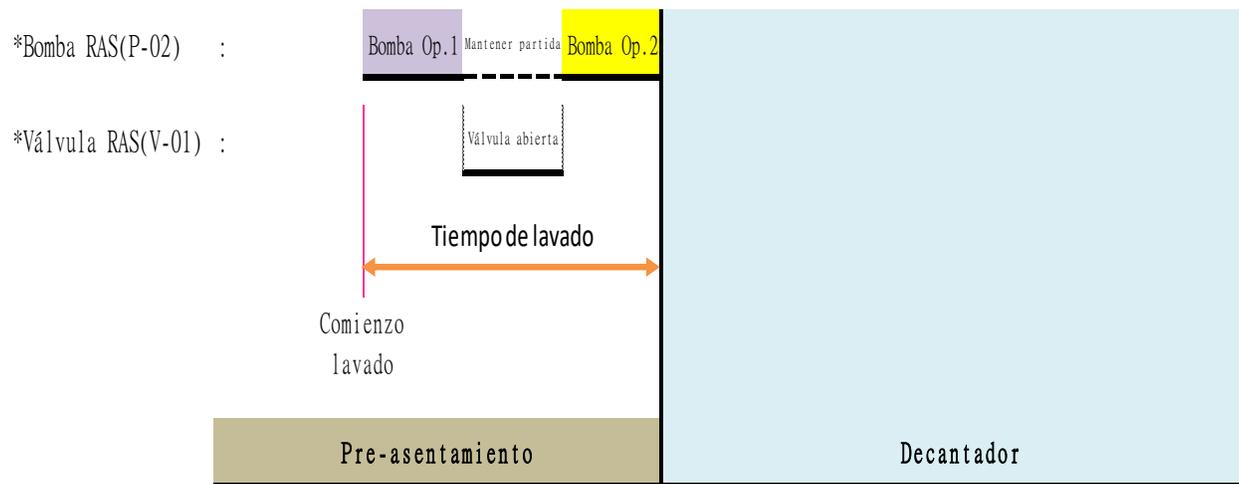
Figura 3. 14. Programación lógica CSBR HMI



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 15. Proceso de lavado

2. Proceso de lavado



Nota. 1) El tiempo de 'Inicio del lavado' se ingresará nuevamente en el tiempo calculado desde el final del ciclo.

2) Descripción de la descarga

- Bomba Operación 1: La bomba funcionará durante un tiempo seleccionado desde el 'Inicio de lavado'.
- Válvula abierta : Tiempo de apertura de la válvula después de terminar el tiempo seleccionado de operación de la bomba 1.
- Bomba Operación 1: La bomba debe operarse durante un tiempo seleccionado después de que la válvula RAS esté cerrada.

(Tenga en cuenta el tiempo total de 'Operación de la bomba 1-Operación de la bomba abierta de la válvula 2' No se puede superar el 'Tiempo de lavado')

Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.4. Tendencia del programa, datos de: DO, ORP, F-01, F-02, F-03, F-04, F-05

Figura 3. 16. Tendencia del Programa



Fuente: Elaboracion propia

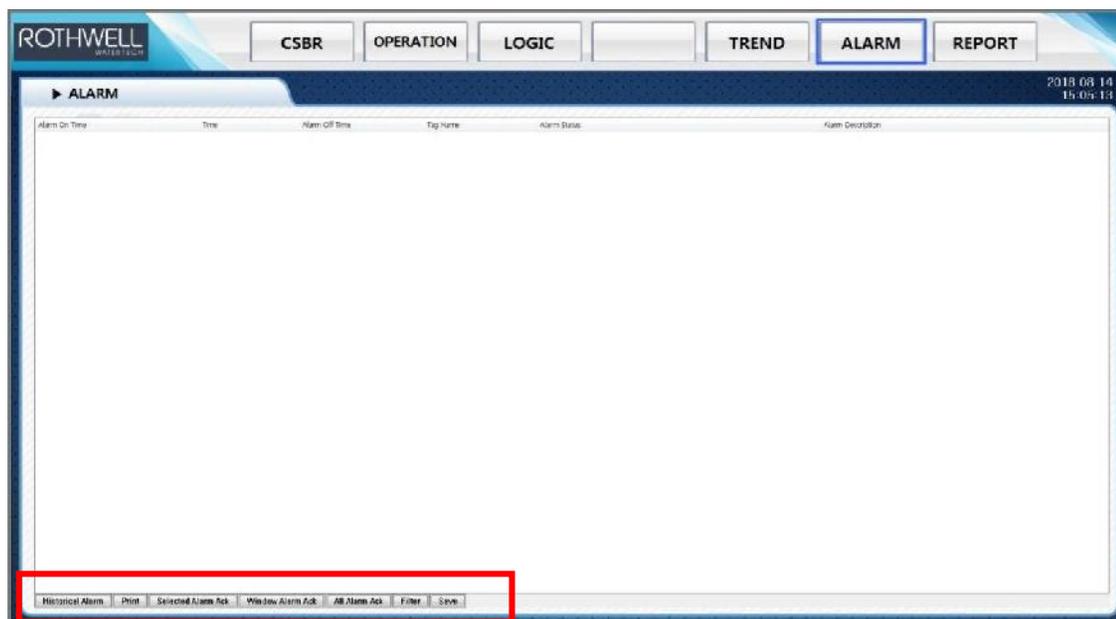
La curva de tendencia se registra automáticamente cuando se opera la planta. La primera pantalla se puede retrasar al recuperar información sobre el valor de la tendencia.

Puede verificar la curva de tendencia del equipo seleccionando el botón de casilla de verificación en el cuadro cuadrado inferior.

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|---------------|------------------------|-------------------------------------|------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|------|-------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> | DO-01 | AEROBIC DO | 0.00 ppm | <input checked="" type="checkbox"/> | F-02 | AIR FLOW | 119.56 m ³ /h | <input checked="" type="checkbox"/> | F-05 | RETURN FLOW | 1.50 m ³ /h |
| <input type="checkbox"/> | ORP-01 | ANOXIC ORP | -346.28 mV | <input checked="" type="checkbox"/> | F-03 | WAS FLOW | 0.00 m ³ /h | <input type="checkbox"/> | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | F-01 | INFLUENT FLOW | 2.15 m ³ /h | <input checked="" type="checkbox"/> | F-04 | WAS RETURN FLOW | 0.00 m ³ /h | <input type="checkbox"/> | | | |

3.2.7.5. Alarma del programa

Figura 3. 17. Alarma del programa

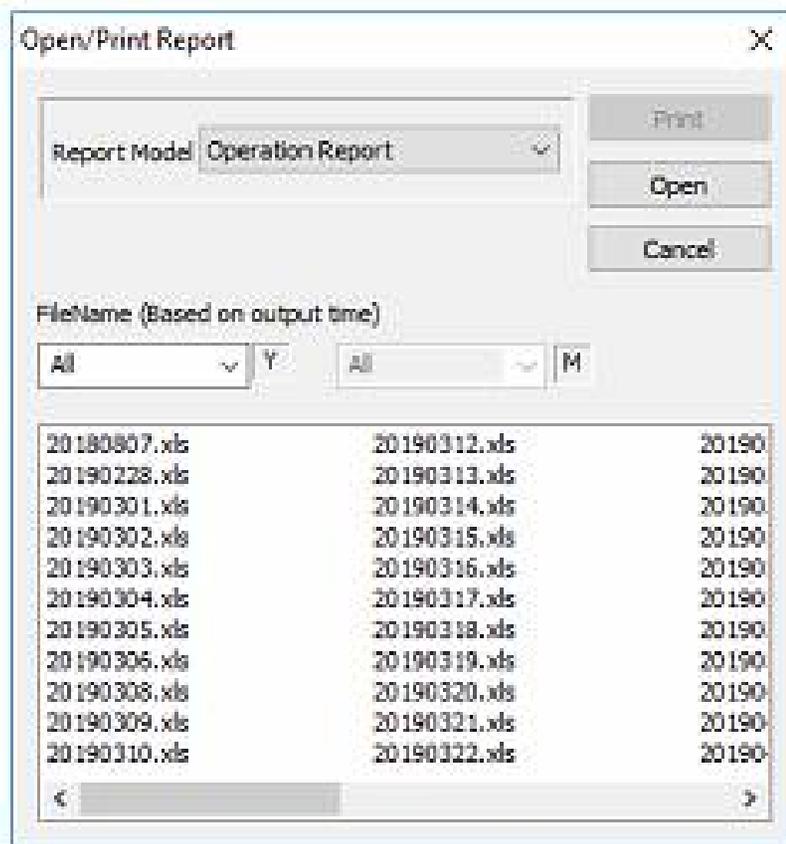


Fuente: Elaboración propia

Si ocurre un problema, una alarma notifica al operador. Además, todas las alertas aparecen en la ventana. La alerta permanecerá activa hasta que la resuelvas manualmente.

3.2.7.6. Reporte del Programa

Figura 3. 18. Reporte del programa



Fuente: Elaboración propia

El estado de la operación se guarda diariamente y los datos se registran automáticamente por fecha, y puede hacer clic en la fecha para ver los resultados de la operación para esa fecha.

(Nombre del archivo: 20170323> 23 de marzo de 2017)

CAPÍTULO IV

FASE CONSTRUCTIVA DE LA PLANTA

El 20 de septiembre de 2018 inicia la delimitación y limpieza del área de emplazamiento de la PTAR, movimiento de tierras, nivelación y excavaciones.

El proyecto inicio con la cesión del terreno para el emplazamiento de la PTAR por parte de la Junta Vecinal Barrio Catedral (Distrito 13, Provincia Cercado) hacia la Cooperativa de Agua y Alcantarillado de Tarija (COSAALT), quienes serán los futuros operadores de la PTAR.

Debido a la necesidad urgente de los Vecinos del Barrio Catedral por contar con una solución ambiental a los problemas de contaminación generados por sus aguas residuales, las cuales descargaban directamente (sin ningún tratamiento) en la cuenca aledaña al barrio Catedral generando malos olores y focos de infección, es que se inició de inmediato la construcción de la PTAR para solucionar a la brevedad estos problemas ambientales.

4.1. Ubicación, replanteo y excavación

Figura 4. 1. Replanteo del lugar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 2. Excavación para la colocación de los tanques a diferentes niveles



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 3. Nivel freático bajo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 4. Cimientos de concreto armado para la instalación de los tanques de acero galvanizado



Fuente: Elaboración Propia

4.2.Instalación de Unidades de Tratamiento

Una vez culminados lo cimientos, se procede a la instalación de los tanques (reactores) de acero galvanizado sobre sus fundaciones.

Figura 4. 5. Traslado de los tanques para su respectiva instalación en los cimientos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 6. Colocación de los tanques con ayuda de grúa



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 7. Tanques sostenidos por alambres



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 8. Finalización de la instalación de los tanques



Fuente: Elaboración Propia

En paralelo se realizó la instalación de la tubería de 8" del afluente y su conexión desde la Cámara de inspección existente hacia el Tanque de Ecuilización de la PTAR.

Figura 4. 9. Cámara existente, donde llega una tubería de 8"



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 10. Tendido de tubería de 8" desde la cámara existente hacia el tanque de ecualización pasando por una nueva cámara



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 11. Nueva cámara hacia la planta de demostración de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 12. Llegada de la tubería de 8" al tanque de ecualización



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 13. Llenado de los tanques con agua no potable



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 14. Pruebas de fuga insertando agua y cambiando la misma a los demás tanques mediante bombeo, las fugas se las marcan con un aerosol para la curación correspondiente



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 15. Pintura impermeabilizante en las juntas del tanque



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 16. Rellenado y compactado del terreno



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 17. Rellenado y compactado hasta el nivel del terreno original



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 18. Colocación de losa de concreto con un espesor de 10 cm



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 19. Colocación de una carpa temporal para la protección de los equipos



Fuente: Elaboración Propia

4.3. Interconexión de Unidades

Una vez culminada la obra civil, se procedió a la conexión de tuberías y accesorios.

Figura 4. 20. Montado e interconexión de las diferentes tuberías en los tanques con los accesorios correspondientes



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 21. Conexión de las tuberías con bridas en los empalmes



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 22. Conexión de los tanques con tubería de fierro galvanizado y sus correspondientes accesorios



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 23. Colocación de cribas para evitar el paso de medias



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 24. Instalación general de tuberías



Fuente: Elaboración Propia

Luego se construyó la Línea de Descarga del agua tratada y se conectó a la PTAR.

Figura 4. 25. Construcción de la línea de descarga del agua tratada



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4. 26. Instalación de andamios, escaleras y pasamos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 27. Instalación general de los equipos electromecánicos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 28. Instalaciones eléctricas y puesta del panel de control



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 29. Cerramiento del sitio con muro de ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 30. Colocación de cubierta



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 31. Suministro la energía eléctrica requerida, por parte de Servicios Eléctricos de Tarija (SETAR)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 32. Actualmente la PTAR en su última etapa de construcción finalizada y en espera para poder iniciar la etapa de Puesta en Marcha y Comisionado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. 33. Planta de demostración de tratamiento de aguas residuales, Barrio Catedral



Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

4.4. Equipos de Monitoreo y Funciones de la Planta de Demostración para Tarija

4.4.1. Funciones de la Planta

T-01 Tanque de Ecuación

- Tanque cuya función es la de captar el agua del afluente del alcantarillado, homogenizando la variabilidad de la calidad y volumen de las aguas, para el apto funcionamiento de la planta.



Figura 4. 34. Tanque de Ecuación

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

T-02 Tanque Anóxico

- Primer tanque de la secuencia de tratamiento.
- Su característica es la ausencia de oxígeno en su proceso, por lo que la fuente de asimilación de los microorganismos son los nitratos principalmente, sulfatos, hidrógeno y otros.
- Debido a eso, el objetivo principal de este proceso es la “des nitrificación”.

Figura 4. 35. Tanque Anóxico



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

T-03 Tanque Anaeróbico

- Segundo tanque de la secuencia de tratamiento
- También tiene ausencia de oxígeno en su proceso
- La fuente de asimilación de los microorganismos es la materia orgánica.
- En este proceso se metaboliza, además de materia orgánica, fósforo.

Figura 4. 36. Tanque Anaeróbico



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

T-04 Tanque Aeróbico

- Tercer tanque de la secuencia de tratamiento
- Este cuenta con aireación en su proceso, por lo que la fuente de asimilación principal de los microorganismos es el oxígeno.
- El objetivo principal de este proceso es la “nitrificación”.

