

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANITARIAS EN LA  
PLANTA DE GLP (EL PORTILLO-TARIJA), MEDIANTE EL  
DISEÑO DE UN BIOFILTRO A ESCALA**



**Por:**

**YEISON FREDDY GOMEZ VALDEZ**

**Modalidad de graduación Investigación Aplicada, presentada a consideración de la  
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito  
para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

**2017**

**TARIJA-BOLIVIA**

## **INTRODUCCION**

### **1. ANTECEDENTES**

A través del tiempo los países fueron enfrentando la contaminación atmosférica de acuerdo a las características de los problemas de descargas de efluentes, a la tecnología que disponían y a lo que la naturaleza les proveía como sistemas naturales de tratamiento. Es a partir de la situación descrita, que aparece el concepto de los “Biofiltro” o “Buffer ecológico ribereño”, principalmente en los países que disponían de humedales, por lo que aprovechando las características de ciertas plantas, que constituyen asociaciones vegetales acuáticas aptas para frenar de manera significativa el arrastre de partículas de suelo suspendidas en el agua de riego y capaces de extraer los contaminantes difusos asociados, lo cual disminuye la carga contaminante disponible en el medio ambiente. De ahí que se toma como base la construcción de los conocimientos para desarrollar los biofiltros.

### **Contexto mundial**

Las características de las descargas de las aguas residuales entre los países desarrollados, en vías de desarrollo y los países pobres, son diferentes debido a las normativas ambientales existentes y el grado de cumplimiento de las mismas, las inversiones realizadas para montar sistemas de tratamiento de aguas residuales y los costos o tarifas a ser cubiertas por los pobladores para el tratamiento de las aguas residuales.

En los países pobres cerca del 90% de las aguas residuales van directamente a los lagos, ríos y costas, sin depuración previa, mientras que en los países en vías de

desarrollo, cerca del 50% de las aguas residuales no son tratadas y en los países en desarrollo solo un 5% no tiene un tratamiento adecuado.

Según los reportes de artículos científicos de la publicación AQUABIOTEC que es una empresa Alemana especializada en el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos innovadores, ante los requerimientos de poblaciones dispersas el año 2010, que desarrollo sistemas de biofiltración que emplean como material de soporte polímeros altamente porosos y de baja densidad, lo cual facilita la circulación del agua, amplía la superficie de contacto, disminuye el peso del material y de las paredes del Biofiltro, lo que incide en una menor inversión inicial, por cuanto los nuevos materiales derivados de polímeros tienen un bajo costo y son fácilmente accesibles en los países de la Comunidad Europea.

### **Contexto Latinoamericano**

El reporte más avanzado que se tiene en Latinoamérica es el estudio realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua, quienes desde 1988 a 2005 que se tiene reporte, Cuentan con la cooperación técnica del gobierno de Austria mediante el Proyecto Biomasa anteriormente y en la actualidad con el Proyecto ASTEC, bajo la coordinación y asesoría técnica de la empresa Sucher&Holzer. El objetivo de la cooperación técnica austriaca ha sido investigar y desarrollar aplicaciones tecnológicas en las áreas de tratamiento de los desechos líquidos y sólidos, habiendo a la fecha desarrollado biofiltros que emplean una combinación de grava y plantas acuáticas, por lo que luego de los ensayos de laboratorio se implementaron una planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la Villa Bosco Moge de la ciudad de Mayasa, con el objetivo de proporcionar una alternativa de tratamiento técnicamente eficiente y de bajo costo. El tipo de sistema de tratamiento construido fue conocido en inglés como

“SubsurfaceFlowConstructedWetland-Sistem” (SSFWS), lo que se podría traducir como sistema de humedal artificial de flujo subterráneo, por lo que, para simplificar, se decidió darle el nombre o término general de Biofiltro, el mismo que actuó de manera eficiente y es difundido a otras poblaciones de Nicaragua.

También se tiene que a nivel experimental en la facultad de ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada de Colombia, en 1999 desarrollan un proyecto denominado “Biofiltros, una opción para mejorar las características de las aguas residuales provenientes de tratamientos tradicionales”, proyecto que centra su objetivo en proveer de un sistema adicional a los sistemas tradicionales, para reutilizar estas aguas como una alternativa viable y económica. En este estudio centran su actividad en la determinación del material soporte a emplear y a la granulometría del mismo.

### **Contexto nacional**

Según la Constitución Política del Estado Plurinacional en el 2008, las personas tienen derecho a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado. El ejercicio de este derecho debe permitir a los individuos y colectividades de las presentes y futuras generaciones, además de otros seres vivos, desarrollarse de manera normal y permanente.

Como establece la ley de Medio Ambiente 1333, el estado norma y controla el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido, sólido y gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación su entorno.

Según el artículo 107 de la Ley de Medio Ambiente, el que vierta o arroje aguas residuales no tratadas, líquidos o químicos, objetos o desechos de cualquier naturaleza, en los cauces de las aguas, en las riberas, acuíferos, cuecas, ríos, lagos, lagunas, estanques de agua, capaces de contaminar o degradar las aguas que excedan los límites a establecerse en la reglamentación, será sancionado con la pena de privación de libertad de uno a cuatro años y con multa del cien por ciento del daño causado.

El tratamiento del agua cobra gran importancia en la necesidad de preservar el medio ambiente, puesto que si no son tratadas, los contaminantes pueden ser acumulados y transportados en arroyos, ríos, lagos, presas y depósitos subterráneos, afectando directamente la salud del hombre y la vida silvestre. Las fuentes más importantes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas son las aguas residuales industriales y urbanas.

En la mayoría de los sistemas de tratamiento de agua y saneamiento de Bolivia, la calidad de servicios es deficiente. Según la Organización Mundial de la Salud – OMS en el año 2000, solamente el 26% de sistemas urbanos de provisión de agua contaban con desinfección y solamente el 25% de las aguas residuales eran tratadas, problemática que a la fecha no ha mejorado debido a las bajas inversiones que se realiza en el sector.

El 60 por ciento de las aguas servidas generadas en Bolivia no reciben tratamiento alguno. << Tenemos más o menos de 30 hasta 40 por ciento del agua residual total tratada ..>>, Explico Wolfgang Wagner, experto en plantas de aguas servidas del Centro Internacional para Migraciones (CIM) de la Cooperación Alemana. El técnico realizó un recorrido y análisis de todas las instalaciones del país y dando

recomendaciones para la elección de un sistema de plantas apropiadas, para las empresas de saneamiento básico de Bolivia.

Las plantas más grandes en Bolivia se encuentran en los departamentos del Beni, Santa Cruz, La Paz, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Oruro. De acuerdo con los datos del experto, <<con excepción de la instalación que está en Sucre (Chuquisaca), el resto (de las plantas) son lagunas de estabilización. Solamente Sucre es una planta más Técnica (con tanques)>>.

Otro análisis del experto es que si bien en el país hay 15 plantas que tratan las aguas residuales de las ciudades, La Paz, la principal metrópoli del país, no cuentan con una instalación de este tipo. Wagner indico que la sede de gobierno tiene un sistema de canalización que no garantiza una descontaminación. << Se tiene un poco de limpieza, pero no purificación, hay una dilución, pero sigue contaminada>>.

Por otra parte en Bolivia, no se disponen reportes oficiales respecto a ensayos o experiencias desarrolladas para el tratamiento de aguas residuales a través de biofiltros, por lo que centraremos a reportar las experiencias previas desarrolladas a nivel del departamento de Tarija.

### **Contexto Local**

El crecimiento demográfico de las ciudades y poblaciones rurales, la amplia actividad productiva e industrial, ha obligado a priorizar el uso de las aguas superficiales para abastecimiento público como agua potable, riego y actividades expansivas de la población. Como lógica consecuencia, la actividad agrícola se ha visto seriamente

afectada por el uso de las aguas residuales, por ser esta una alternativa de supervivencia y para que no desaparezcan sus cultivos.

La mayoría de los efluentes industriales tienen concentraciones medias de coliformes fecales, en esta planta de embotellado cuenta con una gran parte de zonas con baños y desechos de cocina, y estos salen hacia el río sin un tratamiento previo, anteriormente se contaba con un sistema de saneamiento a la salida de la planta pero a medida que el barrio tuvo mayor crecimiento, este área de saneamiento dejó de funcionar ya que el mismo fue muy pequeño para los volúmenes del barrio, y por ello estas aguas están siendo vertidas al río.

La planta de embotellado genera aguas residuales sanitarias, estas se mezclan actualmente con aguas industriales por el deterioro de una válvula de acceso que separaba el agua residual sanitaria del industrial. Al juntarse estas aguas el volumen admitido para el transporte de agua residual sanitaria sobrepasó el límite permitido, haciendo así, que se produzca un colapso en este sistema y a su vez el agua que colapsa en una de las cámaras sépticas hizo que el volumen de agua que sobrepasa el sistema (sobrante), se desvíe hacia las cámaras pluviales.

El hecho de que dicha cámara recibe aguas tanto sanitarias como industriales genera gran contaminación hacia el efluente (quebrada), que posteriormente desemboca sus aguas al río Santa Ana, haciendo así que las comunidades más cercanas estén recibiendo aguas contaminadas para el riego de sus cultivos.

Para solucionar este problema se plantea un el diseño de un proceso a través de un biofiltro el cual es una opción de muy bajo costo y no afecta al medio ambiente al no

utilizar químicos para su implementación; dicho proceso realizara la filtración a través de microorganismos los cuales ayudaran a retener contaminantes de estas aguas, para su posterior uso en riego a la comunidad más cercana.

El agua que se tomara en cuenta para ser introducido en el proceso de biofiltracion será en agua residual sanitaria, mismo que se encuentra en mayor cantidad. Para poder realizar este proyecto se planteara la separación de líneas tanto de agua residual sanitaria como del agua residual industrial, para así poder realizar de manera óptima este proceso.

#### **í.íí.OBJETIVOS.-**

Los objetivos a lograr durante este trabajo dirigido son los siguientes:

#### **í.íí.í.OBJETIVO GENERAL:**

Diseñar el proceso de tratamiento de las aguas residuales sanitarias empleando un biofiltro.

#### **í.íí.íí.OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Realizar la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales sanitarias de la planta de embotellado.
- Obtención de parámetros de proceso de diseño a través de un biofiltro a escala, en planta de embotellado.
- Dimensionamiento del proceso y diseño de un biofiltro.
- Diseñar un Biofiltro para el tratamientos de las aguas residuales sanitarias de la planta de embotellado del Portillo para su posterior uso en riego.

- Cuantificar el caudal de las aguas residuales sanitarias y la capacidad de los sistemas de almacenamiento.
- Realizar la caracterización física, química y microbiológica de las aguas tratadas en el biofiltro.

