

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

A nivel mundial, factores como el acelerado crecimiento demográfico, la contaminación de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, y los cambios en los patrones climáticos han motivado que la sociedad busque el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles, con el objetivo de producir alimentos y materia prima para la industria, recurriendo incluso a fuentes alternas como las aguas residuales. (Moscoso y Romero, 2002).

En América Latina, sólo el 13,7% de las aguas residuales recolectadas son tratadas en sistemas de tratamiento antes de descargarse en los ambientes acuáticos o usarse en riego agrícola, este hecho impide reutilizar el recurso hídrico, además de perjudicar la salud de la población.

Esta situación descrita, se torna mucho más crítica en los barrios periurbanos de las ciudades pequeñas y en comunidades rurales concentradas, donde la disponibilidad de agua de calidad para la agricultura es una carencia palpable, por cuanto las aguas residuales domiciliarias sin tratamiento son utilizadas con fines de riego. (Marka C., Sarsuri F., 2013)

A ello hay que agregar que los remanentes son conducidos a los ríos más próximos, lo que ocasiona la contaminación de la cuenca, siendo altos los índices de enfermedades diarreicas en estas zonas como consecuencia de este problema.

En Bolivia, como muchos otros países en desarrollo de América Latina, el agua residual cruda o tratada generada en las ciudades se reusa para el riego agrícola que se practica en zonas áridas y semiáridas, especialmente en la Región Andina, en los departamentos de Oruro, Potosí y La Paz, donde la agricultura y ganadería se realizan a nivel de comunidades campesinas con tecnología y sistemas de producción tradicionales,

cultivándose papa, oca, quinua, haba, trigo y cebada; así como en la Región Sub Andina, en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija, que se caracterizan por la importancia de la producción agrícola, cultivándose principalmente maíz, trigo, frutales, hortalizas y cultivos forrajeros como la alfalfa, cebada y avena (Moscoso y Romero, 2002).

Estudios recientes en estas regiones, han identificado 105 centros poblados donde se reutiliza el agua residual para agricultura; sin embargo, tal práctica carece de un marco regulatorio, pues actualmente no se tienen normas de reúso de aguas residuales y tampoco se tienen reglamentos o guías técnicas de diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con fines de reúso agrícola que contribuyan a disminuir los riesgos de salud implícitos que conlleva la reutilización de éstas aguas (MMAyA, 2013).

La presión hídrica de la generalidad de las naciones se centra en que el 92% del agua disponible se destina a la agricultura de riego; un 56% de esta agua se destina a la producción de alimentos, entre los que destacan la producción de granos y cereales que consume el 27% del agua y la producción de carne y leche que en conjunto consumen el 29%. (Silva *et al* 2008).

En este contexto, la perspectiva futura es que al 2050, al menos un 50% del agua que requerirá la agricultura será agua residual, y lo ideal es que ya sea agua tratada, cuyo efluente cumpla los parámetros de calidad del agua para reúso en agricultura, según las distintas normatividades vigentes en los países sobre la materia. (Silva *et al* 2008).

Además de la promoción de prácticas de higiene para el uso adecuado de las aguas residuales domiciliarias, existen tecnologías alternativas de bajo costo para su tratamiento que pueden ser adoptadas y manejadas por pequeños municipios u organizaciones de usuarios, como es el caso del biofiltro.

Los sistemas de biofiltro son ampliamente utilizados a nivel mundial en el tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeñas poblaciones, principalmente por su capacidad de remoción de contaminantes.

Esta problemática con el tiempo, ha ido en aumento ya que los sectores doméstico, industrial e incluso agrícola realizan las descargas de aguas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua cercanos no importando las cargas de químicos, colorantes, materia orgánica u otro contaminante que estas tengan.

Aun contando con la Ley de Medio Ambiente 1333 en su Art. 47: “Todas las descargas de aguas residuales crudas o tratadas a ríos arroyos, procedentes de usos domésticos, industriales, agrícolas, ganaderos o de cualquier otra actividad que contamine el agua, deberán ser tratadas previamente a su descarga, si corresponde, para controlar la posibilidad de contaminación de los acuíferos por infiltración, teniendo en cuenta la posibilidad de que esos ríos y arroyos sirvan para usos recreacionales eventuales y otros que se pudieran dar a estas aguas.

El tratamiento de aguas residuales es un proceso físico químico que cuenta con unidades de homogeneización, coagulación, floculación, sedimentación y filtración que permite eliminar sólidos en suspensión, sólidos disueltos y materia orgánica.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado se desarrolla el presente trabajo: “Tratamiento de aguas residuales de la Unidad Educativa Yesera Norte en la comunidad de Yesera, para su reúso en riego agrícola”, resaltando que previamente se realizaron otros estudios anteriores en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; el primero realizado en la gestión 1999 por Jimena Durán “Tratamiento de Aguas con Plantas Acuáticas,” el segundo realizado en la gestión 2002 por Rodrigo Úzqueda “Estudio hidráulico a nivel laboratorio de Humedales de Flujo Sub-Superficial” y el tercer realizado en la gestión 2004 por Estela Sullca “Tratamiento de aguas residuales domiciliarias con totora (*Thypha domingensis*) en humedales artificiales de flujo continuo”. Todos los trabajos son desarrollados a nivel experimental, con resultados promisorios que muestran que este tipo de biofiltros se presentan como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica contaminante, el trabajo de Maribel Cari Figuero a Diseño de un Biofiltro para el Tratamiento de las Aguas Residuales del Centro Nacional Vitivinícola Tarija – Cenavit, 2012. Y por último se tiene el Trabajo de Ingrid Patricia Mollo Vidaurre “ Tratamiento de las aguas residuales

sanitarias de la ciudad de Tarija para su reúso como agua de riego en ornato público”.- 2019.

Tal como lo establece la Ley 1333 en lo que toca al Capítulo I en su Artículo 30, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua MMAA y el Gobernador del Departamento de Tarija, a través de la Unidad de Medio Ambiente de la Gobernación, quienes con el personal de los laboratorios autorizados, son las unidades que deberán efectuar semestralmente el monitoreo de los cuerpos receptores y de las descargas de aguas residuales crudas o tratadas, tomando muestras de acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental, en lo que toca al caudal y tiempo de vertido de máxima producción. Acciones que no son cumplidas por la autoridad competente ni por los representantes de las industrias.

Por estas razones surge la importancia y necesidad de implementar y desarrollar el trabajo de “Tratamiento de aguas residuales de la Unidad Educativa Yesera Norte en la comunidad de Yesera, para su reúso en riego agrícola”, en la comunidad de Yesera Norte y así empezar con una comunidad rural y luego con otras.

1.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el “Tratamiento de las aguas residuales de **La Unidad Educativa Yesera Norte** en la comunidad de Yesera Norte, para su reúso en riego agrícola”.

1.2.1 OBJETIVO ESPECIFICO

- Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual de “La Unidad Educativa Yesera Norte”.
- Empleo de un Biofiltro con material particulado con relleno de Poliestireno expandido (plastoformo), para tratar las aguas residuales de “La Unidad Educativa Yesera Norte”.
- Determinar las variables de diseño del Biofiltro de relleno (Cantidad de Oxígeno disuelto, DBO₅, Coliformes fecales y tiempo de retención,).
- Caracterizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del efluente de la unidad experimental.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “Tratamiento de aguas residuales de la Unidad Educativa Yesera Norte en la comunidad de Yesera, para su reúso en riego agrícola”, es justificable por las siguientes razones:

- “La Unidad Educativa Yesera Norte”, no cuenta con red de alcantarillado sanitario, al igual que las viviendas de los vecinos de la zona pero si cuentan con pozo ciego. Por lo que sumados a todas las actividades de la población domésticas y productivas generan descargas de efluentes con diferentes niveles de contaminación y que son vertidas a las quebradas ríos, presas y lagunas que son utilizadas para riego. Sumado a esto aparecen enfermedades provocadas por la mala calidad del agua de consumo.
- El reúso de las aguas residuales en riego agrícola es una práctica que se realiza desde hace varias décadas en diferentes partes del mundo, y también en Bolivia, debido

principalmente a la escasez de agua y a los beneficios que se tienen por la carga de nutrientes que lleva el agua residual.

- La superficie beneficiada estimada para ser regada por aguas residuales si se emplean aguas residuales tratadas por sistemas similares al presente proyecto para ser usadas de riego en la agricultura, se estima que podría cubrir un 20 % de la superficie total para agricultura del sector que es de 52.82 Km², de cultivos cercanos a los cursos de agua. Siendo este 20 % un aporte significativo a los canales de riego cercanos a la salida del biofiltro.

Los cultivos principales de la zona son maíz, trigo, papa, arveja, durazno y vid.

- La Ley 1333 de Medio Ambiente y su Reglamento de Gestión de los Recursos Hídricos, establecen la necesidad de dar un aprovechamiento sostenible del agua, para garantizar su disponibilidad y accesibilidad a la población.

Es por ello que el trabajo plantea “Tratamiento de las aguas residuales de La Unidad Educativa Yesera Norte en la comunidad de Yesera Norte, para su reúso en riego agrícola”. El presente proyecto está respaldado por anteriores trabajos, que cuentan con experiencias en el diseño y tratamiento de las aguas residuales usando diferentes biofiltros, en su procesamiento de tales efluentes.

1.4 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES

1.4.1 CONTAMINACION AMBIENTAL

Se denomina **contaminación ambiental** a la presencia de componentes nocivos (ya sean químicos, físicos o biológicos) en el medio ambiente (entorno natural y artificial), que supongan un perjuicio para los seres vivos que lo habitan, incluyendo a los seres humanos.

La contaminación ambiental está originada principalmente por causas derivadas de la actividad humana, como la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero o la explotación desmedida de los recursos naturales. (Cuidemos el planeta, 2018).

1.4.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La **contaminación hídrica** o la **contaminación del agua** es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve inapropiada o peligrosa para el consumo, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades, así como para los animales.

Aunque la contaminación de las aguas puede provenir de fuentes naturales, como la ceniza de un volcán, la mayor parte de la contaminación actual proviene de actividades humanas. (Wikiproyecto Ecología y Medio Ambiente. 2018, Julio 19).

Figura 1- 1: Contaminación de las aguas superficiales



Fuente: ediac.com, 2019.

Figura 1- 2: Contaminación de las aguas superficiales



Fuente: ediac.com, 2019.

1.4.3 AGUAS NEGRAS

Las aguas negras son los fluidos procedentes de vertidos cloacales de instalaciones de saneamiento; son los líquidos con materia orgánica, fecal y orina, que circulan por el alcantarillado.

Estos líquidos contaminados requieren de sistemas de canalización y el tratamiento y en cumplimiento con normativas ambientales vigentes.

También se las denomina Aguas residuales, Aguas Servidas o Aguas cloacales. (ediac.com, 2019).

Figura 1- 3: Lagunas de oxidación en San Luis, Tarija



Fuente: periódico El País, 2016.

1.4.4 AGUAS GRISES

Se caracterizan por ser aguas jabonosas las cuales pueden presentar contenidos de grasas, provenientes de lavados de utensilios de cocina, del uso de la ducha, la tina o del lavamanos o del lavado de ropa en el lavadero y la lavadora. Estas aguas pueden ser reutilizadas directamente en el lavado del inodoro, para ahorrar agua.

Las aguas grises se diferencian de las aguas negras porque no contiene bacterias fecales, como Escherichiacoli (E-oli) y son de vital importancia porque pueden ser de mucha utilidad en el campo del regadío ecológico. (Torres Caceres E., 1994)

1.4.5 AGUAS AGRARIAS

Son aguas procedentes de actividades agrícolas y ganaderas. La contaminación de las aguas agrarias es muy importante, perjudicando sensiblemente las características del cauce o medio receptor acuifero. (Torres Caceres E., 1994)

1.4.6 AGUAS INDUSTRIALES

Se llaman así a las 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. (Torres Caceres E., 1994)

1.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

1.5.1 COLOR

El agua contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos debidos principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación. (ingenieroambiental.com, 2015)

1.5.2 OLOR Y SABOR

Compuestos químicos presentes en el agua como fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor. (ingenieroambiental.com, 2015)

1.5.3 TURBIDEZ Y MATERIA EN SUSPENSIÓN

Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable disoluciones, coloides, ó en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación, reunión de varias partículas. La turbidez se debe a sustancias insolubles en suspensión, coloides, microorganismos.

Un agua turbia dificulta el paso de la luz impidiendo la fotosíntesis y disminuyendo el aporte de oxígeno disuelto. La transparencia de un cuerpo de agua natural es un factor decisivo para su calidad y productividad. (Korbut Stella Q.F. 2015).

1.5.4 TEMPERATURA

La temperatura del agua determina sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La temperatura es importante en la solubilidad de las sales, y de los gases por lo tanto influye en la conductividad y en el pH. Una contaminación térmica por vertido de efluentes con temperatura alta se detecta por un aumento de más de 3° C en una zona respecto de las adyacentes. (Korbut Stella Q.F. 2015).

Las bacterias necesitan 35°C para reproducirse. En lugares fríos se colocan enzimas catalíticas, Las Lagunas Facultativas son una opción para temperaturas bajas.

1.5.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, e indica la materia ionizable total presente. Este parámetro depende de la temperatura. La dureza y conductividad eléctrica del agua son dos parámetros que están muy relacionados, ya que las sales de calcio y magnesio son las más abundantes en la naturaleza. La conductividad y la dureza reflejan el grado de mineralización de las aguas y su productividad potencial. (Korbut Stella Q.F. 2015).

1.5.6 ESPUMAS

Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua favoreciendo la eutrofización. Disminuyen mucho el poder autodepurador en los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras. (ingenieroambiental.com, 2015)

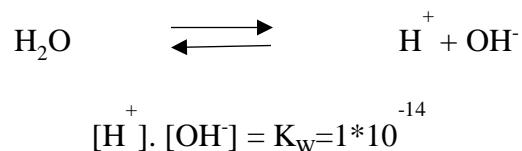
1.6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los constituyentes químicos dentro de las aguas residuales frecuentemente se clasifican en inorgánicos y orgánicos. Los compuestos inorgánicos incluyen elementos individuales y una variedad de nitratos y sulfatos. Los constituyentes inorgánicos de mayor interés comprenden nutrientes, compuestos no metálicos, metales y gases. En el caso de los compuestos orgánicos no pueden ser clasificados de forma separada; son de vital importancia en el tratamiento,

vertido y reutilización de aguas residuales de la misma manera los compuesto orgánico específicos (Crites & Tchobanoglous, 2000).

1.6.1 pH

Mide la concentración de iones de hidrógeno presentes.



El intervalo adecuado de pH para que se desarrolle la vida tiene un margen estrecho, en un rango de pH 5 y 9, las aguas residuales con valores menores a 5 y superiores a 9 tienen un tratamiento más complicado mediante agentes biológicos. Si dicho pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido nuevamente al cuerpo de agua, el pH de este cuerpo receptor será alterado; de allí la necesidad de que los efluentes de la plantas de tratamiento deben ser descargados dentro de los límites específicos para descargas a cuerpos receptores.

De este modo, efluentes con pH adverso pueden alterar la composición y modificar la vida biológica de las aguas naturales; es más difícil de tratarlos por métodos biológicos, que sólo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro.

A pH inferior a 4,5 y superiores a 10 se tiene un descenso de la colonia de bacterias en el sistema biológico.

En vertidos urbanos los rangos de pH están comprendidos entre 6,5 y 8,5 las variaciones de estos intervalos son debidos a vertidos incontrolados de origen industrial.

En caso de ser necesario, se puede realizar una neutralización del pH, adicionando agentes neutralizantes antes de la entrada de la muestra en el tratamiento biológico

La mayoría de los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales se desarrollan en un rango de pH óptimo entre 6,5 y 8,5 unidades. Así se puede controlar los procesos biológicos del tratamiento de las aguas residuales (TAR).

(M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.6.2 ALCALINIDAD

El agua residual es normalmente alcalina, porque recibe esta alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico.

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio.

Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en carbonato de calcio, CO_3Ca .

La concentración de alcalinidad en un agua residual es importante en aquellos casos en los que empleen tratamientos químicos, en la eliminación biológica de nutrientes, y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

En la coagulación química, las sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados de hidróxidos insolubles.

En el ablandamiento del agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio necesario para el proceso. (Romero, 1999).

La concentración de la alcalinidad en el agua residual es especialmente importante cuando debe efectuarse un tratamiento químico y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.6.3 ACIDEZ

La acidez en el agua se puede definir como su capacidad para neutralizar bases, reaccionar con iones hidroxilo, ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas.

La determinación de la acidez es de importancia en Ingeniería Sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que supone la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión.

El contenido de CO_2 , es también un factor importante para la estimación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de las aguas duras. (Romero, 1999).

1.6.4 OXIGENO DISUELTO (OD)

El oxígeno es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de una descarga de desechos biodegradables en un río es la disminución del oxígeno en el sistema. Además, la solubilidad del oxígeno depende de la temperatura, mientras mayor sea esta, menor es el nivel del gas disuelto en el agua.

Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con OD, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente. Los peces de pesca deportiva requieren cuando menos 5 mg/l de OD y los peces ordinarios no sobreviven con menos de 2 mg/l de OD. Las aguas saturadas de oxígeno tienen un sabor agradable y las aguas con deficiencia de OD son insípidas; por esa razón, si es necesario, el agua para beber se airea para que tenga un OD máximo. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.6.5 DEMANDA DE OXIGENO

Los compuestos orgánicos por lo regular son inestables y pueden oxidarse biológica o químicamente para obtener productos finales estables, relativamente inertes, tales como CO_2 , NO_3 , H_2O . La cantidad del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad del oxígeno que se requiere para su estabilización.

Demanda bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5).

La demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno (mgO_2/l) necesaria para oxidar los componentes de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de duración del ensayo se consumen aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables. Es decir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en la transformación de la materia orgánica a CO_2 mediante procesos biológicos aerobios. Asimismo, incluye la cantidad de oxígeno requerido para llevar a cabo la nitrificación.

- La relación entre DBO/DQO indica la biodegradabilidad de la materia contaminante.

En aguas residuales: (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

DBO/DQO < 0,2 vertido de tipo inorgánico

DBO/DQO > 0,6 vertido de tipo orgánico

Demanda química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno (mgO₂/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas. Es decir la cantidad de oxígeno consumido por la materia existente en el agua, oxidable en condiciones determinadas. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

El valor de la DQO da una idea del contenido de materia oxidable (orgánica e inorgánica). La magnitud de los resultados obtenidos normalmente es DBO<DQO.

1.6.6 NITROGENO

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

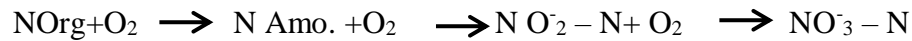
El Nitrógeno es un elemento importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente Nitrógeno. El nitrógeno puede presentarse en cuatro formas principales:

Nitrógeno orgánico. En la forma de proteínas aminoácidos y urea

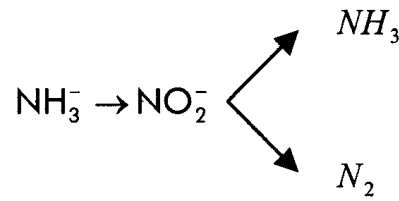
Nitrógeno amoniacal. Como sales de amoniaco; por ejemplo, CO₃(NH₄)₂, o como amoníaco libre.

Nitrógeno de nitritos. Una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades.

Nitrógeno de nitratos. Producto final de la oxidación del nitrógeno. La oxidación de los compuestos de nitrógeno, llamada nitrificación, se expresa de la siguiente forma:



La reducción del nitrógeno, se llama desnitrificación, puede invertir el proceso:



Los compuestos del nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales.

Los elementos de Nitrógeno y Fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas por lo que se conocen como nutrientes o bioestimulantes.

Cuando sea necesario el control del crecimiento de algas en el agua receptora, puede ser conveniente la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes de la evacuación.

El Nitrógeno que se encuentra en el agua residual reciente se encuentra, principalmente, en forma de urea y materia proteica, donde la descomposición de las bacterias cambia fácilmente estas formas en amoníaco. La cantidad relativa de amoníaco indica la edad del agua residual. (Noyola-Vega-Ramos-Calderón, 2000)

1.6.7 AZUFRE

Este se puede encontrar en forma natural tanto en las aguas naturales como en las aguas residuales. Es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas en los organismos, por este motivo se libera cuando existe degradación de las mismas, los sulfatos reducen biológicamente a sulfuros en condiciones anaerobias y forman sulfuro de hidrogeno (H_2S) al combinarse con el hidrogeno. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

El Azufre es requerido para la síntesis de proteínas y se libera cuando éstas se descomponen. Prácticamente, todos los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, pero algunas especies requieren compuestos en forma más reducida para la biosíntesis.

Las bacterias pueden realizar esta reducción de los sulfatos a sulfuros y SH_2 , en condiciones anaerobias. Estos últimos compuestos son importantes en el comportamiento de los residuos líquidos y su grado de septización. El SH_2 puede ser también oxidado a sulfato, que es corrosivo para las tuberías del alcantarillado. Si éste llega a contaminar el agua de bebida, puede causar trastornos gastrointestinales, sobretodo en niños. Además, el sulfato de magnesio produce sabor amargo al agua. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.6.8 SULFITOS

Se entiende por sulfitos; los compuestos de azufre con número de oxidación +4. Se encuentran en algunos residuos industriales y aguas contaminadas, pero generalmente son de interés en aguas de calderas donde se trata el agua con sulfito de sodio para reducir el oxígeno disuelto del agua a un mínimo y prevenir la corrosión.

1.6.9 FOSFORO

Este elemento tiene relevancia en el crecimiento y desarrollo de distintos organismos en un cuerpo de agua, pero ya en cantidades excesivas provoca una proliferación de algas y otros organismos biológicos perjudiciales. Las formas más comunes en las que se puede encontrar el fósforo son los ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. Los ortofosfatos más comunes de las aguas residuales están disponibles para el metabolismo biológico sin necesidad de que los organismos tengan que realizar una ruptura posterior del mismo. Debido a los nocivos crecimientos incontrolados de algas que tienen lugar en las aguas superficiales se requiere controlar la cantidad de fósforo que es vertida al agua a través de los vertidos de aguas residuales industriales y domésticas y de las escorrentías naturales. El Fósforo es esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos.

Las formas más comunes en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas es como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico

Los polifosfatos sufren la hidrólisis en soluciones acuosas y vuelven a sus formas de ortofosfato

El fosfato orgánico tiene muy poca importancia en la mayoría de las aguas residuales domésticas pero puede ser importante en los vertidos industriales y fangos de aguas residuales domésticas. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.6.10 COMPUESTOS TOXICOS

Algunos componentes de las aguas residuales son muy tóxicos para los organismos y microorganismos, y por ello, son de gran importancia en cuanto al vertido y tratamiento. Si se hace un vertido indiscriminado sobre masas de agua receptoras, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella, afectando a la cadena alimentaria y pueden llegar al hombre.

Su efecto sobre las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales puede ser drástico. Al morir por contaminación los microorganismos que lo realizan: paralizan, por tanto, los procesos. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.6.11 GASES

Los gases que se encuentran más frecuentemente en la composición de las aguas residuales son nitrógeno, oxígeno; anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoníaco y metano. Los tres primeros se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, ya que son gases comunes en la atmósfera. El resto es resultado de la descomposición de la materia orgánica.

Dentro de estos gases, los de mayor interés son:

Oxígeno disuelto: es necesario para la vida de todos los organismos aerobios sus niveles son indicativos del nivel de calidad de las aguas. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento. La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua.

La cantidad de oxígeno en el agua residual va a depender, también, de otros factores:

- Solubilidad del gas.
- Presión parcial del gas en la atmósfera.
- Temperatura.
- Características del agua (salinidad, sólidos suspendidos, etc.). (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

Sulfuro de hidrógeno: se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por reducción de sulfatos y sulfitos minerales. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor característico muy desagradable. Si el agua residual contiene hierro, se combina con él, dando sulfuro de hierro que origina el color negro en el agua. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

Metano: es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes cantidades, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad.

En aquellos lugares de las conducciones y alcantarillas donde pueda producirse, es necesaria una ventilación adecuada. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.7 CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características biológicas en las aguas residuales tienen una alta importancia en el control de enfermedades que son causadas por organismos patógenos de origen humano y por la proliferación o desarrollo de bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica tanto en el medio natural como en una planta de tratamiento de aguas residuales. Entre los microorganismos tenemos:

1.7.1 BACTERIAS

Pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento.

En las aguas residuales brutas, predominan las especies pertenecientes a los siguientes grupos: *Escherichia*, *Salmonella*, *Streptococos* fecales, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Zooglea*, *Flavohacterium*, *Nocardia*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, etc.

Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100.000 a 400.000 de coliformes a

través de las heces, además de otras clases de bacterias. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.7.2 VIRUS

Proceden de la excreción, por parte de seres vivos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse en sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.

Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus, etc.

La gran supervivencia de los virus origina la resistencia a algunos tratamientos de aguas residuales, constituyendo un peligro para las aguas receptoras.

Durante los tratamientos, los virus se adsorben a la superficie de los flóculos y de esta forma son separados de las aguas residuales, pero no inactivados. Algunos quedan en el efluente, siendo un peligro para la salud, aunque el mayor riesgo lo constituyen aquellos que quedan en el fango, en mayores cantidades, sobre todo si este fango se utiliza como fertilizante sin tratamiento previo. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.7.3 HONGOS

La mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Los géneros que pueden encontrarse son: Geotrichium, Mucor, Aureobasidium, Subbaromyces, Fusarium, Sepedonium y Sphaerotilus.

En el tratamiento con fangos activados, los hongos, junto a bacterias filamentosas, pueden dar lugar a un problema conocido como bulking, debido a que su presencia dificulta la sedimentación de los fangos. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.7.4 ALGAS

Su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno está producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*, *Ulothrix*, *Chlorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc. (M. Espigares García y J. A. Pérez López, 2006).

1.7.5 COLIFORMES FECALES

Las bacterias Coliformes Fecales forman parte del total del grupo Coliformes. Son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de las 24 ± 2 horas. La mayor especie en el grupo de coliformes fecal es el *Escherichia coli*.

La presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. (Metcalf-Eddy, 1977)

1.8 ETAPAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

En Ingeniería el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación así como la eliminación de las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras.

El principal objetivo del tratamiento del agua residual es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daños al medio ambiente. Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos o biológicos. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015).

1.8.1 PROCESOS APLICADOS AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES- PROCESOS FÍSICOS

Las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento.

Los principales procesos físicos son los siguientes: Desbaste, Evaporación, Homogenización de caudales, Mezclado, Floculación, Sedimentación, Flotación, Filtración. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015).

Cuadro I- 1: Operaciones Físicas Unitarias

OPERACIÓN	APLICACIÓN
Medición del caudal	Control y seguimiento de procesos, informes de descargas.
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie)
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme.
Homogeneización del caudal	Homogenización del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión.
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de los sólidos en suspensión.
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad.
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y espesados de fangos.
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua. También espesa los lodos biológicos.
Filtración	Eliminación de los sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico
Microtamizado	Mismas funciones que la filtración. También la eliminación de las algas de los efluentes de las lagunas de estabilización.
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases.
Volatilización y arrastre de gases	Emisión de compuestos orgánicos.