Figura 4. 37. Tanque Aeróbico



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

T-05 Tanque SBR A/B

- Este tipo de tanque, el siguiente en el sistema, fusiona dos procesos: el anóxico y aeróbico.
- Estos dos tanques operan en ciclos intercalados (2 horas) y se repite alternativamente cada ciclo: en un tanque se da el proceso de reacción, mientras que en el otro se da el proceso de decantación.
- Cuando el tanque se encuentra en proceso de reacción, se recirculan los lodos a través de la Cámara RAS.
- Cuando el tanque se encuentra en proceso de decantación, se lleva el agua tratada al tanque de almacenamiento de efluente.

Figura 4. 38. Tanque SBR A/B

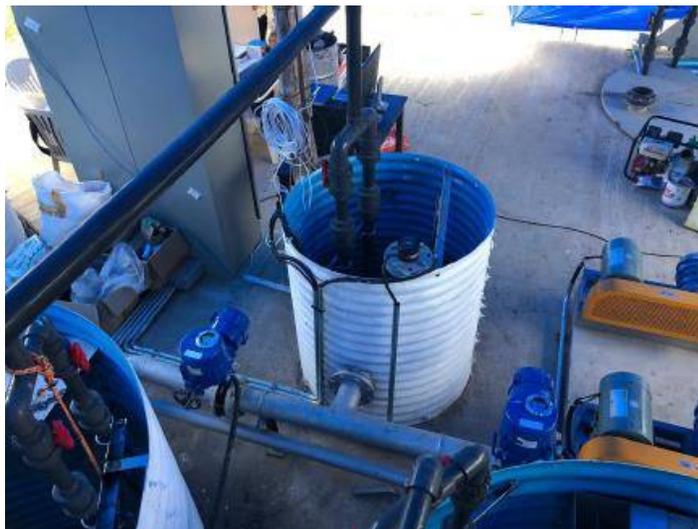


Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

T-06 Cámara RAS (retorno de lodos activados)

- Este tanque acumula los lodos (y agua) saliente del SBR en etapa de reacción y destina su retorno al tanque anóxico.

Figura 4. 39. Cámara RAS (Retorno de Lodos Activados)



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

T-07 Tanque de Almacenamiento de Efluente

- En este tanque se acumula el efluente tratado en el tanque SBR en etapa de Decantación y posteriormente se descarga de la planta hacia su destino final porque ya está tratada.

Figura 4. 40. Tanque de Almacenamiento de Efluente



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

T-08 Tanque de Almacenamiento de Lodos

- Este tanque está destinado al almacenamiento de los lodos de desecho provenientes de los tanques SBR que no van a la recirculación, y de las bombas de extracción del lodo flotante (escoria).
- Este lodo se debe retirar de la PTAR para su posterior disposición.

Figura 4. 41. Tanque de Almacenamiento de Lodos



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

4.4.2. Principales equipos:

S-01 Cribas

Las cribas son rejas que impiden el paso de sólidos de tamaño considerable desde el tanque de ecualización al tanque anóxico.

Figura 4. 42. Criba



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

B-01 A/B Soplador

Máquina que proporciona oxígeno por medio de aire comprimido para introducir al medio (tanque) requerido.

Figura 4. 43. Soplador



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

P-01 A/B Bomba de Afluente

Bomba que traslada el agua afluente hacia el tanque correspondiente.

P-02 A/B Bomba RAS

Bomba que traslada los lodos activados hacia la recirculación correspondiente.

Figura 4. 44. Bomba RAS



Fuente: Elaboración Propia

P-03 A/B/C/D WAS PUMP

Bomba que traslada los lodos excedentes hacia el tanque de almacenamiento de lodos.

P-04 Bomba de Lodo Flotante (Escoria)

Bomba que traslada los lodos flotantes (escoria) formados en la superficie de los SBR hacia el tanque de almacenamiento de lodos.

P-05 A/B Bomba de Efluente

Bomba que traslada el agua efluente hacia el destino final fuera de la planta.

P-06 A/B Bomba de Arenas

Bomba ubicada en el tanque de equalización que remueve las arenas del tanque de equalización hacia el destino final fuera de la planta.

P-07 A/B Bomba de Lodo

Bomba que traslada los lodos fuera de la planta hacia el camión de transporte de lodos.

M-01 Mezclador de Celda Anóxica

Aparato que realiza la mezcla en el tanque anóxico.

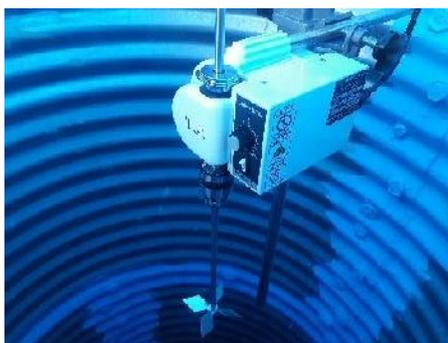
M-02 Mezclador de Celda Anaeróbica

Aparato que realiza la mezcla en el tanque aeróbico para evitar la sedimentación.

M-03 Mezclador de Cámara RAS

Aparato que realiza la mezcla en el tanque RAS para evitar la sedimentación.

Figura 4. 45. Mezclador de Cámara RAS



Fuente: Elaboración Propia

A-01 Aireación de Tanque Aeróbico

Dispositivo que dispersa el aire en el tanque aeróbico para evitar la sedimentación.

A-02 A/B Aireación de Tanque SBR

Dispositivo que dispersa el aire en los tanques SBR.

Figura 4. 46. Aireación del Tanque SBR

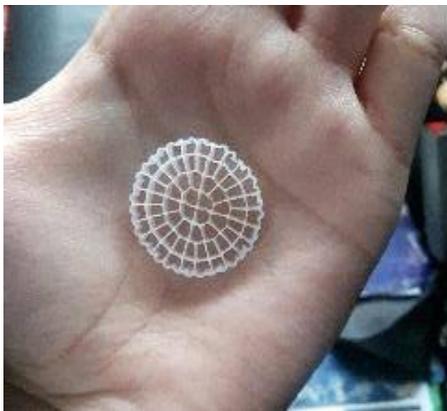


Fuente: Elaboración Propia

C-01 Media

Medio físico de plástico que alberga los microorganismos en el tanque aeróbico propagando su reproducción y mejorando sus condiciones de supervivencia.

Figura 4. 47. Media



Fuente: Elaboración Propia

MS-01 A/B Criba de Media

Rejilla que impide el paso de las unidades de media hacia los tanques SBR.

Figura 4. 48. Criba de Media



Fuente: Elaboración Propia

D-01 A/B Decantador

Dispositivo metálico que regula el paso del agua de los tanques SBR hacia los tanques RAS y de almacenamiento de efluente según se requiere.

Figura 4. 49. Decantador



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

SS-01 A/B Desnatadora de Lodo Flotante

Máquina que, junto con la bomba de escoria, absorbe y elimina el lodo flotante de la superficie de los tanques SBR.

V-01 A/B Válvula de Retorno

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso de los lodos al tanque RAS.

Figura 4. 50. Válvula de Retorno



Fuente: Elaboración Propia

V-02 Válvula de Tanque Aeróbico

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso del aire al tanque aeróbico.

V-03 A/B Válvula de Tanque SBR

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso del aire a los tanques SBR.

Figura 4. 51. Válvula de Tanque SBR



Fuente: Elaboración Propia

V-04 A/B Válvula de Suministro Decantador

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso del aire a los decantadores de los tanques SBR.

V-05 A/B Válvula de Escape Decantador

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso del aire a los decantadores de los tanques SBR.

V-06 Válvula de Deshecho de WAS

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso de los lodos desde los tanques SBR hacia el tanque de almacenamiento de lodos.

V-07 Válvula de Retorno de WAS

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso de los lodos desde los tanques SBR hacia el tanque el tanque anóxico.

V-08 A/B Válvula de Lodo Flotante

Elemento mecánico que regula/permite/impide el paso de los lodos flotantes desde los tanques SBR hacia el tanque de almacenamiento de lodos.

ORP-01 Medidor de ORP (Potencial REDOX)

Dispositivo electrónico que mide el potencial REDOX en el tanque anóxico.

Figura 4. 52. Medidor de ORP (Potencial REDOX)



Fuente: Elaboración Propia

DO-01 Medidor de Oxígeno Disuelto

Dispositivo electrónico que mide el oxígeno disuelto en el tanque aeróbico.

Figura 4. 53. Medidor de Oxígeno Disuelto



Fuente: Elaboración Propia

F-01 Medidor de Flujo de Afluente

Dispositivo electromagnético que mide el flujo del afluente al tanque anóxico. El funcionamiento de un medidor de flujo magnético o medidor magnético se basa en la Ley de Faraday, que establece que el voltaje inducido a través de cualquier conductor a medida que se mueve en ángulo recto a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad de ese conductor.

Figura 4. 54. Medidor de Flujo de Influyente



Fuente: Elaboración Propia

F-02 Medidor de Flujo de Aire

Dispositivo electrónico que mide el flujo del aire desde los sopladores.

Figura 4. 55. Medidor de Flujo de Aire



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

F-03 Medidor de Flujo de WAS

Dispositivo electrónico que mide el flujo de los lodos de deshecho hacia el tanque de almacenamiento de lodos.

F-04 Medidor de Flujo de Retorno de WAS

Dispositivo electrónico que mide el flujo de los lodos de deshecho hacia la recirculación correspondiente.

F-05 Medidor de Flujo de Retorno

Dispositivo electrónico que mide el flujo general hacia la recirculación correspondiente.

Sensor de Nivel

- Sensor electrónico que activa/desactiva la operación de las bombas cuando la PTAR opera en modo automático.

Figura 4. 56. Sensor de Nivel

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Panel de Control CSBR

Panel que permite el control manual y automático del sistema CSBR mediante dispositivos eléctricos, interruptores y un software de control.

- Características
 - Estructura : Stand-alone, NEMA12
 - PLC : Redundancia (Power, CPU, Interfaz)
 - HMI : Computadora Desk top & Panel
 - Caract. : Operación Automática y sistema de monitoreo remoto

Figura 4. 57. Panel de control en la PTAR de demostración en el barrio Catedral



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

CAPÍTULO V

PUESTA EN MARCHA

5.1. Puesta en Marcha

5.1.1. Selección y adecuación de los lodos para el tratamiento aeróbico

Para esta selección se tuvo diferentes estudios para determinar que lodo sería el más adecuado para la adaptación a la PTAR de demostración, para ello se realizó de la siguiente manera y de diferentes lugares con diferentes tratamientos:

- En un inicio se consideró, debido a la urgencia y por la inexistencia de una planta de lodos activados en la ciudad de Tarija; el lodo del actual sistema de tratamiento de la Ciudad de Tarija, que son las Lagunas de Estabilización de la PTAR San Luis. Específicamente de la laguna facultativa y que el lodo no es aeróbico sino anaeróbico, para ello se hizo una visita de campo (ver figura 5.1.) y para obtenerlo se tenía que bombear a un carro atmosférico en el cual se hizo el intento, pero este no fue muy eficaz por que el nivel hasta donde se encontraba el lodo y hasta donde podía llegar el carro atmosférico era demasiado para la bomba de succión, siendo el llenado a dicho carro muy irregular y con lo que se pudo trasladar en un total de 17 m³ aproximadamente este lodo se insertó al tanque de aireación de la PTAR de Catedral, el mismo no convenció por que el color era muy oscuro “negro” siendo considerado un lodo viejo y en las pruebas de MLSS presentaba escasez de sedimentación por lo tanto esta siembra fallo en su primer intento.

Figura 5. 1. Llevado de la manguera hacia el sitio para extraer el lodo



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 2. Ubicación de la manguera para la extracción



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 3. Otra opción para tratar de extraer el lodo



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 4. Observación de tipo de lodo



Fuente: Elaboración propia

- Luego se propuso obtener lodo de la laguna de maduración del mismo sistema de tratamiento, pero este sitio no contaba con acceso para entrar con un carro atmosférico entonces no se pudo realizar el traslado del mismo.
- Posteriormente se realizó muestras del río de donde descarga la PTAR de San Luis, por el Colegio Alemán del Sur – Avenida San Luis. Así que se tomó una muestra y se la llevo a las instalaciones de la planta de demostración en Catedral previamente adecuando una pecera con aireadores e insertando agua residual del área en estudio (ver figura 5.5.), pero al realizar pruebas de laboratorio este llega a carecer de lodo y sin sedimentar, quedando solamente arenas debido a que fue un lodo viejo, además de una baja concentración de microorganismos y fallando nuevamente.

Figura 5. 5. Recogiendo la muestra de lodo



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 6. Insertando el aporte de las aguas residuales hacia la PTAR del barrio Catedral



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 7. Mezclando con el lodo del rio aguas abajo en estudio



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 8. Finalizando la prueba en la pecera de la siguiente manera



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 9. Muestra de sedimentación del lodo



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

- Posteriormente para no cometer errores se procedió a realizar análisis de las cámaras sépticas de San Luis y San Jorge II, las cuales contaban igualmente con lodos anaeróbicos. Estas cámaras fueron seleccionadas por accesibilidad del lugar. Donde los análisis realizados por parte del Laboratorio de Sanitaria de la Universidad Juan Misael Saracho no cumplían los resultados esperados.

Figura 5. 10. Obteniendo la muestra de la cámara séptica de San Jorge II



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 11. Obteniendo la muestra de la cámara séptica de San Luis



Fuente: Elaboración propia

- Luego se averiguo y se dio con una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas similar a nuestra tecnología con tratamiento de lodos activados, pero esta se encontraba en Santa Cruz; se hizo los tramites y se trajo el lodo en un carro cisterna especial el cual contaba con aireadores en su interior para evitar perdida del mismo en el recorrido hacia la Ciudad de Tarija y una vez llegado el lodo se tuvo pérdidas considerables realizándose la inserción del mismo en el tanque aeróbico para proceder a adecuarlo con las aguas residuales de lugar en estudio, el cual se llevó exitosamente pero posteriormente se tuvo inconvenientes con la electricidad que fueron problemas fuera del alcance de la empresa ROTHWELL, donde el proceso fue paralizado varias veces en el cual se perdió bastante lodo y esta etapa nuevamente queda suspendida.