### í.íí.ííí.JUSTIFICACION

El medio ambiente por muchos años ha sido descuidado y maltratado por la actividad antrópica, tanto a nivel doméstico, empresarial como industrial. El proceso del desarrollo e implementación de las industrias, en su implementación llevo asociado un concepto de favorecer el proceso productivo sin tomar en cuenta el cuidado del medio ambiente, pero en la medida que las industrias y empresas crecían eran mayores los niveles de contaminación por el vertimiento de residuos que no eran tratados adecuadamente, lo que derivó en daños al ambiente y se reflejó en la calidad de vida de las personas.

#### **Económica.-**

Esta investigación aplicada muestra una alternativa simple y económica que permite solucionar los problemas causados por vertimientos domésticos sanitarios, en forma tal que las aguas se reutilicen evitando el desperdicio (ya que solucionar un problema de contaminación de agua trae consigo inversiones económicas muy grandes para los tratamientos de recuperación de agua).

También vemos que toda agua residual puede ser tratada tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente y más aún si estas aguas son vertidas al río.

### **Tecnológica.-**

Esta tecnología se caracteriza por su sencillez de tratamiento y su independencia de tratamientos previos, así como la no necesidad de adicionar nutrientes, coagulantes, floculantes u otro aditivo. Solo requiere que el afluente llegue con características tales que permita la existencia de organismos vivos, entre ellos pH no inferior a 4,5 y no mayor a 8.

El efluente pasa por el medio filtrante reteniéndose los materiales orgánicos mediante tres mecanismos principales: Filtración pasiva, Adsorción y Absorción, e Intercambio iónico. Los parámetros retenidos son biodegradados por la biocenosis que se instala en el filtro.

Actualmente el agua residual de la planta de embotellado no tiene un proceso de filtración lo cual hace que se genere gran contaminación que está siendo vertida al río Santa Ana.

El proyecto propuesto utiliza una tecnología sencilla, puesto que está hecho de materiales que se utilizan habitualmente como ser acero, grava de 7/8 de pulgada; esta tecnología al ser de uso común es mucho más barato a comparación de otros procesos de filtración, a su vez, el mismo no provoca efectos negativos al medio ambiente puesto que dichos materiales no contendrán sustancias químicas que reaccionen generando gases de efecto invernadero.

## **Social.-**

Una de las opciones más viables para contribuir a la sostenibilidad del sistema de biofiltro es el aprovechamiento de las aguas tratadas en el riego de cultivos agrícolas, según las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el reúso de aguas residuales. Así, para el uso irrestricto de aguas residuales tratadas, la OMS recomienda que éstas tengan una concentración de coliformes fecales menor a 1,000 NMP/100 mL y ausencia de parásitos, y que los efluentes con concentraciones mayores sean utilizados con mayor cuidado.

## **Razón social de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos.-**

Mediante esta investigación Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos brindara agua apta para riego a la comunidad más cercana a la empresa, este aporte se lograra como incentivo para que se puedan incrementar los cultivos dentro de este área y así mejorar la calidad de vida de los agricultores.

## **Relacionamiento Social**

El relacionamiento social es transversal a todas las operaciones y proyectos que ejecuta YPFB, con el fin de:

- Minimizar los potenciales impactos negativos de nuestra actividad en las comunidades que están dentro de nuestra área de influencia y generar condiciones favorables para el trabajo operativo que realizamos.
- Maximizar los potenciales beneficios de nuestra actividad para las poblaciones vecinas, en la medida de nuestras posibilidades y rol como empresa regulada.

- Minimizar los posibles impactos sociales negativos en nuestras operaciones.

El relacionamiento social se desarrolla través de varios programas:

#### *Educación en Seguridad e Información General*

Se imparten charlas informativas a la población vecina y autoridades locales sobre las actividades de la empresa, la operación, el cuidado de los ductos y recomendaciones de seguridad en caso de contingencias. Con esto se busca principalmente evitar situaciones que pudieran poner en riesgo la vida de las personas o el medio ambiente. Actualmente se pone énfasis en ofrecer estas charlas a los gobiernos municipales y a sus contratistas para evitar daños ocasionados por mantenimiento o apertura de calles y caminos.

#### *Atención a Solicitudes, Quejas y Otras Comunicaciones*

El objetivo de este programa es asegurar que todas las solicitudes, quejas y otras comunicaciones recibidas de comunidades vecinas tengan una respuesta coherente, equitativa y oportuna.

Las solicitudes de apoyo se atienden siguiendo criterios de vecindad, necesidad básica, sostenibilidad, participación local y beneficio comunal, respetando y valorando las funciones y responsabilidades de todos los actores (por ej. organizaciones de base, gobiernos municipales, instituciones locales, etc.), todo esto para alcanzar un desarrollo local sostenible.

Las quejas se atienden en coordinación con las gerencias correspondientes para tomar las medidas adecuadas y corregir el problema cuando corresponda hacerlo.

También se atienden otras comunicaciones como invitaciones y solicitudes de información.

### *Inversión Social en Comunidades Vecinas*

Este programa tiene la finalidad de atender los requerimientos de apoyo e iniciativas de desarrollo local de las comunidades vecinas que están en nuestra área de influencia, para lo cual se sigue un proceso de evaluación de las solicitudes recibidas. Las solicitudes e iniciativas que se atienden son las que cumplen con todos o varios de estos criterios específicos: beneficio comunal, necesidad básica, sostenibilidad, desarrollo productivo y amplia participación.

Este programa de inversión social es posible gracias a las alianzas que consolidamos con los actores locales: organizaciones comunales, como gobiernos municipales, instituciones y otros.

## CAPITULO I

### MARCO TEORICO

#### 1. ASPECTOS LEGALES Y NORMATIVAS AMBIENTALES.

##### 1.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ESTADO

Son fines y funciones esenciales del Estado, además de los que establece la Constitución en el Art. 9 inc. 6, establece el *“Promover y garantizar el aprovechamiento responsable y planificado de los recursos naturales, e impulsar su industrialización, a través del desarrollo y del fortalecimiento de la base productiva en sus diferentes dimensiones y niveles, así como la conservación del medio ambiente, para el bienestar de las generaciones actuales y futuras”*.

En el artículo 345 de la Constitución Política del Estado nos dice que *“Las políticas de gestión ambiental se basarán en la responsabilidad por ejecución de toda actividad que produzca daños medioambientales y su sanción civil, penal y administrativa por incumplimiento de las normas de protección del medio ambiente”*.

Es decir, que existe responsabilidad por los daños ambientales y las instituciones públicas deben actuar de oficio frente a los atentados contra el medio ambiente.

En el artículo 347 de la Constitución Política del Estado establece:

El Estado y la sociedad promoverán la mitigación de los efectos nocivos al medio ambiente, y de los pasivos ambientales que afectan al país. Se declara la responsabilidad por los daños ambientales históricos y la imprescriptibilidad de los delitos ambientales.

Quienes realicen actividades de impacto sobre el medio ambiente deberán, en todas las etapas de la producción, evitar, minimizar, mitigar, remediar, reparar y resarcir los daños que se ocasionen al medio ambiente y a la salud de las personas, y establecerán las medidas de seguridad necesarias para neutralizar los efectos posibles de los pasivos ambientales.

### **1.1.1 LEY DE MEDIO AMBIENTE**

La Ley N° 1333 de Medio Ambiente fue promulgada el 27 de Abril de 1992 y publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de Junio 1992. Su principal objetivo es proteger y conservar el Medio Ambiente de una manera Sostenible, de forma que el desarrollo de nuestro país no se vea afectado y la calidad de vida de la población mejore. Esta ley es de carácter general y no enfatiza en ninguna actividad específica.

De acuerdo al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley N° 1333 de Medio Ambiente y El Reglamento para el lanzamiento de efluentes industriales al alcantarillado sanitario, las industrias deben eliminar sus efluentes cumpliendo con las normas de descarga establecidas en la normatividad Boliviana.

Tal como establece la Ley 1333, en lo que toca al Capítulo I en su Artículo 30°, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MDSMA) y el Gobernador del departamento, a través de los laboratorios autorizados, efectuarán semestralmente el monitoreo de los cuerpos receptores y de las descargas de aguas residuales crudas o tratadas, tomando muestras compuestas de acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental, en relación al caudal y durante las horas de máxima producción. Los resultados de los análisis serán presentados al representante legal.

En caso de que uno o más parámetros excedan los límites establecidos en el presente reglamento, se procederá a la toma de una segunda muestra en similares condiciones y con la intervención del representante legal o delegado de éste, según los

resultados del análisis el gobernador con jurisdicción sobre la cuenca correspondiente fijará día y hora para inspeccionar la planta de tratamiento a fin de definir la posible causa de tales resultados; la inspección se realizará de acuerdo a los procedimientos establecidos en el Reglamento de Prevención y Control.

Por otra parte en el capítulo II de la Ley 1333, se establece que, 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 para así satisfacer la calidad establecida antes de llegar al cuerpo receptor.

También, dentro del Reglamento de Contaminación Hídrica, el tratamiento de las aguas residuales crudas que deben ser vertidas fuera de los ambientes de la actividad de servicios o de una industria, esto es imprescindible cuando la cantidad bacteriológica de las mismas, rebasa los límites establecidos en la norma ambiental y se constituyen en un riesgo para la salud humana y la contaminación ambiental.

En caso de que las condiciones físicas y/o químicas de un cuerpo de agua se alteren en forma tal que amenacen la vida humana o las condiciones del medio ambiente, de acuerdo a lo establecido en la norma ambiental, el Gobernador deberá informar al MMAA, a objeto de que este, conjuntamente a las autoridades de defensa civil, disponga con carácter de urgencia las medidas correspondientes de corrección o mitigación.

Bajo las consideraciones expuestas, todas las empresas, industria o actividades de servicio instaladas en el país, deben dar cumplimiento a la normativa ambiental, no solo por la exigencia propia de la Ley, sino también, porque al proteger al medio ambiente, se preserva la calidad de vida de las personas.

En los artículos 59 y 60 de esta ley indica que: Las aguas residuales tratadas descargadas a un cuerpo receptor, estarán obligatoriamente sujetas -como parte del sistema o planta de tratamiento- a medición mediante medidores indirectos de caudal, si los caudales promedios diarios son menores a 5 litros por segundo y con medidores de caudal instantáneo y registradores de los volúmenes acumulados de descarga, si el caudal promedio supera la cifra señalada.

En caso de que se interrumpa temporalmente la operación total o parcial del sistema o planta de tratamiento, se deberá dar aviso inmediato a la correspondiente Prefectura, especificando las causas y solicitando autorización para descargar el agua residual cruda o parcialmente tratada, por un tiempo definido. Además, se deberá presentar un cronograma de reparaciones o cambios para que la planta vuelva a su funcionamiento normal en el plazo más breve posible.