Fuente: (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015).

1.8.2 PROCESOS APLICADOS AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES- PROCESOS QUÍMICOS

Operaciones en las cuales la remoción o tratamiento de los contaminantes se realiza mediante la adición de reactivos que llevan a cabo diferentes reacciones químicas son: La precipitación química, Ajuste de pH, Coagulación y Desinfección son los principales. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015).

Cuadro I- 2: Procesos Químicos Unitarias

PROCESO	APLICACIÓN
Precipitación química	Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria empleadas en tratamientos fisicoquímicos.
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamientos químicos y biológicos. También se emplean para declorar el agua residual antes de su vertido final.
Desinfección	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con cloro	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más utilizado.
Decloración	Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración.
Desinfección con dióxido de cloro	Destrucción de selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con cloruro de bromo	Destrucción de selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con ozono	Destrucción de selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con luz ultravioleta	Destrucción de selectiva de organismos causantes de enfermedades.
otros	Para alcanzar objetivos específicos en el tratamiento de las aguas residuales, se pueden emplear otros compuestos químicos.

Fuente: (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015).

1.8.3 PROCESOS APLICADOS AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES-PROCESOS BIOLÓGICOS

En éstos, la remoción de los contaminantes se realiza a través de la oxidación biológica de la materia orgánica. El principal uso de los tratamientos biológicos es la remoción de los compuestos orgánicos biodegradables nutrientes.

El ejemplo más conocido es el de lodos activados, pero existen varios más. Los principales contaminantes presentes en un agua residual de origen municipal y los procesos más comúnmente empleados para su remoción se describen en el siguiente cuadro: (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015).

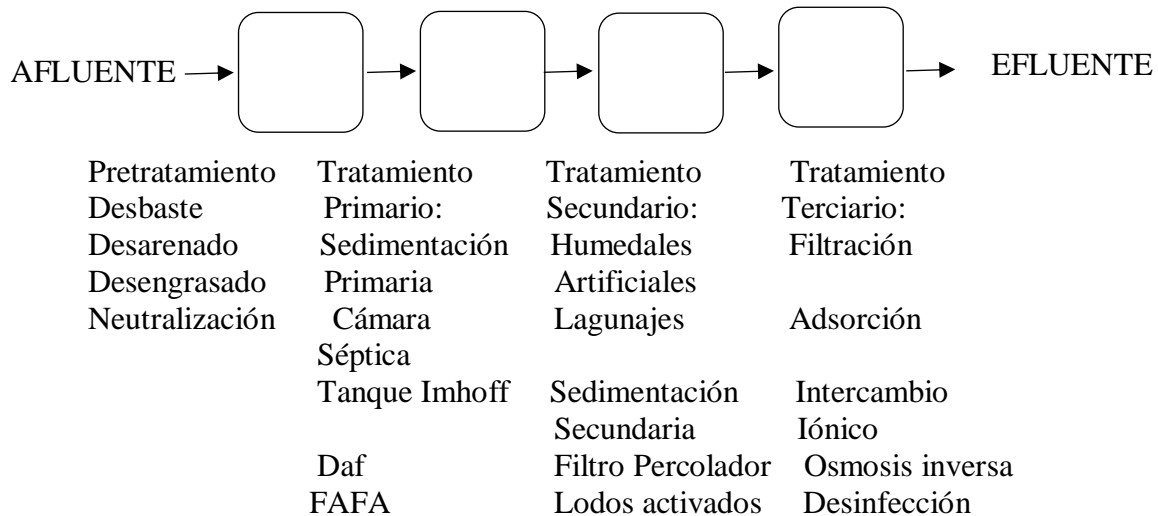
Cuadro I- 3: Procesos Biológicos Unitarias

TIPO	NOMBRE COMÚN	APLICACIÓN
Procesos aerobios		
Cultivo en suspensión	Proceso de fangos activados: Convencional (flujo en pistón) Mezcla completa Aireación graduada Oxígeno puro Reactor intermitente secuencial Contacto y estabilización Aireación prolongada Tanques profundos Nitrificación de cultivos en suspensión Lagunas aireadas Degestión aerobia: Aire convencional Oxígeno puro	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación) Nitrificación Eliminación de la DBO carbonosa (Nitrificación) Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa (Nitrificación)
Cultivo fijo	Filtros percoladores: Baja carga Alta carga Filtros de desbaste Sistemas biológicos rotativos De contacto (RBC) Reactores de lecho compacto	Eliminación de la DBO carbonosa (Nitrificación) Eliminación de la DBO carbonosa (Nitrificación) Eliminación de la DBO carbonosa (Nitrificación) Eliminación de la DBO carbonosa (Nitrificación)
Procesos combinados	Biofiltros activados: Filtros percoladores con contactos de sólidos. Procesos de fangos activados con biofiltros, procesos de filtros percoladores y fangos activados en serie.	Eliminación de la DBO carbonosa (Nitrificación)
Procesos anaeróbicos		

Cultivo de suspensión	Digestión anaerobia Baja carga, una etapa Alta carga, una etapa Doble etapa Proceso anaerobio de contacto	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa Eliminación de la DBO carbonosa Eliminación de la DBO carbonosa
Cultivo fijo	Filtro anaerobio Lecho expandido	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos

Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015.

Figura 1- 4: Diagrama-Etapas del tratamiento de aguas residuales



Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015,

Cuadro I- 4: Etapas del tratamiento de Aguas Residuales

Tratamiento	Tipos de proceso	Objetivos	Operaciones
Pretratamiento	Físico	Retención de sólidos gruesos flotantes. Reducción del tamaño de sólidos. Separación de arena en suspensión. Separación de grasas y aceites. Homogenización de caudal y carga.	Desbaste. Dilaceración. Desarenado. Homogenización
Tratamiento primario	Físico	Reducción de DBO ₅ en un 20%. Reducción de sólidos en suspensión en un 50 a 85%.	Sedimentación. Flotación. Floculación. Neutralización.
Tratamiento secundario	Biológico	Reducción de DBO ₅ del efluente en 90% respecto al afluente. Reducción de SST en 70 – 90%.	Procesos aerobios, anaerobios y procesamiento de residuos sólidos.
Tratamiento	Tipos de proceso	Objetivos	Operaciones
Tratamiento terciario	Químicos.	Separación de compuestos orgánicos no biodegradables y sustancias inorgánicas.	Eliminación de compuestos orgánicos no biodegradables. Eliminación de nutrientes no consumidos.
Desinfección	Químicos.	Eliminación de microorganismos patógenos.	Desinfección.

Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015.

Cuadro I- 5: Mecanismos Principales de remoción de Contaminantes de Aguas Residuales.

Parámetro	Mecanismo
Compuestos orgánicos biodegradables (DBO)	Filtración. Sedimentación. Bioconversión por microorganismos.
Sólidos en suspensión	Filtración. Sedimentación.
Nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación. Volatilización. Asimilación vegetal.
Fósforo	Sedimentación. Filtración. Precipitación química. Asimilación vegetal.
Parámetro	Mecanismo
Metales pesados	Precipitación química. Adsorción. Absorción por plantas.
Trazas de componentes orgánicos	Degradación biológica por microorganismos. Volatilización. Adsorción. Absorción por plantas.
Organismos patógenos	Tratamiento químico. Irradiación UV. Muerte natural. Sedimentación. Filtración. Secreción de antibióticos por las raíces de algunas plantas.

Fuente: Sans, 1999.

1.9 BIOFILTRO

Los biofiltros o filtros biológicos, son sistemas en el que las aguas residuales se depuran por efecto de procesos naturales. Están diseñados con materiales gruesos de 5 a 10 cm de diámetro que sirve como lecho filtrante donde se desarrollan los microorganismos que anaerobia y aeróbicamente degradan la materia orgánica contaminante, su profundidad oscila

entre 60-100 cm y en la superficie se encuentran plantas de pantano que se encargan de introducir oxígeno para la generación de la población microbiana. (WSP, Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, 2006).

Un biofiltro es un equipo en el que se realiza la filtración y biodegradación de la materia orgánica que contienen las aguas residuales en una sola etapa de tratamiento, es una alternativa más barata y de mayor validez para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales especialmente para los países en desarrollo.

El biofiltro es más eficiente que otras alternativas técnicas permite así mejorar y aumentar la producción agrícola de hortalizas, frutas, granos básicos y pasto para ganado, por reutilización de las aguas residuales tratadas que contienen nutrientes agrícolas.

El biofiltro se caracteriza por ser una imitación de un ambiente acuático natural, lo cual significa que sostiene la vida de los organismos inmersos en él, fundamentalmente aguas nutrientes y un aporte químico para el metabolismo aeróbico y anaeróbico. Finalmente es un ambiente sostenedor y promotor de la vida microbiana, ya que se mantienen principalmente gracias a la presencia de dos ciclos naturales mayores, el del agua como fuente de abastecimiento y el del carbono como nutriente, así mismo se añaden como indispensable los ciclos de nitrógeno, fósforo, azufre y de otros elementos. (Rodríguez, S. I., 2000)

Estos sistemas con biofiltro se caracterizan porque el agua residual es depurada al pasar a través de un sistema poroso sobre el cual crecen microorganismos, los cuales unidos a las plantas emergentes que suministran el oxígeno a dichos microorganismos, conforman un ecosistema muy eficiente para eliminar materia orgánica, metales pesados, patógenos y nutrientes. Estas plantas se caracterizan por resistir temperaturas muy bajas por lo que estos sistemas se están desarrollando en muchos países en los que las plantas flotantes no pueden crecer. (Rodríguez, S. I., 2000)

Para el caso de “La Unidad Educativa de Yesera Norte”, se plantea emplear un lecho de relleno con plastoforno particulado y aprovechar su gran porosidad para que se desarrollen microorganismos que facilitan la degradación de la materia orgánica, la retención de sólidos suspendidos y la reducción de los coliformes fecales.

Dentro de las principales ventajas del sistema está el que es económico, porque los costos de construcción y mantenimiento son menores que en los sistemas físico-químicos, no utiliza reactivos químicos ni sustancias tóxicas dañinas, posee altos porcentajes de remoción de parámetros contaminantes. Su vida útil es cercana a los 30 años, no hay generación de lodos inestables, no genera olores molestos. Además, el biofiltro puede ser considerado como el único sistema de tratamiento de aguas residuales que pueden ser inmediatamente reutilizados para el riego. (Rodríguez, S. I., 2000)

Basándonos en experiencias en otros países, que tratan aguas residuales con humedales artificiales, se ha desarrollado un nuevo concepto de tratamiento llamado biofiltro, con el fin de aportar con una solución al problema de las aguas residuales domiciliarias, optimizar y posibilitar su reúso como agua de riego para cultivos.

1.9.1 FUNCIONAMIENTO GENERAL Y DIAGRAMA DE FLUJO EN EL BIOFILTRO

Las principales etapas del sistema del biofiltro son primero, el pretratamiento donde se encuentra ubicado el tanque séptico que se encarga de eliminar sólidos suspendidos, se realiza el tratamiento anaerobio de los lodos sedimentados y su respectivo almacenamiento de estos, que son retirados periódicamente y la segunda etapa conformada por el biofiltro de flujo horizontal, que se encarga de remover la materia contaminante. (Romero, 1999).

El tratamiento primario se realiza primero con una rejilla de separación de los sólidos, luego se dispone de un tanque de pre-sedimentación de material disuelto, el cual proporciona un tiempo necesario de sedimentación. Los sólidos retenidos son extraídos una vez por año y depositados en un área de secado de lodos para su uso posterior como mejorador de suelos. La siguiente etapa de tratamiento, el Biofiltro para que posteriormente las aguas tratadas sean vertidas en piscinas de aireación y en canales de distribución del agua. (Rodríguez, S. I., 2000)

El aire es llevado cerca del foco de emanación y habitualmente guiado a una cámara de acondicionamiento. Aquí es saturado de humedad y luego guiado a un lecho de biomasa fijada.

Las sustancias contaminantes se absorben a la biopelícula de biomasa formada sobre el relleno y aquí posteriormente son digeridos por microorganismos. En el proceso de digestión y metabolización son transformados en compuestos que ya no huelen:

- Los compuestos orgánicos son transformados en dióxido de carbono y agua
- El sulfuro de hidrógeno da ácido sulfúrico
- El amoníaco se oxida a ácido nítrico

Así la superficie del relleno es siempre regenerado y no se satura. En principio se trata de una oxidación de los contaminantes a baja temperatura y los microorganismos pueden entenderse como catalizadores de esta reacción.

Los compuestos no volátiles (como los ácidos formados) son arrastrados por el agua de lluvia o el agua de regadío aplicado sobre la biomasa.

En algunos casos, debido a la presencia de ácidos el pH de los lixiviados puede bajar a 1 o 2. Aun así, lo normal es que el relleno orgánico tenga una alcalinidad suficiente como para neutralizar el pH de los lixiviados.

1.9.2 DESCRIPCIÓN DEL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL

Un biofiltro de flujo horizontal consta de pilas rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm. Con un relleno de material grueso (5 a 10 cm de diámetro) en las zonas de distribución (entrada) y recolección (salida).

En este tipo de biofiltro, las aguas residuales pretratadas fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, con una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta llegar a la zona de recolección del efluente. (Cáceres, Fong, 2006).

Durante este recorrido, que dura de tres a cinco días, el agua residual entra en contacto con zonas aeróbicas (con presencia de oxígeno) y anaeróbicas (sin presencia de oxígeno), ubicadas las primeras alrededor de las raíces de las plantas, y las segundas en las áreas lejanas a las raíces.

Durante su paso a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos complementarios tales como la filtración y la sedimentación.

1.9.3 ETAPAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA CON BIOFILTRO

Un sistema de tratamiento de aguas residuales con biofiltro abarca las siguientes etapas:

a) Pretratamiento

Conformado por una rejilla de retención de sólidos gruesos y un desarenador de limpieza manual, que podría también cumplir la función de trampa de grasas mediante la instalación de un baffle al final de la unidad. Normalmente se construyen dos desarenadores en paralelo para permitir el mantenimiento. (Cáceres, Fong, 2006).

b) Tratamiento primario

Tiene el propósito de retener la mayor fracción de los sólidos suspendidos, mediante un tanque de sedimentación que puede ser un tanque séptico de tres cámaras o un tanque imhoff. Cuando estos tanques se cierran, puede instalarse un filtro de biogás para eliminar los olores desagradables. (Cáceres, Fong, 2006).

c) Tratamiento secundario

Está conformado por un biofiltro de flujo horizontal, cuyo propósito es remover los contaminantes aún presentes en las aguas residuales. (Cáceres, Fong, 2006).

d) Pila de secado de lodos

Los lodos generados en las diferentes etapas del sistema (desarenador, tanque imhoff) son recolectados y tratados en esta pila, donde permanecen al menos 4 meses para permitir su estabilización. (Cáceres, Fong, 2006).

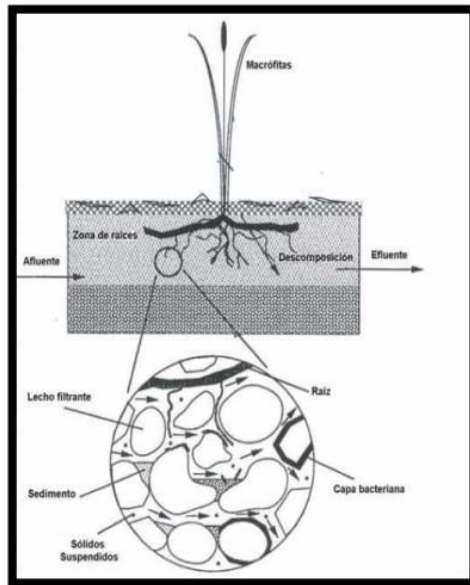
1.9.4 PRINCIPALES COMPONENTES DE UN BIOFILTRO

a) Lecho filtrante

Las funciones principales del lecho filtrante son eliminar los sólidos que contienen las aguas pretratadas y proporcionar la superficie donde se desarrollan los microorganismos que se encargarán de degradar aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante.

Los criterios para seleccionar el lecho filtrante del relleno son la granulometría, la porosidad, la permeabilidad y la resistencia física contra el desgaste provocado por las aguas residuales. Los materiales a utilizar son grava, piedra triturada o piedra volcánica. (Cáceres, Fong, 2006).

Figura 1- 4: Lecho Filtrante



Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd32/biofil.pdf>, 2021.

b) Plantas de pantano

Las funciones que cumplen las plantas de pantano en los procesos de tratamiento de aguas residuales las convierten en un componente esencial del biofiltro. Así, las raíces de las plantas ayudan a incrementar los efectos físicos tales como la filtración y el desarrollo de los microorganismos en su área superficial. La introducción de oxígeno en el lecho filtrante permite la formación de una población microbiana aeróbica en zonas cercanas a las raíces de las plantas. (Cáceres, Fong, 2006).

c) Microorganismos

El papel principal de los microorganismos es degradar aeróbicamente (en presencia de oxígeno) y anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno) la materia orgánica contaminante contenida en las aguas residuales, con lo cual la putrescibilidad en el biofiltro se reduce significativamente.

Los microorganismos permiten la remoción de nitrógeno mediante el mecanismo de nitrificación- desnitrificación. (Cáceres, Fong, 2006).

1.9.5 RECOMENDACIONES PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BIOFILTROS

La operación y mantenimiento de los biofiltros parecen ser complejos, sin embargo la operación se vuelve relativamente simple luego de que entran a funcionar completamente. Algunas consideraciones claves:

- Los posibles operadores deberían ser parte de las fases constructivas, de manera que se familiaricen con todos los componentes del sistema.
- Se necesita dar atención diaria a los lechos para estar seguro de que ellos están saturados pero no inundados.
- El tanque séptico debe ser diariamente inspeccionado para asegurar que los sólidos no están pasando a los humedales, así mismo se debe retirar las espumas y grasas que flotan en el tanque.
- Verificar constantemente el crecimiento saludable de las plantas, malos olores, agua sobre la superficie, inundaciones, limpieza, buen mantenimiento, seguridad, etc.
- Es necesario una toma de muestras por lo menos dos veces durante el primer año en el ingreso del sistema de tratamiento y el efluente final. En el segundo año, se puede evaluar una vez, a fin de monitorear la remoción de coliformes fecales. (Carrión, 2008)

1.9.6 TIPOS DE BIOFILTROS

Los equipos empleados para la purificación biológica de aguas residuales pueden subdividirse en tres tipos: biofiltro de lecho fijo (BLF), biofiltro de lecho escurrido (BLE) y biolavadores. Esta clasificación se basa en las condiciones en las que se encuentran los microorganismos en el sistema y del patrón de flujo de la fase líquida. (INECC, 2013).

Las características de cada uno de estos equipos aparecen a continuación.

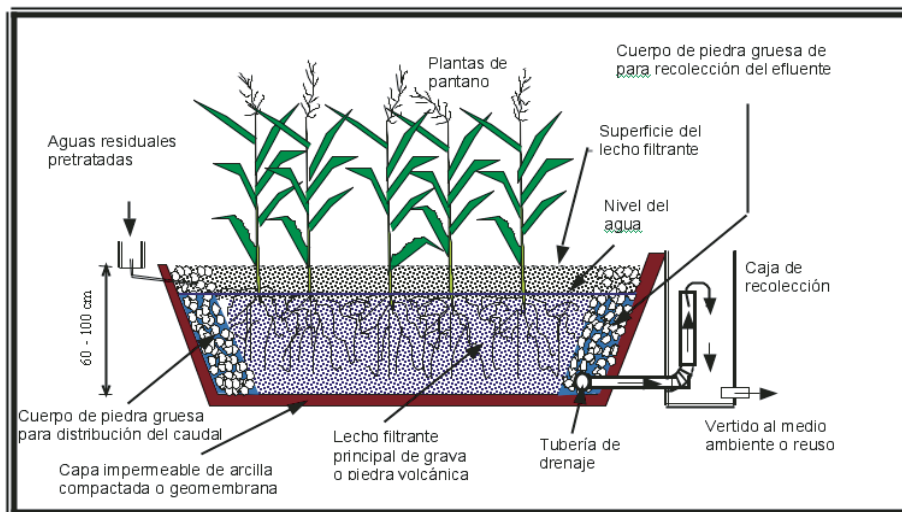
1.9.6.1 BIOFILTRO EXPERIMENTAL – FLUJO HORIZONTAL EN ZIGZAG

Un biofiltro es un humedal artificial de flujo subterráneo, sembrado con plantas de pantano en la superficie del lecho filtrante, por donde las aguas residuales pretratadas fluyen en forma horizontal o vertical. Un biofiltro de flujo horizontal consta de pilas rectangulares con

profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, con un relleno de material grueso (5 a 10 cm de diámetro) en las zonas de distribución (entrada) y recolección (salida). La fracción principal del lecho filtrante, ubicada entre las zonas de material grueso, es homogénea y más fina, normalmente de 0.5 a 15 mm de diámetro. En este tipo de biofiltro, las aguas residuales pretratadas fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, con una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta llegar a la zona de recolección del efluente. Durante este recorrido, que dura de tres a cinco días, el agua residual entra en contacto con zonas aeróbicas (con presencia de oxígeno) y anaeróbicas (sin presencia de oxígeno), ubicadas las primeras alrededor de las raíces de las plantas, y las segundas en las áreas lejanas a las raíces. (INECC, 2013).

Durante su paso a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos tales como la filtración y la sedimentación.

Figura 1- 5: Sección longitudinal de un biofiltro de flujo horizontal



Fuente: (Biofiltro, 2006).

1.10 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE FILTRACION BIOLÓGICA

1.10.1 BENEFICIOS ECONÓMICOS

- El costo de construcción es bajo
- El costo de instalación y operación son bajos

- No se requiere de consumo energético.

1.10.2 BENEFICIOS MEDIO AMBIENTALES

- Hasta un 80 % de ahorro energético.
- No genera malos olores.
- No genera desechos contaminantes.
- No requiere de productos químicos.
- No existe la generación de lodos.
- Permite contar con más agua de riego para el Medio Ambiente.
- Se obtiene un subproducto llamado humus de lombriz, el cual puedes ser utilizado como abono orgánico. Su uso en la explotación agrícola permite conseguir altos ahorros en fertilizantes químicos, contribuyen a la calidad del suelo.

1.10.3 BENEFICIOS SOCIALES

- Da trabajo a la comunidad donde se instala.
- Mejora la calidad de vida de la población al tratar sus aguas contaminadas.
- Permite que la población viva en ambientes más limpios.
- Posibilidad de que los comunarios comercialicen los fertilizantes y fuentes protéicas, que salen del tratamiento de las aguas residuales.
- El sistema permite reutilizar el agua tratada, teniendo un valor adicional en lugares con escasez de agua.

1.10.4 DESVENTAJAS DEL BIOFILTRO

A continuación se mencionan algunas posibles desventajas del sistema:

- No resiste periodos completos sin alimentación- necesidad de suministrar nutrientes.
- No es recomendable para tratar grandes volúmenes de efluente.
- No puede remover fácilmente compuestos disueltos en el agua (sales, dureza, arsénico y fluoruro, entre otros)
- No puede remover los químicos que se arrastran por los cultivos como: pesticidas y fertilizantes.
- No remueve todo el color del agua residual.
- El agua con mucha turbiedad tapa el filtro, por lo que se requiere dejar sedimentar el líquido antes de verterlo.

- Acumulación de lodos.

Cuadro I- 6: Eficiencia de un biofiltro

Parámetros estudiados	% de Remoción
Sólidos Suspendedos	54,98
Oxígeno Disuelto	36,03
Demanda Bioquímica de Oxígeno	75,00
Coliformes Totales	99,99
Coliformes Fecales	99,99

Fuente: Sullca, M E (2004)

1.11 REUTILIZACIÓN DE AGUAS TRATADAS

1.11.1 REÚSO EN LA AGRICULTURA

La reutilización de las aguas residuales municipales ofrece múltiples beneficios para la agricultura, si se adoptan medidas de mitigación de riesgo para la salud y el medio ambiente. No sólo supone una fuente adicional de agua para riego, sino que incluye valiosos nutrientes que son aprovechados por las plantas y favorecen su desarrollo. La utilización de estas aguas también incrementa la confiabilidad en el suministro de los cultivos, ya que se trata de una fuente constante de agua todo el año, menos dependiente de la variabilidad climática. Por otra parte, la sustitución de agua dulce para riego por aguas residuales tratadas permite una mayor disponibilidad de agua potable para otros usos clave, como son el urbano y el industrial, favoreciendo que la agricultura no tenga que competir con otros sectores por los mismos recursos hídricos. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

La cantidad de recursos incorporados en los efluentes otorga una visión clara del potencial de la reutilización en Riego para cultivos Agrícolas. Estos recursos se hallan principalmente en forma de agua, nutrientes (nitrógeno, y fósforo principalmente) y carbono orgánico, que

pueden usarse como enmienda de suelos o para recuperar energía, por ejemplo, en forma de biogás. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

Cuadro I- 7: Composición típica de las aguas residuales municipales sin tratar

RECURSOS	UNIDAD	CONCENTRACIÓN		
		DÉBIL	MEDIA	FUERTE
Nitrógeno (total como N)	mg/l	20	40	85
Fósforo (total como P)	mg/l	4	8	15
Carbono orgánico total (TOC)	mg/l	80	160	290

Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015

A pesar de los numerosos beneficios potenciales de la reutilización del agua, si esta práctica no se gestiona apropiadamente el tratamiento de las aguas residuales así como su reutilización, puede ocasionar graves riesgos para la salud de las personas, los ecosistemas y los cultivos.

Figura 1- 6: Práctica de riego agrícola



Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015

El reúso de las aguas residuales tratadas (o no tratadas) provenientes de centros urbanos debería ser una práctica común en regiones áridas y semiáridas de Bolivia, que debido a la escasez, el difícil acceso y el incremento de la demanda del recurso, se constituye en una apreciable fuente suplementaria de agua.