Figura 5. 12. Realizando la absorción de lodo



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 13. Carro cisterna completamente llena en la planta de tratamiento en Santa Cruz



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 14. Descarga del lodo hacia la PTAR cathedral



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 15. Tanque aeróbico en funcionamiento con la inserción de lodo



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 16. Muestra de sedimentación del lodo en el tanque aeróbico y tanque SBR



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

- Actualmente, se obtuvo el Manifiesto Ambiental y este permitió consolidar un acuerdo con la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una cervecería, la cual cuenta con un sistema similar a nuestra planta ya que su tratamiento es biológico y con lodos activados. Se realizaron análisis a sus lodos dando como resultado que es el mejor lodo para la siembra en la PTAR de Catedral siendo el lodo en exceso (lodo que se necesita eliminar del sistema) en su última etapa, porque es más espeso y tiene buenas condiciones a comparación de las anteriores opciones mencionadas. En esta última opción se realizaron 3 viajes de 3,5 m³ con ayuda del carro atmosférico por parte de COSAALT.

Figura 5. 17. Lodo de la PTAR de la cervecería



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 18. Recogida de lodo de la PTAR de la cervecería



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 19. Inserción del lodo en el tanque aeróbico



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Figura 5. 20. Actualmente las muestras de sedimentación en el tanque anóxico, anaeróbico, aeróbico y SBR



Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Para lo cual se elaboró una comparación de los resultados de los análisis de los diferentes lugares a considerar, ver cuadro 5.1.:

Cuadro 5. 1. Comparación de los resultados de los análisis de laboratorio para determinar el mejor lodo para la siembra en la PTAR de Demostración

| Descripción | Unidad | LAGUNAS | C. SAN LUIS | C. SAN JORGE II | CERVECERIA |
|----------------------------------|--------|------------|-------------|-----------------|------------|
| | | 18/09/2018 | 27/08/2019 | 27/08/2019 | 19/09/2019 |
| DQO Influyente | mg/l | 815,56 | 407,00 | 1021,00 | 3500,00 |
| DQO Efluente | mg/l | 248,50 | | | 209,00 |
| Eficiencia de Eliminación de DQO | % | 69,53 | | | 94,03 |
| DBO Influyente | mg/l | 450,00 | 132,00 | 327,00 | 882,00 |
| DBO Efluente | mg/l | 72,60 | | | 101,00 |
| Eficiencia de Eliminación de DBO | % | 83,87 | | | 88,55 |
| Fosfatos | mg/l | | 27,10 | 20,20 | |
| Nitratos | mg/l | | 38,20 | 15,60 | |
| Nitritos | mg/l | | 25,00 | 12,30 | |
| Solidos Suspendidos | mg/l | | 0,26 | 0,28 | |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

5.1.2. Análisis del rendimiento y evolución del tratamiento de los lodos

Para iniciar el crecimiento de la población de los microorganismos se añadió el lodo seleccionado, explicado anteriormente y para corroborar que el proceso sea estable se considera lo siguiente:

Durante la puesta en marcha, el Laboratorio de la planta de demostración reporto valores diarios para SV30, MLSS y SVI, llevándose a cabo de la siguiente manera:

- Para el SV30 (volumen de sedimentación), se toma una muestra de los tanques Anoxico, Anaeróbico, Aeróbico, SBR 1, SBR 2, Afluente y Efluente. Mientras el proceso en el tanque SBR se encuentra en reacción, se toma la muestra de licor mezclado y esta se la vierte en un recipiente (probeta de vidrio de clase A con capacidad de 1000 ml); se deja reposar, sin molestias, durante 30 minutos. Realizando un análisis visual en las probetas y tomando foto de los volúmenes del solido a intervalos de 15 minutos y registrando el dato a los 30 minutos. Lo que estamos tratando de determinar es que tan bien está floculando el sistema y el volumen de biomasa.

Figura 5. 21. SV30 Anóxico – Anaeróbico – Aeróbico – SBR



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 22. SV30 Afluente – Efluente



Fuente: Elaboración propia

- MLSS. Sólidos suspendidos del licor de mezcla**, es la concentración de sólidos en suspensión, en un tanque de aireación durante el proceso de lodos activados, que se produce durante el tratamiento de aguas residuales. Las unidades de MLSS se mide principalmente en miligramos por litro (mg / l). Licor mixto es una combinación de aguas residuales crudas o sin resolver o aguas residuales pre-establecido y lodos activados dentro de un tanque de aireación. MLSS consiste principalmente de microorganismos y materia en suspensión no biodegradable. MLSS es una parte importante del proceso de lodo activado para asegurar que hay una cantidad suficiente de biomasa activa disponible para consumir la cantidad aplicada de contaminante orgánico en cualquier momento. Esto se conoce como la

comida a la proporción de microorganismo, más comúnmente como la relación F/M. Al mantener esta relación en el nivel apropiado la biomasa consumirá altos porcentajes de la comida. Esto minimiza la pérdida de alimentos residual en el afluente tratado. En términos simples, más la biomasa consume más baja es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que estará en la descarga. Es importante que MLSS elimina DQO y DBO con el fin de purificar el agua. Las aguas negras entran en el proceso de tratamiento de agua con una concentración de a veces varios cientos de mg / l de BOD. Al ser tratada con MLSS y otros métodos de tratamiento, la concentración de BOD en el agua se reduce a menos de 2 mg / l, que se considera que es limpio y seguro para la descarga a las aguas superficiales o para reutilización del agua.

MLSS se separa del agua tratada o purificada por sedimentación en un tanque de sedimentación en el proceso de lodos activados. El exceso de lodo tiene que ser eliminado del sistema.

Esta prueba se realizó en las instalaciones de planta de demostración por los operadores de ROTHWELL y mi persona para determinar el peso de los sólidos. Para ello se realizó de la siguiente manera (ver figura 5.23.):

Figura 5. 23. Material necesario para realizar las pruebas de MLSS



Fuente: Elaboración propia

- Primeramente, se recoge la muestra de cada tanque y se toma una medida de 30 ml. en una pequeña probeta de plástico de 50 ml (ver figura 5.24.).

Figura 5. 24. Recogida de la muestra en probeta de 50 ml



Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente se la vierte en un equipo de filtración que incluye un matraz de filtro de 1.000 ml, un embudo graduado de 300 ml, papel de filtro (previamente pesando el valor del mismo), una abrazadera de aluminio, bomba de vacío de diafragma y una tubería flexible: 1 metro (ver figura 5.25.). Una vez que se haya vertido la muestra se procede a retirar lo sobrante en la probeta insertando agua limpia con una piseta (ver figura 5.26.).

Figura 5. 25. Vertido de la Muestra en un juego de matraz.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 26. retirar lo sobrante en la probeta, insertando agua limpia con una piseta



Fuente: Elaboración propia

- Luego se retira el papel de filtro con la muestra solida húmeda y se procede a su secado en un horno a 105-120 °C, (ver figura 5.27.).

Figura 5. 27. Dejar secando las muestras en un horno



Fuente: Elaboración propia

- Finalmente se pesa la muestra en una balanza digital con 3 decimales en gramos y se registra el valor en seco restando el peso del papel de filtro, (ver figura 5.28.).

Figura 5. 28. Se pesa la muestra seca en una balanza



Fuente: Elaboración propia

$$\text{MLSS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{[(A - B)]}{[\text{Volumen de muestra en litros}]}$$

Donde:

A es el peso de la muestra y el filtro en gramos

B es el peso del filtro en gramos

- SVI: Índice de volumen de fangos (Índice de Volumen de lodo, abreviada SVI), que mide el rendimiento de índice de sedimentación de lodos activados. Se refiere a la mezcla de tanque de aireación después de 30min, la parte correspondiente de 1g volumen de lodo seco (en ml), a saber: $\text{SVI} = \frac{\text{mezcla después de 30 minutos volumen de lodos (ml)}}{\text{lodo peso seco (g)}}$, el $\text{SVI} = \frac{\text{SV}_{30}}{\text{MLSS}}$. Valores SVI pueden reflejar mejor el grado de sueltas propiedades de sedimentación de lodos activados y la cohesión. Bueno SVI lodos a menudo entre 50 y 200, el valor SVI es muy bajo, lo que indica que el lodo activo no es suficiente, el agua puede causar deficiencia de nutrientes. SVI lodo excesivo, que puede producirse lodos de volumen al detener la aireación, lo que permite lodo anaeróbico de sedimentación des nitrificación anóxica puede desempeñar un buen papel. Como debería ser necesario vaciar la piscina para volver a formar el lodo aeróbico resultado un crecimiento excesivo de bacterias filamentosas causada por la dosificación del desinfectante adecuado.