### **1.1.2 REGLAMENTO DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA**

“Define el sistema de control de la contaminación hídrica y los límites permisibles de los potenciales elementos contaminantes, así como las condiciones físico químicas que deben cumplir un efluente para ser vertido en uno de los cuatro tipos de cuerpos receptores definidos”.

De acuerdo al reglamento en materia de contaminación Hídrica de la Ley N° 1333 de Medio Ambiente y el reglamento para el lanzamiento de efluentes al alcantarillado sanitario, se establece que las descargas vertidas, cualquiera sea su caudal o condiciones de lanzamiento, no deben exceder en ningún caso los valores máximos especificados en la tabla I-1 sobre valores máximos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos admitidos para las descargas de efluentes industriales y domésticos.

**TABLA I-1**  
**VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE PARÁMETROS EN CUERPOS**  
**DE AGUA**

PARÁMETROS	UNIDAD	VALORES MAXIMOS PERMITIDOS	
		NB 512 PARA AGUA POTABLE	LEY 1333 (RIEGO)
<b>ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO</b>			
TPH	mg/l	2,0 $\mu$ g/l - 10,0 $\mu$ g/l	NE
Alcalinidad	mg/l	370,0 mg/l de CaCO <sub>3</sub>	NE
Calcio	mg/l	200,0 mg/l	300
Cloruros	mg/l	250,0 mg/l	400
Conductividad	uS/l	1500	NE
Dureza Total	mg/l	500,0 mg/l de CaCO <sub>3</sub>	NE
Hierro	mg/l	0,3 mg/l	1,0
Magnesio	mg/l	150,0 mg/l	150,0
Manganeso	mg/l	0,1 mg/l	0,5
PH	.....	6,5 - 9	6 - 9
Temperatura	°C	NE	+/- 5°C
Sodio	mg/l	200,0 mg/l	200,0
Sulfatos	mg/l	400,0 mg/l	400,0
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	1000	1500
Turbiedad	N.T.U.	5	< 50
DQO	mg/l	50(riego)	40
DBO <sub>5</sub>	mg/l	20(riego)	20
<b>ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO</b>			
Coliformes Totales	mg/l	< 2	< 1000 - 5000 /100 NMP
Coliformes Fecales	mg/l	< 2	< 1000 /100 NMP
Cloro Residual	mg/l	0,2 - 1	NE

Fuente: NB512 (Norma Boliviana para agua potable); Ley 1333(parámetros de riego)

### **1.1.3 GESTIÓN AMBIENTAL**

La Gestión Ambiental es el conjunto de decisiones y acciones planificadas para una región o territorio, protección del ambiente y el uso sostenible de los ecosistemas y recursos. La gestión ambiental contempla las acciones que se deben realizar, cuando y como llevarlas a cabo, así como la selección de opciones y prioridades. El objetivo de la Gestión Ambiental es lograr la máxima racionalidad, coherencia, solvencia equidad en el proceso de toma de decisiones relativas a la defensa del medio ambiente y la conservación de la biodiversidad, en el marco de un desarrollo sostenible.

También se entiende a la Gestión Ambiental, como el conjunto de acciones orientadas al uso, conservación y aprovechamiento ordenado de los recursos naturales y del medio ambiente en general. La Gestión Ambiental entendida dentro del ámbito de la gestión de la empresa entendida dentro del ámbito de la gestión empresarial, es un factor decisivo que influye en la imagen corporativa de una empresa o industria, así como en la calidad de un producto, el costo de comercialización y la competitividad. “Los programas de gestión ambiental, más rigurosos y ambiciosos, están incidiendo positivamente en la renovación tecnológica, con ventajas indudables para los factores costo-beneficio ya que, en realidad, son programas de apoyo y racionalización de recursos.

## **1.2 YACIMIENTOS PETROLÍFEROS FISCALES BOLIVIANOS**

### **1.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA DE ENGARRAFADO EL PORTILLO DISTRITO COMERCIAL TARIJA**

Está planteado implementar la planta de tratamiento de aguas residuales sanitarias dentro de las instalaciones de la planta de Engarrafado DCTJ, que se encuentra ubicada en el Barrio El Portillo en la capital de Tarija.

**FIGURA 1-1**  
**UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL LUGAR**



**Fuente: Google Maps**

Descripción	Coordenadas Geográficas Sistema WGS 84 20K		
	Coord.-X	Coord.-Y	Altitud-m.s.n.m.
Planta de Engarrafado "El Portillo"	327557,44	7614222,15	1864

**Fuente: medición IN SITU (GPS)**

### **1.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE ENGARRAFADO “EL PORTILLO”, DISTRITO COMERCIAL TARIJA**

La planta de engarrafado El Portillo Distrito Comercial Tarija se encuentra ubicada en el Km 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> carretera al Gran Chaco en la provincia Cercado, del Departamento de Tarija.

### **1.3 AGUAS RESIDUALES SANITARIAS**

Las aguas residuales son aquellas que resultan del uso doméstico, agrícola o industrial. Se les llama también aguas servidas o aguas cloacales. Son residuales pues habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el uso directo.

En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado (o desfogadas a flor de tierra) e incluyen a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

Para cuantificar el grado de contaminación y establecer el sistema de tratamiento más adecuado, se utiliza diversidad de parámetros.

Los parámetros principales de contaminación del agua son:

- ✚ Materia oxidable: DBO y DQO.
- ✚ Sólidos en suspensión: Sólidos en Suspensión Totales (SST), Sólidos Disueltos (SD) y Sólidos Totales (ST).
- ✚ Materias inhibidoras: compuestos químicos orgánicos e inorgánicos.
- ✚ Nutrientes: principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P).
- ✚ Salinidad

## **1.4 TIPOS DE CONTAMINACIÓN DE AGUA RESIDUAL SANITARIA**

### **1.4.1 CONTAMINACIÓN FÍSICA**

La característica física más importante de las aguas residuales, que determina el tratamiento que se aplicará, es su contenido de sólidos totales, el cual se diferencia en material flotante, material sedimentable, material coloidal y materia en solución. Otras características físicas importantes son: la temperatura, densidad, color y turbiedad del agua.

#### **1.4.1.1 MEDIDA DE LA TEMPERATURA**

La temperatura del agua residual es, por lo general, mayor que la temperatura del agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura, generalmente la temperatura es expresada en grados Celsius (°C).

Por otro lado, la temperatura del agua afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Un incremento en la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existan en un cuerpo de agua receptor.

#### **1.4.1.2 COLOR**

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color se expresa en unidades en la escala de platino – cobalto.

En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva al menos 6 horas desde su descarga.

Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección.

Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias. El oscurecimiento de las aguas residuales se da con frecuencia debido a la formación de varios sulfuros, en particular sulfuro ferroso.

#### **1.4.1.3 OLOR**

Dentro de los tratamientos biológicos para el control de olores, los Biofiltros de lecho fijo son los equipos más utilizados. Los Biofiltros, se han aplicado con éxito para el control de compuestos inorgánicos volátiles (COVs) como el sulfuro de hidrógeno y otros compuestos reducidos de azufre que generan olores molestos, sin embargo, hoy en día su aplicación se ha expandido al tratamiento de compuestos orgánicos volátiles (COVs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).

#### **1.4.1.4 MATERIA SOLIDA**

La materia sólida presente en agua se agrupa en tres categorías; materias decantables, materias en suspensión y residuos. La materia decantable se determina dejando en reposo un litro de agua en un cono o probeta graduada. El resultado se expresa como milímetros de materia decantada por litro de agua.

La determinación de las materias en suspensión en el agua puede realizarse por filtración o centrifugación. La filtración se realiza a vacío sobre un filtro. El filtro con el residuo es nuevamente secado y pesado. La diferencia entre peso y el que teníamos antes del filtro solo, proporciona el valor de los sólidos.

#### **Sólidos sedimentables**

Los sólidos son materia suspendida o disuelta en aguas residuales. Sólidos sedimentables es ya la expresión aplicada al material que se desprende (precipita), de la suspensión en un periodo determinado.

Los sólidos sedimentables son aquellos que sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante una hora. Se determina volumétricamente mediante el uso del cono Imhoff.

#### **Sólidos suspendidos**

Los sólidos suspendidos son los sólidos no filtrables. Pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Los análisis de sólidos son importantes en el control de tratamiento biológico y físico de las aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

Partículas como arcillas, y otros son arrastrados por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones), o en suspensiones que solo duran mientras el movimiento del agua las arrastra.

Los sólidos están representados por el residuo que permanece, de la diferencia de los sólidos totales y disueltos a una temperatura de 105°C.

#### **1.4.1.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

Se define como 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 demás de la temperatura.

El agua tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por eso se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad de las medidas se deben hacer a 20°C.

### 1.4.1.6 DUREZA TOTAL

Es un efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; esto hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de los sólidos en suspensión del agua. La turbiedad en el agua es medida en términos de “Unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)”.

Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad.

La unidad de medida de la dureza que se utiliza más habitualmente son los grados hidrométricos franceses (° H F), y el cálculo de este parámetro responde a la siguiente fórmula:

$$(\text{mg/l Ca} \times 2.5 + \text{mg/l Mg} \times 4.2) / 10$$

La presencia de sales de magnesio y calcio en el agua depende fundamentalmente de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación. Las aguas subterráneas que atraviesan acuíferos carbonatados (calizas) son las que presentan mayor dureza y dichos acuíferos están formados por carbonatos de calcio y magnesio.

Las aguas subterráneas procedentes de acuíferos con composición eminentemente silicatada (p.e. granitos) dan lugar a un agua blanda, es decir, con cantidades muy bajas de sales de calcio y magnesio.

Es importante conocer la dureza del agua de abastecimiento de nuestra localidad, ya que ese dato nos permite ajustar el funcionamiento de determinados electrodomésticos que ofrecen dicha posibilidad (sobre todo lavadores y lavavajillas). Esta regulación previa del aparato permitirá que se operen cambios en el funcionamiento del mismo en función del valor seleccionado y de este modo se compensen los efectos negativos que un agua de elevada dureza puede

provocar, con el consiguiente mejor funcionamiento y mayor duración del electrodoméstico.

Clasificación de la dureza del agua (° H F):

-  < 7: agua muy blanda
-  7-14: agua blanda
-  14-32: agua de dureza intermedia
-  32-54: agua dura
-  > 54: agua muy dura

Fuente: Listado dureza municipios FACSA

#### **1.4.1.7 TURBIEDAD**

La turbidez se refiere a lo clara o turbia que pueda estar el agua. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. La tierra puede llegar al agua por la erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. Los sedimentos pueden ser revueltos por demasiada actividad en el agua, ya sea por parte de los peces o los humanos. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua.

Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de OD aún más.

Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo que ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz

de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán, especialmente cerca de la superficie.

Las partículas suspendidas también son destructivas para muchos organismos acuáticos tales como los macro invertebrados que se encuentran en el agua. Pueden obstruir las branquias de los peces e interferir con su habilidad para encontrar alimento. También pueden enterrar las criaturas que viven en el fondo y los huevos. Las partículas suspendidas pueden transportar contaminantes en el agua.

## **1.4.2 CONTAMINACIÓN QUÍMICA**

Algunos efluentes cambian la concentración de los compuestos químicos naturales del agua causando niveles anormales de los mismos.

Los contaminantes químicos componen tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. En cuanto a la contaminación de productos orgánicos es la disminución de oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de la degradación biológica, llevando con ello un desajuste y a serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de compuestos inorgánicos el resultado es su posible efecto tóxico, más que una disminución de oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo.

### **1.4.2.1 NITRÓGENO TOTAL**

Es la cantidad de nitrógeno en todas sus formas disueltas en el agua; la química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede tener este elemento, los cambios de valencia en el nitrógeno se dan por los microorganismos vivos en el agua, según sean sus condiciones aerobias o anaerobias.

Las formas de nitrógeno de mayor interés son: amoníaco, nitritos, nitratos, amonio y nitrógeno orgánico. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.

El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa tanto en forma de ion amonio como en forma de amoníaco, dependiendo del pH de la solución. Para valores de pH superiores a 9,3 existe un predominio de amonio.

#### **1.4.2.2 FOSFORO TOTAL**

El fósforo también es importante en el crecimiento de algas y otros organismos.

Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos de fósforo provenientes de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural. Las aguas residuales municipales, por ejemplo, pueden tener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como P.

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales; el fósforo total es la suma del elemento en todas sus formas y compuestos; entre los compuestos con fósforo más importantes se tiene: fosfatos orgánicos e inorgánicos. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.

#### **1.4.2.3 TPH (HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO)**

Los Hidrocarburos Totales (TPH) se dividen en grupos que se comportan de forma similar. Estos grupos se denominan fracciones de hidrocarburos de petróleo, también se conocen como separación de cadenas.

La determinación de las fracciones de hidrocarburos es de suma importancia en aguas, ya que puede indicar fugas o vertidos de depósitos de combustible, como puede suceder en los depósitos de las gasolineras.

Análisis de Hidrocarburos Totales en Agua con separación de cadenas por GC/MS

Se determinan las siguientes fracciones de compuestos:

1. Alifáticos C6-C82. Alifáticos C8-C10
3. Alifáticos C10-C124. Alifáticos C12-C16
5. Alifáticos C16-C217. Aromáticos C8-C10
8. Aromáticos C10-C129. Aromáticos C12-C16
10. Aromáticos C16-C2111. Aromáticos C21-C35
12. Alifáticos C21-C34

El desarrollo de este método permite analizar las fracciones de Hidrocarburos Totales en un rango de 0.020 a 50 mg/L. La separación de cadenas informa sobre la procedencia de los Hidrocarburos, de gasolina, diesel o queroseno, muy importante en la determinación exacta del depósito que fuga, aplicable sobre todo en gasolineras.

#### **1.4.2.4 ALCALINIDAD**

Definimos Alcalinidad como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad de estar también presentes. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados o pareados con iones positivos de calcio, magnesio, potasio, sodio y otros cationes. El bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad. Dicha especie iónica y el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua.

**TABLA I - 2**

#### **RANGOS DE ALCALINIDAD**

<b>RANGO</b>	<b>ALCALINIDAD (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>
<b>BAJA</b>	<b>&lt; 75</b>
<b>MEDIA</b>	<b>75 - 150</b>
<b>ALTA</b>	<b>&gt; 150</b>

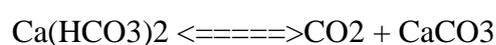
\* Datos tomados de Keven (1989).

#### 1.4.2.5 CALCIO DISUELTO

Normalmente el calcio forma sales generalmente solubles, con aniones como hidrogenocarbonato, sulfato, cloruro y fluoruro. En general, suele ser el catión mayoritario en las aguas. Respecto a esto, el contenido medio de calcio en los ríos Españoles oscila entre unos 11 mg/L en la Cuenca Norte y los más de 160 mg/L del Guadiana y la Cuenca Sur de España registrándose puntas de unos 600 mg/L en el Tajo y Guadiana.

El calcio pasa al agua por disolución cuando proviene de sulfatos (especialmente yesos, muy solubles) y silicatos, o por la acción del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua cuando se trata de Ca presente en calizas, margas y dolomitas. El aporte del metal al agua es muy notable en terrenos yesíferos, por ejemplo, la depresión del Ebro, pudiendo también acceder a las aguas dulces mediante fenómenos de intrusión salina que también incrementaría la concentración de Mg en las aguas afectadas.

Existe un equilibrio muy típico en aguas denominado "equilibrio carbónico" que establece una relación entre el hidrogenocarbonato de calcio soluble de un agua y el carbonato de calcio, éste en realidad es prácticamente insoluble, si bien se solubiliza por medio del CO<sub>2</sub> presente en aquella. El equilibrio químico es:



Este proceso reversible es de particular importancia en aguas potables e industriales, estando relacionado con el "pH del equilibrio" de un agua: en

síntesis, se trata de que cada agua en función de su contenido en  $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$  tiene un valor típico de pH en el que es inerte desde el punto de vista de su poder de disolución de carbonato o deposición de éste. A este pH dado no producirá fenómenos de atascamiento o ataque corrosivo a tuberías. La formación de estalagmitas y estalagmitas en cuevas calcáreas sigue esta dinámica el agua: el agua subterránea rica en hidrogenocarbonato de calcio soluble, al perder el gas por efecto de la diferente presión parcial al ponerse el agua en contacto con el aire libre, propicia la precipitación del hidrogenocarbonato insoluble, y la consiguiente formación de estalagmitas y estalagmitas.

El calcio junto al magnesio forma la "dureza" del agua. Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta misma razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenido mayores a la superficiales correspondientes.

Las aguas residuales de diversas industrias generan un incremento del metal en el medio, debido a actividades tales como los prefabricados de la construcción (terrazo, fibrocemento, corte de piedras y canterías), industrias alimentarias (azúcar, ácido tartárico) y papeleras (cuando interviene el sulfato cálcico como carga).

La presencia de Ca en agua potable la dota de "sabor" que dependerá del anión mayoritario presente. Al mismo tiempo intervendrá en fenómenos de incrustación/agresión en tuberías y depósitos de almacenamiento de agua potable y en aguas destinadas a calderas industriales de particular importancia.

#### **1.4.2.6 CLORUROS**

El aumento en cloruros de un agua puede tener orígenes diversos. Si se trata de una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar. En el caso de una zona árida el aumento de cloruros en un agua se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias. En último caso, el aumento de cloruros puede

deberse a la contaminación del agua por aguas residuales. Los contenidos en cloruros de las aguas naturales no suelen sobrepasar los 50-60 mg/l. El contenido en cloruros no suele plantear problemas de potabilidad a las aguas de consumo. Un contenido elevado de cloruros puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

#### *Laboratorio Fisicoquímico*

La reglamentación técnico-sanitaria española establece como valor orientador de calidad 250 mg/l de Cl y, como límite máximo tolerable, 350 mg/l de Cl, ya que no representan en un agua de consumo humano más inconvenientes que el gusto desagradable del agua. La determinación de cloruros puede hacerse mediante tres métodos. El método argentométrico o volumétrico es recomendable para agua con concentraciones entre 1,5 y 100 mg/l de cloruros. Este método es aplicable para la determinación de cloruros en aguas potables o superficiales, siempre que no tengan excesivo color o turbidez. Se basa en el método de Mohr. Sobre una muestra ligeramente alcalina, con pH entre 7 y 10, se añade disolución de AgNO<sub>3</sub> valorante, y disolución indicadora K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. El Cl<sup>-</sup> precipita con el ión Ag<sup>+</sup> formando un compuesto muy insoluble de color blanco. Cuando todo el producto ha precipitado, se forma el cromato de plata, de color rojo ladrillo, que es menos insoluble que el anterior y nos señala el fin de la valoración.

Reacción de valoración:



Reacción indicadora:



Nota: NO<sub>3</sub> Ag en exceso

Cálculo.- Si lo que queremos son los mg/l de cloruros.

$$\text{ppm Cl}^- = \left\{ \frac{[(A-B) * N * 35,45]}{V} \right\} * 1000$$

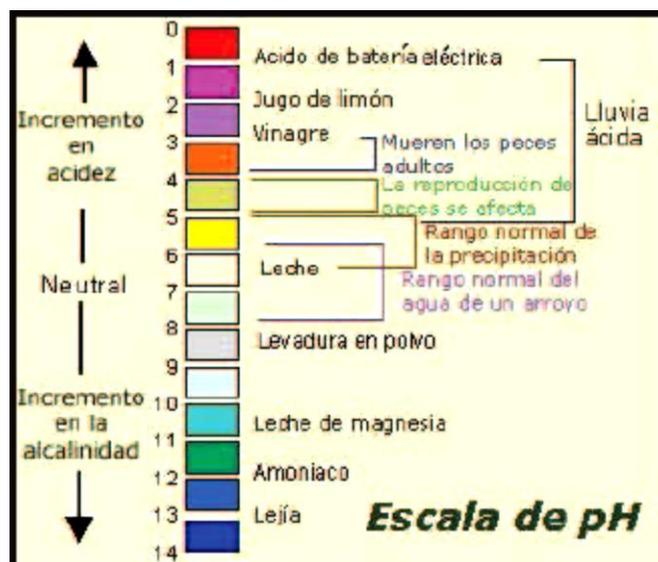
Donde:

A = ml valoración de la muestra.  
 S = ml valoración del blanco.  
 V = normalidad de Ag NO<sub>3</sub>

### 1.4.2.7 PH

El Potencial de Hidrógeno comúnmente llamado pH; es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. Este valor indica la concentración de iones de hidrógeno (H<sup>3</sup>O<sup>+</sup>) presentes en el agua. Fue acuñado por el químico Danés Sorensen, quien lo definió como el logarítmico negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno presentes en el agua. El potencial de hidrógeno se mide en una escala propia que va desde 0 hasta 14.

#### Escala de pH y líquidos típicos de los distintos valores de pH



Fuente: Características de las aguas residuales, 2006

### 1.4.2.8 CONDUCTIVIDAD

Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y

calcio). La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca). Por ejemplo, aguas que corren en sustrato graníticos tienden a tener menor conductividad, ya que ese sustrato está compuesto por materiales que no se ionizan. Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , u otros iones. Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad.