La escasez de agua para la agricultura, aumenta la necesidad de utilización de aguas de inferior calidad, lo cual puede limitar la productividad agrícola e influir en la degradación de suelos. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

Actualmente hay que resaltar que la reutilización del agua es un factor indispensable para la sociedad, especialmente en tiempos de variabilidad y Cambio Climático, ya que al ser un recurso renovable, se lo debería tratar como tal, favoreciendo la implementación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tecnológicamente aptas para generar su reúso, de manera que se cuente con mayores beneficios productivos y réditos económicos. (Henze M., Mark C.M., 2007)

Figura 1- 7: Cultivos regados con agua residual tratada



Fuente: Henze M., Mark C.M., 2007

El reúso de las aguas residuales es una práctica que se realiza desde hace varias décadas en diferentes partes del mundo, esto debido principalmente a la escasez de agua y a los beneficios que se tienen por la carga de nutrientes que lleva el agua residual. En Bolivia se tienen diferentes problemas relacionados al uso de aguas residuales, con y sin tratamiento, problemas en la eficiencia de tratamiento debido a que las PTAR están diseñadas para prevenir la contaminación del medio ambiente, no así para tener aguas aptas para el riego de cultivos. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

Cuadro I- 8: Reúso de agua residual tratada en Bolivia

CENTRO URBANO	DESCRIPCIÓN
COCHABAMBA	<p>La PTAR de Alba Rancho, ubicada al suroeste de la ciudad de Cochabamba, recibe el agua de la red de alcantarillado mediante dos emisarios que provienen del norte y sur de la ciudad; aproximadamente el 40% de los pobladores está conectado a la red.</p> <p>La zona donde está ubicada la PTAR se caracteriza por ser productora de leche, ya que la principal actividad es la ganadería bovina; el agua para el riego de pastizales proviene de la PTAR, la cual no tiene un tratamiento efectivos de las aguas debido, entre otros aspectos, a la sobrecarga que presenta.</p>
EL ALTO	<p>En la ciudad de El Alto, el 63% de los hogares cuenta con acceso a la red de alcantarillado sanitario. Actualmente existe una PTAR que consiste en (6) lagunas de estabilización y (3) filtros percoladores que en la actualidad no están funcionando (PTAR Puchukollo) y tratan el afluente de las redes de recolección, emisarios y colectores de primer orden de la ciudad. La planta se encuentra en una fase de ampliación. El agua tratada se descarga a Río Seco, sin embargo, una parte del agua residual de la ciudad se descarga directamente al río sin ningún tratamiento. Considerando que una parte de la población se dedica a la agricultura, los agricultores utilizan el agua del emisario y del efluente para regar sus cultivos.</p> <p>El receptor del Río Seco es el Río Catari, que desemboca en el lago menor del Lago Titicaca, por lo cual la planta de Puchukollo cumple un rol importante para evitar su contaminación.</p>
TARIJA	<p>La PTAR de Tarija realiza un tratamiento mediante lagunas en tres etapas; dos lagunas anaeróbicas, una facultativa y una de maduración. Actualmente, la PTAR esta sobrecargada, sólo una de las lagunas anaeróbicas está siendo utilizada- la que recibió mantenimiento hace dos años - , la segunda necesita un dragado y limpieza debido a que se encuentra colmatada.</p> <p>La PTAR también cuenta con una planta de bioabono donde el lodo es tratado con lombrices; además, tiene un laboratorio de calidad de aguas que realiza muestreos diarios.</p> <p>Existe un reúso de aguas residuales por parte de la población aledaña a la PTAR, principalmente en cultivos de vid y pasturas.</p>

Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015

Entre las principales causas de los problemas encontrados en PTAR, se encuentran sobre todo las deficiencias relacionadas con la sostenibilidad de las plantas en cuanto a operación y mantenimiento.

La falta de capacidades específicas del personal para asegurar el buen funcionamiento de las PTAR y a ello se suma que las PTAR no se dimensionan para que su efluente sea utilizado en reúso por ejemplo el tratamiento bacteriológico, metales pesados y otros. Tampoco existen en el país los suficientes recursos humanos especializados en PTAR en el país que puedan cubrir esta falencia.

Por otra parte, en Bolivia hay una carencia de normativas específicas a este tema, pues no hay una Norma o Reglamento que regule el vertido de Aguas Residuales No Domésticas (como hospitales, industrias y otros) a los sistemas de alcantarillado. Esta situación hace que las PTAR no funcionen adecuadamente según su diseño original, generando conflictos ambientales y hasta sociales. (MMAyA, 2018)

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

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

1.11.2 SITUACIÓN ACTUAL Y REGLAMENTACIÓN

1.11.2.1 MARCO NORMATIVO PARA EL REÚSO

No existe una ley específica que regule el reúso de aguas residuales en la agricultura, sin embargo, existen leyes sectoriales que determinan reglas de uso del agua. De igual manera, en Bolivia las leyes están basadas en la protección del medio ambiente, como se puede apreciar en los siguientes párrafos:

1.11.2.2 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ESTADO (CPE)

En el Título II Medio Ambiente, Recursos Naturales, Tierra y Territorio, el Artículo 342 establece que es deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente.

En el Capítulo Quinto referente a Recursos Hídricos, reglamenta todo el marco de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos:

La CPE, en el artículo 342, indica que:

Es deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente.

El Artículo 373 señala lo siguiente:

- I. El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad.
- II. Los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y están sujetos a un régimen de licencias, registros y autorizaciones conforme a Ley.

1.11.2.3 LEY 1333 DE MEDIO AMBIENTE-REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Esta disposición legal reglamenta la Ley de Medio Ambiente 1333, en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sustentable, dentro del reglamento se especifican:

- Límites permisibles de contaminación hídrica
- Procedimientos técnico – administrativos
- Descargas al alcantarillado y a cuerpos de agua
- Monitoreo y evaluación de la calidad hídrica
- Uso de aguas según calidad
- Prevención y control de la contaminación
- Conservación del recurso

Este Reglamento contiene en su Anexo A, algunas características técnicas de calidad de agua que se deben cumplir, entre ellos están:

Límites máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores

Cuadro N°1: Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso (4 Clases)

Cuadro N°2: Valores máximos admisibles para parámetros en cuerpos receptores (80 parámetros)

Límites permisibles para descargas líquidas en mg/L (25 parámetros)

Respecto a reúso de aguas, este Reglamento en el Capítulo V, Art. 67, establece que el reúso de aguas residuales crudas o tratadas por terceros, será autorizado por el Gobernador cuando el interesado demuestre que estas aguas satisfacen las condiciones de calidad establecidas en el Reglamento.

Respecto a los fangos o lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales que hayan sido secados en lagunas de evaporación, lechos de secado o por medios mecánicos, serán analizados y en caso de que satisfagan lo establecido para el uso agrícola, deberán ser estabilizados antes de su uso o disposición final, todo bajo control de la Gobernación.

1.11.2.4 LEY DE RIEGO N° 2878

Tiene por objeto establecer las normas que regulan el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos en las actividades de riego para la producción agropecuaria y forestal, teniendo como ámbito de aplicación y regulación las actividades relacionadas con el uso y aprovechamiento del agua en riego.

Esta Ley fue emitida en el año 2004 y contiene cuatro Títulos referidos a:

Disposiciones generales.

Marco Institucional.

Gestión de los Sistemas de Riego.

Disposiciones transitorias y finales.

La reglamentación de esta Ley se la realizó mediante D.S. 28819 de 2 de agosto del 2006.

Marco Institucional para el reúso

Existen varios actores que tienen que ver con el reúso de las ARD tratadas, tanto a nivel central como a nivel regional, cuyas competencias están establecidas en el ordenamiento legal vigente en Bolivia. Las instituciones y órganos de gobierno conforman un marco institucional que hace al manejo actual del agua de reúso.

- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)
- Viceministerio de Recursos Hídricos y de Riego (VRHR)
- Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB)
- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS)
- Servicio Nacional para la Sostenibilidad de los Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA)
 - Servicio Nacional de Riego (SENARI)

Cuadro I- 9: Actores Subnacionales para el Reúso

	GAM	GAD
Recursos Hídricos y Riego	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar, financiar y ejecutar proyectos de riego y micro riego de manera exclusiva o concurrente y coordinada con el nivel central del estado y entidades territoriales autónomas en coordinación con los pueblos indígena originario campesinos. -Diseñar, ejecutar y administrar proyectos para el aprovechamiento de recursos hídricos. Tienen la competencia exclusiva de los sistemas de micro riego en coordinación con los pueblos indígena originario campesinos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar, financiar y ejecutar proyectos de riego de manera concurrente y coordinada con el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas e implementar la institucionalidad del riego prevista en ley del sector.
Agua Potable y Saneamiento Básico	<p>Ejecutar programas y proyectos de los servicios de agua potable y alcantarillado, conforme a la Constitución Política del Estado, en el marco del régimen hídrico y de sus servicios y las políticas establecidas por el nivel central del Estado.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Proveer, financiar y ejecutar proyectos de agua potable en el marco de sus competencias, y cuando corresponda de manera concurrente y coordinada con el nivel central del Estado y los otros niveles autonómicos, así com coadyuvar en la asistencia técnica y planificación. Concluidos los proyectos podrán ser transferidos al operador del servicio. - Proveer los servicios de agua potable y alcantarillado a través de entidades públicas, cooperativas, comunitarias o mixtas sin fines de lucro, conforme a la Constitución Política del Estado y en el marco de las políticas establecidas en el nivel central del Estado. - Aprobar las tasas de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado cuando estos presten el servicio de forma directa. <p>Tienen la competencia exclusiva del alcantarillado y establecimiento de las tasas sobre la misma.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Elaborar , financiar y ejecutar subsidiariamente planes y proyectos de agua potable y alcantarillado de manera concurrente y coordinada con el nivel central del Estado, los gobiernos municipales e indígena originario campesinos que correspondan, pudiendo delegar su operación y mantenimiento a los operadores correspondientes, una vez concluidas las obras. -Coadyuvar con el nivel central del Estado en la sistencia técnica y planificación sobre los servicios básicos de agua potable y alcantarillado. -Tienen la competencia de elaborar, Proyectos de alcantarillado sanitario.

Fuente: MMAyA, 2018

1.11.3 CLASIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL PARA RIEGO

Respecto a la idoneidad agronómica de este tipo de aguas, las aguas depuradas pueden presentar altos niveles de sal y altas concentraciones de iones fitotóxicos. Por ello es muy importante un seguimiento de su calidad, mediante el control de los siguientes parámetros:

- **El pH del agua.-** pueden alterar el equilibrio del suelo.
- **Sólidos en suspensión.-** Puede provocar obturación en los sistemas de riego localizado.
- **Salinidad.-** Conforme aumenta la conductividad eléctrica del agua (CE) disminuye el rendimiento de los cultivos. Valores por debajo de los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no producen efectos perjudiciales en las producciones de los cultivos; y valores entre 1000 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pueden producir reducciones de la producción que en ningún caso superan el 10%. A partir de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se consideran aguas no aptas para riego. Además se puede provocar la salinización del suelo agrícola. (Henze M., Mark C.M., 2013)
- **Toxicidad por iones.-** cuando su concentración supera el nivel de tolerancia se manifiestan los síntomas de toxicidad y la disminución del rendimiento de los cultivos: (i) Cloruro, se considera como límite de tolerancia a este ion 0,5 g/l, este valor sólo es orientativo pues la manifestación de toxicidades concretas dependerá de las condiciones particulares en cada caso; (ii) Sodio, concentraciones superiores a 0,2 - 0,3 g/l en agua de riego pueden dar lugar a la aparición de los síntomas de toxicidad, también puede provocar la degradación del suelo; (iii) Boro, entre los cultivos más sensibles a esta toxicidad se encuentran los cítricos que puede manifestarla con concentraciones inferiores a 0,5 mg/l; (iv) además en algunos casos muy concretos, algunos iones como sulfatos y bicarbonatos también pueden provocar daños tóxicos.
- **Nutrientes.-** Como nitrógeno, fósforo ó potasio esenciales para el desarrollo vegetal, pueden estar presentes en altas concentraciones en las aguas depuradas, por lo que se puede aprovechar su valor fertilizante, disminuyendo la utilización de productos agroquímicos. Pero una carga excesiva de estos nutrientes puede provocar efectos nocivos para el suelo, las aguas subterráneas y las superficiales (riesgo de eutrofización).

Debido a esta gran cantidad de nutrientes que contienen las aguas depuradas, cuando estas son almacenadas en balsas, junto con unas condiciones climáticas adecuadas, provocan el crecimiento y desarrollo de algas que pueden provocar obturaciones de los emisores de los sistemas de riego localizado que afectan principalmente a la uniformidad de aplicación de agua de riego en parcela, lo cual conduce a variaciones en el crecimiento y reducciones en la productividad del cultivo. (Henze M., Mark C.M., 2013)

Figura 1- 8: Aguas residuales para riego



Fuente: Henze M., Mark C.M., 2013

1.12 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO

El oxígeno producido por el proceso de fotosíntesis de algas es fundamental para alimentar las bacterias involucradas, en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

La gran ventaja de contar con lagunas facultativas es que no producen malos olores si son diseñadas y operadas adecuadamente. Su mayor desventaja es que ocupan una gran área. Además, como hay muchas especies de plantas y bacterias, son muy sensibles a las variaciones en oxígeno y pH. (Marka C., Sarsuri F., 2013)

Figura 1- 9: Vista aérea de lagunas en Santa Cruz



Fuente: MMAyA, 2018

1.12.1 LAGUNAS AIREADAS

Una laguna aireada se diseña con suficiente introducción de potencia para la dispersión de oxígeno y para permitir la sedimentación de sólidos. La biología de las lagunas aireadas es mecánicamente muy similar a la de los procesos de lodos activados, y la mayoría de los microorganismos presentes son comunes en ambos sistemas de tratamiento. Las lagunas aireadas dependen de la actividad metabólica de los microorganismos. (Marka C., Sarsuri F. ,2013)

Por ejemplo, SAGUAPAC en Santa Cruz instaló mezcladores -equipos flotantes- en las lagunas facultativas, los mismos que permitirán introducir al agua oxígeno con energía eólica para acelerar la descomposición de la materia orgánica y aumentar la capacidad de tratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales en lagunas aireadas tiene como base la formación de flóculos que quedan suspendidos en la capa aerobia por la turbulencia causada por los aireadores. Una aireación continua es necesaria para las actividades respiratorias de los microorganismos aerobios presentes y, además, para mantener los flóculos suspendidos. (Marka C., Sarsuri F. ,2013)

Figura 1- 10: Sistema de aireación superficial



Fuente: SAGUAPAC, 2005

1.12.2 LAGUNAS DE MADURACIÓN

Estas lagunas se construyen normalmente después de las lagunas anaerobias y facultativas.

La gran ventaja de las lagunas de maduración es que se logra una remoción natural de bacterias y otros organismos perjudiciales sin el uso de compuestos químicos, como por ejemplo, cloro. Pero por otra parte, la mayor desventaja es que requiere una gran área contra variaciones, especialmente de sobrecargas orgánicas. (Marka C., Sarsuri F. ,2013)

Figura 1- 11: Laguna en Tupiza, Potosí



Fuente: MMAyA, 2018

1.12.3 FILTROS BIOLÓGICOS/ FILTROS PERCOLADORES

Los filtros biológicos han sido utilizados para el tratamiento biológico del agua residual durante muchos años. Están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual.

Un tipo de filtro utilizado frecuentemente en Bolivia es el filtro percolador, en el cual el agua residual es rociada sobre un relleno y consiste en un lecho formado por un medio permeable al que los microorganismos se adhieren y a través del cual, se filtra el agua residual. (Marka C., Sarsuri F. ,2013)

Figura 1- 12: Filtros percoladores en la ciudad de Sucre



Fuente: MMAyA, 2018

1.12.4 HUMEDALES ARTIFICIALES

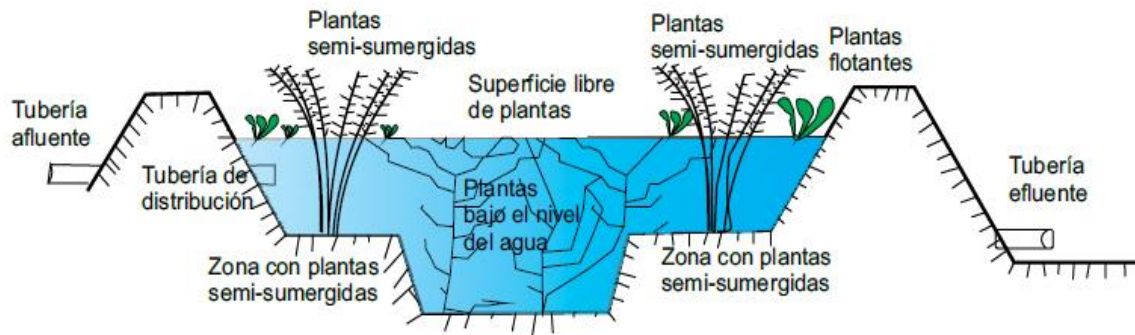
Los sistemas de humedales artificiales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o el tipo de vegetación presente. Existen humedales artificiales de flujo superficial y humedales flujo subsuperficial.

1.12.5 HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.

La remoción de los contaminantes en los humedales ocurre a través de las especies vegetales presentes.

Los contaminantes, en su mayoría, son también nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato. Muchas especies de plantas utilizadas en humedales son también capaces de captar e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como por ejemplo, cadmio y plomo. También las bacterias, como otros microorganismos en el suelo, captan y almacenan nutrientes, algunos otros contaminantes asimismo, son responsables de la degradación de la materia orgánica. (Marka C., Sarsuri F. ,2013)

Figura 1- 13: Humedal artificial



Fuente: Marka C., Sarsuri F.2013

1.12.6 MANEJO DE LODOS

A pesar de no ser una parte de la cadena en serie de tratamiento de las aguas residuales, los reactores, de acuerdo a su tipo, producen lodo que debe ser tratado adecuadamente. En muchos casos se han diseñado áreas de secado de lodos. Por ejemplo, en Tarija se hace un manejo tal que el lodo es comercializado después del tratamiento como bio abono. (Marka C., Sarsuri F. ,2013)

Figura 1- 14: Tratamiento de lodos en Villa Montes, Tarija



Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015

En ese marco, que se ve ahora agravado por los efectos del “Cambio Climático”, el reúso de aguas residuales tratadas representa una importante fuente alternativa de agua no solamente para paliar el déficit hídrico, sino también para mejorar las condiciones de salubridad en la producción de alimentos con base en una mejor y más eficiente gestión del agua, además del beneficio colateral que mediante el tratamiento de las aguas residuales se puede obtener abundantes abonos para la agricultura. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

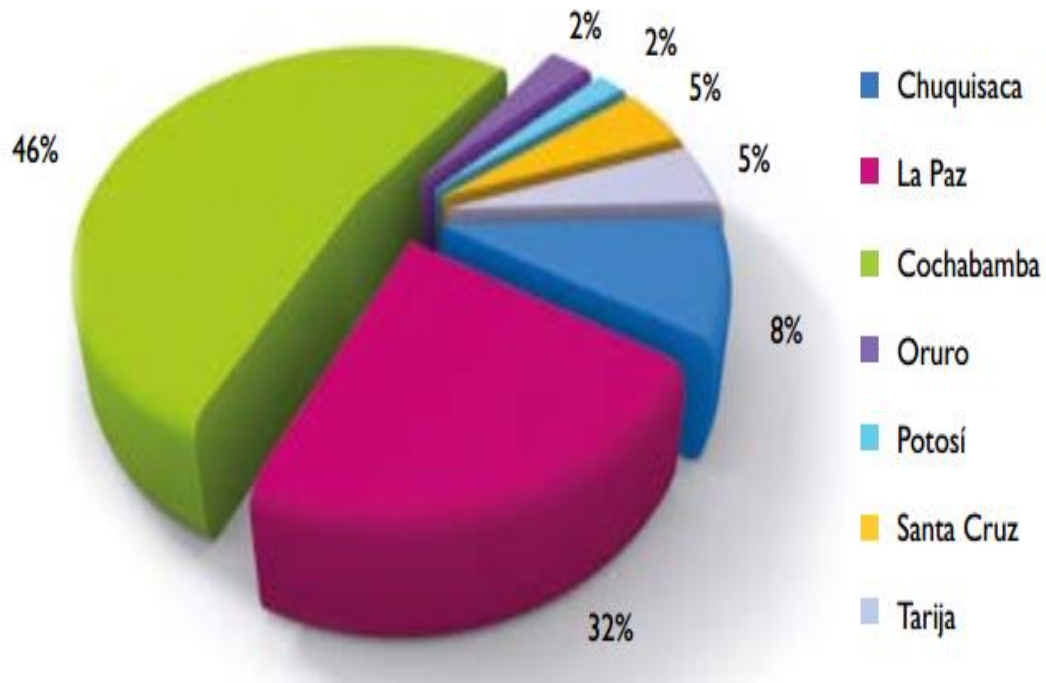
Al presente, la cobertura de alcantarillado alcanza solamente al 49,8% (VAPSB) de la población. Si esta cobertura se ampliara, se tendría una mayor cantidad de agua residual para reutilizar por ejemplo en la comunidad de Yesera Norte.

1.12.7 ÁREAS DE RIEGO

El riego agrícola con aguas residuales en Bolivia es una realidad que se la vive a diario en los diferentes municipios, principalmente en el departamento de Cochabamba, que según el estudio realizado tiene el 46% del aprovechamiento de aguas residuales tratadas y sin tratar. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

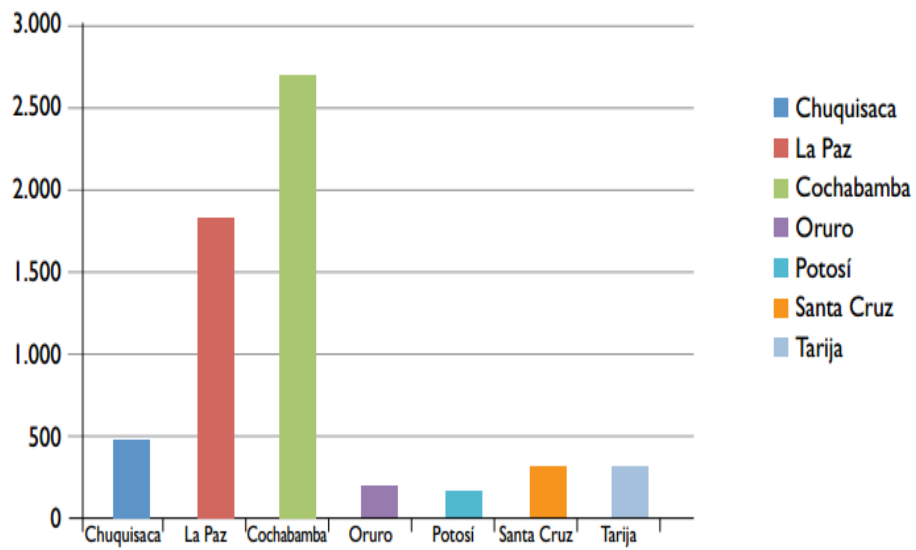
Aproximadamente se calculó que se riegan unas 5.700 Ha con aguas residuales. Un punto que merece ser resaltado es que la mayor área de riego que aprovecha estas aguas de baja calidad, se encuentra en los valles cochabambinos (altos, medios y bajos), principalmente en la cuenca del río Rocha que recibe aguas predominantemente de clase domiciliaria e industrial. Se pudo observar que los regantes están completamente organizados en torno a este recurso, ya que tienen horas establecidas de uso. Cuentan con canales y compuertas que son de utilidad para llevar el agua residual directamente hasta sus parcelas; algunos, inclusive, se dedican a extraer el agua residual del río con bombas de diferentes capacidades, para luego conducirla a los diferentes usuarios y agricultores. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

Figura 1- 15: Porcentaje de áreas de riego según departamento



Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015

Figura 1- 16: ha. regadas con agua residual por departamento



Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015

1.13 PROBLEMAS RELACIONADOS AL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA

1.13.1 PROBLEMAS DE SALUBRIDAD

Los riesgos a la salud que se tienen por riego con aguas residuales no tratadas, dependen del grupo de personas expuesto y su variación se explica en el siguiente cuadro:

Cuadro I- 10: Riesgos para la salud

Grupo expuesto	Riesgos para la salud		
	Infecciones por helmintos	Infecciones por bacterias y virus	Infecciones por protozoos
Consumidores	Riesgo de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas.	Se han reportado brotes de cólera, tifus y shigelosis por el uso de aguas residuales no tratadas; respuestas seropositivo para helicobacter pylori (no tratado: aumento de la diarrea no especifica cuando la calidad del agua excede 104 Coliformes termo tolerantes/100ml)	Se ha encontrado evidencia de protozoos parasíticos en superficies de hortalizas regadas con agua residuales pero no hay evidencia directa de transmisión de la enfermedad.
Trabajadores agrícolas y sus familias	Riesgo importante de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas: mayor riesgo de infección por anquilostoma en trabajadores que no usan zapatos, el riesgo de infecciones por helmintos persiste, sobre todo en niños aun cuando el	Mayor riesgo de enfermedad diarreica en niños pequeños que tienen contacto con aguas residuales si la calidad del agua excede 104 coliformes termotolerantes/100ml: mayor riesgo de infección por salmonella en niños expuestos a aguas residuales no tratadas; mayor serorespuesta a norovirus en adultos expuestos a aguas residuales parcialmente tratadas.	Se reportó un riesgo de infección mínimo por Giardia Intestinalis por el contacto con aguas residuales no tratadas y tratadas; sin embargo, en otro estudio realizado en Pakistán se estimó que el riesgo de infección por Giardia aumentó tres veces en aquellos agricultores que utilizan aguas residuales sin tratar, en comparación con el riesgo con agua dulce: se observa mayor riesgo de amebiasis cuando existe contacto con aguas residuales no tratadas.

	agua residual se trate		
Comunidades cercanas	Transmisión de infecciones por helmintos no estudiadas en el caso del riesgo por aspersión aunque lo anterior se aplica para el riego por inundación o por surcos, donde existe un alto contacto.	Riego por aspersión con calidad de agua deficiente (106-108 Coliformes totales/100ml) y alta exposición a pulverización asociada a mayores tasas de infección, el uso de aguas parcialmente tratadas (104-105 coliformes termotolerantes/100ml) en riego por aspersión no se asocia a mayores tasas de infecciones por virus.	No hay datos con respecto a la transmisión de infecciones por protozoos durante el riego por aspersión con aguas residuales.

Fuente: Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015

En muchos de los análisis de calidad de aguas se encontraron concentraciones elevadas de Cromo 6 (Cr6), debido principalmente a que las curtiembres descargan sus desechos sin realizar un tratamiento previo; el mayor riesgo es que se trata de un compuesto cancerígeno, como los nitritos (NO_2^-), que se encuentran principalmente en aguas residuales con un bajo nivel de tratamiento

Por otra parte, un problema indirecto es el consumo de alimentos que son regados con aguas residuales y son comercializados en los centros de abastecimiento de los municipios, principalmente las hortalizas que en su mayoría se consumen crudas, esto debido a que las aguas residuales contienen valores elevados de coliformes fecales, y huevos de helmintos, los cuales generan problemas gastrointestinales. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

1.13.2 PROBLEMAS AL MEDIO AMBIENTE

El mayor impacto al medio ambiente que se identificó en el estudio, es la contaminación que alcanza a cuerpos de agua naturales, principalmente a ríos y lagunas cercanas a las PTAR o a los efluentes del sistema de alcantarillado.

El riesgo más significativo es la eutrofización de los cuerpos de agua por los altos contenidos de nutrientes que presenta el agua residual que va a proliferar la biomasa, lo que resulta en

bajos contenidos de oxígeno en el agua siendo perjudicial para la vida acuática. (Cisneros R., Sanz Z., Terán J.A., 2015)

1.13 PARAMETROS DE CONTROL CLAVES PARA LA EFICIENCIA DE UNA PTAR

1.13.1 IMPORTANCIA SANITARIA DE LOS PARÁMETROS DE AGUA

A continuación se explica el significado de los parámetros de control importantes que se deben medir para calificar el efluente, que son referentes al agua tratada que sale de la PTAR.

a) Temperatura. Este parámetro es una propiedad termodinámica que influye notablemente en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua, de aquí que su determinación sea importante al intentar evaluar cualquier cuerpo de agua.