5.1.3. Resultados del MLSS

Cuadro 5. 2. Resultados del SV30, MLSS y SVI

| Prueba SV30, MLSS, SVI | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|---------|
| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 21/10/2019 | 13:45 | Afluente | - | 30 | 92 | 125 | 33 | 1100.00 | - |
| | 13:45 | Anóxico | 15 | 30 | 90 | 104 | 14 | 466.67 | 32.14 |
| | 13:45 | Anaeróbico | 20 | 30 | 93 | 110 | 17 | 566.67 | 35.29 |
| | 13:45 | Aeróbico | 40 | 30 | 91 | 107 | 16 | 533.33 | 75.00 |
| | 13:45 | Tanque SBR1 | 60 | 30 | 86 | 112 | 26 | 866.67 | 69.23 |
| | 13:45 | Efluente | - | 30 | 93 | 95 | 2 | 66.67 | - |
| 22/10/2019 | 11:30 | Afluente | - | 30 | 93 | 130 | 37 | 1233.33 | - |
| | 11:30 | Anóxico | 850 | 30 | 87 | 102 | 15 | 500.00 | 1700.00 |
| | 11:30 | Anaeróbico | 25 | 30 | 92 | 109 | 17 | 566.67 | 44.12 |
| | 11:30 | Aeróbico | 60 | 30 | 95 | 119 | 24 | 800.00 | 75.00 |
| | 11:30 | Tanque SBR1 | 900 | 30 | 89 | 309 | 220 | 7333.33 | 122.73 |
| | 11:30 | Efluente | - | 30 | 89 | 90 | 1 | 33.33 | - |
| 24/10/2019 | 18:42 | Afluente | - | 30 | 90 | 110 | 20 | 666.67 | - |
| | 18:42 | Anóxico | 570 | 30 | 96 | 264 | 168 | 5600.00 | 101.79 |
| | 18:42 | Anaeróbico | 290 | 30 | 88 | 198 | 110 | 3666.67 | 79.09 |
| | 18:42 | Aeróbico | 320 | 30 | 92 | 196 | 104 | 3466.67 | 92.31 |
| | 18:42 | Tanque SBR2 | 90 | 30 | 94 | 129 | 35 | 1166.67 | 77.14 |
| | 18:42 | Efluente | - | 30 | 89 | 91 | 2 | 66.67 | - |
| 25/10/2019 | 19:43 | Afluente | - | 30 | 93 | 103 | 10 | 333.33 | - |
| | 19:43 | Anóxico | 20 | 30 | 90 | 100 | 10 | 333.33 | 60.00 |
| | 19:43 | Anaeróbico | 70 | 30 | 93 | 148 | 55 | 1833.33 | 38.18 |
| | 19:43 | Aeróbico | 230 | 30 | 86 | 169 | 83 | 2766.67 | 83.13 |
| | 19:43 | Tanque SBR2 | 360 | 30 | 86 | 198 | 112 | 3733.33 | 96.43 |
| | 19:43 | Efluente | - | 30 | 93 | 95 | 2 | 66.67 | - |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|--------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 27/10/2019 | 8:54 | Afluente | - | 30 | 90 | 159 | 69 | 2300.00 | - |
| | 8:54 | Anóxico | 1000 | 30 | 90 | 360 | 270 | 9000.00 | 111.11 |
| | 8:54 | Anaeróbico | 380 | 30 | 90 | 240 | 150 | 5000.00 | 76.00 |
| | 8:54 | Aeróbico | 200 | 30 | 91 | 167 | 76 | 2533.33 | 78.95 |
| | 8:54 | Tanque SBR1 | 500 | 30 | 90 | 215 | 125 | 4166.67 | 120.00 |
| | 8:54 | Efluente | - | 30 | 93 | 94 | 1 | 33.33 | - |
| | 20:42 | Afluente | - | 30 | 92 | 97 | 5 | 166.67 | - |
| 28/10/2019 | 20:42 | Anóxico | 5 | 30 | 92 | 98 | 6 | 200.00 | 25.00 |
| | 20:42 | Anaeróbico | 50 | 30 | 93 | 120 | 27 | 900.00 | 55.56 |
| | 20:42 | Aeróbico | 95 | 30 | 90 | 122 | 32 | 1066.67 | 89.06 |
| | 20:42 | Tanque SBR1 | 990 | 30 | 92 | 295 | 203 | 6766.67 | 146.31 |
| | 20:42 | Efluente | - | 30 | 90 | 93 | 3 | 100.00 | - |
| | 19:20 | Afluente | - | 30 | 89 | 102 | 13 | 433.33 | - |
| 29/10/2019 | 19:20 | Anóxico | 1000 | 30 | 90 | 919 | 829 | 27633.33 | 36.19 |
| | 19:20 | Anaeróbico | 195 | 30 | 92 | 157 | 65 | 2166.67 | 90.00 |
| | 19:20 | Aeróbico | 200 | 30 | 93 | 166 | 73 | 2433.33 | 82.19 |
| | 19:20 | Tanque SBR2 | 320 | 30 | 92 | 189 | 97 | 3233.33 | 98.97 |
| | 19:20 | Efluente | - | 30 | 90 | 94 | 4 | 133.33 | - |
| | 17:25 | Afluente | - | 30 | 94 | 188 | 94 | 3133.33 | - |
| | 17:25 | Anóxico | 5 | 30 | 88 | 99 | 11 | 366.67 | 13.64 |
| 30/10/2019 | 17:25 | Anaeróbico | 5 | 30 | 92 | 145 | 53 | 1766.67 | 2.83 |
| | 17:25 | Aeróbico | 840 | 30 | 90 | 161 | 71 | 2366.67 | 354.93 |
| | 17:25 | Tanque SBR2 | 830 | 30 | 91 | 255 | 164 | 5466.67 | 151.83 |
| | 17:25 | Efluente | - | 30 | 90 | 93 | 3 | 100.00 | - |
| | 8:40 | Afluente | - | 30 | 95 | 103 | 8 | 266.67 | - |
| 31/10/2019 | 8:40 | Anóxico | 200 | 30 | 97 | 113 | 16 | 533.33 | 375.00 |
| | 8:40 | Anaeróbico | 160 | 30 | 94 | 143 | 49 | 1633.33 | 97.96 |
| | 8:40 | Aeróbico | 210 | 30 | 94 | 169 | 75 | 2500.00 | 84.00 |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|--------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 01/11/2019 | 8:40 | Tanque SBR2 | 905 | 30 | 94 | 263 | 169 | 5633.33 | 160.65 |
| | 8:40 | Efluente | - | 30 | 93 | 98 | 5 | 166.67 | - |
| | 17:05 | Afluente | - | 30 | 92 | 102 | 10 | 333.33 | - |
| | 17:05 | Anóxico | 10 | 30 | 93 | 101 | 8 | 266.67 | 37.50 |
| | 17:05 | Anaeróbico | 70 | 30 | 97 | 124 | 27 | 900.00 | 77.78 |
| | 17:05 | Aeróbico | 185 | 30 | 92 | 155 | 63 | 2100.00 | 88.10 |
| | 17:05 | Tanque SBR2 | 680 | 30 | 93 | 244 | 151 | 5033.33 | 135.10 |
| | 17:05 | Efluente | - | 30 | 89 | 91 | 2 | 66.67 | - |
| | 19:41 | Afluente | - | 30 | 93 | 105 | 12 | 400.00 | - |
| 04/11/2019 | 19:41 | Anóxico | 960 | 30 | 92 | 154 | 62 | 2066.67 | 464.52 |
| | 19:41 | Anaeróbico | 240 | 30 | 92 | 502 | 410 | 13666.67 | 17.56 |
| | 19:41 | Aeróbico | 160 | 30 | 92 | 146 | 54 | 1800.00 | 88.89 |
| | 19:41 | Tanque SBR2 | 700 | 30 | 92 | 215 | 123 | 4100.00 | 170.73 |
| | 19:41 | Efluente | - | 30 | 90 | 93 | 3 | 100.00 | - |
| | 19:03 | Afluente | - | 30 | 90 | 101 | 11 | 366.67 | - |
| 05/11/2019 | 19:03 | Anóxico | 310 | 30 | 89 | 181 | 92 | 3066.67 | 101.09 |
| | 19:03 | Anaeróbico | 200 | 30 | 89 | 148 | 59 | 1966.67 | 101.69 |
| | 19:03 | Aeróbico | 160 | 30 | 91 | 145 | 54 | 1800.00 | 88.89 |
| | 19:03 | Tanque SBR2 | 830 | 30 | 90 | 223 | 133 | 4433.33 | 187.22 |
| | 19:03 | Efluente | - | 30 | 89 | 90 | 1 | 33.33 | - |
| | 12:43 | Afluente | - | 30 | 91 | 97 | 6 | 200.00 | - |
| 06/11/2019 | 12:43 | Anóxico | 110 | 30 | 93 | 137 | 44 | 1466.67 | 75.00 |
| | 12:43 | Anaeróbico | 180 | 30 | 93 | 145 | 52 | 1733.33 | 103.85 |
| | 12:43 | Aeróbico | 150 | 30 | 93 | 147 | 54 | 1800.00 | 83.33 |
| | 12:43 | Tanque SBR1 | 710 | 30 | 94 | 230 | 136 | 4533.33 | 156.62 |
| | 12:43 | Efluente | - | 30 | 88 | 90 | 2 | 66.67 | - |
| 12/11/2019 | 08:56 | Afluente | - | 30 | 93 | 113 | 20 | 666.67 | - |
| | 08:56 | Anóxico | 670 | 30 | 90 | 460 | 370 | 12333.33 | 54.32 |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|--------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 13/11/2019 | 08:56 | Anaeróbico | 170 | 30 | 93 | 155 | 62 | 2066.67 | 82.26 |
| | 08:56 | Aeróbico | 160 | 30 | 90 | 147 | 57 | 1900.00 | 84.21 |
| | 08:56 | Tanque SBR1 | 455 | 30 | 91 | 219 | 128 | 4266.67 | 106.64 |
| | 08:56 | Efluente | - | 30 | 93 | 96 | 3 | 100.00 | - |
| | 09:04 | Afluente | - | 30 | 93 | 105 | 12 | 400.00 | - |
| | 09:04 | Anóxico | 900 | 30 | 93 | 950 | 857 | 28566.67 | 31.51 |
| | 09:04 | Anaeróbico | 85 | 30 | 94 | 163 | 69 | 2300.00 | 36.96 |
| | 09:04 | Aeróbico | 135 | 30 | 88 | 147 | 59 | 1966.67 | 68.64 |
| | 09:04 | Tanque SBR1 | 340 | 30 | 92 | 215 | 123 | 4100.00 | 82.93 |
| | 10:34 | Tanque SBR2 | 730 | 30 | 94 | 232 | 138 | 4600.00 | 158.70 |
| | 09:04 | Efluente | - | 30 | 92 | 93 | 1 | 33.33 | - |
| | 09:00 | Afluente | - | 30 | 89 | 95 | 6 | 200.00 | - |
| | 09:00 | Anóxico | 900 | 30 | 88 | 525 | 437 | 14566.67 | 61.78 |
| | 09:00 | Anaeróbico | 80 | 30 | 93 | 159 | 66 | 2200.00 | 36.36 |
| 14/11/2019 | 09:00 | Aeróbico | 270 | 30 | 90 | 155 | 65 | 2166.67 | 124.62 |
| | 09:00 | Tanque SBR1 | 275 | 30 | 90 | 187 | 97 | 3233.33 | 85.05 |
| | 10:18 | Tanque SBR2 | 790 | 30 | 92 | 257 | 165 | 5500.00 | 143.64 |
| | 09:00 | Efluente | - | 30 | 90 | 92 | 2 | 66.67 | - |
| | 09:10 | Afluente | - | 30 | 94 | 152 | 58 | 1933.33 | - |
| | 09:10 | Anóxico | 160 | 30 | 94 | 251 | 157 | 5233.33 | 30.57 |
| 15/11/2019 | 09:10 | Anaeróbico | 675 | 30 | 89 | 277 | 188 | 6266.67 | 107.71 |
| | 09:10 | Aeróbico | 190 | 30 | 91 | 188 | 97 | 3233.33 | 58.76 |
| | 09:10 | Tanque SBR1 | 260 | 30 | 90 | 204 | 114 | 3800.00 | 68.42 |
| | 10:18 | Tanque SBR2 | 725 | 30 | 94 | 254 | 160 | 5333.33 | 135.94 |
| | 09:10 | Efluente | - | 30 | 90 | 92 | 2 | 66.67 | - |
| 18/11/2019 | - | Afluente | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 09:10 | Anóxico | 980 | 30 | 89 | 1200 | 1111 | 37033.33 | 26.46 |
| | 09:10 | Anaeróbico | 950 | 30 | 90 | 485 | 395 | 13166.67 | 72.15 |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|--------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 19/11/2019 | 09:10 | Aeróbico | 160 | 30 | 88 | 169 | 81 | 2700.00 | 59.26 |
| | 09:10 | Tanque SBR1 | 160 | 30 | 92 | 169 | 77 | 2566.67 | 62.34 |
| | 10:30 | Tanque SBR2 | 265 | 30 | 93 | 192 | 99 | 3300.00 | 80.30 |
| | - | Efluente | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 09:07 | Afluente | - | 30 | 94 | 98 | 4 | 133.33 | - |
| | - | Anóxico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Anaeróbico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 09:07 | Aeróbico | 165 | 30 | 93 | 166 | 73 | 2433.33 | 67.81 |
| | 09:07 | Tanque SBR1 | 120 | 30 | 92 | 144 | 52 | 1733.33 | 69.23 |
| | 10:28 | Tanque SBR2 | 305 | 30 | 88 | 218 | 130 | 4333.33 | 70.38 |
| | 09:07 | Efluente | - | 30 | 89 | 91 | 2 | 66.67 | - |
| | 09:55 | Afluente | - | 30 | 90 | 95 | 5 | 166.67 | - |
| 20/11/2019 | 10:40 | Anóxico | 950 | 30 | 88 | 1000 | 912 | 30400.00 | 31.25 |
| | 10:40 | Anaeróbico | 260 | 30 | 90 | 180 | 90 | 3000.00 | 86.67 |
| | 10:40 | Aeróbico | 80 | 30 | 89 | 138 | 49 | 1633.33 | 48.98 |
| | 10:40 | Tanque SBR1 | 225 | 30 | 92 | 139 | 47 | 1566.67 | 143.62 |
| | 12:22 | Tanque SBR2 | 75 | 30 | 90 | 190 | 100 | 3333.33 | 22.50 |
| | - | Efluente | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 9:00 | Afluente | - | 30 | 93 | 115 | 22 | 733.33 | - |
| | 9:06 | Anóxico | 1000 | 30 | 90 | 1500 | 1410 | 47000.00 | 21.28 |
| 21/11/2019 | 9:06 | Anaeróbico | 900 | 30 | 91 | 1025 | 934 | 31133.33 | 28.91 |
| | 9:06 | Aeróbico | 90 | 30 | 91 | 142 | 51 | 1700.00 | 52.94 |
| | 9:06 | Tanque SBR1 | 100 | 30 | 89 | 139 | 50 | 1666.67 | 60.00 |
| | 10:19 | Tanque SBR2 | 250 | 30 | 89 | 204 | 115 | 3833.33 | 65.22 |
| | 9:00 | Efluente | - | 30 | 89 | 92 | 3 | 100.00 | - |
| | 9:00 | Afluente | - | 30 | 90 | 102 | 12 | 400.00 | - |
| 22/11/2019 | - | Anóxico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Anaeróbico | - | 30 | - | - | - | - | - |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|--------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| | 9:06 | Aeróbico | 80 | 30 | 90 | 134 | 44 | 1466.67 | 54.55 |
| | 9:06 | Tanque SBR1 | 90 | 30 | 94 | 143 | 49 | 1633.33 | 55.10 |
| | 10:19 | Tanque SBR2 | 225 | 30 | 91 | 204 | 113 | 3766.67 | 59.73 |
| | 9:00 | Efluente | - | 30 | 92 | 93 | 1 | 33.33 | - |
| | - | Afluente | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Anóxico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Anaeróbico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| 25/11/2019 | 9:15 | Aeróbico | 170 | 30 | 90 | 134 | 44 | 1466.67 | 115.91 |
| | 9:15 | Tanque SBR1 | 40 | 30 | 89 | 118 | 29 | 966.67 | 41.38 |
| | 10:20 | Tanque SBR2 | 200 | 30 | 92 | 183 | 91 | 3033.33 | 65.93 |
| | - | Efluente | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 10:00 | Afluente | - | 30 | 90 | 94 | 4 | 133.33 | - |
| | - | Anóxico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 12:56 | Anaeróbico | 160 | 30 | 91 | 169 | 78 | 2600.00 | 61.54 |
| 26/11/2019 | 10:20 | Aeróbico | 50 | 30 | 90 | 131 | 41 | 1366.67 | 36.59 |
| | 12:56 | Tanque SBR1 | 40 | 30 | 90 | 109 | 19 | 633.33 | 63.16 |
| | 10:20 | Tanque SBR2 | 145 | 30 | 90 | 139 | 49 | 1633.33 | 88.78 |
| | 10:00 | Efluente | - | 30 | 91 | 93 | 2 | 66.67 | - |
| | - | Afluente | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Anóxico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Anaeróbico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| 27/11/2019 | 9:22 | Aeróbico | 40 | 30 | 93 | 138 | 45 | 1500.00 | 26.67 |
| | 9:22 | Tanque SBR1 | 30 | 30 | 89 | 108 | 19 | 633.33 | 47.37 |
| | - | Tanque SBR2 | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Efluente | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 9:18 | Afluente | - | 30 | 90 | 173 | 83 | 2766.67 | - |
| 28/11/2019 | 9:48 | Anóxico | - | 30 | 89 | 1610 | 1521 | 50700.00 | - |
| | 9:48 | Anaeróbico | - | 30 | 90 | 2200 | 2110 | 70333.33 | - |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|-------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 29/11/2019 | 9:48 | Aeróbico | 95 | 30 | 93 | 174 | 81 | 2700.00 | 35.19 |
| | 11:35 | Tanque SBR1 | 90 | 30 | 91 | 140 | 49 | 1633.33 | 55.10 |
| | 9:48 | Tanque SBR2 | 180 | 30 | 91 | 205 | 114 | 3800.00 | 47.37 |
| | 9:18 | Efluente | - | 30 | 89 | 92 | 3 | 100.00 | - |
| | 9:30 | Afluente | - | 30 | 90 | 173 | 83 | 2766.67 | - |
| | - | Anóxico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | - | Anaeróbico | - | 30 | - | - | - | - | - |
| | 9:48 | Aeróbico | 75 | 30 | 92 | 117 | 25 | 833.33 | 90.00 |
| | 11:35 | Tanque SBR1 | 80 | 30 | 90 | 137 | 47 | 1566.67 | 51.06 |
| | 9:48 | Tanque SBR2 | 170 | 30 | 92 | 183 | 91 | 3033.33 | 56.04 |
| | 9:30 | Efluente | - | 30 | 89 | 92 | 3 | 100.00 | - |
| | 9:25 | Afluente | - | 30 | 92 | 98 | 6 | 200.00 | - |
| | 9:45 | Anóxico | 200 | 30 | 93 | 154 | 61 | 2033.33 | 98.36 |
| | 9:45 | Anaeróbico | 70 | 30 | 92 | 134 | 42 | 1400.00 | 50.00 |
| 02/12/2019 | 9:45 | Aeróbico | 40 | 30 | 89 | 113 | 24 | 800.00 | 50.00 |
| | 11:45 | Tanque SBR1 | 75 | 30 | 88 | 131 | 43 | 1433.33 | 52.33 |
| | 9:45 | Tanque SBR2 | 120 | 30 | 90 | 177 | 87 | 2900.00 | 41.38 |
| | 9:25 | Efluente | - | 30 | 92 | 94 | 2 | 66.67 | - |
| | 9:20 | Afluente | - | 30 | 91 | 121 | 30 | 1000.00 | - |
| | 9:45 | Anóxico | 55 | 30 | 92 | 182 | 90 | 3000.00 | 18.33 |
| | 9:45 | Anaeróbico | 85 | 30 | 93 | 123 | 30 | 1000.00 | 85.00 |
| | 9:45 | Aeróbico | 40 | 30 | 91 | 143 | 52 | 1733.33 | 23.08 |
| | 11:45 | Tanque SBR1 | 90 | 30 | 88 | 156 | 68 | 2266.67 | 39.71 |
| | 9:45 | Tanque SBR2 | 135 | 30 | 91 | 138 | 47 | 1566.67 | 86.17 |
| 03/12/2019 | 9:20 | Efluente | - | 30 | 89 | 90 | 1 | 33.33 | - |
| | 11:20 | Afluente | - | 30 | 91 | 104 | 13 | 433.33 | - |
| | 11:27 | Anóxico | 70 | 30 | 91 | 117 | 26 | 866.67 | 80.77 |
| | 11:27 | Anaeróbico | 85 | 30 | 93 | 150 | 57 | 1900.00 | 44.74 |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|-------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 05/12/2019 | 11:27 | Aeróbico | 80 | 30 | 88 | 142 | 54 | 1800.00 | 44.44 |
| | 11:35 | Tanque SBR1 | 135 | 30 | 90 | 181 | 91 | 3033.33 | 44.51 |
| | 11:27 | Tanque SBR2 | 130 | 30 | 86 | 174 | 88 | 2933.33 | 44.32 |
| | 11:20 | Efluente | - | 30 | 91 | 93 | 2 | 66.67 | - |
| | 10:27 | Afluente | - | 30 | 90 | 93 | 3 | 100.00 | - |
| | 10:32 | Anóxico | 135 | 30 | 92 | 154 | 62 | 2066.67 | 65.32 |
| | 10:32 | Anaeróbico | 80 | 30 | 92 | 132 | 40 | 1333.33 | 60.00 |
| | 10:32 | Aeróbico | 40 | 30 | 92 | 125 | 33 | 1100.00 | 36.36 |
| | 11:40 | Tanque SBR1 | 160 | 30 | 90 | 198 | 108 | 3600.00 | 44.44 |
| | 10:32 | Tanque SBR2 | 160 | 30 | 90 | 208 | 118 | 3933.33 | 40.68 |
| | 10:27 | Efluente | - | 30 | 91 | 92 | 1 | 33.33 | - |
| | 10:27 | Afluente | - | 30 | 90 | 115 | 25 | 833.33 | - |
| | 10:37 | Anóxico | 60 | 30 | 92 | 119 | 27 | 900.00 | 66.67 |
| | 10:37 | Anaeróbico | 55 | 30 | 88 | 138 | 50 | 1666.67 | 33.00 |
| 06/12/2019 | 10:37 | Aeróbico | 70 | 30 | 90 | 131 | 41 | 1366.67 | 51.22 |
| | 11:36 | Tanque SBR1 | 105 | 30 | 90 | 157 | 67 | 2233.33 | 47.01 |
| | 10:37 | Tanque SBR2 | 150 | 30 | 92 | 169 | 77 | 2566.67 | 58.44 |
| | 10:27 | Efluente | - | 30 | 88 | 89 | 1 | 33.33 | - |
| | 11:15 | Afluente | - | 30 | 93 | 96 | 3 | 100.00 | - |
| | 10:40 | Anóxico | 10 | 30 | 91 | 97 | 6 | 200.00 | 50.00 |
| 09/12/2019 | 10:40 | Anaeróbico | 70 | 30 | 90 | 118 | 28 | 933.33 | 75.00 |
| | 10:40 | Aeróbico | 60 | 30 | 91 | 133 | 42 | 1400.00 | 42.86 |
| | 11:35 | Tanque SBR1 | 115 | 30 | 90 | 171 | 81 | 2700.00 | 42.59 |
| | 10:40 | Tanque SBR2 | 175 | 30 | 89 | 199 | 110 | 3666.67 | 47.73 |
| | 11:15 | Efluente | - | 30 | 88 | 90 | 2 | 66.67 | - |
| 10/12/2019 | 11:34 | Afluente | - | 30 | 90 | 96 | 6 | 200.00 | - |
| | 10:56 | Anóxico | 345 | 30 | 90 | 218 | 128 | 4266.67 | 80.86 |
| | 10:56 | Anaeróbico | 50 | 30 | 88 | 145 | 57 | 1900.00 | 26.32 |