La unidad básica para medir la conductividad es el *siemens* por centímetro. El agua destilada tiene una conductividad en el rango de 0,5 a 3  $\mu\text{Siemens/cm}$  (un  $\mu\text{SI}$  es la millonésima parte de un *Siemens*). La conductividad de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1.500  $\mu\text{S/cm}$ . En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. Algunos efluentes industriales pueden llegar a tener más de 10.000  $\mu\text{S/cm}$ .

Es por esto que la conductividad es una medida generalmente útil como indicador de la calidad de aguas dulces. Cada cuerpo de agua tiene un rango relativamente constante de conductividad, que una vez conocido, puede ser utilizado como línea de base para comparaciones con otras determinaciones puntuales. Cambios significativos pueden ser indicadores de eventos puntuales de contaminación.

#### **1.4.2.9 HIERRO DISUELTO**

El hierro en los suministros de aguas procedentes del subsuelo en zonas rurales es muy frecuente: los niveles de concentración van entre rangos de 0 a 50 mg/L, mientras la OMS recomienda niveles de <0.3 mg/L. El hierro ocurre de manera natural en acuíferos pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por

disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja y provoca el destiño en las ropas lavadas, y además tienen un sabor desagradable, que se puede notar en el agua y en la cocina.

El hierro que es disuelto en las aguas subterráneas se reduce a su forma hierro II. Esta forma es soluble y normalmente no causa ningún problema por sí misma. El hierro II se oxida a formas de hierro III que son hidróxidos insolubles en agua. Estos son compuestos rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de pantallas, bombas, tuberías y sistemas de recirculación, etc. Si los depósitos de hidróxido de hierro se producen por bacterias del hierro entonces son pegajosos y los problemas de manchas y bloqueo de sistemas son todavía más graves. La presencia de bacterias de hierro puede venir indicada por sustancias limosas corrosivas dentro de lugares de distribución, la reducción del flujo del agua, olor desagradable del agua bombeada del agujero, depósitos limosos y pegajosos que bloquean líneas de distribución principales y laterales, manchas en el pavimento, caída de paredes.

La eliminación de hierro biológico significa la eliminación del hierro de las aguas subterráneas dentro de filtros de aguas. Los microbiólogos reconocen por muchos años que ciertas bacterias son capaces de oxidar e inmovilizar el hierro. Las bacterias responsables de este proceso se encuentran naturalmente en el medio.

#### **1.4.2.10 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO<sub>5</sub>**

La DBO es la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius. Este parámetro se expresa en mg/L. Es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de aguas residuales. Su principal aplicación es la evaluación de la DBO en las plantas de tratamiento para su disminución.

La importancia que tiene la determinación de este parámetro en el estudio y caracterización de aguas residuales, es que cuanto mayor sea la cantidad de

materia orgánica biodegradable presente, mayor será el requerimiento de oxígeno para lograr su estabilidad. Dado que los procesos de filtración biológica y sedimentación simple que se realizan en una planta de tratamiento tienen como finalidad la remoción de la materia orgánica del agua, la disminución o aumento de la DBO en las distintas unidades de tratamiento, proporciona datos acerca de la eficiencia operacional de estas unidades.

Mide la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. El ensayo de la DBO asume la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos utilizados en la materia orgánica que debe ser degradada. El valor de la DBO siempre ha de ser menor o igual a la DQO, pero nunca mayor. La unidad de medida es “miligramos de oxígeno disuelto dividido litros (mg/l)”.

#### **1.4.2.11 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO DQO**

Al igual que la DBO<sub>5</sub>, este parámetro es esencial en el estudio y caracterización de las aguas residuales, mostrando la remoción de materia orgánica presente en el agua, que permite tener una adecuada información sobre la eficiencia del tratamiento aplicado.

En este caso, se puede observar cómo la DQO en el agua de entrada se encuentra en un rango propio de las aguas residuales domésticas, y luego de la aplicación del proceso de filtración esta llega a valores bajos que permiten su vertido a cuerpos receptores, cumpliendo con las normas respectivas.

La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente por un agente oxidante fuerte, en un medio ácido. Generalmente se utiliza dicromato de potasio como agente oxidante.

La prueba debe realizarse a altas temperaturas, utilizando un catalítico, como el sulfato de plata. La DQO se expresa en mg/L y es generalmente mayor que la DBO, ya que muchos compuestos son oxidados con mayor facilidad, químicamente, que biológicamente.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una

muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg/litro.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría. El método mide la concentración de materia orgánica.

Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.).

### **1.4.3 COMPONENTES BIOLÓGICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES SANITARIAS**

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH. Puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse.

Son los efectos de la descarga de material biogenico, que cambia la disponibilidad de nutrientes del agua, y por tanto, el balance de especies que pueden subsistir. El aumento de materia orgánica origina el crecimiento de especies heterótrofas en el ecosistema, que a su vez provoca cambios en las cadenas alimentarias. Un aumento en la concentración de nutrientes provoca el desarrollo de organismos productores, lo que también modifica el equilibrio del ecosistema.

Contaminantes biológicos, estos son los responsables de las transmisiones de las enfermedades como el cólera y la fiebre tifoidea. Los contaminantes de las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánico e inorgánico. Normalmente no es ni practico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas servidas.

Es por esto que las aguas residuales dependiendo de la cantidad de estos componentes se clasifican en fuerte, medio y débil. Debido a que la concentración como la composición va variando con el transcurso del tiempo, con los datos

siguientes solo se pretende dar una orientación para la clasificación de las aguas residuales sanitarias.

#### **1.4.3.1 COLIFORMES TOTALES CT Y COLIFORMES FECALES CF**

Con este término, se identifica a una amplia gama de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos y no esporulante; estos microorganismos tienen la capacidad de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35–37 °C y están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Dentro del grupo de los coliformes totales se incluyen especies fecales y ambientales

El tratamiento de aguas residuales tiene como misión la eliminación de este tipo de agentes patógenos para su aprovechamiento posterior en este caso nos enfocamos a reutilizarla como agua de riego. En la práctica, dentro del grupo de los coliformes totales se incluye una gran diversidad de microorganismos que pueden adaptarse, sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no se pueden utilizar como un indicador de agentes patógenos fecales, puesto que por lo expuesto con anterioridad no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y, generalmente, la proporción de Coliformes totales es muy elevada en los climas cálidos.

Varias fuentes bibliográficas expresan como un factor incidente el análisis de las coliformes totales puesto que al ser aguas grises, lo óptimo es una ausencia de coliformes fecales por la naturaleza del agua pero en la práctica no siempre resulta así. Es por esta razón que consideramos la determinación de este parámetro como un indicador de la eficacia del tratamiento utilizado y también para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas.

Los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente confiables de la presencia de agentes patógenos bacterianos, ya que por lo general

sus características de persistencia en el medio ambiente y su índice de eliminación sea este instantáneo o paulatino en los procesos de tratamiento son similares.

## **1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES**

### **1.5.1 CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

Como compuesto orgánico se designa a un amplio grupo de compuestos químicos que tienen en común el hecho de que en su composición interviene siempre el carbono. Son, pues, los compuestos del carbono, aunque haya que exceptuar el propio carbono en sus distintas formas, sus óxidos, el ácido carbónico y sus sales, los carburos, los cianuros y algunos otros compuestos carbonados que son completamente inorgánicos.

Hay muchos tipos diferentes de contaminantes orgánicos:

- ✚ Carbohidratos: como azúcares, almidones y fibras celulósicas. Estos proceden de excretas y desperdicios.
- ✚ Proteínas: proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- ✚ Aceites y grasas: son altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría.
- ✚ Otros: incluyen varios tipos de compuestos, como los tensioactivos, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan alta toxicidad.

### **1.5.2 CONTAMINANTES INORGÁNICOS**

Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los

óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

Buena parte de la fracción inorgánica está en forma soluble, aunque también es significativa la parte insoluble que se presenta en forma de partículas en suspensión. Por su impacto ambiental son más relevantes las especies solubles dado que en esta forma las sustancias son más móviles y su alcance tóxico es mayor.

Entre los contaminantes inorgánicos de las aguas pueden destacarse:

Iones nitrogenados: se encuentran en forma de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y N orgánico. Los nitritos y el amonio son muy inestables y tienden a oxidarse a nitrato.

Una excesiva carga de nutrientes nitrogenados en cuencas vertientes a lagos o embalses puede provocar la eutrofización de los mismos, o en los ríos con la posible incidencia de las aguas subterráneas.

La presencia de cantidades excesivas de nitratos en las aguas puede provocar en los lactantes efectos mortales (cianosis) por la formación de metahemoglobina, y en adultos, nitrosaminas, cancerígenas, por la reacción de nitratos con aminas y aminoácidos.

Generalmente son indicadores de contaminación agrícola.

Iones cianuro: Su presencia en el agua indica siempre una contaminación de tipo industrial, procede usualmente de galvanoplastias, altos hornos y coquerías. Su toxicidad es muy elevada.

Iones sulfato: La contaminación por estos iones se debe mayoritariamente al aporte de la lluvia (lluvia ácida) y origina una acidificación del medio acuático provocando graves alteraciones sobre la vida del mismo. La disminución del pH, por ejemplo, puede ser particularmente devastadora para las salamandras y las ranas, durante los primeros ciclos de vida, así como también para algunos peces.

Metales pesados

: Aunque muchos de los elementos metálicos son necesarios para el desarrollo de los organismos vivos, al exceder de una determinada concentración pueden resultar perjudiciales. Muchos de estos elementos tienen afinidad por el azufre, con lo que atacan los enlaces que conforman este elemento en las enzimas produciendo su inmovilización. Otros, como el cadmio, el cobre o el plomo (en forma iónica) forman complejos estables con los grupos amino y carboxílico, dificultando los procesos de transporte a través de las paredes celulares.

Los metales pesados constituyen un importante problema mundial. Esta problemática se encuentra relacionada con su persistencia en el medio, y el consecuente factor de acumulación.

#### **CUADRO 1 - 1**

#### **CONTAMINANTES IMPORTANTES DE INTERES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

<b>CONTAMINANTES</b>	<b>RAZÓN DE LA IMPORTANCIA</b>
----------------------	--------------------------------

<b>Sólidos en Suspensión</b>	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fano y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
<b>Materia Orgánica Biodegradable</b>	Compuesta principalmente por proteínas carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
<b>Patógenos</b>	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
<b>Nutrientes</b>	Tanto el nitrógeno como el fosforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se viertes al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer al crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
<b>Contaminantes Prioritarios</b>	Son compuestos orgánicos e inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
<b>Materia Orgánica Refractaria</b>	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
<b>Metales pesados</b>	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
<b>Sólidos Orgánicos Disueltos</b>	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

## **1.6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **SANITARIAS**

Una reducción del consumo de este recurso conduce a una reducción de generación de efluentes. Minimizar la generación de estas aguas residuales

sanitarias sean urbanas y/o industriales, disminuye la posibilidad de contaminación de los cursos de agua, de las zonas de recarga de acuíferos, y de cualquier otro curso donde se vuelquen los efluentes. Esto es importante ya que de algún modo estos sumideros son luego fuente de suministro.