Importancia Sanitaria. La temperatura tiene un efecto importante en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua, de aquí que su determinación sea muy importante. Por ejemplo, para poder calcular los valores de saturación de oxígeno disuelto y correlacionarlo con otros factores como es el caso de la actividad biológica, es necesario tener lecturas precisas de temperatura; por otra parte, el conocimiento preciso de los valores de temperatura son, necesarios para correlacionarlos con otros parámetros como son densidad, conductividad, cálculo de las distintas formas de alcalinidad etc. Se ha comprobado que a mayor temperatura mayor será la DBO.

En estudios limnológicos de ríos, lagos etc., es necesario conocer las temperaturas de las aguas a diferentes profundidades, pues la temperatura es un factor fundamental en el crecimiento y distribución de los organismos vivos presentes en el cuerpo de agua. (Tejerina J., 2015)

b) Oxígeno Disuelto (OD). El oxígeno es un gas poco soluble en el agua y esencial para todo ser vivo, su solubilidad depende de la presión parcial de vapor saturado y de la temperatura a la que se encuentra el agua. La concentración de saturación del oxígeno disuelto en un agua natural depende de la temperatura, presión atmosférica y de la salinidad o el contenido de sólidos disueltos.

Importancia Sanitaria. Los niveles de oxígeno disuelto pueden usarse como un indicador de la contaminación de las aguas. Las aguas con concentraciones de oxígeno disuelto bajas se asocian, en general, con aguas de baja calidad, mientras que las altas concentraciones de oxígeno estarán asociadas con agua de buena calidad. Se considera que una concentración de 4 mg/l debe ser la mínima concentración para prevenir que el agua pierda su calidad, siendo éste además el valor mínimo para prevenir de la mala calidad y recomendado para la vida de los peces.

El oxígeno disuelto es el factor que determina el tipo de transformación biológica que tiene lugar al producirse un vertimiento de aguas residuales en un cuerpo de agua receptor, ya que determinará el tipo de microorganismo que se desarrollará, aerobio o anaerobio, previene o reduce el inicio de la putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos que generan malos olores, puesto que los microorganismos aerobios usan el oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica, produciendo sustancias finales inofensivas, tales como el CO_2 y H_2O .

La solubilidad del oxígeno atmosférico en agua dulce es de 14.6 mg/L a 0°C y de 7 mg/L a 36°C . (Tejerina J., 2015)

c) Conductividad Eléctrica (CE). La conductividad es una expresión numérica de la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. Dicha capacidad depende de la presencia de iones, su concentración total, su movilidad, valencia, concentración relativa y además de la temperatura.

Importancia sanitaria. El dato de conductividad nos da una medida de la pureza de un agua. Por ejemplo, un agua pura tendrá una conductividad de 10 $\mu\text{mhos/cm}$ y un agua ultra pura tendrá una conductividad de 0,1 $\mu\text{mhos/cm}$, también nos permite conocer el posible efecto que tendrá un agua sobre el suelo y el cultivo. Es también un indicador del agotamiento de las resinas de intercambio iónico y da un parámetro para la caracterización del agua, tal como se muestra en la siguiente tabla: (Tejerina J., 2015)

Cuadro I- 11: Conductividad eléctrica

PUREZA DEL AGUA	CONDUCTIVIDAD (μhos/cm)
PURA	10
MUY PURA	1
ULTRA PURA	0.1
PUREZA TEÓRICA	0.055

Fuente: (Tejerina J., 2015)

d) pH. Es la concentración del ión hidrógeno indica las condiciones de acidez o alcalinidad presentes en una solución es un parámetro de calidad de gran importancia tanto en el caso de las aguas naturales como residuales.

Las concentraciones de ión hidrógeno presente en el agua están muy estrechamente relacionadas con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua

Importancia sanitaria. La determinación de la concentración de iones hidrógeno a través de la determinación del pH es una práctica muy importante. Para en un sistema de abastecimiento de agua el pH influye en los procesos de la coagulación química, en el proceso de desinfección de las aguas y en el control de la corrosión. Mientras que en los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales el pH influye en el crecimiento de los microorganismos responsables del proceso, de aquí que este deba mantenerse dentro de ciertos límites. Por otra parte, la alteración del pH en un ecosistema acuático puede cambiar la flora y la fauna presente en éste, pudiendo ser la causa de la muerte de los peces, entre otros daños.

El pH tiene una relación directa con los parámetros acidez y alcalinidad lo que hace necesario que se conozcan los aspectos prácticos y teóricos del pH, ya que los términos alcalinidad y acidez indican la reserva total o capacidad amortiguadora de una muestra, mientras que el valor del pH representa la actividad instantánea del ion hidrógeno. (Tejerina J., 2015)

e) **Turbiedad.** La turbiedad mide la claridad de un agua, pues las sustancias suspendidas presentes en las aguas interfieren el paso de la luz, y precisamente en esta propiedad es la que se basa la medida de la turbiedad de las aguas.

Importancia sanitaria. La medida de la turbiedad tiene importancia fundamentalmente en las aguas para el consumo ya que la presencia de sustancias que dan turbiedad en las aguas no permiten una adecuada desinfección y provocando taponamientos en los filtros en las plantas de tratamiento.

DBO₅ y DQO Dentro de los parámetros encaminados a definir la fracción orgánica presente en las aguas residuales se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), el carbono orgánico total (COT) y los sólidos. (Tejerina J., 2015)

f) **DBO₅.** La prueba analítica de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) estima la cantidad de oxígeno consumido por una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua. En la prueba de la DBO se utiliza un procedimiento de bioensayo que consiste en medir el oxígeno consumido por los organismos vivos (principalmente bacterias) al utilizar como alimento la materia orgánica presente en el desecho bajo condiciones aeróbicas y favorables en cuanto a nutrientes (fósforo y nitrógeno).

La cantidad de oxígeno utilizado por unidad de volumen puede usarse como medida relativa de la concentración de materia orgánica ya que la cantidad de oxígeno utilizado está en función del grado de desarrollo de las reacciones bioquímicas, así como de la cantidad original de materia orgánica. La DBO es función directa del tiempo.

La velocidad a la que se llevan a cabo las reacciones oxidativas de la DBO está en función de la población microbiana presente y de la temperatura. La temperatura a la cual se lleva a cabo normalmente la prueba de la DBO es 20°C, a esta temperatura en el caso de residuales domésticos se alcanza aproximadamente del 70 al 80% remoción de materia orgánica. Una de las limitaciones que tiene la prueba de la DBO es que al ser un bioensayo puede ser afectada por sustancias tóxicas y otra limitación es el tiempo prolongado (5 días) que se necesita para obtener el resultado. (Tejerina J., 2015)

Importancia sanitaria de la DBO. La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica en un intervalo de tiempo específico. Mientras mayor sea la cantidad de materia orgánica biodegradable vertida a un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición y estabilización y por tanto se producirá una disminución en el oxígeno disuelto creándose condiciones que van en detrimento de la vida acuática y de los usos que se le puedan dar a esta agua.

La disminución del oxígeno disuelto en las corrientes de agua puede ser la causa de la extinción de peces y de otras formas de vida acuática, un valor alto de la DBO puede significar un incremento de la microflora presente en el cuerpo de agua, lo que puede interferir en el equilibrio de la vida acuática, se generan cantidades excesivas de algas, además de producir olores y sabores desagradables y taponamiento en los filtros de arena empleados en las plantas de tratamiento. (Tejerina J., 2015)

Figura 1- 17: Medición de la DBO5



Fuente: Romero R. J.A., 2000

g) DQO. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una prueba en la que se determina la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar a la materia orgánica presente en las aguas residuales por medio de un agente oxidante fuerte, bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en dióxido de carbono y agua.

En la prueba de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), con excepción de ciertos aromáticos como el benceno, todos los compuestos presentes se oxidan en la reacción y, además, como es

una reacción de oxidación-reducción, ciertas sustancias reducidas como los sulfuros, hierro ferroso y los sulfitos también se oxidarán y se incluirán en el resultado de la prueba de DQO.

Una de las principales limitaciones de la prueba de DQO es la de oxidar la materia orgánica del desecho sin importar su degradabilidad biológica. Por ejemplo, la glucosa es ($C_6 H_{12} O_6$) biológicamente oxidable, mientras que la lignina ($C_{10}O_{13}H_3$), producto proveniente de la madera y de las plantas leñosas, es relativamente inerte; sin embargo, ambos compuestos son oxidados completamente en la reacción. Una segunda limitación es la de no proporcionar la velocidad de estabilización del desecho tal como ocurriría en la naturaleza, por medio de la oxidación por microorganismos.

Significado sanitario. Solo en los desechos donde la materia orgánica es oxidada en las reacciones de la DBO y la DQO y conociendo el grado de estabilización del desecho, puede establecerse una relación confiable DBO/DQO. Bajo estas condiciones se puede tomar el resultado de la DQO para determinar las diluciones en la prueba de la DBO. Este criterio se emplea en las plantas de tratamiento de aguas negras para controlar las pérdidas en las tuberías de desechos y para el control de las diferentes etapas del proceso.

Si en la muestra del desecho domina material que puede ser químicamente oxidado, el valor de la DQO será mayor que el de la DBO; esto puede darse en los desechos de las industrias textiles y del papel. En las aguas naturales, la DBO disminuye más rápido la DQO, lo que significa que en la naturaleza la oxidación enzimática destruye rápidamente los compuestos biológicos existentes (Esto sucede en las plantas de tratamientos por procesos biológicos). Una vez que los microorganismos mueren, su masa celular o detritus, tiene una DBO baja pues está formada por compuestos en una etapa avanzada de estabilización, pero el valor de su DQO es alto, ya que los compuestos no son biológicamente oxidables. (Tejerina J., 2015)

Figura 1- 18: medición de DQO

Fuente: Romero R. J.A., 2000

h) Sólidos. Se entiende por sólidos a la materia que permanece como residuo después de evaporar una muestra de agua y secarla a una temperatura definida.

La temperatura a la cual se seca el residuo, es de gran importancia en la obtención de resultados, ya que la pérdida de peso debida a la volatilización de materia orgánica, el agua mecánicamente absorbida, el agua de cristalización y los gases de la descomposición química producida por el calor y el peso ganado debido a la oxidación, dependen de la temperatura y del tiempo de calentamiento.

Los principales tipos de sólidos que se determinan en una muestra de agua son los siguientes:

- a) Sólidos totales (fijos y volátiles)
- b) Sólidos suspendidos (fijos y volátiles)
- c) Sólidos disueltos totales
- d) Sólidos sedimentables

e) Sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos están representados por el residuo que permanece, de la diferencia de los sólidos totales y disueltos a una temperatura de

105°C hasta pesada constante.

Significado Sanitario. Aguas de alto contenido de sólidos pueden ser laxantes pierden cualidades organolépticas y pueden ocasionar otras molestias en personas no acostumbradas a su ingestión. Un agua destinada al uso doméstico no debe contener más de 500 mg/l de sólidos totales, fijándose un límite de 1000 mg/l.

La evaluación de los sólidos suspendidos es uno de los parámetros para valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento.

Se espera que la sedimentación ocurra a través de la floculación biológica y química; de aquí que la medida de sólidos suspendidos se considere tan significativamente como la DBO. (Tejerina J., 2015)

Figura 1- 19: Medición de los sólidos suspendidos



Fuente: Romero R. J.A., 2000

f) Coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF). La calidad bacteriológica de las aguas es un aspecto fundamental a la hora de evaluar el posible uso de la misma. Los organismos patógenos, causantes de enfermedades y transmitidos por el agua son bastante difíciles de determinar, pues los mismos se encuentran en concentraciones relativamente bajas en las aguas, de aquí que se decidiera utilizar a organismos indicadores de contaminación fecal, como una vía para conocer la calidad sanitaria de un agua.

Los indicadores bacteriológicos de contaminación son organismos de un grupo específico, los que por su sola presencia denotan que ha ocurrido contaminación. Muchas veces estos indicadores sugieren la procedencia de tal contaminación, por ejemplo de aguas residuales domésticas e industriales y aguas residuales agrícola-ganaderas.

Los indicadores bacteriológicos se usan para demostrar la contaminación del agua por organismos originarios de los desechos de animales de sangre caliente incluyendo al hombre, animales domésticos y silvestres y las aves. Dichos organismos pueden ser patógenos para el hombre. (Tejerina J., 2015)

Importancia sanitaria. Existen microorganismos patógenos que pueden transmitirse a huéspedes nuevos por vías indirectas. Los que abandonan el cuerpo con las excreciones pueden llegar a los alimentos o al agua, incluso multiplicarse y tiene asegurado el paso a las vías digestivas de otro huésped. Como la boca es la única puerta de entrada de estos organismos, el hecho desagradable, pero inevitable, es que una causa de enfermedad intestinal es la consecuencia directa de algún error de tipo sanitario o de higiene personal.

Los desperdicios intestinales de animales de sangre caliente generalmente incluyen una gran variedad de géneros y especies de bacterias. Entre ellos están el grupo de coliformes, con especies de los géneros Streptococcus, Lactobacilus, Staphylococcus, Proteus, Pseudomonas, ciertas bacterias esporuladas y otras. En suma, muchas clases de bacterias patógenas y otros microorganismos pueden presentarse en los desechos, variando de acuerdo al área geográfica, estado de salud de la comunidad, naturaleza y grado del tratamiento de los desechos, la purificación natural del agua y otros factores.

A continuación se enumeran algunos ejemplos de bacterias, virus y protozoarios que causan enfermedades.

- a) Bacterias. Este grupo puede incluir bacterias de los géneros Salmonella sp, Shigella sp, Leptospira sp, Brucella sp, Mycobacterium sp, Vibrio comma.
- b) Virus. Pueden encontrarse una gran variedad incluyendo el de la hepatitis infecciosa, poliovirus Coxsackie y otros que producen diarreas y enfermedades respiratorias de etiología desconocida.

- c) Protozoarios. Entre éstos podemos encontrar a *Balantidium coli* y *Entamoeba histolytica*, que produce disentería.

Rutinariamente no se realiza el análisis de los microorganismos patógenos, sino el de los indicadores bacteriológicos. Estos análisis indican la presencia y el número de bacterias en los desechos y que ha ocurrido una contaminación de origen intestinal. Por lo tanto, la evidencia de la contaminación del agua por desechos intestinales provenientes de animales de sangre caliente, indica que esta agua puede ser nociva para la salud. (Tejerina J., 2015)

g) Grupo Coliformes totales. Incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas, de forma de bacilo corto, que fermenta la lactosa con producción de gas en períodos de 24 a 48 horas a 35° C

En este grupo se encuentran las siguientes:

- a) *Escherichia coli*, *Escherichia aurescens*, *Escherichia freundii*, *Escherichia intermedia*.
- b) *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*.
- c) Las que están bioquímicamente entre los géneros *Escherichia* y *enterobacter*.

h) Grupo Coliformes fecal. Son bacilos, gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a temperaturas de 35° C \pm 0.5 °C y 44.5°C en periodos de 24 a 48 horas.

Importancia Sanitaria. Los Coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos. (Tejerina J., 2015)

i) Fósforo. El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos. El análisis de fósforo envuelve dos pasos generales: (a) conversión de la forma de fósforo de interés a ortofosfato disuelto, y (b) determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto, cantidades pequeñas se añaden algunas veces durante

el tratamiento, en el lavado de ropa u otras limpiezas, los fertilizantes agregados a la tierra aportan con fósforo al agua. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador del crecimiento de los microorganismos de un cuerpo de agua. (Tejerina J., 2015)

j) Metales pesados. Los efectos de los metales pesados en aguas potables y residuales puede ser beneficioso, tóxico o simplemente molesto. Algunos metales resultan esenciales mientras que otros pueden perjudicar, efectos sobre la salud los mostramos en cuadro adjunto. En muchos casos el potencial benéfico o de riesgo, depende de la concentración.

k) Efecto de la Salinidad. Dentro de las especies domésticas la más resistente a las altas concentraciones de sales totales es el ovino, seguida por el bovino de cría, el de invernada, el lechero y en los últimos lugares el equino.

Las altas temperaturas aumentan el riesgo de intoxicaciones por el incremento del consumo de agua, la concentración de sales por la evaporación y consecuentemente una mayor ingesta de sales. Los pastos secos reducen la tolerancia. Los animales jóvenes son menos tolerantes que los adultos.

Los excesos de sales provocan menor consumo de alimentos, disminuyen el peso corporal y la producción láctea, provocando trastornos como diarrea, gastroenteritis, rigidez, ataxia y parálisis. Con el agua de bebida muy salina el animal necesita complementar el consumo con más oligoelementos.

Producen en el ganado el denominado *hambre de sal*, debiendo suministrarse cloruro de sodio y núcleos minerales. Este problema se agrava principalmente en invierno con el consumo de pastos naturales diferidos que han sufrido un lavado por lluvias y rocío. (Tejerina J., 2015)

l) Cloruros

- Cloruro de sodio: da al agua gusto salado, la misma puede tener un efecto tóxico, produciendo anorexia, pérdida de peso y deshidratación. Hay que tener cuidado pues la misma concentración que no produce toxicidad en invierno, en el verano por el

aumento del consumo de agua y la evaporación que concentra solutos puede resultar tóxica.

- Cloruro de magnesio: da al agua un gusto muy amargo y acción purgante suave. Se producen pérdidas de apetito y diarreas intermitentes. El efecto se elimina si hay cantidades similares de sulfato de sodio.
- Cloruro de calcio: da al agua gusto muy amargo y acción purgante suave, es más tóxica que el cloruro de sodio.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

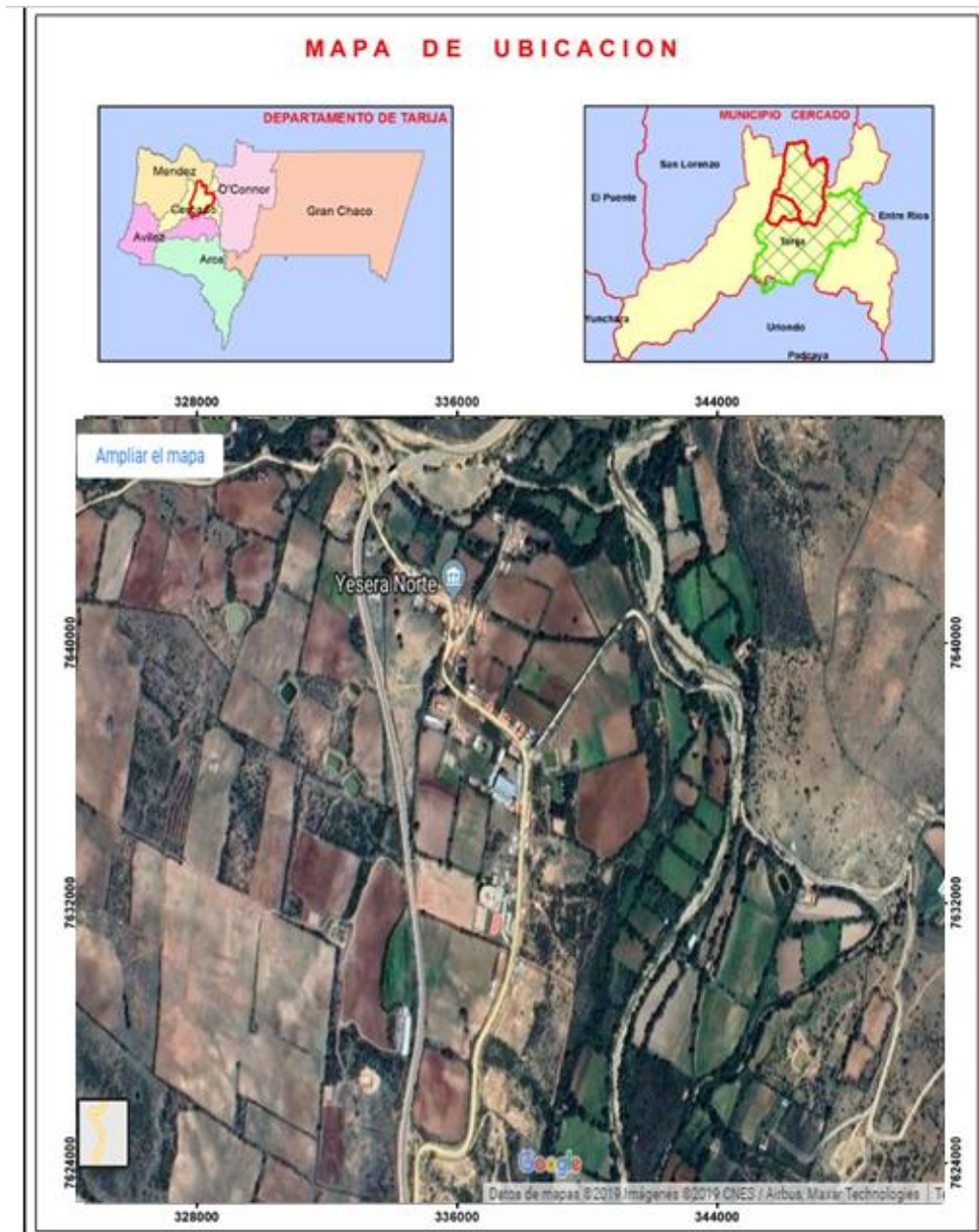
2.1 LOCALIZACIÓN E INSPECCIÓN DE LA UNIDAD EDUCATIVA DE YESERA NORTE

Se va a recolectar muestras de las Aguas Residuales de los sanitarios de La “Unidad Educativa Yesera Norte” en la Comunidad de Yesera Norte que se ubica en el Departamento de Tarija, Provincia Cercado, Municipio de Cercado.

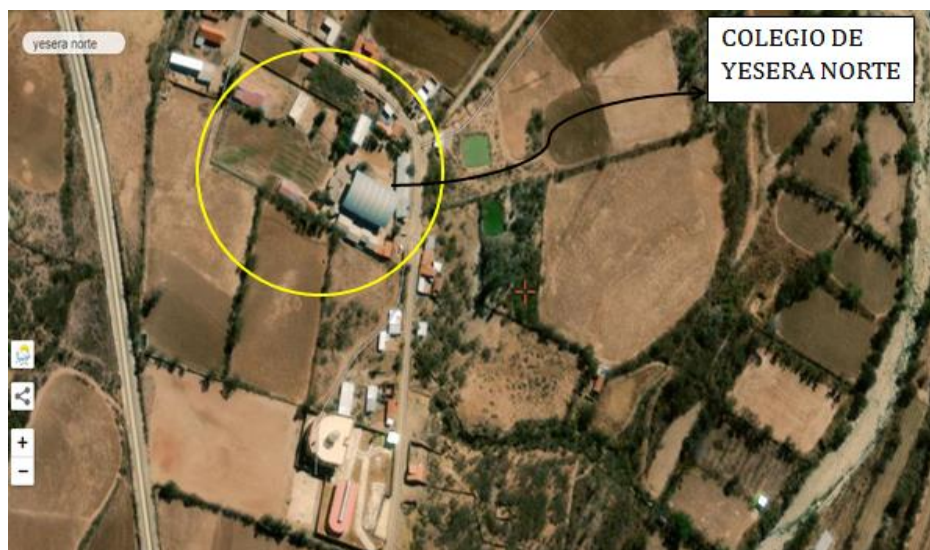
2.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMUNIDAD DE YESERA NORTE

Geográficamente Yesera Norte se encuentra ubicada entre el paralelo 21°22'39” de Latitud Sur y meridiano 64°33'2,32” de Longitud Oeste. A una altitud de 2291m.s.n.m.

Figura 2- 1: Ubicación Geográfica



Fuente: Google earth maps, 2022

Figura 2- 2: Vista satelital

Fuente: Google earth maps, 2022.

2.1.2 VÍAS DE ACCESOS

Yesera Norte se encuentra localizada en el Municipio de Cercado Departamento de Tarija a 37Km desde la capital de departamento.

Para llegar hasta el lugar, se debe tomar el camino Tarija-Santa Ana La Nueva, para luego ingresar a Yesera Sur, pasando Yesera Centro todo el camino de asfalto. Luego se ingresa por un camino de tierra a mano derecha, unos 400 metros aproximadamente hasta llegar a “La Unidad Educativa Yesera Norte”.

Cuadro II- 1: Vías de Acceso

TRAMO	ESTADO	DIST. (KM.)
Tarija – Yesera Sur	Asfaltado	26,07
Yesera Sur – Yesera Centro	Asfaltado	6,50
Yesera Centro – Yesera Norte	Asfaltado	4,91
TOTAL		37,48

Fuente: tarijaturismo.com/Geografía, 2021.

2.1.3 POBLACION BENEFICIARIA

La población que será beneficiada con el proyecto de forma directa alcanza a 442 personas que es la población actual de Yesera Norte, en la Unidad Educativa de Yesera Norte además de la cantidad de alumnos entre niños y jóvenes, ya que la unidad educativa cuenta con nivel primario y secundario tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro II- 2: Población Beneficiaria

UNIDAD EDUCATIVA YESERA NORTE	
Alumnos regulares	181
Plantel docente y administrativo	21
Total	202

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Además las comunidades cercanas se benefician de manera también directa puesto que se está tomando en cuenta un foco de infección muy peligroso para el agua y medio ambiente, ya que estas aguas se filtran al Río Yesera y baja a comunidades cercanas.

2.1.4 LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO, CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EDUCATIVA DE YESERA NORTE

Figura 2- 3: Entrada de la Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad Educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 4: Cancha área recreacional -Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad Educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 5: Vista de los sanitarios - Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 6: Vista de los lavamanos - Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 7: Vista de los sanitarios - Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 8: Vista de los sanitarios desde la calle - Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 9: Cámara de inspección salida de sanitarios mujeres-Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 10: Cámara de inspección salida de los sanitarios de mujeres-Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 11: Cámara de inspección salida de sanitarios de mujeres-Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 12: Cámara de inspección salida de sanitarios de varones-Unidad Educativa Yesera Norte



Fuente: Elaboración propia, Unidad educativa Yesera Norte, octubre 2022.

Figura 2- 13: Proceso actual de las aguas residuales generadas por los sanitarios de La Unidad Educativa “Yesera Norte”



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.2 METODOLOGÍA SUGERIDA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD EDUCATIVA DE YESERA NORTE

2.2.1 DIAGNÓSTICO Y ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO DEL BIOFILTRO.

Para poder iniciar con el trabajo en laboratorio se realizó, un diagnóstico para evaluar las condiciones en las que se encuentra el equipo del biofiltro que está en el laboratorio de Operaciones Unitarias, ya que éste se encuentra un poco deteriorado por el anterior uso además de sucio y con sarro. Se procede a hacer la limpieza adecuada y posterior pintado del mismo, para que esté listo para ponerlo a trabajar. Además se hace el cambio de la válvula reguladora del Tanque de Almacenamiento porque la anterior se encontraba corroída y en mal estado debido a desgaste por el uso del equipo.