Prueba SV30, MLSS, SVI

| Fecha | Hora | Reactor | SV30 (ml) | Muestra (ml) | Peso | | B-A (mg) | SS (mg/l) | SVI |
|------------|-------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------|-----------|-------|
| | | | | | Papel de filtro (mg, A) | Después de filtrar y secar (mg, B) | | | |
| 11/12/2019 | 10:56 | Aeróbico | 30 | 30 | 90 | 106 | 16 | 533.33 | 56.25 |
| | 10:56 | Tanque SBR1 | 100 | 30 | 92 | 154 | 62 | 2066.67 | 48.39 |
| | 13:00 | Tanque SBR2 | 105 | 30 | 99 | 153 | 54 | 1800.00 | 58.33 |
| | 11:34 | Efluente | - | 30 | 90 | 92 | 2 | 66.67 | - |
| | 9:55 | Afluente | - | 30 | 88 | 94 | 6 | 200.00 | - |
| | 10:13 | Anóxico | 20 | 30 | 90 | 106 | 16 | 533.33 | 37.50 |
| | 10:13 | Anaeróbico | 65 | 30 | 90 | 131 | 41 | 1366.67 | 47.56 |
| | 9:31 | Aeróbico | 60 | 30 | 87 | 129 | 42 | 1400.00 | 42.86 |
| | 11:35 | Tanque SBR1 | 85 | 30 | 92 | 139 | 47 | 1566.67 | 54.26 |
| | 9:31 | Tanque SBR2 | 140 | 30 | 90 | 173 | 83 | 2766.67 | 50.60 |
| | 9:55 | Efluente | - | 30 | 89 | 91 | 2 | 66.67 | - |
| | 11:40 | Afluente | - | 40 | 90 | 97 | 7 | 175.00 | - |
| | 9:40 | Anóxico | 190 | 40 | 88 | 175 | 87 | 2175.00 | 87.36 |
| | 9:40 | Anaeróbico | 120 | 40 | 89 | 170 | 81 | 2025.00 | 59.26 |
| 12/12/2019 | 9:40 | Aeróbico | 75 | 40 | 89 | 133 | 44 | 1100.00 | 68.18 |
| | 11:40 | Tanque SBR1 | 85 | 40 | 89 | 159 | 70 | 1750.00 | 48.57 |
| | 9:40 | Tanque SBR2 | 140 | 40 | 90 | 194 | 104 | 2600.00 | 53.85 |
| | 11:40 | Efluente | - | 40 | 89 | 93 | 4 | 100.00 | - |

Fuente: Elaboración propia y (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 3. Resumen de los resultados del MLSS

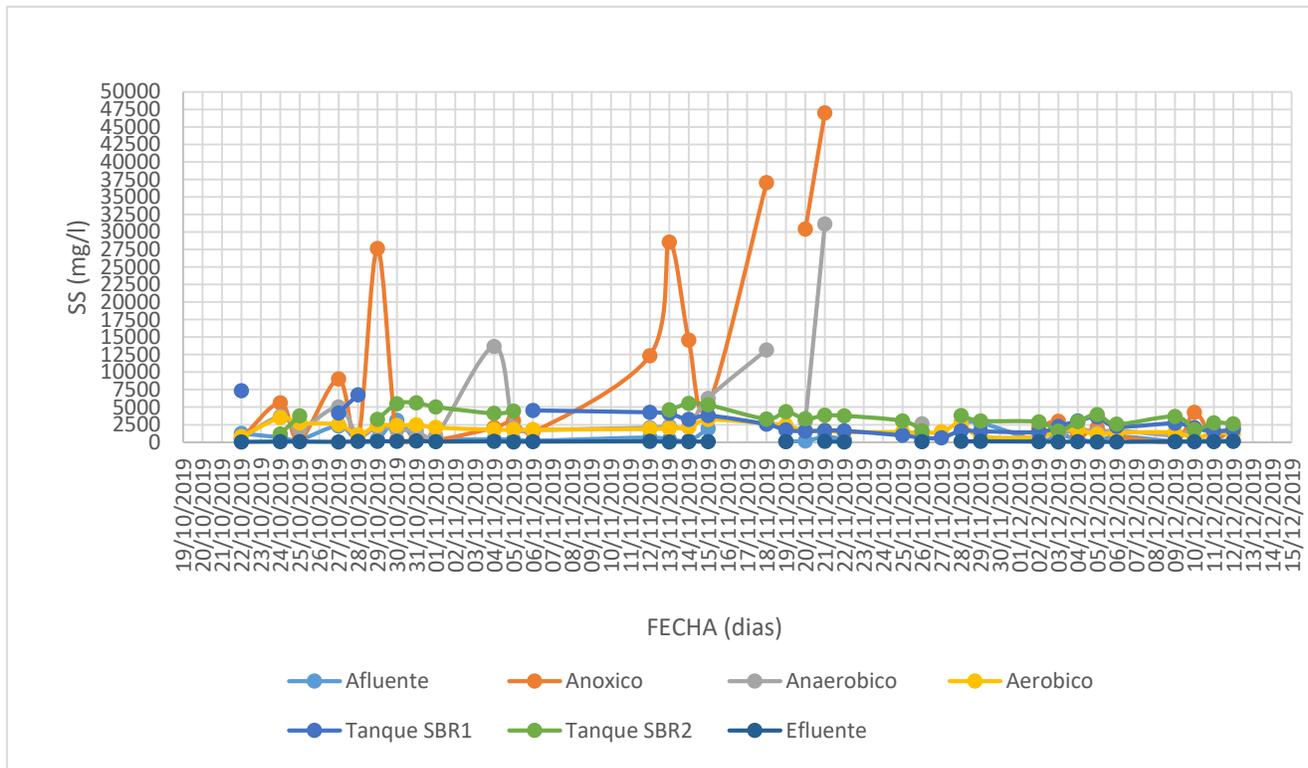
| Fecha | SS (mg/l) | | | | | | |
|------------|-----------|---------|------------|----------|-------------|-------------|----------|
| | Afluente | Anóxico | Anaeróbico | Aeróbico | Tanque SBR1 | Tanque SBR2 | Efluente |
| 21/10/2019 | 1100.00 | 466.67 | 566.67 | 533.33 | 866.67 | | 66.67 |

| SS (mg/l) | | | | | | | |
|------------|----------|----------|------------|----------|-------------|-------------|----------|
| Fecha | Afluente | Anóxico | Anaeróbico | Aeróbico | Tanque SBR1 | Tanque SBR2 | Efluente |
| 22/10/2019 | 1233.33 | 500.00 | 566.67 | 800.00 | 7333.33 | | 33.33 |
| 24/10/2019 | 666.67 | 5600.00 | 3666.67 | 3466.67 | | 1166.67 | 66.67 |
| 25/10/2019 | 333.33 | 333.33 | 1833.33 | 2766.67 | | 3733.33 | 66.67 |
| 27/10/2019 | 2300.00 | 9000.00 | 5000.00 | 2533.33 | 4166.67 | | 33.33 |
| 28/10/2019 | 166.67 | 200.00 | 900.00 | 1066.67 | 6766.67 | | 100.00 |
| 29/10/2019 | 433.33 | 27633.33 | 2166.67 | 2433.33 | | 3233.33 | 133.33 |
| 30/10/2019 | 3133.33 | 366.67 | 1766.67 | 2366.67 | | 5466.67 | 100.00 |
| 31/10/2019 | 266.67 | 533.33 | 1633.33 | 2500.00 | | 5633.33 | 166.67 |
| 01/11/2019 | 333.33 | 266.67 | 900.00 | 2100.00 | | 5033.33 | 66.67 |
| 04/11/2019 | 400.00 | 2066.67 | 13666.67 | 1800.00 | | 4100.00 | 100.00 |
| 05/11/2019 | 366.67 | 3066.67 | 1966.67 | 1800.00 | | 4433.33 | 33.33 |
| 06/11/2019 | 200.00 | 1466.67 | 1733.33 | 1800.00 | 4533.33 | | 66.67 |
| 12/11/2019 | 666.67 | 12333.33 | 2066.67 | 1900.00 | 4266.67 | | 100.00 |
| 13/11/2019 | 400.00 | 28566.67 | 2300.00 | 1966.67 | 4100.00 | 4600.00 | 33.33 |
| 14/11/2019 | 200.00 | 14566.67 | 2200.00 | 2166.67 | 3233.33 | 5500.00 | 66.67 |
| 15/11/2019 | 1933.33 | 5233.33 | 6266.67 | 3233.33 | 3800.00 | 5333.33 | 66.67 |
| 18/11/2019 | | 37033.33 | 13166.67 | 2700.00 | 2566.67 | 3300.00 | |
| 19/11/2019 | 133.33 | | | 2433.33 | 1733.33 | 4333.33 | 66.67 |
| 20/11/2019 | 166.67 | 30400.00 | 3000.00 | 1633.33 | 1566.67 | 3333.33 | |
| 21/11/2019 | 733.33 | 47000.00 | 31133.33 | 1700.00 | 1666.67 | 3833.33 | 100.00 |
| 22/11/2019 | 400.00 | | | 1466.67 | 1633.33 | 3766.67 | 33.33 |
| 25/11/2019 | | | | 1466.67 | 966.67 | 3033.33 | |
| 26/11/2019 | 133.33 | | 2600.00 | 1366.67 | 633.33 | 1633.33 | 66.67 |
| 27/11/2019 | | | | 1500.00 | 633.33 | | |
| 28/11/2019 | 2766.67 | 50700.00 | 70333.33 | 2700.00 | 1633.33 | 3800.00 | 100.00 |
| 29/11/2019 | 2766.67 | | | 833.33 | 1566.67 | 3033.33 | 100.00 |
| 02/12/2019 | 200.00 | 2033.33 | 1400.00 | 800.00 | 1433.33 | 2900.00 | 66.67 |
| 03/12/2019 | 1000.00 | 3000.00 | 1000.00 | 1733.33 | 2266.67 | 1566.67 | 33.33 |
| 04/12/2019 | 433.33 | 866.67 | 1900.00 | 1800.00 | 3033.33 | 2933.33 | 66.67 |
| 05/12/2019 | 100.00 | 2066.67 | 1333.33 | 1100.00 | 3600.00 | 3933.33 | 33.33 |
| 06/12/2019 | 833.33 | 900.00 | 1666.67 | 1366.67 | 2233.33 | 2566.67 | 33.33 |
| 09/12/2019 | 100.00 | 200.00 | 933.33 | 1400.00 | 2700.00 | 3666.67 | 66.67 |
| 10/12/2019 | 200.00 | 4266.67 | 1900.00 | 533.33 | 2066.67 | 1800.00 | 66.67 |

| SS (mg/l) | | | | | | | |
|------------|----------|---------|------------|----------|-------------|-------------|----------|
| Fecha | Afluente | Anóxico | Anaeróbico | Aeróbico | Tanque SBR1 | Tanque SBR2 | Efluente |
| 11/12/2019 | 200.00 | 533.33 | 1366.67 | 1400.00 | 1566.67 | 2766.67 | 66.67 |
| 12/12/2019 | 175.00 | 2175.00 | 2025.00 | 1100.00 | 1750.00 | 2600.00 | 100.00 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. 1. Resumen de resultados del MLSS