El análisis de aguas permite optimizar el consumo del agua, busca una integración de su uso entre las distintas operaciones que componen un proceso productivo. Permite calcular el rehúso de las aguas industriales, la minimización de efluentes, y el diseño de un sistema de tratamiento de efluentes distribuido.

Existen tratamientos convencionales y emergentes, atendiendo al hecho de las nuevas aplicaciones que, como consecuencia de la tendencia de nuestra sociedad hacia una economía basada en la sostenibilidad, tienen procedimientos cuyos límites técnicos y económicos están perfectamente definidos.

### **1.6.1 TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANITARIAS**

El concepto de tecnología apropiada en los sistemas de agua residuales, abarca dimensiones técnicas, institucionales, sociales y económicas. Desde un punto de vista técnico e institucional, la selección de tecnologías no apropiadas, ha sido identificada como una de las principales causas de fallas en el sistema. El ambiente de las aguas residuales sanitarias es hostil para el equipo electrónico, eléctrico y mecánico. Su mantenimiento es un proceso sin fin, y requiere de apoyo (repuestos, laboratorios, técnicos capacitados, asistencia técnica especializada y presupuestos adecuados). Aun en los países más desarrollados, son los sistemas más sencillos, elegidos y diseñados con vista al mantenimiento, los que brindan un servicio más confiable. En los países en desarrollo, donde es posible que falten algunos ingredientes para un programa exitoso de mantenimiento, esta debe ser la primera consideración al elegir tecnologías para las plantas de tratamiento.

En ciudades pequeñas, por la cantidad y calidad de las aguas residuales sanitarias, las opciones técnicas suelen ser más sencillas, pero las consideraciones

institucionales se combinan con las sociales y siguen siendo extremadamente importantes. Las instituciones locales deben ser capaces de manejar los programas o sistemas de saneamiento; la participación comunitaria puede ser un elemento clave en su éxito.

La economía forma parte de la decisión de dos maneras. No es sorprendente que las tecnologías más sencillas, seleccionadas por su facilidad de operación y mantenimiento, suelen ser las menos costosas para construir y operar. Sin embargo aun cuando no lo sean, como puede ser el caso cuando gran cantidad de tierra debe ser adquirida para los estanques de estabilización, un sistema menos costoso que fracasa, finalmente será más costoso que otro más caro que otra que opera de manera confiable.

## **1.7 ALGUNAS OPCIONES TECNOLÓGICAS**

### **1.7.1 TIPOS DE TRATAMIENTO**

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

#### **Tratamiento Preliminar**

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

### **Tratamiento Primario**

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario.

### **Tratamiento Secundario**

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

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

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

### **Tratamiento Terciario O Avanzado**

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable. Por lo general, el tratamiento terciario es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas (remoción de nutrientes) o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico. En tal caso, el arreglo de tratamiento terciario debe ser el necesario para alcanzar esa calidad específica, lo cual implica una gran diversidad de posibles combinaciones de operaciones y procesos unitarios.

### **1.7.1.1 TIPOS DE TRATAMIENTO EN AGUAS RESIDUALES SANITARIAS**

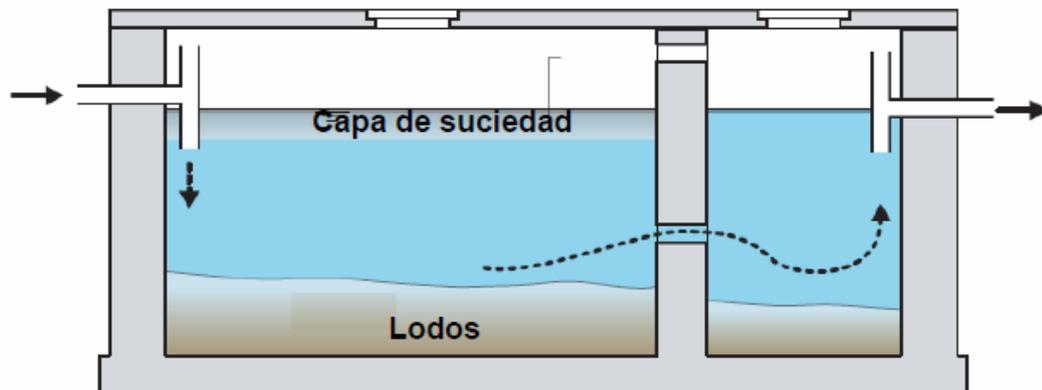
#### **1.7.1.1.1 LA CÁMARA SÉPTICA**

La cámara o fosa séptica puede considerarse como un digestor convencional a escala reducida. Su uso se ha limitado a tratar las aguas de desecho de casas habitación, escuelas, etc.; generalmente, en zonas rurales o bien en áreas urbanas en donde no existe el servicio de drenaje. Las fosas sépticas son tanques, en muchas ocasiones prefabricados, que permiten la sedimentación y la eliminación de flotantes, actuando también como digestores anaerobios.

Es importante mencionar que los sistemas de fosas sépticas tienen capacidad para hacer un tratamiento parcial de las aguas residuales. En particular, los procesos de digestión anaerobia no se llevan a cabo totalmente, debido a las limitaciones ya señaladas, lo que se traduce en la liberación de materia orgánica soluble como resultado de la hidrólisis de los sólidos orgánicos retenidos como lodos. Por esta razón, el efluente no posee características físico-químicas para ser descargado directamente a un cuerpo receptor, de ahí la importancia de efectuar el postratamiento del efluente de la fosa séptica, o en ciertos casos, dependiendo del tipo de suelo y el nivel del acuífero, de infiltrarlo mediante un pozo de absorción.

**FIGURA 1 - 2**

## CAMARA SÉPTICA TÍPICO DE DOS COMPARTIMENTOS



Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

### 1.7.1.1.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Las lagunas no son más que cuerpos de agua creados artificialmente, diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante la acción de una masa biológica en suspensión (constituida principalmente por algas, bacterias y protozoarios), con la intervención de otros procesos y factores naturales. Los trabajos de investigación realizados sobre las lagunas en la década de 1940 permitieron el desarrollo de estos sistemas como una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales (Marais, 1970; Mc Gauhey, 1968). La profundidad de las lagunas usadas para el tratamiento de aguas residuales es variable y se clasifican teniendo en cuenta los niveles de concentración del oxígeno disuelto y la fuente de suministro del mismo para la asimilación bacteriana de compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales, según se indica a continuación:

Los factores primordiales que gobiernan el diseño de las lagunas de estabilización son: tamaño, tiempo de retención del agua, temperatura, pH, caudal y carga de DBO en kg/L/día.

#### ✚ Lagunas anaerobias

Se utilizan normalmente como primera fase de un tratamiento de lagunaje con alta carga orgánica. El objetivo principal de estas lagunas es la reducción de la

carga orgánica mediante digestión anaerobia. La eficiencia en la reducción de la DBO y DQO, puede ser del 85%, bajo condiciones óptimas de operación.

En un estudio realizado en Uruguay por Martínez y colaboradores sobre la eficiencia de lagunas anaerobias en el tratamiento de efluentes industriales, se encontró una reducción de la DQO, entre el 19.2 y 44.8 %.

El volumen de las lagunas debe ser el adecuado para que exista un tiempo de retención suficiente para que la degradación llegue a la fase metanogénica y conabundante carga orgánica para que se mantengan las condiciones anaerobias y no se desarrollen algas en la superficie. Un tiempo de retención de un día es suficiente para aguas residuales con una DBO menor a 300 mg/L y una temperatura encima de los 20 ° C.

Según recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se pueden seguir algunos criterios en el dimensionamiento de las lagunas anaerobias, siempre que se trate de climas con temperaturas medias superiores a 22 °C. La profundidad debe estar comprendida entre 2,5 y 5 metros como mínimo. Al calcular el volumen adecuado para una laguna se tendrán en cuenta los dos siguientes criterios:

- Según la concentración de DBO, se calcula el volumen en base a asignar 1 m<sup>3</sup> por cada 0,30 kg DBO/día
- Según el vertido diario, se calcula el volumen para que el tiempo de retención sea al menos 5 días.

El cálculo que dé un resultado mayor, se utilizará para establecer el volumen de la laguna.

#### **Lagunas facultativas**

Son lagunas con una profundidad menor que las anaerobias, entre 1,2 y 2,5 m.

Tienen una zona aerobia en la parte superior, una zona facultativa intermedia y en la parte inferior se encuentra la zona anaerobia.

La depuración principal se consigue en estas lagunas por una acción combinada de las algas y las bacterias. Las algas producen oxígeno por fotosíntesis y las

bacterias oxidan la materia orgánica dando como productos finales CO<sub>2</sub>, agua, nitratos, fosfatos y sulfatos principalmente. Los elementos minerales son a su vez utilizados por las algas para su crecimiento. Por esta razón es importante mantener una población suficiente de algas en las lagunas.

La DBO en estas lagunas puede reducirse de 50 a 90% y la eliminación de nitrógeno y fósforo puede ser del 40 al 90%. Los microorganismos facultativos pueden sobrevivir en condiciones de concentración de oxígeno disuelto variable, como las que tienen lugar en la zona facultativa de las lagunas.

A nivel práctico la OMS recomienda para climas templados y cálidos hacer las lagunas con un dimensionamiento en superficie tal que la carga de vertido diario esté comprendida entre 200 y 400 kg de DBO/hectárea/día.