Figura 2- 14: Biofiltro experimental de laboratorio de Operaciones Unitarias

Estado actual



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Figura 2- 15: Biofiltro experimental de laboratorio de Operaciones Unitarias

Estado actual



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Figura 2- 16: Biofiltro experimental de Laboratorio de Operaciones Unitarias

Estado actual luego del reacondicionado



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Así fue como quedó luego del pintado y posterior secado listo para ser utilizado y puesto en marcha para el inicio de la parte experimental, del presente proyecto.

Figura 2- 17: Biofiltro experimental de laboratorio de Operaciones Unitarias
Estado final luego del reacondicionado



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Una vez que el equipo se seca adecuadamente durante 2 a 3 días aproximadamente, se procede a hacer un acondicionamiento vacío con agua de grifo, haciendo circular agua de grifo por todo el biofiltro se van limpiando los residuos finos que se encuentran dentro del biofiltro.

Por otro lado se comienza a preparar el lecho filtrante a utilizar, para lo cual se usa poliestireno particulado expandido (Plastoformo), el cual se corta de láminas de plastoformo de 1 cm. de espesor cortado de 1x1 cm. Aproximadamente se usan entre 25 y 28 láminas tal que una vez cortado se comienza a hacer el relleno en ocho bolsas de red de nylon rojas con la cantidad necesaria para rellenar los espacios entre celda y celda del biofiltro, las mismas que van costuradas a ambos extremos para poder ajustarse al fondo de cada celda y contener el lecho. Y posteriormente colocadas en cada celda como corresponde a lo largo del Biofiltro, como indica en la figura 2-19.

Figura 2-18: Cortado del material a utilizar como lecho filtrante



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Figura 2-19: Pesado de las bolsas de red de nylon



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Cuadro II- 3: Datos del peso de las bolsas

N°	P ₁	Peso de las piedras	Peso inicial de las bolsas P ₁ - P _{piedras}	P ₂	Peso final de las bolsas P ₂ - P _{piedras}
1	1,090	0,805	0,285	1,200	0,395
2	1,240	0,910	0,33	1,390	0,48
3	1,210	0,870	0,34	1,280	0,41
4	0,820	0,430	0,39	0,795	0,365
5	1,340	0,960	0,38	1,400	0,44
6	1,390	1,030	0,36	1,455	0,425
7	1,100	0,745	0,355	1,165	0,42
8	1,420	1,065	0,355	1,385	0,32

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 2- 20: Rellenado de las bolsas en el Biofiltro

Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

2.2.2 AJUSTE, CALIBRACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL BIOFILTRO EXPERIMENTAL

Una vez colocado el lecho filtrante al biofiltro, se realiza nuevamente un acondicionamiento del Biofiltro esta vez llenado, con agua de grifo para limpiar todo rastro de impurezas que en lo posterior pueden ocasionar taponamientos en el equipo y el mismo se encuentre en óptimas condiciones y el agua circule libremente para iniciar a operar.

Posteriormente se termina de armar el sistema con:

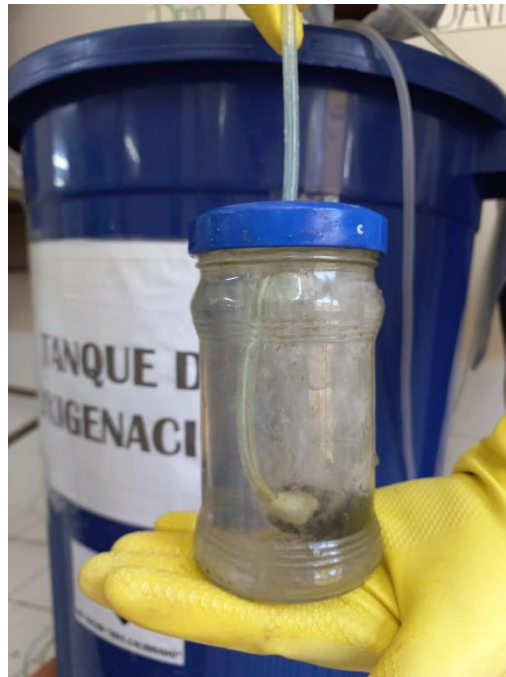
- El colocado del Tanque de Almacenamiento, que viene tapado con una malla milimétrica en doble capa, para la retención de sólidos, basuras y otros materiales presentes en el agua residual.
- La misma malla es puesta en el biofiltro para evitar la proliferación de mosquitos.
- Colocado del Tanque de Oxigenación con sus respectivas bombas. Se adecua con 2 bombas: cada bomba tiene 2 mangueras que llevan el aire al tanque haciendo un total de 4 piedras difusoras, las cuales son introducidas en frascos de vidrio con pequeños orificios en la tapa de modo que cada manguera se aloje en el fondo del tanque permitiendo así una mayor difusión del oxígeno.
- Conexiones con mangueras que salen de cada válvula en la que se va a regular el caudal del tanque, a diferentes niveles, pues el equipo trabaja por gravedad.

Figura 2- 21: Unidad experimental lista para funcionar.



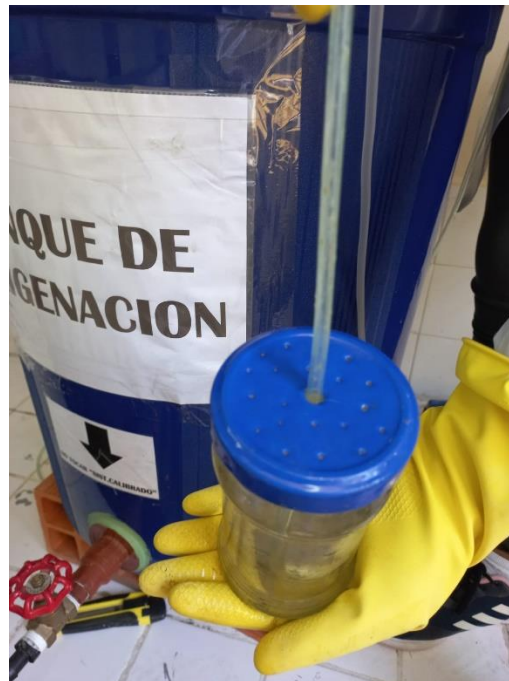
Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Figura 2- 22: Conexión de mangueras y piedras difusoras en frascos de vidrio.



Fuente: elaboración propia, 2022.

Figura 2- 23: Conexión de las piedras difusoras en frascos al fondo del tanque.



Fuente: elaboración propia, 2022.

2.2.3 METODOLOGIA SEGUIDA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

2.2.3.1 MÉTODO DE MUESTREO

La determinación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos es muy importante a la hora de caracterizar el agua residual. La actividad de muestreo y la frecuencia de control, deben ser confiables y representativas, siendo esta una de las etapas más importantes dentro del proceso de control y vigilancia de las aguas que ingresan para su tratamiento.

- **Muestreo.-** La toma de muestra destinada al análisis organoléptico, físico-químico, metales pesados, compuestos orgánicos, bacteriológicos debe ser a través de muestras simples.
- **Puntos de Muestreo.-** Para realizar el muestreo se debe ubicar la zona de descarga de las aguas a la salida de los baños de la Unidad Educativa de Yesera Norte en la cámara séptica.

El registro y ubicación del punto de muestreo debe ser controlado mediante planilla detallada.

Se toman muestras puntuales, en la cámara séptica de los baños del colegio, haciendo una lectura de los parámetros: temperatura, pH y conductividad, turbiedad, con los instrumentos de medición de estos parámetros descritos más adelante.

Se tomarán muestras representativas 2 veces por semana, siendo los horarios de 08:00 a.m. a 15:00 a.m. con mayor actividad dentro del colegio. Por lo que las tomas se realizan por las mañanas a las 08:00a.m. Aprovechando que son las temperaturas más adecuadas para realizar el muestreo, debido a la distancia del lugar que es aproximadamente 45 min. En recorrido.

Se debe registrar en planillas de muestreo, la fecha, la hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.

Se recolecta la muestra en 5 tachos de 20 litros cada uno los cuales estarán debidamente sellados una vez llenados, para evitar derrames en el transporte y posterior traslado al laboratorio para la unidad experimental.

Figura 2- 24: Tachos de 20 litros listos para muestreo.



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2021.

2.2.3.2 TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES

Entre la toma de muestras y el análisis deben transcurrir el menor tiempo posible y en ningún caso más de 72h se debe mantener la temperatura invariable de la muestra durante el transporte solo para análisis físico-químico de muestra, se debe transportar la muestra en cajas adecuadas, para evitar las pérdidas de muestras por transporte. (NB/ISO 496)

2.2.3.3 CONSERVACION DE LAS MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES

Debido a la cantidad importante de la muestra se dificultó traerla refrigerada durante el transporte por lo que se hizo los muestreos entre las 06:00 a.m. y 08:00 a.m. que son horarios frescos para poder transportar las muestras tomadas. (NB/ISO 496)

2.2.3.4 REGISTRO DE MUESTREO EN CAMPO

Se va a disponer de un registro que contenga apuntes detallados sobre la hora y las condiciones en las que se tomó la muestra, determinaciones de campo, información de la cadena de custodia. (NB/ISO 496)

Cuadro II- 4: Planilla de Registro de muestreo

Fecha	Cantidad de Muestra	Características del Día	Horario de la Muestra
01/12/2021	130 litros	Día soleado/ T 25°C	06: 00 a.m.
02/12/2021	130 litros	Día soleado/ T 27°C	07: 00 a.m.
10/12/2021	130 litros	Día soleado/ T 27°C	08:45 a.m.
17/12/2021	130 litros	Día nublado/ T 28°C	08:20 a.m.
29/12/2021	130 litros	Día soleado/ T 29°C	08: 00 a.m.
08/01/2022	130 litros	Día soleado/ T 27°C	07: 00 a.m.
14/01/2022	130 litros	Día soleado/ T 25°C	07: 00 a.m.
21/01/2022	130 litros	Día soleado/ T 25°C	08: 00 a.m.
28/01/2022	130 litros	Día nublado/ T 25°C	08: 00 a.m.
02/02/2022	130 litros	Día nublado/ T 24°C	08:30 a.m.
08/02/2022	130 litros	Día nublado/ T 20°C	06: 30 a.m.
15/02/2022	130 litros	Día nublado/ T 25°C	08: 00 a.m.

Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

2.2.3.5 MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Esta muestra se toma en una botella PET de 3litros que primero se codifica el recipiente.

De la muestra total se saca una representativa se llena hasta que el recipiente rebalse, se tapa con sumo cuidado. Se transporta hasta laboratorio. Las muestras en ningún caso deben pasar a un periodo mayor a 24 horas desde el momento de recolección de la muestra y la recepción en laboratorio. (NB/ISO 496)

Dentro del sistema experimental, la toma de muestras se realizará a la salida del Biofiltro:

- La primera a los 15 días desde la muestra inicial, la cual se tomará del agua residual doméstica de la Unidad educativa Yesera Norte a la salida de los baños en la cámara de inspección.
- Las posteriores tendrán la frecuencia de 1 vez cada 10 días aproximadamente, hasta alcanzar los valores óptimos requeridos, para reúso de agua de riego agrícola.

Las muestras son llevadas con la misma frecuencia para su análisis en el RIMH Laboratorio de aguas, suelos, alimentos y Monitoreo Ambiental del Ing. Richard Ivan Medina Hoyos, para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos respectivos.

Cuadro II- 5: Registro de muestras para análisis de laboratorio

Fecha y hora del muestreo	Fuente	Ubicación de la muestra	Cantidad de la muestra	Fecha de análisis	
17/12/2021 10:00 a.m.	Agua residual doméstica Educativa Norte	Unidad Yesera	Salida de los baños cámara de inspección	3 litros	17/12/2021
04/01/2022 09:45 a.m.	Agua residual doméstica Educativa Norte	Unidad Yesera	Salida del Biofiltro experimental	3 litros	04/01/2022
12/01/2022 10:00 a.m.	Agua residual doméstica Educativa Norte	Unidad Yesera	Salida del Biofiltro experimental	3 litros	12/01/2022
04/02/2022 11:00 a.m.	Agua residual doméstica Educativa Norte	Unidad Yesera	Salida del Biofiltro experimental	3 litros	04/02/2022
18/02/2022 11:00 a.m.	Agua residual doméstica Educativa Norte	Unidad Yesera	Salida del Biofiltro experimental	3 litros	18/02/2022

Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Figura 2- 25: Tachos de 20 litros con muestras para la unidad experimental



Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2022.

Se debe cuidar el manipuleo de las muestras desde su transporte hasta el vertido a los tanques, cuidando de no contaminar las muestras y evitando los derrames al momento de cargar el tanque de almacenamiento en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la universidad.

2.2.4 PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN DEL EQUIPO DE BIOFILTRO EXPERIMENTAL

2.2.4.1 FASE EXPERIMENTAL

Una vez concluido el trabajo de adecuación y mantenimiento al Sistema de Biofiltración Piloto y la elaboración de un correcto plan de muestreo, se procede a la ejecución de la fase experimental.

Al momento de arrancar el funcionamiento del biofiltro en laboratorio se toma una muestra inicial que es llevada a laboratorio para su análisis respectivo que nos va arrojar las condiciones iniciales de las aguas residuales a tratar.

Los análisis de pH, Conductividad Eléctrica, Turbidez, son realizados personalmente con los equipos prestados por el SEDEGIA bajo la supervisión del Ing. Carlos Pimentel.

2.2.4.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN LABORATORIO

Después de los muestreos, las aguas residuales traídas a laboratorio, se cargan en el biofiltro experimental que se encuentra en Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU de la Carrera de Ingeniería Química, ubicado en la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”.

Figura 2- 26: Muestras traídas a laboratorio



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Las muestras que llegan debidamente selladas, antes de su vertido al tanque de almacenamiento se separa una muestra representativa para poder determinar los diferentes parámetros.

Los análisis de pH, Conductividad Eléctrica, Turbidez, Oxígeno Disuelto y Solidos sedimentables, temperatura. Se hacen de la siguiente manera:

Antes de poder manipular los equipos medidores de parámetros se pasa por una capacitación en la Oficina Técnica Nacional de los Ríos Pilcomayo y Bermejo (OTN-PB), con la supervisión de la Ingeniera María del Carmen Jijena Diaz.

Figura 2- 27: Muestras listas para ser analizadas



Fuente: Elaboración Propia, 2021.

2.2.4.3 EQUIPOS Y MATERIALES A UTILIZAR PARA LAS MEDICIONES

- Equipo Seven Duo pro pH/Ion/Cond Metler Toledo
- Equipo Turbiquant 1100 T
- Agua residual suficiente
- Balde de 5 litros.
- Vaso precipitado de 500 ml.
- Agua destilada
- Toalla para secar los equipos

Figura 2- 28: Equipos para la medición de parámetros



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

2.2.4.4 PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE TURBIDEZ EN LAS AGUAS RESIDUALES

Figura 2- 29: Equipo Turbiquant 1100 T



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Pasos a seguir:

- Conectar el instrumento oprimir la tecla de encendido durante 1 segundo.
- Enjuagar una cubeta limpia 3 veces con la muestra a medir.
- Llenar la cubeta con la muestra. Cerrar la cubeta con la tapa de protección contra la luz.
- Asegurarse que la cubeta este seca, limpia y sin huellas dactilares.
- Colocar las cubeta y apretar la tecla de lectura y a la vez dar un giro la cubeta a 360 °, girar la cubeta con el valor más bajo y soltar la tecla de lectura.
- Esperar el valor medido y anotarlo.

2.2.4.5 PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Figura 2- 30: Medición de conductividad eléctrica



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Pasos a seguir:

- Vaciar el agua residual al balde.
- Conectar el equipo de medición de conductividad eléctrica.
- Presionar la tecla de encendido.
- Introducir el sensor dentro del agua residual con un pequeño giro y esperar a que los valores se estabilicen.

- Una vez que el valor de medición se mantiene constante leer y anotar el valor generado.

Figura 2- 31: Equipo de conductividad eléctrica



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

2.2.4.6 PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE pH Y TEMPERATURA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Figura 2- 32: Medición de pH y temperatura



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Figura 2- 33: Medición de pH y Temperatura



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Pasos a seguir:

- Vaciar el agua residual al balde.
- Conectar el equipo de medición de pH y temperatura.
- Presionar la tecla de encendido.
- Introducir el sensor dentro del agua residual con un pequeño giro y esperar a que los valores se estabilicen.
- Una vez que el valor se mantenga constante leer y anotar el valor generado.

Los valores obtenidos en las mediciones realizadas en laboratorio se muestran a continuación:

Cuadro II- 6: Valores medidos en laboratorio de pH y Temperatura

VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE Ph Y TEMPERATURA			
N°	FECHA	pH	TEMPERATURA
1	10/12/2021	7	22
2	17/12/2021	7,2	23
3	4/01/2022	6,33	27,3
4	12/01/2022	6,35	23,7
5	18/01/2022	7	22,8
6	25/01/2022	6,38	22,8

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Se puede observar que los valores de pH están dentro de los rangos normales, los microorganismos encargados de la depuración de las aguas residuales se desarrollan óptimamente entre 6,5 y 8,5.

2.2.4.7 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DE OXÍGENO DISUELTO

Los valores obtenidos en laboratorio se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro II- 7: Valores medidos en laboratorio de Oxígeno Disuelto

VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE OXÍGENO DISUELTO		
N°	FECHA	OXIGENO DISUELTO (mg/l)
	10/12/2021	0
	17/12/2021	0
	4/01/2022	1,38
	12/01/2022	2,58
	18/01/2022	3,27
	25/01/2022	2,21

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Para la medición del caudal de oxígeno que ingresa al tanque de oxigenación se hizo una prueba con las bombas de aire instaladas en el tanque de oxigenación para determinar el caudal de aire que ingresaba al tanque.

Se realizaron 3 pruebas a cada bomba para determinar un promedio, luego los resultados obtenidos son los siguientes:

Para el caudal de la bomba 1:

$$Q_{b1} = 1,62 \text{ l/min}$$

Para el caudal de la bomba 2:

$$Q_{b1} = 1.5 \text{ l/min}$$

Para el caudal total alimentado al tanque de oxigenación:

$$Q_{\text{total}} = 3,12 \text{ l/min}$$

El aire tiene en su composición un 21% de oxígeno además de nitrógeno y otros gases. Por lo que para determinar el caudal total de oxígeno que es alimentado en el tanque de oxigenación:

$$Q_{O_2} = Q_{\text{total}} * 0,21$$

$$Q_{O_2} = 0,66 \text{ l/min}$$

Dentro de las propiedades del oxígeno se tiene que su densidad es de 1,429 g/l a 0° y 1 atm.

Esto nos ayuda a determinar el caudal másico de oxígeno, de la siguiente manera:

$$Q_{mO_2} = Q_{O_2} * \rho_{O_2}$$

$$Q_{mO_2} = 0,94 \text{ g/min ó } 940 \text{ mg/min}$$

2.2.4.8 CALCULO DEL CAUDAL FASE EXPERIMENTAL

Dentro del equipo de Biofiltro experimental para su puesta en marcha, se debe regular los caudales a las salidas de los tanques de almacenamiento, el tanque de oxigenación y a la salida del Biofiltro.

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

Q = Caudal

Tiempo de retención= 72 h

Dimensiones del Biofiltro experimental

Alto=0,45 m

Largo= 1 m

Ancho= 0,5 m

$$V_{\text{Biofiltro}} = b * h * a = 0,225 \text{ m}^3 \sim 225 \text{ l}$$

Materiales

- Un vaso de precipitación de 600 ml.
- Una probeta de 1000ml.
- Plastoformo cortado de 1x1cm.
- Agua.

Procedimiento de cálculo de porosidad

- Se procede a medir en la probeta 500ml de agua.

- Por otro lado se pesa el vaso de precipitado, primero vaso vacío y luego el vaso con el relleno de poliestireno.
- Se hacen al menos 3 mediciones, para luego sacar una media.

Calculo de la porosidad:

$$Porosidad = \frac{\text{volumen de agua con plastiformo}}{500 \text{ ml.}}$$

Datos:

Volumen de agua= 500ml.

Volumen sobrante= 265,5 ml.

Volumen ocupado (relleno +agua)= 234,5 ml.

$$Porosidad = \frac{234,5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 0,469 \sim 0.47$$

$$Volumen libre = V_{\text{Biofiltro}} * Porosidad$$

$$Volumen libre = 225 \text{ l} * 0.47 = 105,75 \text{ l}$$

Por lo que:

$$Q = \frac{105,75 \text{ l}}{72 \text{ h}} = 1,469 \frac{\text{l}}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 24,48 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

$$Q = 24,48 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

2.2.5 OPERACIÓN, SEGUIMIENTO Y TOMA DE MUESTRA DEL BIOFILTRO EXPERIMENTAL

Una vez calculado el caudal Q, se procede a la calibración del equipo donde se regula el caudal ajustado a la salida del tanque de almacenamiento, el tanque de oxigenación y a la salida del biofiltro a 25 ml por minuto. Para su posterior control diario del equipo cuidando de que el caudal sea regular.

2.3 METODOS DE MEDICIÓN DE LOS PARAMETROS UTILIZADOS

Durante la investigación se realiza la medida y análisis de los parámetros establecidos y mediante muestras llevadas al Laboratorio de Servicios de Gestión Hídrica y Aguas Residuales del Ing. Richard Ivan Medina Hoyos.

Cuadro II- 8: Parámetros a medir valores

PARAMETRO	METODO
Temperatura	Termómetro
pH	Potenciómetro
Conductividad	Conductivímetro
Turbiedad	Nefelométrico
DBO5	Técnica de diluciones
DQO	Reflujo, por oxidación con dicromato
Aceites y grasas	Extracción de Soxhlet
Coliformes totales y fecales	NMP-MF

Fuente: Laboratorio RIMH, 2021

Se busca alcanzar los objetivos definidos para el tratamiento de las aguas de la Unidad Educativa de Yesera Norte, de modo que se vayan ajustando a las condiciones óptimas a la salida del Biofiltro, que garantice que es apta para riego agrícola.

2.4 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA DE RIEGO.

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

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.

CLASE “B” Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

CLASE “C” Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.

CLASE “D” Aguas de calidad mínima, que para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de presedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión luego un 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. (Ley de la C.P.E. 1333, Abril 1992)

Cuadro II- 9: Clasificación de los cuerpos de agua según su uso

Orden		Clase "A"	Clase "B"	Clase "C"	Clase "D"
1	Para abastecimiento domestico de agua potable después de: a) Sólo una desinfección y ningún tratamiento. b) Tratamiento físico y desinfección. c) Tratamiento físico-químico completo: coagulación, floculación filtración y desinfección. d) Almacenamiento prolongado o presedimentación, seguidos de tratamiento, al igual que c)	SI No necesario No necesario No necesario	NO SI No necesario No necesario	NO NO SI No necesario	NO NO NO SI
2	Para recreación de contacto primario: natación, esquí.	SI	SI	SI	NO
3	Para protección de los recursos hidrobiológicos.	SI	SI	SI	NO
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cáscara delgada, que sean ingeridas crudas sin remoción de ella	SI	SI	NO	NO
5	Para abastecimiento industrial	SI	SI	SI	SI
6	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana.	SI	SI	SI	NO
7	Para abrevadero de animales	NO	SI	SI	NO

Fuente: Ley del Medio Ambiente 1333, Abril 1992.

Los parámetros que un agua debe de reunir y los valores normales que debe de tener se obtienen de los numerosos estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO sobre riego y drenaje, estudios que por otra parte están en continua revisión.

A continuación se da una tabla con valores normales que debe de proporcionar un análisis de agua para poder proceder a su evaluación y uso como agua de riego.

Cuadro II- 10: Calidad de agua para riego según la FAO

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores normales en aguas de riego
SALINIDAD			
<u>Contenido en sales</u>			
- Conductividad eléctrica	CE _a	dS/m	0-3
- Total sólidos en solución	TSD	mg/l	0-2000
<u>Cationes y aniones</u>			
- Calcio	Ca ²⁺	meq/l	0-20
- Magnesio	Mg ²⁺	meq/l	0-5
- Sodio	Na ⁺	meq/l	0-40
- Carbonatos	CO ₃ ²⁻	meq/l	0-0,1
- Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/l	0-10
- Cloro	Cl ⁻	meq/l	0-30
- Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq/l	0-20
NUTRIENTES			
- Nitrato-nitrógeno	NO ₃ -N	mg/l	0-10
- Amonio-nitrógeno	NO ₄ -N	mg/l	0-5
- Fosfato-fósforo	PO ₄ P	mg/l	0-2
- Potasio	K ⁺	mg/l	0-2
VARIOS			
- Boro	B	mg/l	0-2
- Acidez o basicidad	pH	1-14	6-8,5
- Relación de absorción de sodio	RAS	meq/l	0-15
- Oxígeno disuelto	OD	mg/l	>60%
- Coliformes	CT- CF	NMP/100ml	<5000 y < 1000 en 80% en muestras
- Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días	DBO ₅	mg/l	<20
- Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	<40

Fuente: Monge Redondo, Julio 2021.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III

DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL BIOFILTRO

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL COLEGIO DE YESERA NORTE

Las características de los análisis de las muestras de aguas residuales fueron obtenidas mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados en laboratorios certificados y acreditados como RIMH.

Se hizo un análisis inicial a las aguas residuales para lo cual se realizó un adecuado muestreo, directamente en la salida de los sanitarios para lo cual se recolectó alrededor de 100 litros de los cuales 3 litros de muestra son llevados a RIMH Laboratorio de Aguas, Suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental; los litros restantes son depositados en un tanque de almacenamiento.

A continuación se muestran los valores obtenidos en el ingreso al biofiltro, especificados en el cuadro III-1:

Cuadro III- 1: Datos obtenidos antes del tratamiento de las aguas residuales de la Unidad Educativa de Yesera Norte

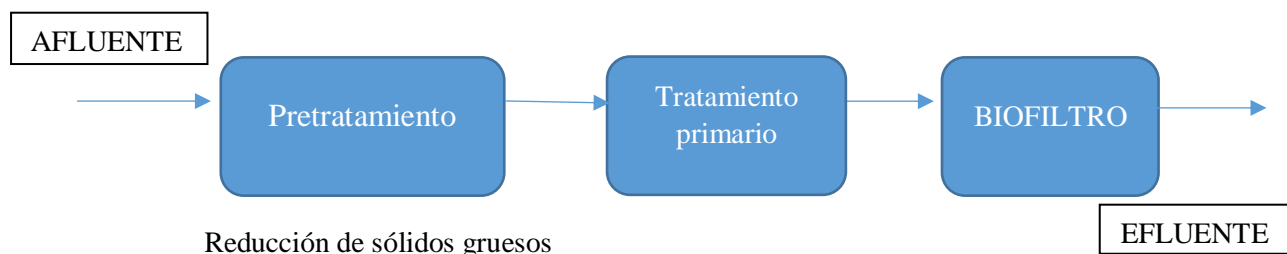
RESULTADOS DE ANALISIS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA UNIDAD EDUCATIVA YESERA NORTE			
SALIDA DE LOS BAÑOS			
NUMERO	TIPO DE ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADOS
	Análisis Organolépticos		
1	Aspecto		Pardo oscuro
2	Olor		Fétido
	Análisis Físicos		
3	Temperatura	°C	23,00
4	pH	Unidad de pH	7,20
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	63,81
6	Sólidos Totales Disueltos	mg/l	397,00
7	Sólidos Totales	mg/l	527,23
8	Conductividad	µS/cm	779,00
9	Turbiedad	NTU	54,10
	Análisis Químicos		
10	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	39,95
11	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	75,50
12	Aceites y Grasas	mg/l	no detectado
13	Fósforo Total (como P)	mg/l	3,80
14	Amoniaco (como N)	mg/l	1,63
15	Nitratos (como N)	mg/l	3,59
16	Nitritos (Como N)	mg/l	0,01
17	Nitrógeno Total (Como N)	mg/l	5,22
	Análisis Bacteriológicos		
18	Coliformes Totales	NMP/100 ml	1,80E+06
19	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2,00E+05

Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2021.