Fuente: Elaboración propia

5.2.Funcionamiento

5.2.1. Características del afluente y efluente del sistema y/o proceso

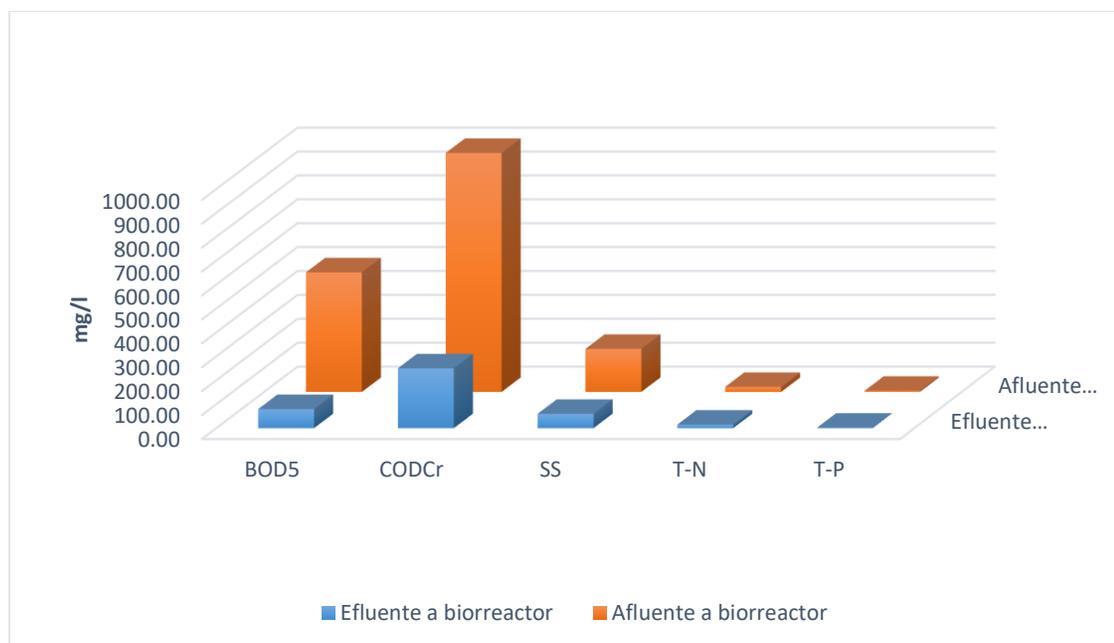
De acuerdo a los parámetros de diseño para el biorreactor, este se presenta a continuación con su determinada eficiencia, ver Cuadro 5.4.:

Cuadro 5. 4. Muestras de los parámetros de diseño para el biorreactor

| Ítem | Parámetros de diseño para el biorreactor | | | | Eficiencia de diseño (%) |
|-------|--|----------------|------------------------|----------------|--------------------------|
| | Afluente a biorreactor | | Efluente a biorreactor | | |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| BOD5 | 500.00 | 50.00 | 80.00 | 8.00 | 84.0 |
| CODCr | 1000.00 | 100.00 | 250.00 | 25.00 | 75.0 |
| SS | 180.00 | 18.00 | 60.00 | 6.00 | 66.7 |
| T-N | 21.00 | 2.10 | 15.00 | 1.50 | 28.6 |
| T-P | 5.00 | 0.50 | 2.00 | 0.20 | 60.0 |

Fuente: (COSAALT LTDA, 2019)

Gráfica 5. 2. Resultados del afluente y efluente de diseño de la PTAR de Demostración en el Barrio Catedral



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se tomaron tres muestras del afluente que ingresa a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en fechas 13, 14 y 18 de marzo de 2019 antes de la puesta en marcha, realizado por el Laboratorio de Hidrosanitaria y de Reutilización de Agua de la Universidad Juan Misael Saracho en Tarija a horas 10:00 am que se presenta un resumen de los resultados obtenidos que se muestran a continuación:

Cuadro 5. 5. Muestras de la calidad del afluente en PTAR de Demostración en el Barrio Catedral en marzo de 2019

| Descripción | | | Martes | Jueves | Domingo |
|-----------------|-----------------------------|--------|------------|------------|------------|
| | | | 12/03/2019 | 14/03/2019 | 17/03/2019 |
| Parámetros | Método usado | Unidad | Muestra | Muestra | Muestra |
| DQO | Oxidación - Reflujo cerrado | mg/l | 1037.00 | 400.00 | 358.00 |
| Fosfatos | Fotométrico | mg/l | 2.50 | 2.80 | 2.66 |
| Nitratos | Fotométrico | mg/l | 0.80 | 0.10 | 12.50 |
| Nitritos | Fotométrico | mg/l | 8.00 | 4.00 | 8.00 |
| Sólidos totales | Gravimétrico | mg/l | 896.00 | 1206.00 | 840.50 |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Finalmente, se presenta a continuación las muestras realizadas en el afluente y efluente de la PTAR del Barrio Catedral durante su funcionamiento luego de la puesta en marcha.

Cuadro 5. 6. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 21 de noviembre de 2019 a las 15:18 pm

| Jueves, 21 de Noviembre de 2019 | | | | | |
|---------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------------------------|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO5 | 309.00 | 30.90 | 67.50 | 6.75 | 78.16 |
| DQO | 615.40 | 61.54 | 123.07 | 12.31 | 80.00 |
| SS | 183.33 | 18.33 | 66.00 | 6.60 | 64.00 |
| T-N | 50.90 | 5.09 | 16.70 | 1.67 | 67.19 |
| T-P | 11.40 | 1.14 | 7.67 | 0.77 | 32.72 |
| Amoniaco | 46.20 | 4.62 | 10.30 | 1.03 | 77.71 |
| Coliformes Fecales | 4.60E+07 | 4.60E+06 | 9.30E+05 | 9.30E+04 | 97.98 |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 7. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 03 de diciembre de 2019 a las 09:00 am

| Martes, 03 de Diciembre de 2019 09:00 am | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 406.00 | 40.60 | 34.80 | 3.48 | 91.43 |
| DQO | 923.00 | 92.30 | 61.54 | 6.15 | 93.33 |
| Solidos Suspendidos | 173.33 | 17.33 | 6.00 | 0.60 | 96.54 |
| Nitrógeno Total | 113.70 | 11.37 | 4.77 | 0.48 | 95.80 |
| Fosforo Total | 20.95 | 2.10 | 4.83 | 0.48 | 76.95 |
| Amoniaco | 107.40 | 10.74 | 3.30 | 0.33 | 96.93 |
| Coliformes Fecales | | | | | |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 8. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 03 de diciembre de 2019 a las 13:00 pm

| Martes, 03 de Diciembre de 2019 13:00 pm | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 263.00 | 26.30 | 32.10 | 3.21 | 87.79 |
| DQO | 538.40 | 53.84 | 53.84 | 5.38 | 90.00 |
| Solidos Suspendidos | 110.00 | 11.00 | 8.00 | 0.80 | 92.73 |
| Nitrógeno Total | 46.90 | 4.69 | 6.20 | 0.62 | 86.78 |
| Fósforo Total | 14.28 | 1.43 | 5.19 | 0.52 | 63.66 |
| Amoniaco | 45.00 | 4.50 | 4.50 | 0.45 | 90.00 |
| Coliformes Fecales | | | | | |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 9. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 08 de diciembre de 2019 a las 09:00 am

| Domingo, 8 de Diciembre de 2019 09:00 am | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 289.00 | 28.90 | 44.85 | 4.49 | 84.48 |
| DQO | 461.50 | 46.15 | 92.30 | 9.23 | 80.00 |
| Solidos Suspendidos | 160.00 | 16.00 | 94.00 | 9.40 | 41.25 |
| Nitrógeno Total | 82.30 | 8.23 | 13.31 | 1.33 | 83.83 |
| Fósforo Total | 15.91 | 1.59 | 6.16 | 0.62 | 61.28 |
| Amoniac | 70.00 | 7.00 | 8.10 | 0.81 | 88.43 |
| Coliformes Fecales | | | | | |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 10. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 08 de diciembre de 2019 a las 13:00 pm

| Domingo, 8 de Diciembre de 2019 13.00 pm | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 298.00 | 29.80 | 56.40 | 5.64 | 81.07 |
| DQO | 461.50 | 46.15 | 138.46 | 13.85 | 70.00 |
| Solidos Suspendidos | 153.30 | 15.33 | 110.00 | 11.00 | 28.25 |
| Nitrógeno Total | 57.30 | 5.73 | 12.46 | 1.25 | 78.25 |
| Fosforo Total | 15.08 | 1.51 | 5.22 | 0.52 | 65.38 |
| Amoniac | 52.60 | 5.26 | 5.90 | 0.59 | 88.78 |
| Coliformes Fecales | | | | | |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 11. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 11 de diciembre de 2019 a las 08:30 am

| Miércoles, 11 de Diciembre de 2019 | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 211.00 | 21.10 | 32.40 | 3.24 | 84.64 |
| DQO | 387.88 | 38.79 | 160.00 | 16.00 | 58.75 |
| Sólidos Suspendidos | 136.67 | 13.67 | 48.00 | 4.80 | 64.88 |
| Nitrógeno Total | 77.20 | 7.72 | 14.80 | 1.48 | 80.83 |
| Fósforo Total | 21.18 | 2.12 | 6.02 | 0.60 | 71.58 |
| Amoniaco | 77.80 | 7.78 | 11.10 | 1.11 | 85.73 |
| Coliformes Fecales | 4.30E+05 | 4.30E+04 | 4.60E+03 | 4.60E+02 | 98.93 |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 12. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 17 de diciembre de 2019 a las 08:30 am

| Martes, 17 de Diciembre de 2019 | | | | | |
|--|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 96.00 | 9.60 | 23.25 | 2.33 | 75.78 |
| DQO | 181.82 | 18.18 | 58.18 | 5.82 | 68.00 |
| Sólidos Suspendidos | 54.00 | 5.40 | 9.00 | 0.90 | 83.33 |
| Nitrógeno Total | 49.64 | 4.96 | 25.14 | 2.51 | 49.36 |
| Fósforo Total | 9.42 | 0.94 | 3.83 | 0.38 | 59.34 |
| Amoniaco | 47.90 | 4.79 | 25.10 | 2.51 | 47.60 |
| Coliformes Fecales | 2.40E+08 | 2.40E+07 | 7.50E+05 | 7.50E+04 | 99.69 |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 13. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 21 de enero de 2020 a las 17:00 pm

| Martes, 21 de Enero de 2020 | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 142.00 | 14.20 | 43.00 | 4.30 | 69.72 |
| DQO | 325.00 | 32.50 | 83.00 | 8.30 | 74.46 |
| Sólidos Suspendidos | | | | | |
| Nitrógeno Total | | | | | |
| Fósforo Total | | | | | |
| Amoniaco | 44.50 | 4.45 | 23.40 | 2.34 | 47.42 |
| Coliformes Fecales | | | | | |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 14. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 11 de febrero de 2020 a las 10:30 am

| Martes, 11 de Febrero de 2020 | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 319.00 | 31.90 | 33.24 | 3.32 | 89.58 |
| DQO | 513.74 | 51.37 | 190.82 | 19.08 | 62.86 |
| Sólidos Suspendidos | 150.00 | 15.00 | 14.00 | 1.40 | 90.67 |
| Nitrógeno Total | 66.39 | 6.64 | 12.24 | 1.22 | 81.56 |
| Fósforo Total | 10.55 | 1.06 | 3.60 | 0.36 | 65.88 |
| Amoniaco | 44.50 | 4.45 | 23.40 | 2.34 | 47.42 |
| Coliformes Fecales | 7.50E+07 | 7.50E+06 | 4.30E+05 | 4.30E+04 | 99.43 |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Cuadro 5. 15. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 18 de febrero de 2020 a las 10:20 am

| Martes, 18 de Febrero de 2020 | | | | | |
|-------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------------------------|
| Ítem | Afluente | | Efluente | | Eficiencia puesta en marcha (%) |
| | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | Conc. (mg/l) | Carga (kg/día) | |
| DBO (5 días) | 296.00 | 29.60 | 28.20 | 2.82 | 90.47 |
| DQO | 587.14 | 58.71 | 102.74 | 10.27 | 82.50 |
| Sólidos Suspendidos | 126.67 | 12.67 | 22.00 | 2.20 | 82.63 |
| Nitrógeno Total | 63.42 | 6.34 | 7.50 | 0.75 | 88.17 |
| Fosforo Total | 12.48 | 1.25 | 4.86 | 0.49 | 61.06 |
| Amoniaco | 53.20 | 5.32 | 5.00 | 0.50 | 90.60 |
| Coliformes Fecales | 9.30E+07 | 9.30E+06 | 1.50E+04 | 1.50E+03 | 99.98 |

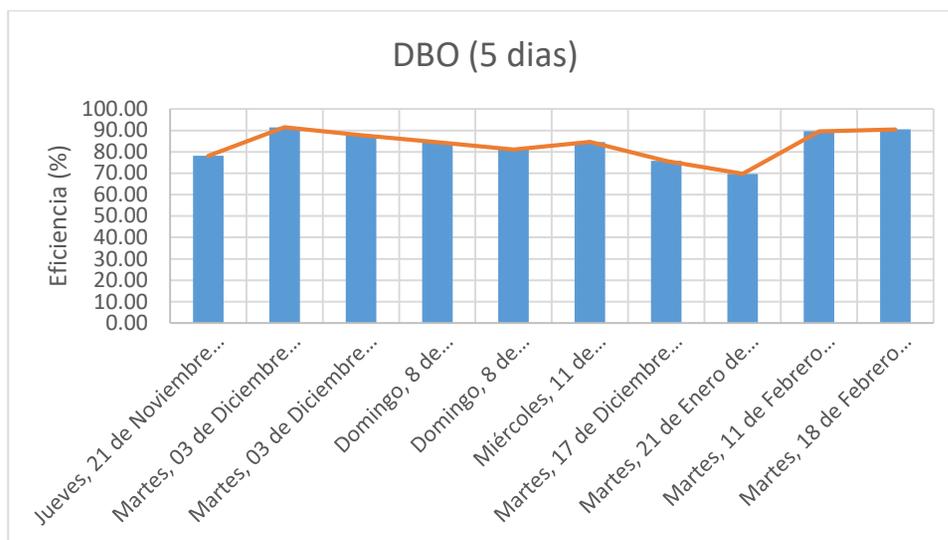
Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

5.2.2. Análisis de la Información

Comparando los resultados de las eficiencias en el funcionamiento durante la época de lluvias de noviembre de 2019 a febrero de 2020 (Gráfica 5.3.) con la eficiencia de diseño (Cuadro 5.4.), se tiene una gran similitud e incluso una mejor remoción, esto demuestra que el diseño es considerado aceptable y en espera de seguir mejorando.