#### **Lagunas aerobias o de maduración**

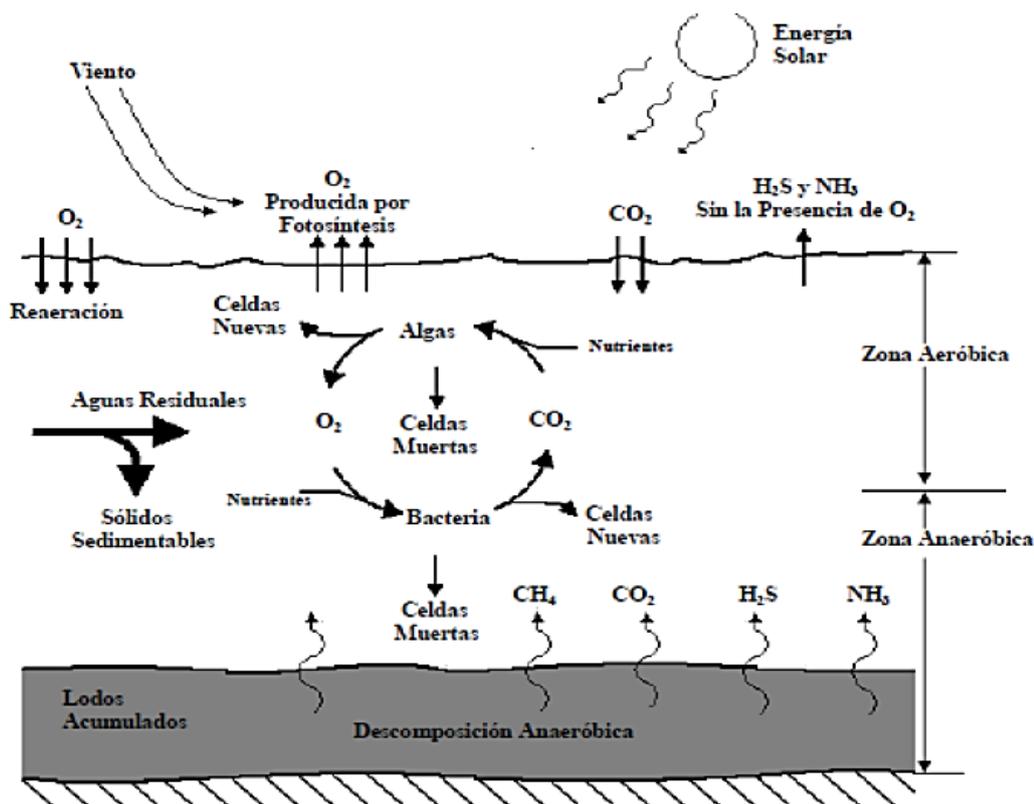
Estas son poco profundas (entre 0,3 y 0,6 m), se sitúan después de otras lagunas de tratamiento y en ellas se mantienen condiciones aerobias en todo el perfil de profundidad.

El componente ultravioleta de la radiación solar, la salinidad, la concentración de oxígeno disuelto, el pH elevado, la disminución de nutrientes y la presencia de depredadores son factores que favorecen la eliminación de microorganismos patógenos en las lagunas aerobias.

En estas lagunas también se produce nitrificación del nitrógeno amoniacal procedente de la materia orgánica. Esta nitrificación se debe a las bacterias nitrificantes, que son aerobias. Por otra parte, se efectúa un descenso en la concentración de nutrientes por el consumo que de ellos hace el fitoplancton.

### **FIGURA 1 - 3**

#### **LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**



Fuente: Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental UMSS, 2013

### 1.7.1.1.3 ESTANQUES DE LODOS ACTIVOS

Es un proceso biológico (bioproceso) utilizado para la depuración natural (biorremediación) de las aguas residuales. El tratamiento general con lodos activados consiste de dos partes:

Un tratamiento aerobio de las aguas residuales, en el cual, un cultivo aeróbico de microorganismos en suspensión oxidan la materia orgánica.

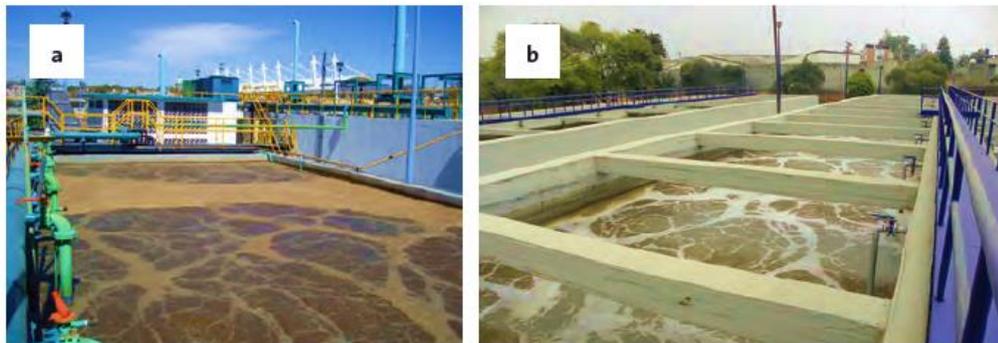
Una conjunto de procesos de biodegradación (oxidación de la materia orgánica disuelta) y biosíntesis (producción de nueva biomasa celular) cuya finalidad es la producción de un clarificado (agua sin materia orgánica en suspensión) bajo en DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), SS (Sólidos Suspendidos) y turbiedad.

Este es tratamiento primario por razones obvias, posteriormente un efluente secundario es separado del volumen principal de lodos activados, de las partes

altas del clarificado, de donde, pasa a un tratamiento secundario en cual, el clarificado es re-oxigenado, filtrado y luego servido o vertido a una corriente natural o re-utilizado para agua de riego. En las partes bajas o fondos del sistema se acumulan los lodos o fangos; el exceso debe ser decantado y compactado mediante una línea o corriente de purga y otra parte usualmente es recirculada (recirculación) nuevamente hacia los fondos por una corriente de derivación. La derivación tiene por objetivo enriquecer y renovar la población de microorganismos activos. El fango activado se puede considerar como un cultivo mixto de microorganismos en suspensión, enriquecido por cantidad de materia orgánica en descomposición (biocenosis). Ésta unidad ecológica y estructural es comúnmente denominada floculo y constituye el núcleo alrededor del cual, se desarrolla el proceso de depuración biológica.

**FIGURA 1 – 4**

### **ESTANQUES DE LODOS ACTIVOS**



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

### **1.7.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO NATURAL Y BIOLÓGICO**

Los principales objetivos del tratamiento biológico son tres:

- 1° Reducir el contenido en materia orgánica de las aguas residuales.
- 2° posibilitar el rehúso inmediato de las aguas tratadas.

3° Eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran realizar por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes capas bacterianas.

#### **1.7.2.1 HUMEDALES O SISTEMAS DE PLANTAS ACUÁTICAS**

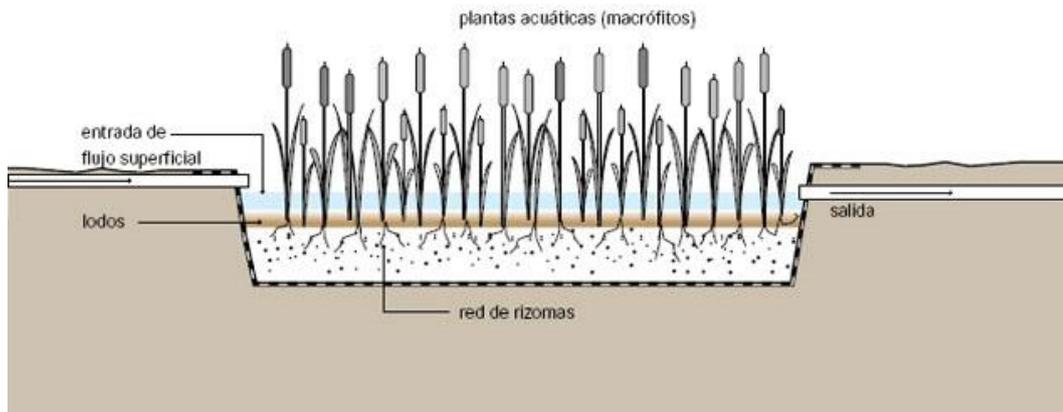
La alternativa de pantanos construidos puede ser una alternativa de tratamiento y desecho de aguas residuales avanzado con el menor costo. Las plantas acuáticas tienen por función soportar componentes del ambiente acuático que mejora la capacidad y/o confiabilidad del tratamiento de aguas residuales.

Este sistema consiste en la reproducción controlada, de las condiciones existentes en los sistemas lagunares someros o de aguas lenticas los cuales, en la naturaleza, efectúan la purificación del agua. Esta purificación involucra una mezcla de procesos bacterianos aerobios-anaerobios que suceden en el entorno de las raíces de las plantas hidrófilas, las cuales a la vez que aportan oxígeno consumen los elementos aportados por el metabolismo bacteriano y lo transforman en follaje.

Este sistema es el más amigable desde el punto de vista ambiental ya que no requiere instalaciones complejas, tiene un costo de mantenimiento muy bajo y se integra al paisaje natural propiciando incluso refugio a la vida silvestre.

#### **FIGURA 1 - 5**

#### **HUMEDALES ARTIFICIALES**



Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de Saneamiento, 2012

### 1.7.2.2 SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES SANITARIAS CON PLANTAS ACUÁTICAS

El uso de plantas acuáticas flotantes se exploró en la década de los 1970 en el centroespacial de la NationalAeronautics and SpaceAdministration (NASA) en los EE.UU., como un sistema potencial de tratamiento de aguas residuales para viajes espaciales.

Esta tecnología ha evolucionado y se ha integrado con sistemas de lagunas aireadas, aireación extendida y humedales artificiales para ofrecer nuevas opciones para eltratamiento de aguas residuales.

Los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales han evolucionadodesde las primeras investigaciones en Alemania con plantas emergentes, convirtiéndoseen una importante tecnología para el tratamiento de efluentes de tanques sépticos, delagunas de estabilización y, en general, de efluentes de tratamiento biológicosecundario. Cañas, juncos y espadañas sirven como matriz para el crecimiento depelículas bacterianas adheridas. Los humedales artificiales pueden ser de flujosubsuperficial o de flujo libre de agua. Estos sistemas pueden funcionar como unaopción para la reutilización de agua o como hábitat natural de fauna silvestre (CritesyTchobanoglous, 2004).

Las plantas además de brindar superficies para el crecimiento de microorganismos, proporcionan un ambiente adecuado para que estos transformen los contaminantes y reduzcan sus concentraciones. Las plantas trasladan el oxígeno desde las hojas y tallos de las raíces, creándose de esta manera una rizosfera oxidada. Los siguientes aspectos han motivado el presente interés por esta tecnología:

- ✚ Proporciona un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable.
- ✚ Proporciona un tratamiento de amplio espectro, removiendo de las aguas, nutrientes, metales pesados y otros tipos de contaminantes químicos.
- ✚ El sistema es capaz de remover microorganismos patógenos.
- ✚ Los costos capitales y de operación anual son significativamente menores a los costos por métodos convencionales de tratamiento.
- ✚ La biomasa cosechada puede ser utilizada de diferentes maneras; como alimento animal, acondicionador de suelos, fertilizantes, producción de metano, etc.

## **1.8 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UN BIOFILTRO**

El biofiltro es un sistema que imita a los humedales (pantanos) naturales, donde las aguas residuales se depuran por procesos naturales. Los biofiltros son humedales artificiales de flujo subterráneo, diseñados para maximizar la remoción de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales.

Los biofiltros son pilas de poca profundidad rellenas con un material que sirve como lecho filtrante, en cuya superficie se siembran plantas de pantano, y en las que las aguas residuales pretratadas fluyen en sentido horizontal o vertical.