3.2 PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA LA UNIDAD EDUCATIVA DE YESERA NORTE

De acuerdo a la práctica experimental en el biofiltro realizada en Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y a los resultados obtenidos se propone el siguiente sistema de tratamiento a las aguas residuales para la Unidad Educativa de Yesera Norte de la siguiente manera:

Figura 3- 1: Propuesta de Tratamiento para las aguas residuales de la Unidad Educativa de Yesera Norte.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.2.1 PRETRATAMIENTO- DISEÑO DE LAS REJILLAS

En el pretratamiento se realiza el cribado que es una operación para separar el material grueso del agua mediante el paso de ella por una criba o rejilla.

Es fundamental este paso ya que se trata de un colegio donde puede ser arrojado todo tipo de objetos a través de los baños lo que puede terminar en obstruir o taponear los mismos.

3.2.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS REJILLAS

Esta operación es fundamental para evitar el paso de los residuos sólidos que lleva el agua residual y su buen funcionamiento ayudará en la mejora del rendimiento de los procesos posteriores. Consiste en unas rejas, malla o criba cuya función es limitar el paso de los residuos sólidos grandes que llevan las aguas residuales. Dependiendo del tamaño se regulará el tipo de partícula que se quiere eliminar. Los residuos como

trapos, plásticos, y otros gruesos pueden llegar a dañar y a ocasionar taponamientos en los siguientes procesos.

En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas, principalmente de barras o varillas de acero, para proteger bombas, válvulas, tuberías y equipos, etc., del taponamiento o interferencia causada por trapos, tarros y objetos grandes.

A medida que el material se acumula sobre la rejilla, ésta se va taponando y la pérdida de energía, consecuentemente, aumenta. El diseño estructural debe ser el adecuado para impedir la rotura de la rejilla cuando está taponada. El tipo de rejilla, las dimensiones del canal de aproximación a la rejilla, las variaciones de profundidad del flujo dentro del canal, el espaciado entre barras y el método de control de las rejillas deben ser bien diseñadas.

Las rejas deben ser dispuestas en un canal donde se establecen velocidades de flujo suficientemente altas para evitar la sedimentación y lo suficientemente bajas como para impedir el paso de los sólidos que pasan a través de ellas.

Partiendo de las premisas anteriores los parámetros de funcionamiento serán los siguientes:

			Ancho de canal
Velocidad máxima entre rejas (m/s)		$\leq 1,5$	0,5-1,5 m
Velocidad en canal (m/s)	$>0,3$	<1	

Cálculo del canal de entrada a la sección de la rejilla del sistema proyectado:

De acuerdo con las especificaciones técnicas la condición para corrientes de agua desde la cámara de captación hasta la entrada a la rejilla es que la velocidad sea igual a 0,75m/seg

$$A = Q/V$$

Donde:

$$A = \text{área rectangular } m^2$$

$$Q = 0.021 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = 0,75 \text{ m/seg}$$

$$A = 0,021 \text{ (m}^3\text{/seg)} / 0,75 \text{ m/seg}$$

$$A = 0,028 \text{ m}^2$$

Cálculo de las dimensiones del canal

$$A = b \cdot h$$

A es el área del canal de entrada

b es la longitud del canal

h es la altura del canal

La altura del canal "h" viene dada por la altura del agua (tirante hidráulico) más la altura del borde libre tomado como criterio técnico 0,15 m

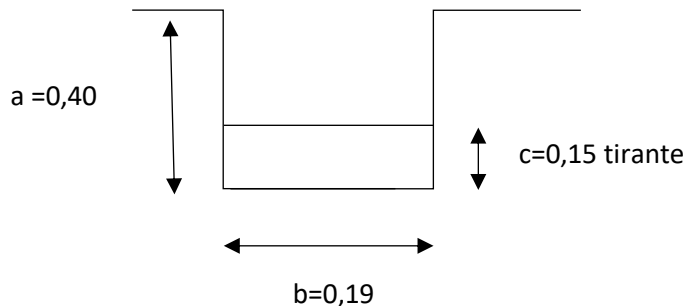
De donde la altura viene definida como $h + 0,25$ tomado como criterio técnico.

Siendo 0,25m el borde libre.

$$b = a/h$$

$$b = 0,19$$

Figura 3- 2: Dimensionamiento del canal de entrada a la sección de la rejilla.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Cálculo de la pendiente del canal ecuación de Manning

$$S = \frac{Q * n^2}{A^2 * R^{\frac{4}{3}}}$$

$$Q = 0,021 \text{ m}^3\text{/seg}$$

$n = 0,013$ (coeficiente de rugosidad de concreto común)

$A = 0,028 \text{ m}^2$

$R = A/P$

Para calcular P (el perímetro mojado)

$P = b + c + c$ tiene la forma rectangular después $P = 0,49$

Luego:

$$S = \frac{Q * n^2}{A^2 * R^{\frac{4}{3}}}$$

$$S = 0,022 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga

$H_f = S * L$

La distancia a la que se construirán las rejillas va a ser de 2m (adoptando la especificación técnica) de distancia de las aguas residuales a la cámara séptica, el canal donde se instalarán las barras será un canal abierto protegido con rejillas.

$H_f = 0,022 * 2 = 0,044 \text{ m} = 4,4 \text{ cm}$

Equivale a 5 cm., lo cual está dentro de los márgenes de cálculo, que no debe sobrepasar los 15 cm de pérdida de carga.

Tipo de barra (rectangular)

Según especificaciones técnicas las separaciones entre barras debe ser de 6mm a 50mm, se adopta tipo medio con criterio técnico se selecciona 2 cm que es igual a 20mm (centro a centro).

Inclinación de las barras $\theta = 45^\circ$ según especificaciones técnicas.

De ahí:

$\text{Sen } 45^\circ = Y/X$

Luego:

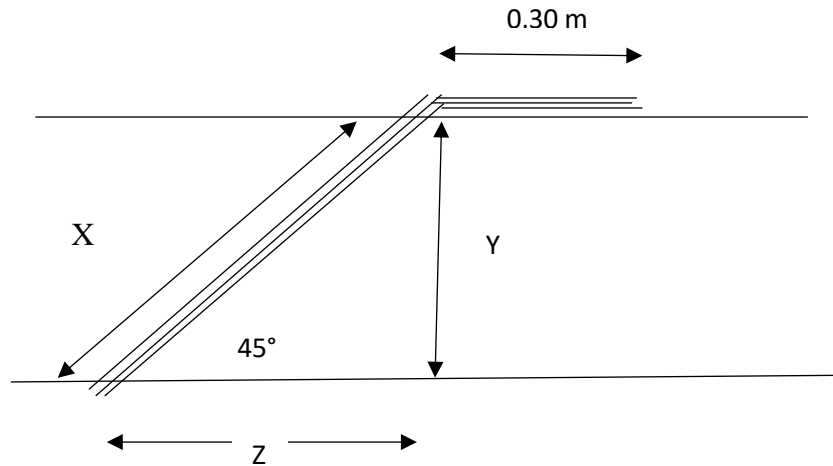
$Y = 0,40 \text{ m}$ que es la altura del canal

$X =$ es la longitud requerida de las barras.

Despejando: $X = 0,40 / 0,707$

$$X = 0,57\text{m}$$

Figura 3- 3: Longitud de las barras



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para encontrar Z $\tan 45 = 1$

$$\tan 45 = Y/Z$$

$$\text{Luego } Z = 0,57/1 = 0,57\text{m}$$

Después se determina un largo total de las barras de $X+0,30$, donde viene incluido el gancho de agarre haciendo un total del largo de las barras de $0,87\text{m}$.

Numero de espacios

$b = 0,19\text{m}$ es el ancho del canal determinado

De acuerdo a las especificaciones técnicas el ancho del canal (b) con rejilla debe incrementarse de dos a tres veces, para reducir la velocidad a $0,30\text{ m/seg}$

$$Q = V \cdot A$$

Para $V = 0,30\text{m/seg}$.

Después se despeja el área

$$b \cdot h = Q/V = 0,021/0,30 = 0,07\text{m}$$

Después $A = b \cdot h$

Se despeja $b=A/h$

$$b= 0,07/0,15= 0,47\text{m}$$

Comprobando con las especificaciones técnicas la reducción de la velocidad de flujo en esta sección del canal con rejilla:

$$V= Q/A= 0,021/0,47*0,15=0,298 = 0,30 \text{ m/seg}$$

Por lo que queda demostrado el valor de b 3 veces el ancho del canal lo que da cumplimiento a la especificación técnica.

Después el número de espacios

$$n_e= 0,47\text{m}/0,02\text{m}= 23,5 \text{ espacios}$$

$$n_e= 24 \text{ espacios}$$

Calculo del número de barras n_b

$$n_b= n_e+1$$

$$n_b= 25 \text{ barras}$$

Cuadro III- 2: Especificaciones de las barras

DETALLE	VALOR
Ancho del canal	0,47m
Altura del canal	0,40m
Numero de barras	25
espacios entre barras	24 espacios de 0,2cm

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Para realizar el tratamiento biológico se hace la construcción de 2 cámaras sépticas para almacenar el agua que llega donde va a ocurrir la sedimentación para luego pasar a otra cámara de oxigenación donde a través de la aplicación de oxígeno prepare las aguas residuales antes de pasar al biofiltro.

3.3.1 DISEÑO DE LA CÁMARA SÉPTICA

La cámara séptica es una estructura que permite el tratamiento básico de las aguas residuales de las viviendas, está destinada a remover los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales y acumuladas para su indigestión.

Dentro de la cámara séptica se producen tres fenómenos importantes: Sedimentación, Digestión Anaeróbica y Flotación de grasas

La Sedimentación consiste en un fenómeno físico; por el cual, las partículas que tienen un peso específico mayor al agua se sedimentarán al fondo de la cámara.

La Digestión Anaeróbica (o digestión anaeróbica) es un proceso biológico, mediante el cual, las bacterias anaeróbicas consumen la materia orgánica contenida en el agua residual. Se denomina anaeróbico cuando no existe presencia de oxígeno y, se llama materia orgánica, a todas las sustancias de procedencia biológica como las heces fecales, la orina, la sangre, los vegetales, las carnes animales, etc.

En otras palabras las bacterias “comen” las sustancias orgánicas que están en el agua y la descomponen en minerales, agua y gases (metano y dióxido de carbono).

La Flotación es un proceso físico, a través del cual, las grasas y aceites del aseo personal y de la preparación de alimentos, se mueven a la parte superior de la cámara formando una “nata” o “costra” que flota sobre el agua residual. (Caceres H., 2018)

Cálculo del volumen de tanque de almacenamiento

Partiendo del caudal $Q = 18,09 \text{ m}^3/\text{día}$

Y el tiempo estimado de retención de 3 días para determinar el volumen de la cámara se tiene:

$$V_{\text{cámara}} = 54,27 \text{ m}^3$$

Al volumen se le añade un 7,5% adicional como un margen de seguridad por lo que el volumen total resulta:

$$V_{\text{total}} = 54,27 + 7.5\% = 58,34 \text{ m}^3$$

Dentro de la cámara séptica existen 2 compartimientos con capacidades iguales.

Volumen del compartimiento 1

$$V_{c1}=29,17 \text{ m}^3$$

Volumen del compartimiento 2

$$V_{c2}=29,17 \text{ m}^3$$

Tomando como referencia una altura de 1 m, se determina el área de las cámaras:

$$V_{\text{total}} = V_{c1} + V_{c2}$$

$$V_{c1} = \frac{1}{2} * V_{\text{total}} \quad V_{c1} = \frac{1}{2} * 58,34 \text{ m}^3$$

$$V_{c1} = 29,17 \text{ m}^3$$

$$V_{c2} = V_{c1} \quad V_{c2} = 29,17 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el volumen total de las cámaras:

$$V_{\text{total}} = 58,34 \text{ m}^3 = a * b * h$$

Donde:

a= ancho de la cámara

b= la longitud total de la cámara = 2a

h= la altura de la cámara que se toma como referencia 1 m de altura.

$$V_{\text{total}} = 58,34 \text{ m}^3 = a * 2a * h = 2 * a * h =$$

$$V_{\text{total}} = 2a^2 * h$$

Entonces:

$$2a^2 = V_{\text{total}} / h^2 = V_{\text{total}} / 2h^2$$

$$\sqrt{a^2} = \sqrt{(58,34 \text{ m}^3 / 2 * 1 \text{ m})}$$

$$a = 5,400 \text{ m}$$

Después la longitud de la cámara:

$$b = 58,34 \text{ m}^3 / 5,400 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$b = 10,80 \text{ m}$$

Una vez hecho el cálculo de la cámara se debe de aumentar a la altura promedio una media de 0,5m por la seguridad de la cámara así se evitan rebales dentro de ambos compartimientos: siendo la altura total de 1,5m

Cuadro III- 3: Dimensiones de la cámara de sedimentación compartimento 1

	DIMENSIÓN	UNIDAD
Volumen 1	29,17	m ³
Base 1	10,80	m
Altura 1	1,5	m
Ancho 1	5,400	m

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Cuadro III- 4: Dimensiones de la cámara de sedimentación compartimento 2

	DIMENSIÓN	UNIDAD
Volumen 2	29,17	m ³
Base 2	10,80	m
Altura 2	1,5	m
Ancho 2	5,400	m

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3.2 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE OXIGENACIÓN

La transferencia de oxígeno mediante la aireación, es una operación unitaria que juega un papel primordial en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. En un sistema de tratamiento de aguas residuales se requiere un suministro adecuado de oxígeno disuelto tal que sustente los procesos de oxidación microbiana que se están llevando a cabo en el mismo.

Un burbujeador es un aparato con el cual una corriente de gas, en forma de pequeñas burbujas, es introducida en un líquido. Si el diámetro del tanque es pequeño, el burbujeador, localizado en el fondo del tanque, puede ser un simple tubo abierto a través del cual el gas llegue hasta el líquido. Para tanques con diámetros mayores de aproximadamente 0.3 m, es mejor utilizar varios orificios para introducir el gas y asegurar una mejor distribución del mismo. En ese caso, los orificios pueden ser agujeros de 1.5 a 3 mm (1/16 a 1/4 in) de diámetro, hechos en una tubería de distribución colocada horizontalmente en el fondo del tanque. También pueden utilizarse platos porosos hechos de cerámica, plástico o metales sintetizados; sin embargo, debido a la fineza de sus poros, dichos platos se tapan con mayor facilidad con los sólidos que puedan estar presentes en el gas o en el líquido. El propósito del burbujeo puede ser poner en contacto el gas burbujeador con el líquido. (Treybal, 1988)

Por otra parte, el burbujeador puede ser simplemente un aparato para agitar. Puede proporcionar la agitación más suave, que se utiliza por ejemplo en el lavado de nitroglicerina con agua; puede proporcionar agitación vigorosa como en el tanque de Pachuca. (Treybal, 1988)

El rendimiento de estos equipos depende de los coeficientes y el área de transferencia de masa. Los parámetros se deben a la hidrodinámica predominante y los cambios en el comportamiento y las propiedades de las burbujas.

Los tanques de burbujeo son los equipos más utilizados, sobre todo en el tratamiento de aguas residuales, por su diseño sencillo y la economía de operación.

La transferencia de oxígeno tiene una aplicación muy importante en el tratamiento biológico de aguas residuales. En el cual se introduce oxígeno al medio en forma de burbujas para poder cubrir con la demanda. El transporte de oxígeno del gas hacia los microorganismos se lleva a cabo en cuatro etapas el oxígeno del gas hacia la interface gas-liquido, a lo largo de la interface, por el líquido, hacia el organismo.

Los tanques de burbujeo son provistos con difusores que introducen aire a través de la interfase, lo que debe tener a una velocidad para que mejoren la transferencia. En la columna de burbujeo el transporte se mejora con el aumento de velocidad de flujo de gas. La máxima velocidad de aireación, por lo general es menor a 0.1m/s, además de la velocidad de gas, influye la velocidad de circulación de líquido y las dimensiones de las dos zonas.

Además, la transferencia de oxígeno tiene una aplicación muy importante en el tratamiento biológico de aguas residuales. En el cual se introduce oxígeno al medio en forma de burbujas o se expone el líquido como gotitas a la atmosfera, para poder cubrir con la demanda. El transporte de oxígeno del gas hacia los microorganismos se lleva a cabo en cuatro etapas:

- 1) El oxígeno pasa a través del gas hacia la interfase gas-liquido.
- 2) A lo largo de la interfase.
- 3) Por el líquido.
- 4) Hacia el organismo.

Para determinar el tanque de burbujeo, nos basamos en la determinación de la autora Ingrid Mollo, que aplica la teoría de transferencia de oxígeno del siguiente concepto:

Para determinar la ecuación de transferencia de oxígeno se usan principalmente dos teorías. La primera esta consiste en el establecimiento de un gradiente de presión parcial de oxígeno en el interior de la burbuja de gas a causa de la presencia de la película gaseosa, y se conoce como teoría de las películas laminares. La presión parcial creada en la interfase p^* está en equilibrio con la concentración de oxígeno disuelto C^* . En el seno de líquido se establece un gradiente en la concentración del mismo debido a la película líquida. Se supone que el perfil de equilibrio es independiente del

tiempo (régimen estacionario) y el equilibrio entre p^* y C^* se tiene instantáneamente al entrar en contacto el gas y el líquido.

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

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

Debido a la dificultad para determinar el K_L y a separadamente, normalmente se utiliza su producto ($K_L * a$) para especificar la transferencia de masa gas-líquido y se denomina coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno. (Treybal, 1988)

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

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

Para el tanque de burbujeo se aplica la siguiente expresión:

$$K_L * a = \left[\left(0.6 \frac{D}{D_{TO}^2} \right) * S_C^{0,5} * B_O^{0,62} * G_a^{0,31} \right] * E_g^{1,1}$$

Dónde:

Los términos K_L y a resultan difíciles de medir de forma directa; lo normal es evaluarlo como $K_L * a$, denominándosele coeficiente de transferencia volumétrica.

$K_L * a$ = coeficiente de transferencia volumétrica s^{-1}

D = Difusividad del oxígeno en el agua = 2×10^{-5} cm^2/s (Geankoplis, 1998)

D_{TO} = Diámetro del tanque de oxigenación (experimental)

S_C = Número de Shmidt

B_O = Número de Bond

G_a = Número de Galilei

E_g = Coeficiente de retención de gas en la mezcla

Cálculo del Número de Bond Bo:

$$B_o = g * \rho * \frac{D_{TO}^2}{\tau}$$

Dónde:

g = Constante gravitacional = 980,665 cm/s²

ρ = Densidad del agua = 0,99823 gr/cm³

D_{TO} = Diámetro del tanque de oxigenación = 38 cm

τ = tensión superficial del agua = 72,8 g/s²

$$B_o = 980,665 \frac{cm}{s^2} * 0,99823 \text{ gr/cm}^3 * \frac{(38 \text{ cm})^2}{72,8 \text{ gr/s}^2}$$

$$B_o = 19471,22$$

Cálculo del Número de Galilei:

$$Ga = g * \frac{D_{TO}^3}{V_c^2}$$

Dónde:

g = Constante gravitacional = 980,665 cm/s²

D_{TO} = Diámetro del tanque de oxigenación = 38 cm

V_c = Viscosidad cinemática = 0,010004 cm²/s → μ / ρ_1

μ = Viscosidad dinámica = 0,009986293 g/cm*s

ρ_1 = Densidad del líquido = 0,99823 g/cm³

$$Ga = 980,665 \text{ cm/s}^2 * \frac{(38 \text{ cm})^3}{(0,10004 \text{ cm/s}^2)^3}$$

$$Ga = 5,3383 \times 10^9$$

Cálculo del Número de Schmidt

$$Sc = \frac{V_c}{D}$$

Dónde:

V_c = Viscosidad cinemática = 0,010004 cm²/s

D = Difusividad del oxígeno en el agua = 2×10^{-5} cm²/s

$$Sc = \frac{0,010004 \text{ cm}^2/\text{s}}{2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$Sc = 500,2$$

Cálculo de la Fracción de gas retenido en la mezcla Eg

$$Eg = \frac{H_1g - H_1}{H_1g}$$

Dónde:

H_1g = Altura de la mezcla gas-liquido = 47 cm (Experimental)

H_1 = Altura del líquido cuando no existe aireación = 42 cm (Experimental)

$$Eg = \frac{47 - 42}{47}$$

$$Eg = 0,1063$$

Cálculo del Coeficiente de transferencia volumétrica de oxígeno $K_L * a$

$$K_L * a = \left[\left(0,6 \frac{D}{D_{TO}^2} \right) * S_C^{0,5} * B_O^{0,62} * G_a^{0,31} \right] * E_g^{1,1}$$

Reemplazando los valores calculados...

$$K_L * a = \left[\left(0,6 \frac{2 \times 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}}{(38 \text{ cm})^2} \right) * 500,2^{0,5} * 19471,22^{0,62} * (5,3383 \times 10^9)^{0,31} \right] * 0,1063^{1,1}$$

$$K_L * a = 0,007469 \text{ s}^{-1}$$

Después de haber determinado el coeficiente de transferencia volumétrica de oxígeno, a nivel experimental, nos permite poder encontrar el valor de tiempo de absorción de oxígeno en el agua, es decir la velocidad con la que el oxígeno se absorbe en el agua, dada por la ecuación de velocidad de absorción:

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

Dónde:

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

C_s = Concentración saturada de oxígeno disuelto en el medio = mg /l

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

a = Superficie específica de intercambio = cm^2/cm^3

Integrando la anterior ecuación:

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

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

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

Reemplazando el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno calculado y los valores experimentales de oxígeno disuelto a la entrada y salida del tanque de oxigenación, tenemos la siguiente expresión con los datos siguientes:

$$C_L = 0,38 \text{ mg/l}$$

$$C_s = 2,21 \text{ mg/l}$$

$$K_L * a = 0,007469 \text{ s}^{-1}$$

$$\ln\left(1 - \frac{0,38 \text{ mg/l}}{2,21 \text{ mg/l}}\right) = -0,007469 \text{ s}^{-1} * t$$

$$t = \left(\frac{-0,1886}{-0,007469 \text{ s}^{-1}}\right)$$

$$t = 25,25 \text{ seg}$$

Una vez calculado el tiempo de burbujeo en las condiciones establecidas, se tiene que para alcanzar la cantidad requerida para garantizar un proceso aeróbico en el biofiltro (nivel mínimo del oxígeno en el agua 2,21 mg/l), el tiempo de burbujeo o de contacto del agua con el aire, es de 25 segundos.

Cálculo del Volumen en el Tanque de Oxigenación

V = Velocidad máxima de aireación reportada en laboratorio es de 0,1 m/s = 10 cm/s (0,1 m/s en cada manguera de las bombas)

$$h = 10 \text{ cm/s} * 25,25 \text{ s} = 252,5 \text{ cm}$$

La relación del tanque de oxigenación está definida por:

ALTO: ANCHO (diámetro)

4: 1

$$h = 4 * d$$

$$d = \frac{h}{4}$$

$$d = \frac{252,5 \text{ cm}}{4}$$

$$d = 63,13 \text{ cm}$$

Por tanto, el volumen del tanque de aireación estará sujeto al cálculo típico de volumen para un cilindro:

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

Dónde:

V = Volumen del tanque de aireación

r² = Radio del tanque de oxigenación

h = Altura del tanque de oxigenación

$$V = \pi * (31,56 \text{ cm})^2 * 252,5 \text{ cm}$$

$$V = 790105,789 \text{ cm}^3 \rightarrow 0,790 \text{ m}^3$$

Después de haber obtenido el volumen del tanque de oxigenación, se debe verificar si el mismo es aplicable al tratamiento de las aguas residuales de la Unidad Educativa de Yesera Norte, si el volumen calculado es menor al del tanque de oxigenación entonces el diseño es aplicable.

$$V_{Max} = Q_{Max} * t$$

Dónde:

Q_{Max} = Caudal máximo de diseño = 0,021 m³/s

t = Tiempo de burbujeo = 25,25 seg

$$V_{Max} = 0,021 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 25,25 \text{ s}$$

$$V_{Max} = 0,530 \text{ m}^3$$

$$V_{Max} < V_{TO}$$

Por lo que el diseño es aplicable en este caso.

3.4 DISEÑO DEL BIOFILTRO

La Norma NB688 define las pautas para el cálculo del caudal de diseño de las aguas residuales, que viene definido por la expresión:

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{máximo horario doméstico}} + Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{conexiones erradas}} + Q_{\text{descarga concentrada}}$$

Siendo:

$$Q_{\text{descarga concentrada}} = Q_{\text{industrial}} + Q_{\text{comercial}} + Q_{\text{institucional}}$$

Se realizó una estimación del número de alumnos según los datos estadísticos que brinda La Unidad Educativa de Yesera Norte donde en la actualidad cuenta con 202 personas entre alumnos y plantel docente así como administrativo, de ahí se puede definir el siguiente cuadro para el cálculo de la población futura:

Cuadro III- 5: Crecimiento estudiantil en los últimos 20 años-Unidad Educativa Yesera Norte

AÑO	ALUMNOS	PLANTEL DOCENTE Y ADMINISTRATIVO	TOTAL
2002	80	18	98
2007	105	18	123
2012	138	21	159
2017	158	21	179
2022	181	21	202

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De los valores encontrados en la tabla se realiza una proyección futura de la población estudiantil en la Unidad Educativa Yesera Norte para los posteriores 10 años, que se estima será la vida útil del biofiltro a diseñar.