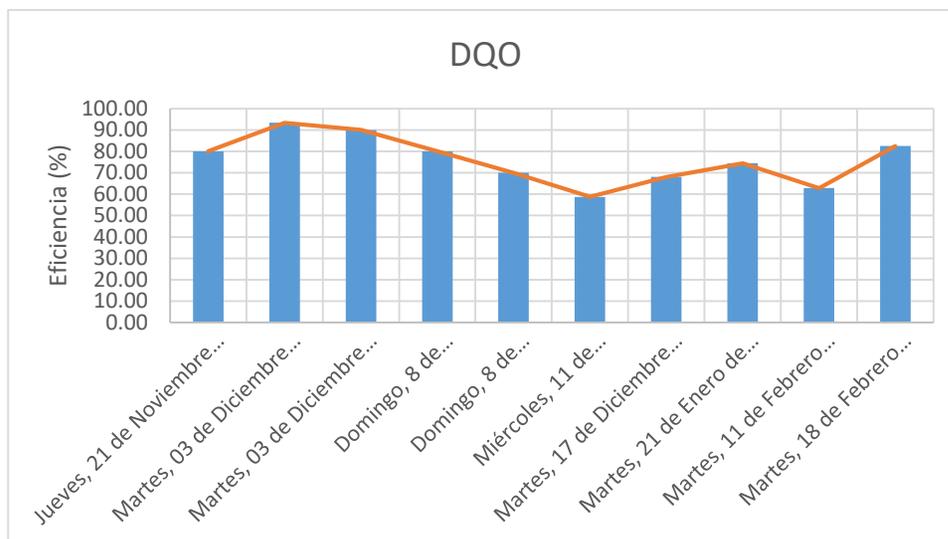
A detalle de cada parámetro medido se presenta a continuación:

Gráfica 5. 4. Resultados de la eficiencia de DBO (5 días) en época de lluvias



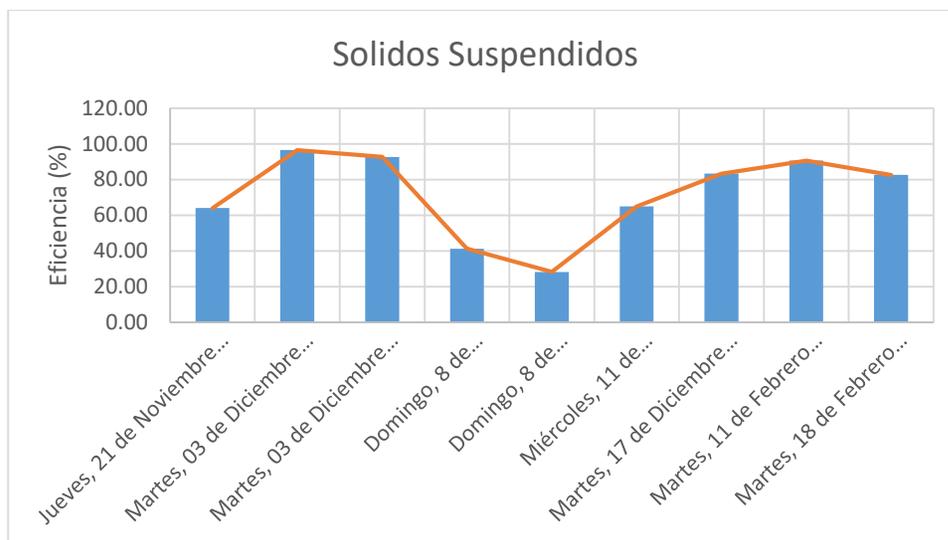
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. 5. Resultados de la eficiencia de DQO en época de lluvias



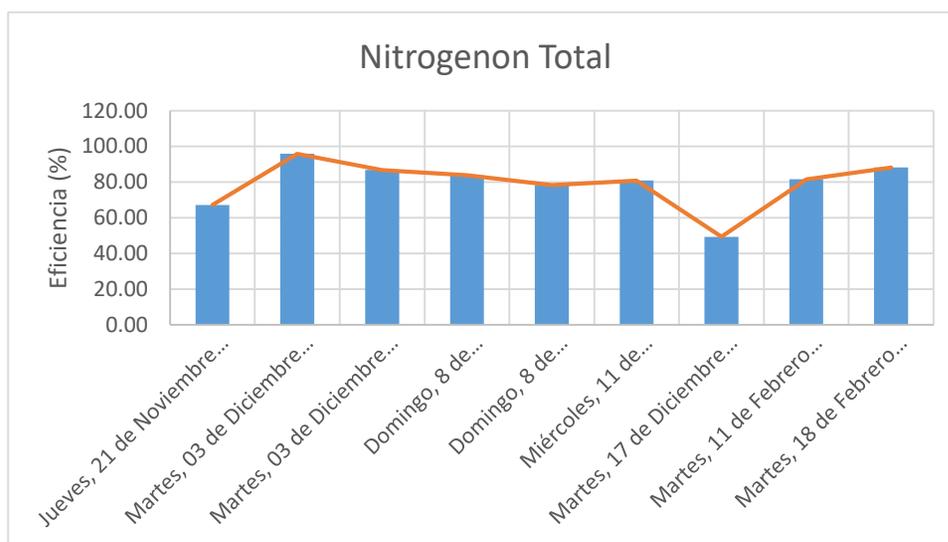
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. 6. Resultados de la eficiencia de Solidos Suspendidos en época de lluvias



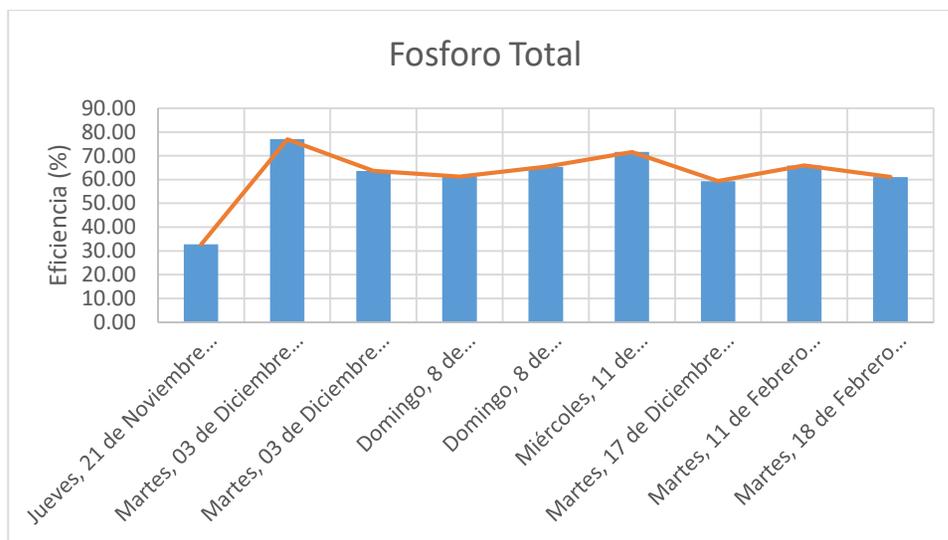
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. 7. Resultados de la eficiencia de Nitrógeno Total en época de lluvias



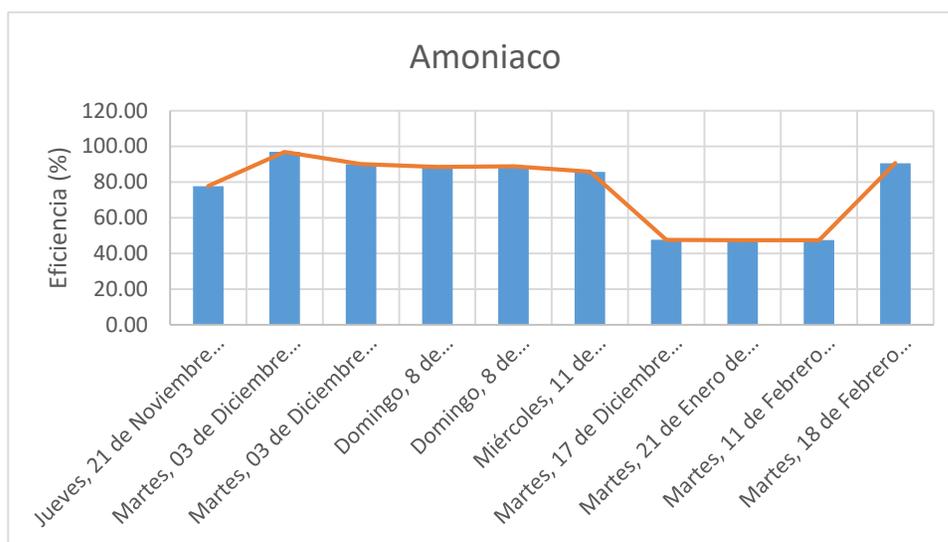
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. 8. Resultados de la eficiencia de Fosforo Total en época de lluvias



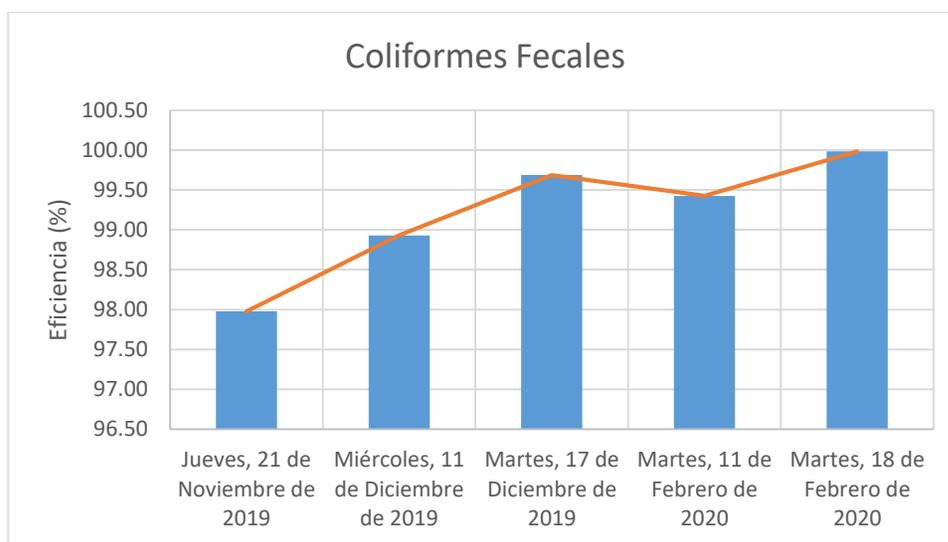
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. 9. Resultados de la eficiencia de Amoniaco en época de lluvias



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. 10. Resultados de la eficiencia de Coliformes Fecales en época de lluvias



Fuente: Elaboración propia

Comparando los resultados obtenidos del efluente mínimo hasta la fecha con la Ley 1333 sobre los límites permisibles para descargar liquidas (ver anexo A – 3), los valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores (ver anexo A - 2), guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura (ver Cuadro 2.4.) y la FAO (ver Cuadro 2.5.); se tiene lo siguiente (ver cuadro 5.14.):

Cuadro 5.16. Comparación de resultados en el funcionamiento de la PTAR del Barrio Catedral con las diferentes normativas

| Ítem | Unidad | PTAR Catedral | | | | | | | | | | Ley N°1333 | | | Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura | Normativa de reúso FAO |
|---------------------|------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|--|---|--|---|
| | | Jueves 21 Nov 2019 | Martes 03 Dic 2019 09:00 am | Martes 03 Dic 2019 13:00 pm | Domingo 8 Dic 2019 09:00 am | Domingo 8 Dic 2019 13.00 pm | Miércoles 11 Dic 2019 | Martes 17 Dic 2019 | Martes 21 Ene 2020 | Martes 11 Feb 2020 | Martes 18 Feb 2020 | Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores | Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso | Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l | | |
| DBO (5 días) | mg/l | 67.50 | 34.80 | 32.10 | 44.85 | 56.40 | 32.40 | 23.25 | 43.00 | 33.24 | 28.20 | <30 | CLASE D | 80 | | <30 |
| DQO | mg/l | 123.07 | 61.54 | 53.84 | 92.30 | 138.46 | 160.00 | 58.18 | 83.00 | 190.82 | 102.74 | <60 | CLASE D | 250 | | |
| Sólidos Suspendidos | mg/l | 6.00 | 8.00 | 94.00 | 110.00 | 48.00 | 9.00 | | | 14.00 | 22.00 | <10 | CLASE A | 60 | <50 | GRADO DE RESTRICCIÓN NULO |
| Nitrógeno Total | mg/l | 4.77 | 6.20 | 13.31 | 12.46 | 14.80 | 25.14 | | | 12.24 | 7.50 | 5 | CLASE C | | <5 | GRADO DE RESTRICCIÓN NULO |
| Fósforo Total | mg/l | 4.83 | 5.19 | 6.16 | 5.22 | 6.02 | 3.83 | | | 3.60 | 4.86 | 1 | CLASE D | | | |
| Amoniaco | mg/l | 10.30 | 3.30 | 4.50 | 8.10 | 5.90 | 11.10 | 25.10 | 23.40 | 23.40 | 5.00 | <4 | CLASE D | 4 | | |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 9.30E+05 | 4.60E+03 | 7.50E+05 | | | | | | 4.30E+05 | 1.50E+04 | <5000 y <1000 | CLASE C | 1.00E+03 | ≤1000 | Se pueden regar plantas comestibles, terrenos deportivos y parques públicos |

Fuente: Elaboración propia

Esto quiere decir que los resultados se aproximan a una Clase C de acuerdo a la Ley N°1333 que permite que el agua se puede utilizar para recreación de contacto primario, protección de los recursos hidrobiológicos, abastecimiento industrial, cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana, abrevadero de animales y para la navegación.