La metodología sugerida para la estimación de la población para el periodo de diseño se basa en los métodos de evaluación adoptados por el Reglamento Técnico del Sector

De Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Los métodos que se utilizan a continuación para las proyecciones son los siguientes:

Método Geométrico:

$$r = \left(\frac{P_{act}}{P_{ant}} \right)^{1/n} - 1$$

$$r_1 = \left(\frac{123}{98} \right)^{1/(2007-2002)} - 1 = 0,046$$

$$r_3 = \left(\frac{179}{159} \right)^{1/(2012-2017)} - 1 = 0,024$$

$$r_2 = \left(\frac{159}{123} \right)^{1/(2012-2007)} - 1 = 0,053$$

$$r_4 = \left(\frac{202}{179} \right)^{1/(2017-2022)} - 1 = 0,024$$

Para promedio

$$r_p = [(r_1) + (r_2) + (r_3) + (r_4)]/4$$

$$r_p = (0,014 + 0,019 + 0,023 + 0,0078)/4 = 0,0367$$

Para la población final para 10 años:

$$P_f = P_a * (1 + r)^t$$

$$P_f = 202 * (1 + 0,0367)^{10} = 289,65 \approx 290 \text{ estudiantes}$$

Método Aritmético:

$$r = \frac{P_{act} - P_{ant}}{t_{act} - t_{ant}}$$

$$r_1 = \frac{123-98}{2007-2002} = 5$$

$$r_2 = \frac{179-159}{2017-2012} = 4$$

$$r_3 = \frac{159-123}{2012-2007} = 7,2$$

$$r_4 = \frac{202-179}{2022-2017} = 4,6$$

Para promedio

$$r_p = [(r_1) + (r_2) + (r_3) + (r_4)]/4$$

$$r_p = [5 + 7,2 + 4 + 4,6]/4=5,2$$

Para la población final para 10 años:

$$P_f = P_a + r * t$$

$$P_f = 202 + 5,2 * 10 = 254 \text{ Aprox. } 260 \text{ estudiantes}$$

Método de Interés Simple

$$r_1 = \frac{P_{act} - P_{ant}}{P_{ant} * (t_{act} - t_{ant})}$$

$$r_1 = \frac{123-98}{98*(2007-2002)} = 0,051$$

$$r_2 = \frac{179-159}{159*(2017-2012)} = 0,025$$

$$r_3 = \frac{159-123}{123*(2012-2007)} = 0,058$$

$$r_4 = \frac{202-179}{179*(2022-2017)} = 0,026$$

Para promedio

$$r_p = [(r_1) + (r_2) + (r_3) + (r_4)]/4$$

$$r_p = [0,051 + 0,058 + 0,025 + 0,026]/4=0,0397$$

Para la población final para 10 años:

$$P_f = P_a * (1 + r * t)$$

$$P_f = 202 * (1 + 0,0397 * 10) = 282,3 \text{ Aprox. } 290 \text{ estudiantes}$$

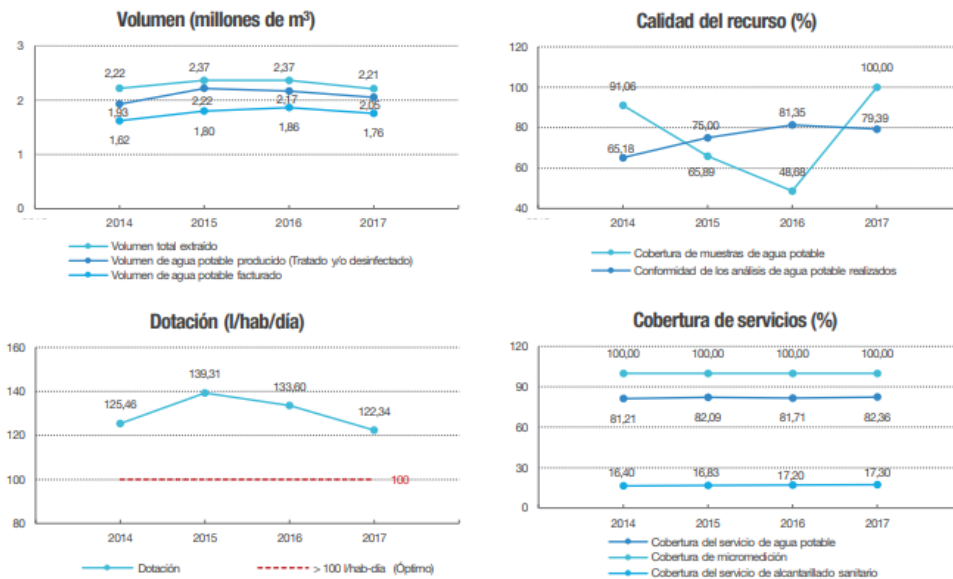
Para el cálculo de la población final se saca un promedio:

$$P_f = \frac{290+282}{2} = 286 \text{ estudiantes}$$

Por lo que se considera una población estudiantil estimada de **300 estudiantes**.

Para la dotación Cosaalt provee de 140 litros habitantes día área urbana

Figura 3- 4: Gráficos técnicos y económicos COSAALT LTDA.



Fuente: Cosaalt LTDA, 2022.

Según el siguiente cuadro según NB689 en poblaciones rurales menores a 500 habitantes la dotación debe estar de entre sus 50 – 70 litros /habitante*día

Cuadro III- 6: Dotaciones de abastecimiento (l/hab.d) Norma Boliviana 689

ZONA	POBLACIÓN (HABITANTES)					
	<500	501-2000	2001-5.000	5001-20000	20001-100000	>100000
Altiplano	30-50	30-70	50-80	80-100	100-150	125-200
Valles	50-70	70-100	70-100	100-140	150-200	200-250
Llanos	70-90	90-120	90-120	120-180	200-250	250-350
	1			2		
1) Justificado a través de un estudio social.						
2) Justificado a través de un estudio social y económico.						

Fuente: Norma Boliviana 689, 2004.

Cálculo del Caudal

$$Q = C * Dot * P$$

$C = 0,6-0,8$ (Coeficiente de retorno esta entre este rango)

$$Dot = \text{Dotación} = 70 \frac{l}{hab.dia}$$

$P = \text{Población}$

$$Q_{md} = 0,8 * 70 \frac{l}{hab.dia} * 300hab = 16800 \frac{l}{dia} = 16,8 m^3/dia$$

Como solo se va tomar en cuenta la actividad que se realiza en el Colegio de Yesera:

$$Q_{descarga\ concentrada} = 0$$

$$Q_{conexiones\ erradas} = 0$$

Pero si se toma en cuenta el caudal de infiltración:

$$Q_{\text{infiltración}} = q_{\text{inf}} * \text{Red}$$

$$Q_{\text{infiltración}} = 0,00015 \text{ l/s/m} * 100 \text{ m} = 0,015 \text{ l/s} = 1,29 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{máximo horario doméstico}} + Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{conexiones erradas}} + Q_{\text{descarga concentrada}}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 16,8 + 1,29 = 18,09 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para el cálculo del volumen del biofiltro:

Volumen vacío del lecho V_v

$$Q = V/t$$

$$V_v = Q * t = 18,09 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 3 \text{ día} = 54,27 \text{ m}^3$$

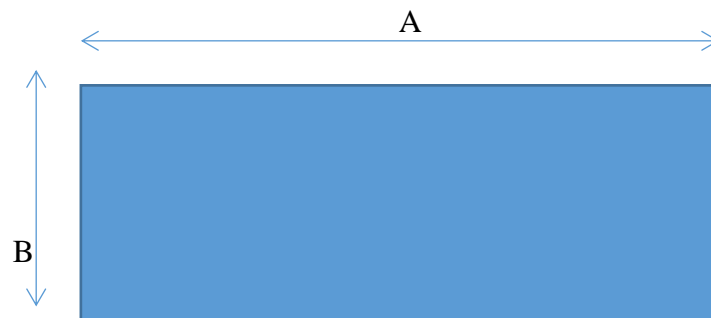
Volumen del lecho con relleno V_T

$$V_T = V_v / X$$

$$V_T = 54,27 \text{ m}^3 / 0,47$$

$$V_T = 38,48 \text{ m}^3$$

Para el dimensionamiento del biofiltro se tiene:



Se tiene los datos de dimensionamiento de la siguiente manera:

Cuadro III- 7: Dimensionamiento del biofiltro

DISEÑO DEL BIOFILTRO				
CAUDAL	18,09	m ³ /día	0,76968	m ³ /H
EFICIENCIA	99,8	%		
TIEMPO DE RETENCION	3	día		
VOLUMEN	54,27	m ³		
PROPORCIONANDO ALTURA	2	m		
ÁREA SUPERFICIAL	27,14	m ²		
DIMENSIONES				
ANCHO	3,00	m		
LARGO	9,02	m		
PROPORCIONANDO DEFLECTORES A CADA 60cm				
NUMERO DE DEFLECTORES	15,04			

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Donde el largo del biofiltro es $A=9,02$ metros

Y el ancho del biofiltro es $B= 3$ metros

Cálculo de número de deflectores:

Los deflectores cumplen la función dentro del biofiltro de aumentar el tiempo de retención de las aguas residuales que pasan a través del biofiltro, permiten una distribución más fluida de las aguas residuales y acelerando la degradación de los contaminantes.

Para lo cual se calcula con los modelos de flujo pistón es aquel reactor que trabaja en estado estacionario y en donde la composición del fluido varía de un punto a otro a través de la dirección del flujo de dicho fluido. Para ello, se supone un flujo ideal de pistón, de modo, que la conversión sea función de la posición.

Por lo que se determina el número de deflectores en base al volumen del reactor:

Observaciones de diseño realizadas por la Ing. Estela Sullca en su proyecto de grado menciona:

Largo: ancho: alto 2: 1: 0.5

Ancho biofiltro: espaciado 4:1

Se emplea una relación de ancho deflector: espaciado entre deflectores que está dada por:

Ancho del Biofiltro: espaciado entre deflectores: 4:1 (4 /1)

Luego:

a_d = espacio entre deflectores

a_b = ancho del biofiltro

a_b = 3 m

$$\frac{4}{1} = \frac{3 \text{ m}}{a_d}$$

De ahí resulta el espacio entre deflectores

a_d = 0,75m

Ahí se adicionan 0,05m del espesor de la pared el deflector

a_d = 0,75m+0,05m=0,8m

Luego el cálculo del número de deflectores:

N_d = Número de deflectores

l_b = largo del biofiltro

$N_d = l_b / a_d = 9,02/0,6 = 15,03$

Por lo tanto el número de reflectores es de 15.

Cálculo del largo de los deflectores:

Para garantizar un adecuado escurrimiento del fluido y evitar la zonas y espacios muertos, Jairo Alberto Romero Rojas en su libro “Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y principios de Diseño”, recomienda que el largo de los deflectores sea entre el 70 y 80% del ancho del biofiltro para garantizar una adecuada circulación del fluido al interior del biofiltro, por lo que para el trabajo se asume que el largo del deflector será de un 75% del ancho del biofiltro.

El largo de los deflectores está dado por:

$$l_d = 0,75 * a_b$$

$$l_d = 0,75 * 3 \text{ m}$$

$$l_d = 2,25 \text{ m}$$

De modo según el resultado va a quedar un espacio aproximado de 0,75m por donde va a fluir las aguas residuales a lo largo de los 15 deflectores del biofiltro permitiendo así el tiempo de retención, para que se degraden la materia orgánica.

Calculo de la velocidad del flujo:

Para calcular la velocidad de flujo a la cual va a circular el agua residual a través del biofiltro primero se calcula el área del biofiltro.

$$A_b = \text{Área del biofiltro}$$

$$l_b = \text{largo del biofiltro}$$

$$a_b = \text{ancho del biofiltro}$$

$$A_b = 3 * 9,02 = 27,06 \text{ m}^2$$

Luego la velocidad de flujo

$$V_{\text{flujo}} = Q / A_b$$

$$V_{\text{flujo}} = 18,09 \text{ (m}^3/\text{día)} / 27,06 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{flujo}} = 0,67 \text{ m/día}$$

Cuadro III- 8: Dimensionamiento final del Biofiltro para la “Unidad Educativa de Yesera Norte”

	DIMENSIÓN	UNIDADES	SÍMBOLO
Caudal	18,09	m ³ /día	Q
Volumen total del biofiltro	54,27	m ³	V _T
Ancho del biofiltro	3,00	m	a _b
Largo del biofiltro	9,02	m	l _b
Altura del biofiltro	2	m	h
Espacio entre deflectores	0,60	m	a _d
Largo de deflectores	2,25	m	l _d
Numero de deflectores	15	-	N _d
Velocidad del fluido	0,67	m/día	V _{flujo}

Fuente: Elaboración propia, 2022.

CAPÍTULO IV

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD EDUCATIVA DE YESERA NORTE

Los resultados obtenidos de manera experimental de cada uno de los parámetros físicos químicos y microbiológicos utilizados en la caracterización del agua residual de la Unidad Educativa de Yesera Norte, se encuentran detallados en los diferentes cuadros a continuación de forma individual se detallan datos de los componentes de las aguas residuales. La misma que para ser utilizada en la agricultura se sometió a un tratamiento a través de un biofiltro con relleno de poliestireno en donde como resultado se obtiene la disminución de las concentraciones hasta llegar a niveles aceptables de las características físico químicas y microbiológicas que debe tener un agua de riego agrícola.

Para analizar la información obtenida de los estudios fisicoquímicos y microbiológicos en el agua, se compararon los resultados con criterios de calidad del agua para riego agrícola según la FAO.

4.1.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA DBO₅

Cuadro IV- 1: Resultados de análisis de la DBO₅

REMOCIÓN DE LA DBO ₅	
X (DÍAS)	Y DBO ₅ mg/l
0	45,01
15	36,63
30	13,02
45	12,14
60	11,76

Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2022.

Según lo observado en el cuadro IV-1, se logra apreciar la disminución del parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (cantidad de oxígeno consumida por la materia orgánica en el agua en un periodo de 5 días a 20°C), con respecto al valor inicial del agua residual.

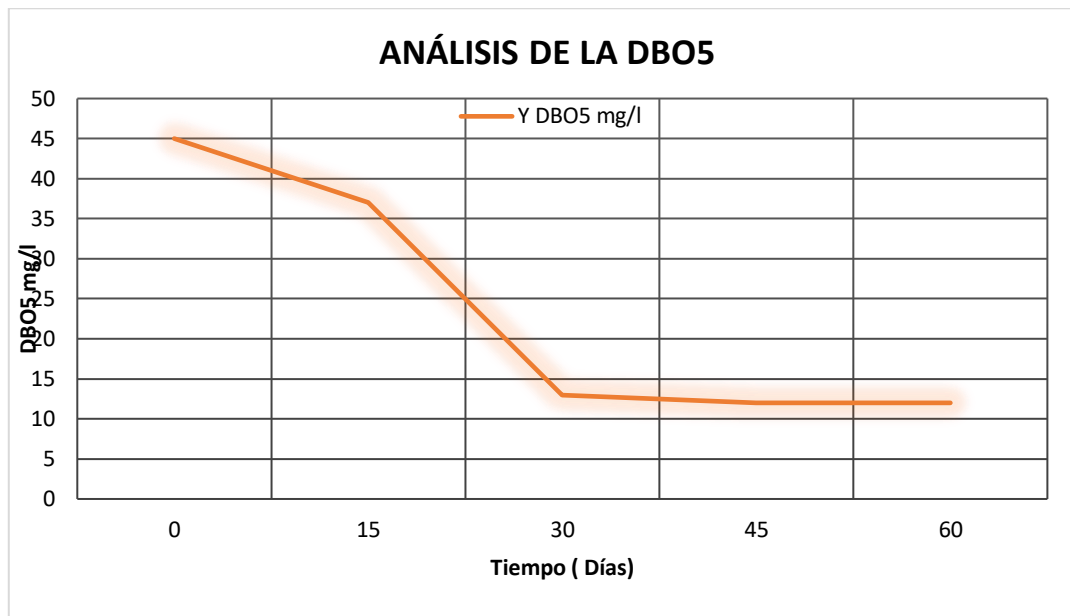
Siendo el valor considerable, esta reducción se debe a la degradación de la materia orgánica por la acción de los microorganismos y a la aplicación de oxígeno dentro del tanque de oxigenación, lo cual favorece significativamente para que los microorganismos degraden la materia orgánica. Iniciando a casi 40 mg/l la remoción llega hasta 12 mg/l.

Es fundamental controlar regularmente la DBO_5 a la salida del efluente para saber qué cantidad sale del biofiltro, y como se observa en los resultados se puede afirmar que se encuentra dentro de los parámetros permitidos <20 mg/l, que califican para ser agua apta para riego agrícola.

Cabe remarcar que el equipo inició con unos 20 días su acondicionamiento para la formación de la película microbiana en las partículas de plastoformo, dentro del biofiltro. Posterior a esto siguen los 60 días de operación, pudiéndose ver en los resultados una disminución en cada etapa dentro del tiempo de investigación.

Esta importancia es esencial para el desarrollo de la vida vegetal, ya que a mayor cantidad de materia orgánica biodegradable vertida a un cuerpo de agua, va a ser mayor la necesidad de oxígeno para su descomposición y estabilización y por tanto se producirá una disminución en el oxígeno disuelto siendo esto perjudicial para los cultivos a los que sería destinada el uso de estas aguas.

Figura 4- 1: Variación de la DBO₅ después del tratamiento con el biofiltro



Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.1.2 REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES DBO₅

Cuadro IV- 2: Remoción de la DBO₅ a la salida del biofiltro

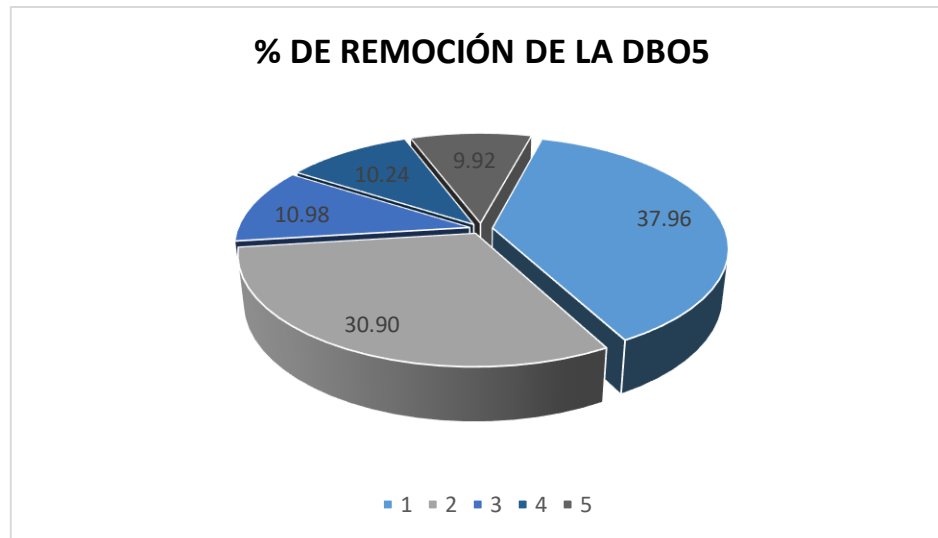
REMOCIÓN DE LA DBO ₅	
X (DÍAS)	Y DBO ₅ mg/l
0	37,96
15	30,90
30	10,98
45	10,24
60	9,92

Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2021.

De acuerdo al cuadro IV-2 de remoción de la demanda bioquímica del oxígeno de las aguas residuales a los 63 días de la fase experimental, esta reduce a 11,76mg/l, por lo que ya se remueve hasta quedar un 10,52 % de DBO₅ de la muestra inicial. Lo que determina que el agua es apta para poder reutilizarla en riego agrícola ya que se

encuentra dentro de los parámetros permitidos según la FAO-La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Figura 4- 2: Remoción de la DBO₅ a la salida del biofiltro



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Cálculo de la eficiencia:

$$\%E = \frac{C_{iDBO_5} - C_{fDBO_5}}{C_{iDBO_5}} * 100\%$$

$$\%E = \frac{39,95 - 12,14}{39,95} * 100\%$$

Para la DBO₅ se calcula una eficiencia de 69,61%.

Cuadro IV- 3: Cinética del comportamiento de la DBO₅

CINETICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO₅			
t0	t (días)	Y DBO5 mg/l	$-\gamma_A = \frac{dC_{DBO5}}{dt}$
t1	0	45,01	74,8332033
t2	15	36,63	60,900694
t3	30	13,02	21,6469297
t4	45	12,14	20,18385
t5	60	11,76	19,5520656

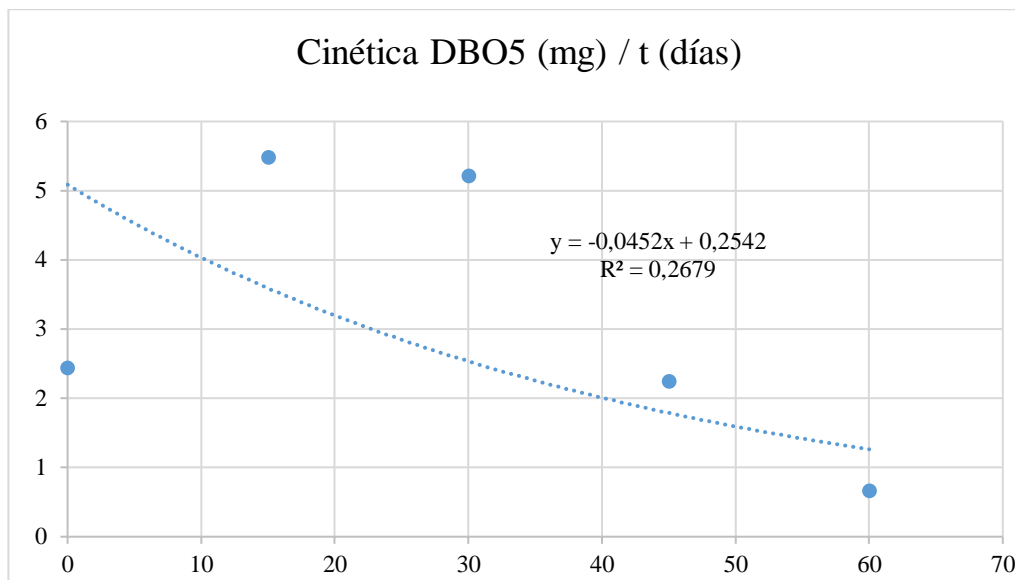
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ecuación cinética:

$$\gamma_A = 1,2894 C_{DBO5}^{0,2542}$$

El agua residual de la Unidad Educativa de Yesera Norte, presenta como resultado los valores finales entre 12 y 11 mg/l que representa la concentración de la materia orgánica e inorgánica degradable biológicamente, estos valores de remoción son aceptables dentro de los parámetros de calidad de agua para riego agrícola, que debe de ser <20 mg/l, siendo el tratamiento de las aguas residuales viable para reutilizarse en la agricultura.

La velocidad cinética de degradación de la DBO₅, nos muestra un decrecimiento marcado en las aguas residuales que tiende a estabilizarse entre los 40 a 60 días de experimentación, lo cual es favorable para lograr el objetivo propuesto.

Figura 4- 3: Cinética de la a DBO₅ con el tiempo

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.1.3 ANÁLISIS DE LA DQO

Cuadro IV- 4: Análisis de la DQO

ANÁLISIS DE LA DQO (mg/l)	
X (DÍAS)	Y DQO mg/l
0	89
15	74
30	28
45	23
60	21

Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2022.

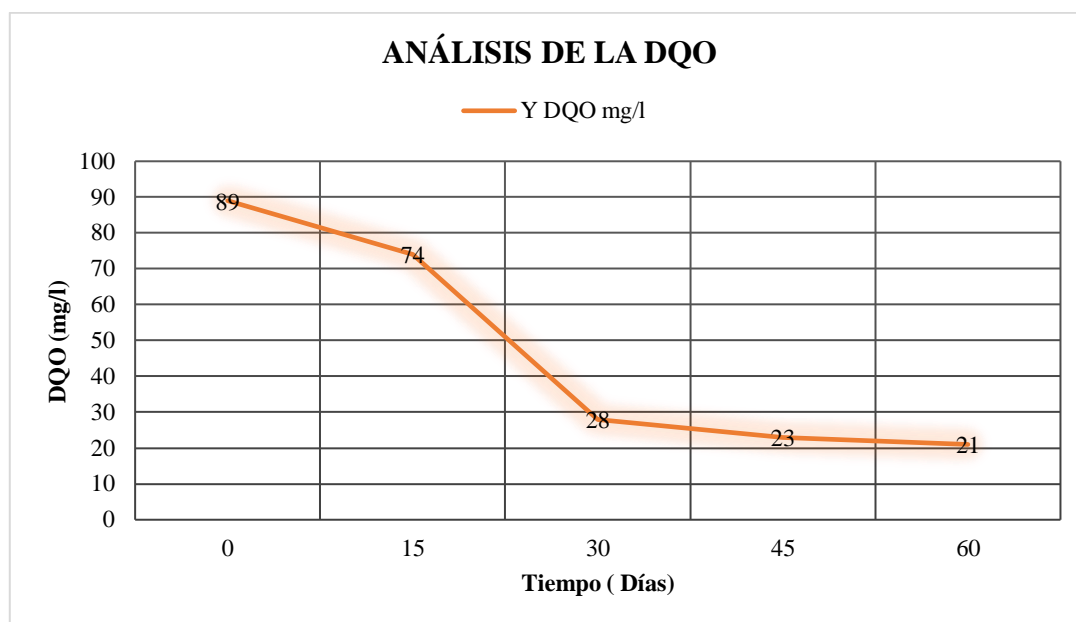
Según lo observado en el Cuadro IV-4 se ve que los valores finales disminuyen al inicial. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar a la materia orgánica presente en las aguas residuales. La DQO es sin duda el parámetro más importante para conocer la concentración de los contaminantes presentes en aguas residuales, en la muestra del agua residual el valor de la DBO indica la materia orgánica degradada biológicamente, y en la DQO todos

los compuestos presentes en la reacción se oxidan, el valor de la DQO será mayor que el de la DBO.

Solo en los desechos donde la materia orgánica es oxidada en las reacciones de la DBO y la DQO y conociendo el grado de estabilización del desecho, puede establecerse una relación confiable DBO/DQO.

Mostrándose esto claramente en el Cuadro IV-4, donde los valores de la DQO son mucho más altos con respecto a la DBO₅, los valores finales se mantienen por debajo de los 28 mg/l.

Figura 4- 4: Análisis de la DQO



Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.1.4 REMOCIÓN DE LA DQO

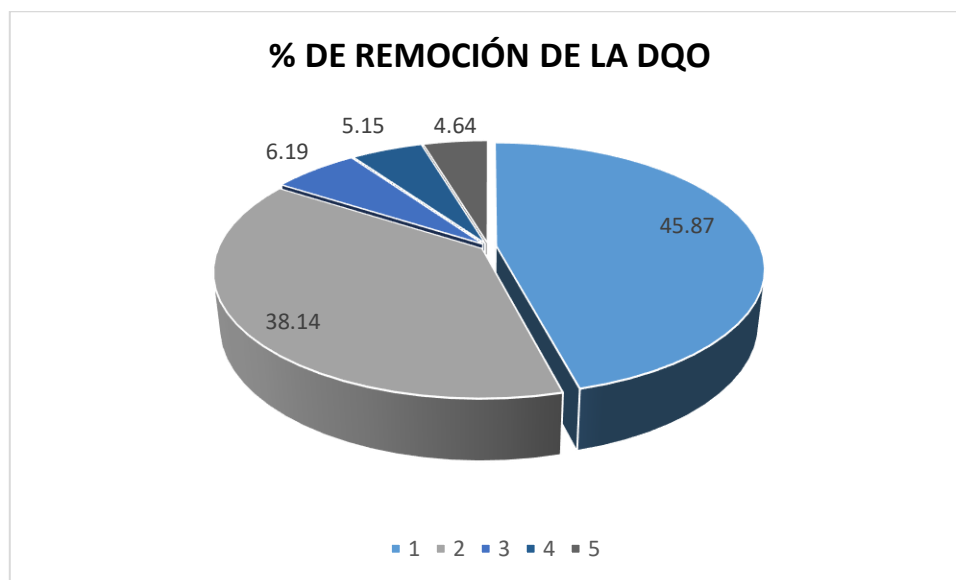
Cuadro IV- 5: Remoción de la DQO a la salida del biofiltro

ANÁLISIS DE LA DQO (mg/l)	
X (DÍAS)	Y DQO mg/l
0	45,87
15	38,14
30	6,19
45	5,15
60	4,64

Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2021.