De acuerdo a la guía técnica de reúso de aguas residuales para la agricultura de Bolivia se tiene resultados de la calidad del agua que permiten el reúso para riego teniendo en cuenta que presentan un grado de restricción nulo para las mismas.

Finalmente comparando con los requisitos de la FAO se tiene la aprobación que estas aguas tratadas pueden utilizarse para el reúso agrícola en cultivos que se consumen, no se consumen y se procesan comercialmente.

5.3.Determinación de los costos de PTAR de Demostración

5.3.1. Costos de implementación total del proyecto de la planta demostrativa

Cuadro 5. 17. Proyecto: PTAR de Demostración de 100 m3/d - Tarija, Bolivia

| N° | Actividades | Unidad | Total (US\$)* |
|----|--|--------|-------------------|
| | Equipamiento y Reactores | | 174,110.23 |
| 1 | Equipamiento electromecánico | glb | 158,160.00 |
| 2 | Tanques de acero corrugado galvanizado | glb | 15,950.23 |
| | Transporte y logística | | 15,454.81 |
| 3 | Flete marítimo, seguro, transporte terrestre Puerto Arica a Tarija | glb | 15,454.81 |
| | Instalación y Puesta en Marcha de PTAR | | 60,251.00 |
| 4 | Excavación del Terreno | glb | 4,294.38 |
| 5 | Preparación de bases, montaje y ensamblaje de tanques | glb | 13,790.51 |
| 6 | Relleno y compactación del terreno | glb | 1,149.43 |
| 7 | Instalación de tuberías, fabricación de piezas metalmecánicas, pintura | glb | 14,777.89 |
| 8 | Construcción de caseta para PTAR | glb | 11,286.15 |
| 9 | Cerco perimétrico, puertas y alambrado de seguridad | glb | 7,366.75 |
| 10 | Conexión de Panel de Control y equipos, puesta a tierra, transformador | glb | 5,097.56 |
| 11 | Puesta en marcha | glb | 2,488.32 |
| | TOTAL (US\$) | | 249,816.04 |

Notas:

* Costos no incluyen el I.V.A.

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

5.3.2. Operación y mantenimiento del sistema

Cuadro 5. 18. Costo de operación y mantenimiento PTAR de Demostración, barrio Catedral de 100 m³/día (US\$/mes)

| N ^o | ACTIVIDAD | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO (US\$/día) | COSTO (US\$/mes) | COSTO TOTAL (US\$/año) |
|--------------------|---|---------------------|----------|---------------------|------------------|------------------|------------------------|
| 1 | Consumo total de energía diaria PTAR | KW/día | 135,00 | 0,12 | 15,74 | 472,30 | 5.667,64 |
| 2 | Disposición final del Lodo de desecho generado de la PTAR | m ³ /día | 0,48 | 6,19 | 2,97 | 89,25 | 1.070,98 |
| 3 | Personal que operará la PTAR | Operador/día | 1,00 | 7,29 | 7,29 | 218,66 | 2.623,91 |
| 4 | Costo de productos químicos | m ³ /día | - | - | - | - | - |
| 5 | Costo de renovación de equipamiento electromecánico | % | 0,50 | 158.160,00 | 26,36 | 65,90 | 790,80 |
| COSTO TOTAL | | | | | | 846,11 | 10.153,33 |

Fuente: (Empresa Rothwell Water Co. Ltd., 2012)

Costo para cada socio:

$$\text{Tarifa} = \frac{\left(\frac{846,11 \$}{\text{mes}} * \frac{6,86 \text{ Bs}}{1\$}\right)}{139 \text{ conexión}} = 41,76 \frac{\text{Bs}}{\text{conexión} * \text{mes}}$$

Comparando la tarifa de alcantarillado sanitario (ver cuadro 3.2.) del actual sistema de tratamiento de aguas residuales que son las lagunas de estabilización en la categoría Domestica A con consumo medido, se tiene una variación de precios con el tratamiento de la planta de demostración del barrio Catedral. De acuerdo a las encuestas realizadas en un inicio se tendría unos costos sostenibles para la población beneficiada.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Para la puesta en marcha se realizó la selección de lodo para demostrar cual es la mejor siembra en la PTAR de Catedral, se realizaron varias pruebas de diferentes lugares, las cuales sirvieron de experiencia para compararse entre sí. Llegando a determinar que la mejor siembra para lodos activados es de la cerveza, de acuerdo a los siguientes resultados que son adecuados para obtener un lodo madurado y que funcione.

Observando la gráfica de MLSS, se tiene que en el primer mes de puesta en marcha una variación considerable en los primeros tanques, luego de solucionar algunos problemas se observa en los resultados una notable estabilización de los lodos, de esta manera se adecua dentro de los rangos establecidos.

- Al ser variables los caudales durante el día es necesario realizar las mediciones durante 24 horas para determinar un caudal medio real; sin embargo, por la dificultad de medir volumétricamente en el tanque de ecualización, esto se realizó antes de la puesta en marcha cuando no era necesario mantener el afluente constante realizando una medición de llenado de dicho tanque en horas de la mañana durante 4 horas y 20 minutos, obteniendo un caudal horario durante ese periodo de 1,88 m³/hr, siendo este un aporte de la investigación.
- También se resalta que la automatización que se realiza mediante el software de control, nos permite que todo el sistema sea manual y automático mediante sensores, bombas, válvulas, caudalímetros, entre otros equipos, donde los resultados son instantáneos, ya no se necesita medir y se puede controlar el sistema desde cualquier lugar y cualquier equipo (incluso desde un celular). Teniendo ventajas en la reducción de costos de operación y mantenimiento.

Por la automatización que presenta la planta se puede observar el reporte en el software de control mediante el caudalímetro un caudal medio horario de $2,8 \text{ m}^3/\text{hr}$ hasta la fecha del mes de febrero de 2020 y gracias al tanque de equalización que reúne las aguas servidas, este mantiene la homogenización de la calidad y volumen permitiendo compensar durante todo el día. De esa manera se tiene un caudal medio diario de $67,2 \text{ m}^3/\text{día}$.

- Se demostró que la Tecnología CSBR mediante su implementación cumple las siguientes eficiencias (ver cuadro 5.17.).

Cuadro 6. 1. Demostración de la eficiencia de la PTAR del barrio Catedral

| Eficiencia del funcionamiento de PTAR (%) | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|---|---|---|---|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ítem | Jueves, 21 de Nov de 2019 | Martes, 03 de Dic de 2019 09:00 am | Martes, 03 de Dic de 2019 13:00 pm | Domingo, 8 de Dic de 2019 09:00 am | Domingo, 8 de Dic de 2019 13.00 pm | Miércoles, 11 de Dic de 2019 | Martes, 17 de Dic de 2019 | Martes, 21 de Ene de 2020 | Martes 11 Feb 2020 | Martes 18 Feb 2020 |
| DBO (5 días) | 78.16 | 91.43 | 87.79 | 84.48 | 81.07 | 84.64 | 75.78 | 69.72 | 89.58 | 90.47 |
| DQO | 80.00 | 93.33 | 90.00 | 80.00 | 70.00 | 58.75 | 68.00 | 74.46 | 62.86 | 82.50 |
| Sólidos Suspendidos | 64.00 | 96.54 | 92.73 | 41.25 | 28.25 | 64.88 | 83.33 | | 90.67 | 82.63 |
| Nitrógeno Total | 67.19 | 95.80 | 86.78 | 83.83 | 78.25 | 80.83 | 49.36 | | 81.56 | 88.17 |
| Fósforo Total | 32.72 | 76.95 | 63.66 | 61.28 | 65.38 | 71.58 | 59.34 | | 65.88 | 61.06 |
| Amoniac | 77.71 | 96.93 | 90.00 | 88.43 | 88.78 | 85.73 | 47.60 | 47.42 | 47.42 | 90.60 |
| Coliformes Fecales | 97.98 | | | | | 98.93 | 99.69 | | 99.43 | 99.98 |

Fuente: Elaboración propia

Para lo cual tomando en cuenta la eficiencia actual durante la época de lluvias con la eficiencia de diseño, se determina una mayor remoción. Por lo tanto, esto nos quiere decir que el funcionamiento y eficiencia de la PTAR son los esperados.

En el cuadro anterior resaltamos las máximas eficiencias Demostrando que la PTAR de demostración del barrio Catedral presenta mayor eficiencia en cuanto al actual sistema de tratamiento que son las lagunas de estabilización en la ciudad de Tarija (ver cuadro 5.21.), ambas en época de lluvias.

Cuadro 6. 2. Comparación de la eficiencia con el actual tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tarija "Lagunas de Estabilización"

| Ítem | Eficiencia en el funcionamiento de la PTAR del barrio Catedral (%) | Eficiencia del actual sistema: Lagunas de Estabilización (%) |
|------------|--|--|
| DBO5 | 91,43 | 83.87 |
| DQO | 93,33 | 69.53 |
| SS | 96,54 | |
| T-N | 95,80 | |
| T-P | 76,95 | |
| Amoniac | 96,93 | |
| Coliformes | | |
| Fecales | 99,98 | |

Fuente: Elaboración propia

De esta manera verificando con la normativa boliviana e Internacional (FAO) se concluye que el agua tratada con la tecnología CSBR es válida para el reúso agrícola.

- La planta de demostración produce 2,97 m³ de lodo al mes, considerando que su disposición final será mediante el recogido con un camión cisterna de COSAALT hasta su disposición final que serían en las lagunas de estabilización.
- Habiendo realizado la comparación del costo fijo que actualmente COSAALT cobra y con una estimación de costos de operación y mantenimiento de la PTAR de Demostración del Barrio Catedral, se estima que el costo per-cápita para la clase domestica será (ver cuadro 5.20.), así mismo se tendría un aumento de 28,64 Bs por conexión.

Cuadro 6. 3. Comparación de la tarifa estimada

| Servicio Alcantarillado Sanitario | | |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Categoría | Consumo medido | Consumo PTAR de Catedral |
| | Cargo Fijo Bs/mes | Cargo Fijo Bs/mes |
| Doméstica A | 13,12 | 41,76 |

Fuente: Elaboración propia

- Este tipo de planta se puede ajustar y/o adecuar a varios sectores de la ciudad de Tarija que topográficamente no es posible que se interconecten con el sistema central a gravedad, siendo esta tecnología una excelente alternativa la misma que no causa olores, necesita poco espacio de emplazamiento a comparación del actual sistema de tratamiento de aguas residuales que son las lagunas de estabilización y es económico.

6.2.Recomendaciones

- Se recomienda a los profesionales tener conocimiento de un idioma extranjero ya que toda la información está en inglés.
- Recomendar una mejor coordinación institucional con los servicios eléctricos cuando se realicen cortes de energía o alguna falla que altere el sistema de control, para lo mismo se tiene que reanudar el sistema colocando la operación del sistema en manual, se procede a modificar la configuración de los tiempos (parámetros) de las etapas de los procesos de reacción y decantación, y luego reiniciar la operación en automático.
- Es recomendable buscar suelos con nivel freático bajo para evitar que este afecte en la etapa de construcción
- Por ser las aguas contaminantes, tener medidas de control de seguridad del personal.
- La empresa ROTHWELL se guía mediante la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) avalando todo a nivel internacional por ejemplo la puesta en marcha, de esa manera comparando los resultados obtenidos de la calidad del lodo en la puesta en marcha con la norma americana y que el sistema tradicional son las tecnologías convencionales con las que se puede comparar los resultados.
- Es necesario contar en un futuro con una nueva Ley para que los tratamientos se ajusten mejor, de esta manera es recomendable por el momento comparar los resultados reales obtenidos con la norma adecuada. En caso de no existir la norma en Bolivia, comparar con la norma americana u otra similar.
- En la etapa de construcción se colocó en los tanques (anoxico, anaeróbico y aeróbico) que llega el agua a tratar por gravedad un tubo que va hasta el fondo para evitar que la caída sea demasiada, pero esto evito una buena remoción del agua a tratar y determinando que los mezcladores que se encuentran en la parte inferior de los tanques anoxico y anaeróbico no eran suficientes, generando capas muy gruesas de lodo en la parte superior por lo cual se puede ver los resultados demasiados altos en el MLSS en dichos tanques durante el primer mes de puesta

en marcha, para ello se procedió a incorporar un mezclador pequeño en la parte superior del tanque anoxico el cual nos dio excelentes resultados para mantener el afluente y el lodo de recirculación completamente mezclado.

- Para evitar que el sonido de los sopladores sea molesto para las viviendas cercanas se recomienda colocar placas de policarbonato en las ventanas de la caseta de la PTAR o un silenciador a la salida del tubo de aire para minimizar el sonido y evitar molestias.
- Para determinar la eficiencia total, está tiene que basarse en un método científico. Es por ello que la planificación de la PTAR debió ser de esta manera, para esto solo se tiene resultados en época de lluvias y aun no se tiene resultados completos de un año. Es posible que la eficiencia llegue a mejorar aún; sin embargo, debido a las dificultades de la empresa ROTHWELL, COSAALT y fuera de estas no se pudo completar de esta manera se recomienda completar realizando un muestreo o experimento completo para poder obtener una eficiencia total.
- Finalmente, para llegar a cumplir con los valores de coliformes fecales de acuerdo a la normativa sería necesario implementar un tratamiento terciario a la PTAR siendo recomendado un sistema de depuración con cloro o en base a UV (ultravioleta)