De acuerdo a el cuadro IV-5 de remoción de la demanda química del oxígeno a los 63 días de la fase experimental, ésta reduce a 11,29mg/l, por lo que ya se remueve hasta quedar un 37,78 % de DBO₅ de la muestra inicial. Lo que determina que el agua es apta para poder reutilizar para riego agrícola ya que se encuentra dentro de los parámetros permitidos según la FAO.

Figura 4- 5: Remoción de la DQO a la salida del biofiltro



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Calculo de la eficiencia:

$$\%E = \frac{C_{iDQO} - C_{fDQO}}{C_{iDQO}} * 100\%$$

Para la DQO se calcula una eficiencia de 67,1%

Cuadro IV- 6: Cinética del comportamiento de la DQO

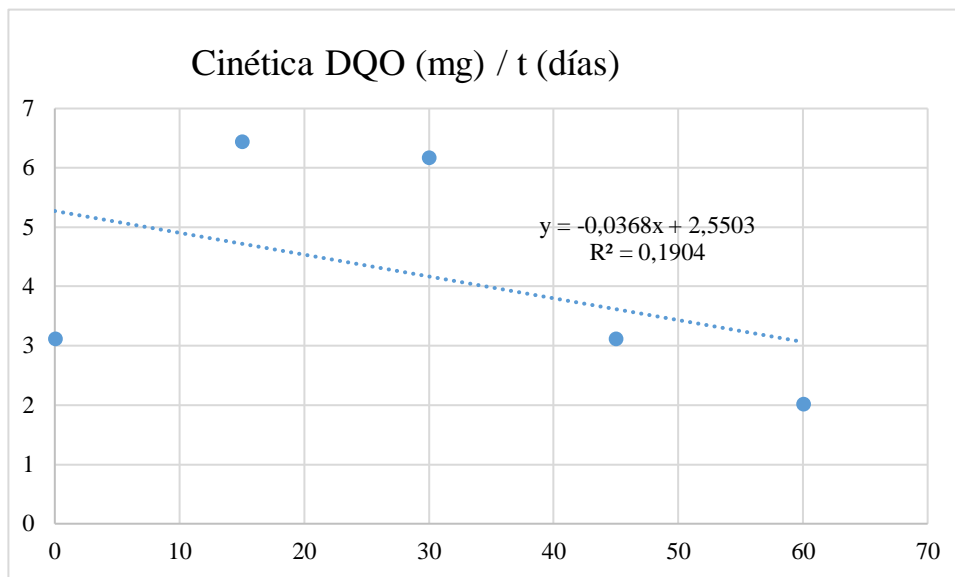
CINÉTICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA DQO			
t0	t (DÍAS)	Y DQO mg/l	$-\gamma_A = \frac{dC_{DQO}}{dt}$
t1	0	89,05	321128,9419
t2	15	73,62	265485,8249
t3	30	27,69	99854,69289
t4	45	23	82941,78175
t5	60	21,24	76594,93236

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ecuación cinética:

$$\gamma_A = 60,0513 C_{DQO}^{4,0952}$$

Figura 4- 6: Cinética de la DQO con el tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

En el cuadro IV-6, se puede observar las cinéticas de crecimiento y de degradación de la carga orgánica (DQO). Se puede observar una evidente reducción de la DQO y el aumento de biomasa. Para las cinéticas de degradación, es evidente la reducción de la DQO, en primera instancia se observa un crecimiento exponencial que es el tiempo de estabilización donde es una etapa de adaptación y crecimiento microbiano de las aguas residuales dentro del biofiltro para posteriormente una disminución para la DQO donde se ve la curva de degradación y la tendencia que es a disminuir a 21 mg/l.

4.1.5 ANÁLISIS DE LOS COLIFORMES TOTALES

Cuadro IV- 7: Análisis de los Coliformes Totales

ANÁLISIS DE LOS COLIFORMES TOTALES	
X (DÍAS)	Y CT NMP/100ml
0	1800000
15	105
30	110
45	98
60	10

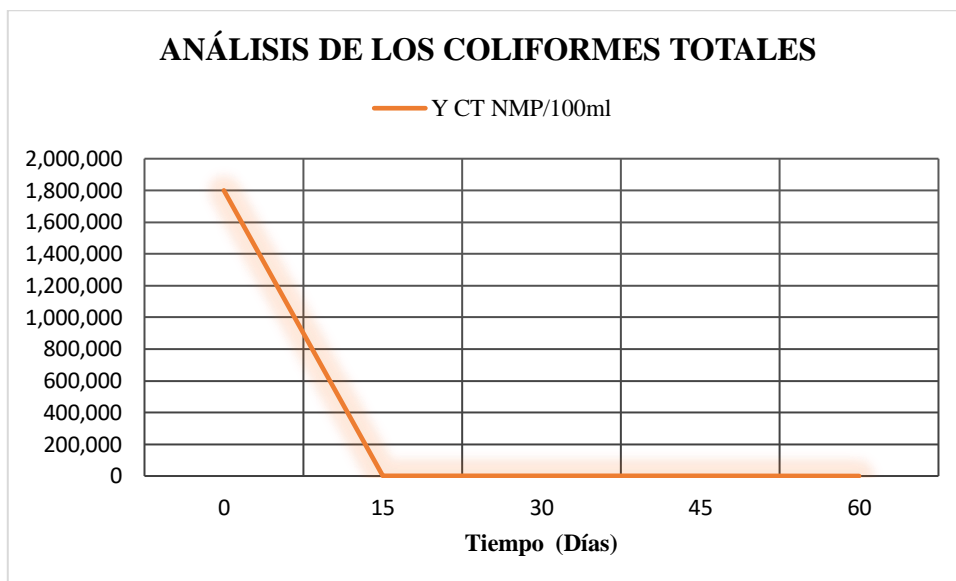
Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2021.

Según lo observado en la figura se ve que los valores finales disminuyen al inicial.

Se determina una clara disminución del valor inicial de Coliformes totales (CT) de 1800000 NMP/100ml, a 10 NMP/100ml.

La calidad bacteriológica de las aguas es un aspecto fundamental a la hora de evaluar el posible uso de la misma. Los organismos patógenos, causantes de enfermedades y transmitidos por el agua son bastante difíciles de determinar, pues los mismos se encuentran en concentraciones relativamente bajas en las aguas, de aquí que se decidiera utilizar a organismos indicadores de contaminación fecal, como una vía para conocer la calidad sanitaria de un agua.

Los indicadores bacteriológicos de contaminación son organismos de un grupo específico, los que por su sola presencia denotan que ha ocurrido contaminación. Muchas veces estos indicadores sugieren la procedencia de tal contaminación, por ejemplo de aguas residuales domésticas e industriales y aguas residuales agrícola-ganaderas.

Figura 4- 7: Análisis de los Coliformes Totales

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.1.6 REMOCIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES

Cuadro IV- 8: Remoción de los Coliformes Totales a la salida del biofiltro

ANÁLISIS DE LOS COLIFORMES TOTALES	
X (DÍAS)	Y CT NMP/100ml
0	99,98
15	0,0058
30	0,0061
45	0,0054
60	0,001

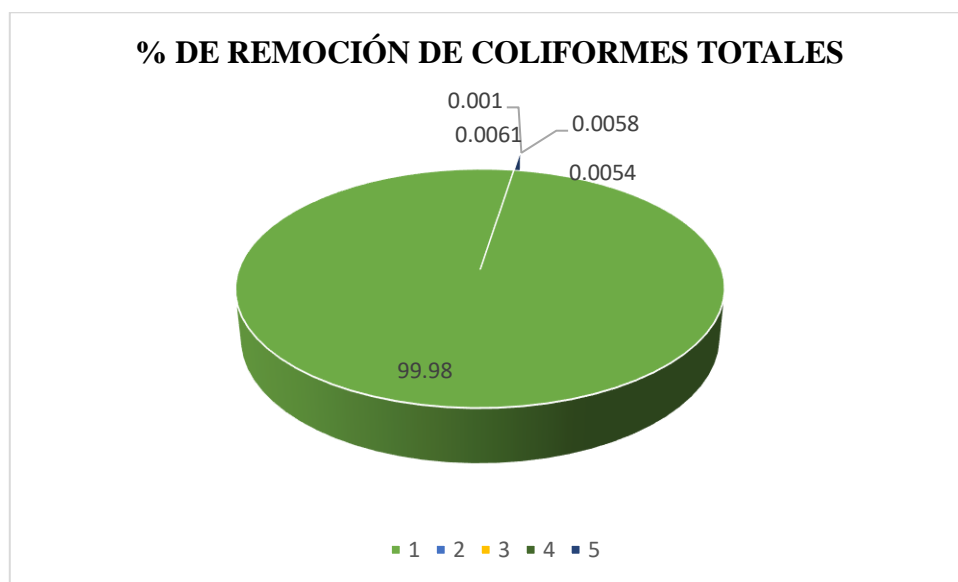
Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2021.

Existen microorganismos patógenos que pueden transmitirse a huéspedes nuevos por vías indirectas. Los que abandonan el cuerpo con las excreciones pueden llegar a los alimentos o al agua, incluso multiplicarse y tiene asegurado el paso a las vías digestivas de otro huésped. Como la boca es la única puerta de entrada de estos organismos, el

hecho desagradable, pero inevitable, es que una causa de enfermedad intestinal es la consecuencia directa de algún error de tipo sanitario o de higiene personal.

De acuerdo a la figura de remoción de los Coliformes totales se puede observar que a la salida del biofiltro a los 63 días de la fase experimental, existe una mínima parte a 0.001 CT NMP/100ml, por lo que ya se remueve un 99,98 % de los Coliformes totales de la muestra inicial. Lo que determina que el agua es apta para poder reutilizar para riego agrícola ya que se encuentra dentro de los parámetros permitidos según la FAO.

Figura 4- 8: Remoción de los Coliformes Totales a la salida del biofiltro



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Calculo de la eficiencia:

$$\%E = \frac{C_{iCT} - C_{fCT}}{C_{iCT}} * 100\%$$

Para la CT se calcula una eficiencia de 99,99%

Cuadro IV- 9: Cinética del comportamiento de los Coliformes totales

CINETICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COLIFORMES TOTALES			
t_0	t (DÍAS)	Y COLIFORMES TOTALES NMP	$-Y_A = \frac{dC_{DQO}}{dt}$
t1	0	1800000	8286530671
t2	15	105	483380,956
t3	30	11	50639,9097
t4	45	98	451155,559
t5	60	10	46036,2815

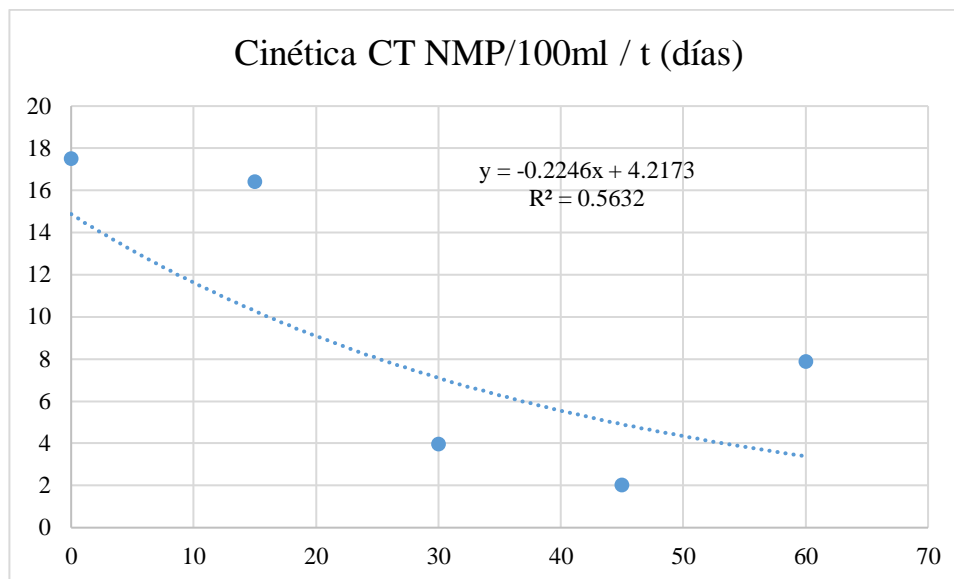
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ecuación cinética:

$$Y_A = 67,85 C_{TOTALS}^{4,2173}$$

Se observa en la figura 4-9, la cinética de degradación de los Coliformes totales de acuerdo al tiempo que se trabajó con el biofiltro.

Figura 4- 9: Cinética de los Coliformes totales con el tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El resultado obtenido de este parámetro indica una concentración promedio en el orden de $1,8 \times 10^6$ número más probable de Coliformes totales en un volumen de 100ml de muestra lo cual se expone en el cuadro

La dinámica de los Coliformes totales durante el periodo de caracterización que tiende a ser constante, se puede observar en la figura que demuestra que el agua residual de la Unidad Educativa de Yesera Norte, al ser sometida a un tratamiento como el que se proyecta se puede alcanzar una remoción de hasta un 99% y que puede el efluente resultante del tratamiento podrá disponerse para riego agrícola.

4.1.7 ANÁLISIS DE LOS COLIFORMES FECALES

Cuadro IV- 10: Análisis de los Coliformes Fecales

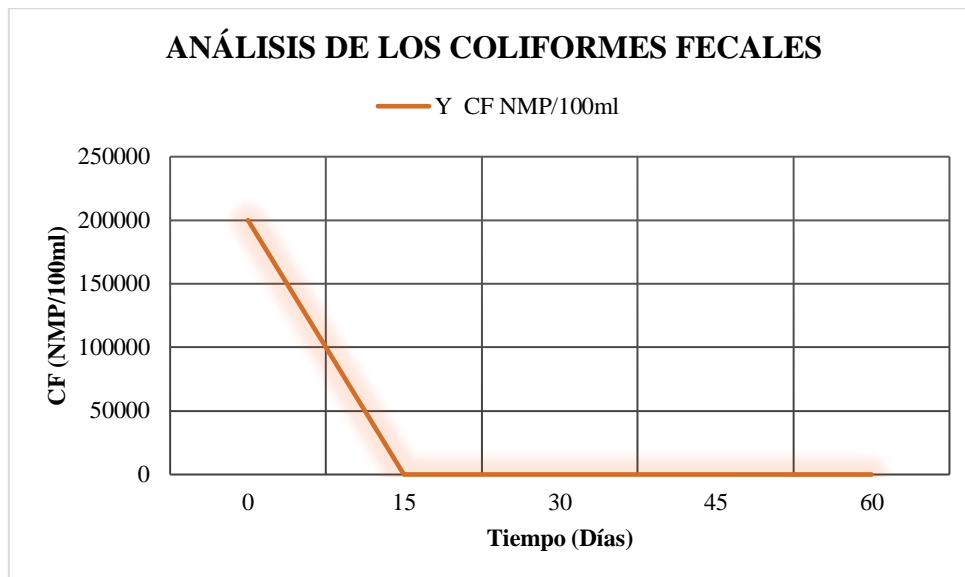
ANÁLISIS DE LOS COLIFORMES FECALES	
X (DÍAS)	Y CF NMP/100ml
0	200000
15	15
30	4
45	10
60	2

Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2021.

Según lo observado en la figura se ve que los valores finales disminuyen al inicial. Los Coliformes fecales (CF).

De acuerdo a la figura de remoción de los Coliformes fecales se puede observar que a la salida del biofiltro a los 63 días de la fase experimental, existe una mínima parte a 2 CT NMP/100ml.

Lo que determina que el agua es apta para poder reutilizar para riego agrícola ya que se encuentra dentro de los parámetros permitidos según la FAO.

Figura 4- 10: Análisis de los Coliformes Fecales

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.1.8 REMOCIÓN DE LOS COLIFORMES FECALES

Cuadro IV- 11: Remoción de los Coliformes Fecales a la salida del biofiltro

ANÁLISIS DE LOS COLIFORMES FECALES	
X (DÍAS)	Y CF NMP/100ml
0	99,98
15	0,0075
30	0,002
45	0,005
60	0,001

Fuente: Laboratorio de Aguas, suelos, Alimentos y Monitoreo Ambiental, 2021.

Los Coliformes fecales y Escherichia Coli son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían

representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos.

De acuerdo a la figura de remoción de los Coliformes fecales se puede observar que a la salida del biofiltro a los 63 días de la fase experimental, existe una mínima parte a 0,001 CF NMP/100ml, por lo que ya se remueve un 99,98 % de los Coliformes Fecales de la muestra inicial. Lo que determina que el agua es apta para poder reutilizar para riego agrícola ya que se encuentra dentro de los parámetros permitidos según la FAO.

Figura 4- 11: Remoción de los Coliformes Fecales a la salida del biofiltro



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Calculo de la eficiencia:

$$\%E = \frac{C_{iCF} - C_{fCF}}{C_{iCF}} * 100\%$$

Para la CF se calcula una eficiencia de 99,99%

Cuadro IV- 12: Cinética del comportamiento de los Coliformes Fecales

CINETICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COLIFORMES FECALES			
t0	t (DÍAS)	Y COLIFORMES FECALES NMP	$-Y_A = \frac{dC_{DQO}}{dt}$
t1	0	200000	2725377113
t2	15	15	105150,738
t3	30	4	54507,5423
t4	45	10	136268,856
t5	60	2	27253,7711

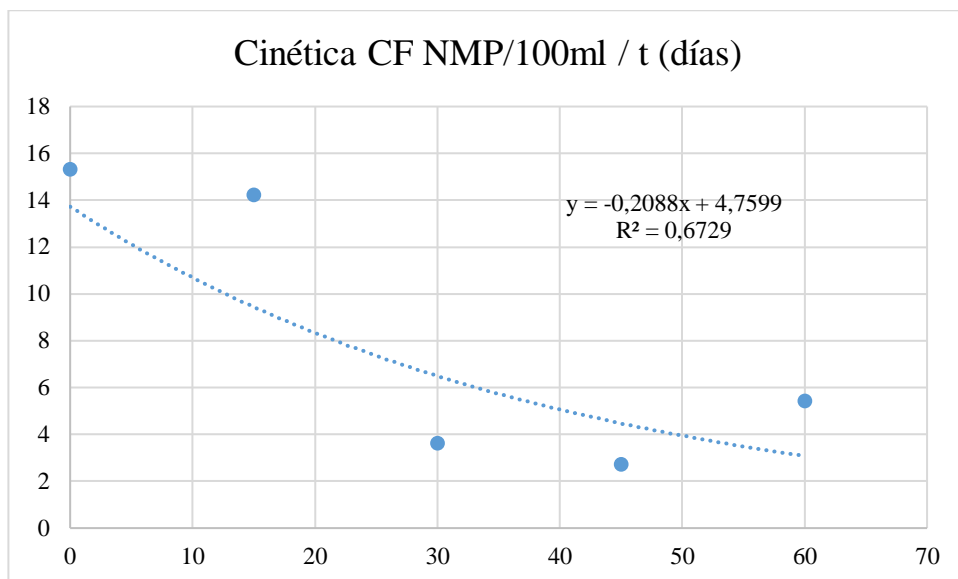
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ecuación cinética:

$$Y_A = 116,73 C_{FECALES}^{4,7599}$$

La cinética de velocidad de los Coliformes fecales es muy importante ya que muestra valores positivos de una remoción aceptable dentro de los parámetros que permiten reutilizar el agua para riego agrícola según la FAO.

De valores de 2×10^5 se llega a una disminución de hasta 2 NMP por 100 ml de muestra.

Figura 4- 12: Cinética de velocidad de Coliformes fecales con el tiempo

Fuente: Elaboración propia, 2022.

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las pruebas experimentales desarrolladas en la caracterización del agua residual de la Unidad Educativa de Yesera Norte, resultaron adecuadas para obtener la información necesaria al propósito de desarrollar un sistema de tratamiento para la comunidad, la cual nos ayudó a determinar el grado de tratamiento adecuado que se le deberá dar a las aguas residuales de la unidad educativa, para reusarla como agua de riego agrícola promoviendo de esta manera el incremento en el rendimiento de los cultivos en la zona de Yesera Norte. Dando un ejemplo para que el mismo se promueva y sea copiado en otras comunidades.

De esta manera se establece las siguientes conclusiones:

1. El agua residual tratada es un agua residual cruda proveniente de usos domésticos más propiamente de los sanitarios de la Unidad Educativa de Yesera Norte, esta agua residual corresponde según los análisis realizados a una Clase D, según la Ley 1333 catalogando como agua de calidad mínima, por lo que después del tratamiento previo a través del biofiltro experimental se puede concluir que pasa a ser un agua de Clase B lo que permite ser un agua apta para riego agrícola, ya que se encuentra dentro de los parámetros permitidos.
2. La calidad del efluente que produce La Unidad Educativa de Yesera Norte puede ser tratado mediante un proceso sistemático como el que se especifica en el proyecto.
3. El efluente que resulta después del tratamiento cumple los estándares para poder ser utilizados como agua de riego agrícola, y poder aprovechar las propiedades fertilizantes del agua residual tratada sin causar problemas de contaminación a través de la cadena alimenticia.

4. Los resultados alcanzados muestran que luego del proceso de tratamiento se llega a cumplir con la remoción de la carga orgánica, y casi en su totalidad de los parámetros respectivos presente que se analizan en el agua residual a la salida del biofiltro hasta el nivel permitido por la norma, pero si bien no se logra obtener este resultado en C.T , se plantea que esta agua residual puede ser utilizada para fines de riego agrícola, por la importante cantidad de nutrientes orgánicos que aún puede aportar al suelo y contribuir al desarrollo de cultivos.
5. Con respecto a las concentraciones de nitrógeno (como nitratos) en agua para usarse como riego agrícola, no existe inconveniente que se presente en concentraciones altas ya que el nitrógeno es aprovechado por los cultivos en su desarrollo. Sin embargo, se deben de tener presentes estos valores cuando se utilicen fertilizantes, ya que se considera que al utilizar $700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de agua de riego, con una concentración de 25 mg l^{-1} de nitratos aportaría 40 kg de N por ha de suelo, y puede ser factible un ahorro en el fertilizante y disminuir el riesgo de contaminación.
6. La eficiencia en la remoción de contaminantes se aprecia en la calidad del efluente del biofiltro experimental, cuyos valores se pueden comparar con las normas establecidas de Calidad del Agua según la FAO, en tabla. técnicamente, el sistema del biofiltro experimental presenta buenos resultados. Es importante resaltarlo.

En función a los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de la Unidad Educativa de Yesera Norte y de acuerdo a las conclusiones establecidas al término del proyecto de Tratamiento de las aguas residuales de la Unidad Educativa de Yesera Norte para su reúso en riego agrícola se recomienda:

1. Los resultados obtenidos en la investigación nos llevan a definir que es viable la puesta en marcha sistemas de tratamiento con biofiltro aerobios como se hizo de manera experimental, para aguas residuales, además del costo económico en cuanto a las inversiones bajas y los costos de mantenimiento, esto se ve mínimo

en comparación del gran aporte tanto ambiental como social que resulta de su reúso en riego agrícola.

2. El efluente del biofiltro debe ser claro, sin sólidos suspendidos apreciables ($<10\text{mg/l}$), lo que facilita su manejo con fines de reúso. El bajo contenido de materia orgánica contaminante del efluente ($\text{DBO}_5 < 10\text{mg/l}$ y $\text{DQO} < 70\text{mg/l}$), evita que se generen fenómenos de putrefacción en las zonas donde se va a regar con estas aguas.
3. Por ser un sistema de tratamiento de aguas residuales de presupuesto no muy alto, aprovechar al máximo la eficiencia del mismo para su reúso agrícola, dando cumplimiento con el objetivo principal.
4. Este tipo de sistemas de tratamiento, necesitan de evaluaciones periódicas de la calidad del efluente de la Unidad Educativa de Yesera Norte, para que el mismo se mantenga dentro de la calidad de agua para reúso de riego agrícola, y así no haya mayores problemas.
5. El uso del efluente del biofiltro de la Unidad Educativa de Yesera Norte, debe ser precedido por la educación a la comunidad, a los administrativos del colegio y estudiantes. Quienes estarán en contacto directo con el sistema del biofiltro para llevar un control de calidad del efluente de manera periódica, concientizando además sobre el uso del recurso a las nuevas generaciones.
6. El biofiltro diseñado cuenta con una cámara de almacenamiento la cual ayuda a regular el caudal en época donde éste, sea mínimo sea por vacaciones u otros, lo cual ayuda a la continuidad dentro del sistema de tratamiento. Además de que la unidad educativa también es centro recreacional para la comunidad con sus canchas recreacionales.
7. Se recomienda continuar con los trabajos de investigación dirigidos al reúso del agua residual en la agricultura, ya con un estudio más profundo sobre los cultivos. Y otros parámetros adicionales que puedan afectar el desarrollo de los cultivos. Buscando disminuir los costos operativos.
8. Para garantizar un adecuado manejo de las aguas residuales en las actividades agrícolas con un mínimo riesgo es recomendable un manejo integrado de los

recursos hídricos con la participación y el compromiso de los estudiantes de La Unidad Educativa de YESERA NORTE así también como los administrativos, los comunarios de Yesera, y autoridades competentes.

Entre las principales causas de los problemas encontrados en PTAR, se encuentran sobre todo las deficiencias relacionadas con la sostenibilidad de las plantas en cuanto a operación y mantenimiento.

La falta de capacidades específicas del personal para asegurar el buen funcionamiento de las PTAR y a ello se suma que las PTAR no se dimensionan para que su efluente sea utilizado en reúso por ejemplo el tratamiento bacteriológico, metales pesados y otros. Tampoco existen en el país los suficientes recursos humanos especializados en PTAR en el país que puedan cubrir esta falencia.

Por otra parte, en Bolivia hay una carencia de normativas específicas a este tema, pues no hay una Norma o Reglamento que regule el vertido de Aguas Residuales No Domésticas (como hospitales, industrias y otros) a los sistemas de alcantarillado. Esta situación hace que las PTAR no funcionen adecuadamente según su diseño original, generando conflictos ambientales y hasta sociales. (MMAyA, 2018)

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

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