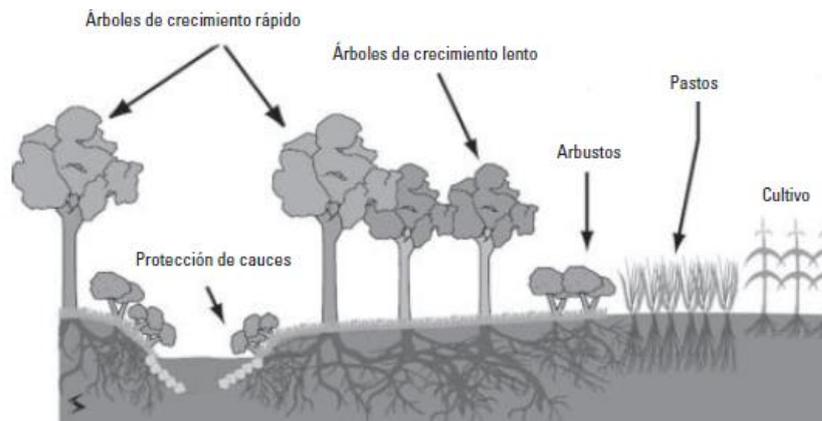
Esta tecnología se comenzó a investigar a nivel experimental en Alemania en la década de 1960, aunque no fue hasta en las dos últimas décadas del siglo pasado que comenzaron a utilizarse para el tratamiento de aguas residuales generadas por pequeños núcleos poblacionales en países de todos los continentes del mundo.

Un biofiltro también puede tener otros objetivos; por ejemplo, para la protección de riberas, para defender zonas susceptibles de inundación, establecer corredores de vida silvestre, reducir la temperatura de los cursos de agua y favorecer la proliferación de peces, aumentar la diversidad vegetal y embellecer el paisaje del área.

Como se señaló, es posible utilizar árboles, arbustos o pastos, que tienen la propiedad de filtrar contaminantes difusos generados por la actividad agrícola, tales como nutrientes (nitrógeno y fósforo), sedimentos, residuos de plaguicidas y material orgánico, entre otros, que son arrastrados por la escorrentía superficial en los campos de cultivo. En la figura 4 se muestra un diagrama de un biofiltro en el campo.

**FIGURA 1 – 6**

**DISPOSICIÓN DE ESPECIES VEGETALES EN UN BIOFILTRO**



Fuente: [www.forestry.iastate.edu/.../buffer1.gif](http://www.forestry.iastate.edu/.../buffer1.gif)

Diversas investigaciones coinciden en el modelo estructural de un humedal artificial cuya conclusión llega a que el tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: reserva de agua en una trampa de grasas en donde por gravedad se sedimentan el material sólido, una jardinera, tratamiento que consiste en una locación en la cual se encuentra el material filtrante (arenas y gravas) donde se siembran plantas. Se hace colar el agua y se lo hace pasar por el sistema, las plantas por medio de

bacterias y sus raíces, permiten que el oxígeno penetre; además las mismas plantas van extrayendo materia orgánica y nutriente del agua como contaminantes. Como paso final se tiene la evacuación para lo cual se utiliza un tanque reservorio donde se almacena el agua tratada para su uso posterior. Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización, purifican el agua mediante la remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo el fosforo.

Las funciones básicas por las que se utilizan los humedales artificiales son porque fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, para que los microorganismos la transformen y exista una disminución de la contaminación.

Para que un biofiltro llegue a operar en forma eficiente el medio debe proporcionar un ambiente adecuado que favorezca el crecimiento microbiano y además manteniendo una alta porosidad para permitir que el aire fluya en forma fácil. Las propiedades críticas en la elección del material filtrante serán:

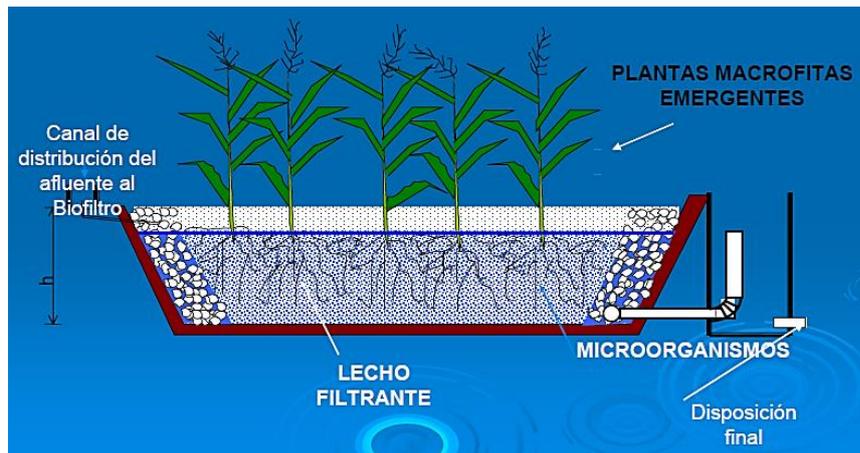
- a) Porosidad homogénea del lecho, entre el 40 y el 80%.
- b) Retención de agua, entre el 40 y un 60% de masa.
- c) pH Neutro.
- d) Alta superficie específica.
- e) Alta resistencia a la compactación.
- f) Presencia de nutrientes inorgánicos como N, P, K y S y alta concentración de microorganismos.
- g) Alto contenido de materia orgánica, entre el 35 y 55%.

Con el paso del tiempo el material de relleno se descompone y se vuelve más denso reduciendo su porosidad (espacio de aire del medio de

comunicación) aumentando así la presión necesaria para mover el aire a través de los materiales de relleno del biofiltro.

**FIGURA 1 – 7**

**SISTEMA POR BIOFILTRACION CON PLANTAS EMERGENTES**



Fuente: Humedales Artificiales para El Tratamiento de Aguas Residuales -  
Universidad Nacional Agraria La Molina facultad De Ingeniería Agrícola

El biofiltro con plantas acuáticas emergentes es un sistema que convino la acción de un sustrato determinado (grava principalmente) con la de plantas acuáticas emergentes. Es sustrato retiene los sólidos en suspensión, a la vez que facilita una gran superficie de fijación para las bacterias que descomponen la materia orgánica; y por su parte, las plantas acuáticas absorben los nutrientes (nitrógeno y fosforo) y aportan oxígeno a través de sus raíces, lo que favorece la descomposición bacteriana.

Las plantas acuáticas facilitan la integración paisajística de los sistemas y recrean ecosistemas complejos donde intervienen otros elementos como insectos, anfibios y aves, regulando el sistema. Las plantas acuáticas además, ofrecen la posibilidad de obtener productos valorizables con diversos fines. Entre los posibles aprovechamientos están los usos ornamentales, alimento para ganado, producción de compost, producción de forrajes, obtención de fibras para trabajos artesanales, etc.

### **1.8.1 BIOFILTROS: TIPOS Y COMPONENTES PRINCIPALES**

Las plantas de Engarrafado generan aguas inorgánicas y orgánicas, las aguas orgánicas son generadas por residuos sanitarios y domésticos, los mismos no realizan tratamientos que favorezcan al medio ambiente con la salida de este efluente.

A lo largo del tiempo esta planta fue creciendo en personal y la salida de aguas residuales sanitarias fue en gran aumento por lo cual el sistema colapso y de esta manera genera gran contaminación dentro de la misma planta; a su vez a lo largo de los años no se realizaron nuevas tecnologías para la depuración de estas aguas a la quebrada que posteriormente da al río Santa Ana.

Para plantear una alternativa a la problemática de esta planta en el departamento de Tarija, se ha elegido el estudio de una tecnología que pudiera adaptarse a las condiciones económicas y sociales de la región, por ello se plantea el tratamiento de las aguas residuales a través de un biofiltro.

Los biofiltros se clasifican en biofiltro de flujo horizontal y de flujo vertical, en dependencia de la forma en que las aguas residuales pre-tratadas atraviesen el lecho filtrante.

#### **1.8.1.1 DESCRIPCIÓN DE UN BIOFILTRO HORIZONTAL**

El biofiltro de flujo horizontal se alimenta de manera continua y no por olas. Su funcionamiento no precisa ninguna fase de reposo. Por lo tanto, la instalación de varios filtros paralelos no suele ser necesaria. El agua corre horizontalmente y se purifica gracias a los microorganismos que se fijan en las raíces de las plantas macrófitas.

El riesgo de obstrucción del filtro es muy alto si no se somete el agua a un pretratamiento. Así, el filtro de flujo horizontal no debe usarse al principio del dispositivo de tratamiento, y lo debe preceder un tratamiento primario

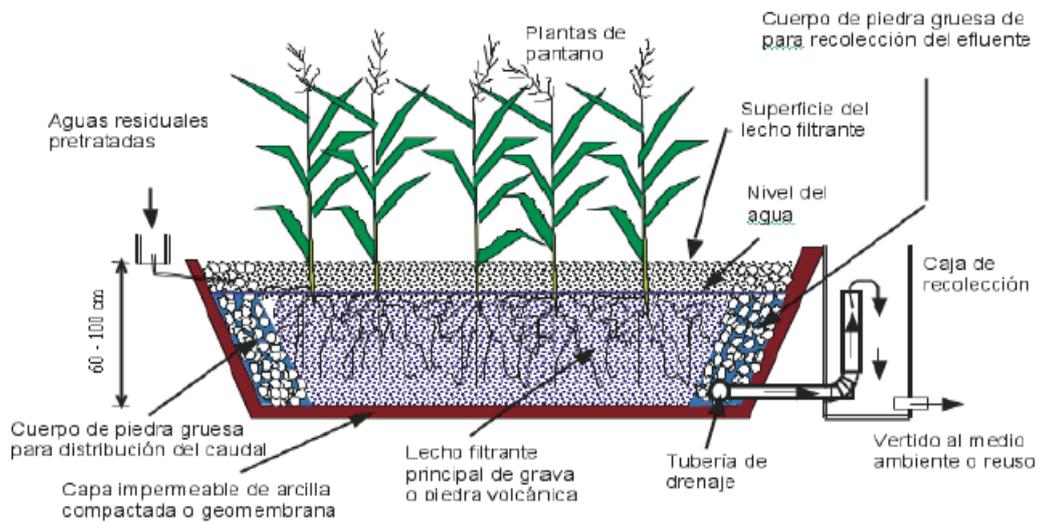
Un biofiltro de flujo horizontal consta de pilas rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, con un relleno de material grueso (5 a 10 cm de diámetro) en las zonas de distribución (entrada) y recolección (salida). La fracción principal del lecho filtrante, ubicada entre las zonas de 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.

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 – 8**

### **BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL**



Fuente: Proyecto ASTEC, UNI - RUPAP, Nicaragua, abril 2006

### Características principales del Biofiltro de Flujo Horizontal:

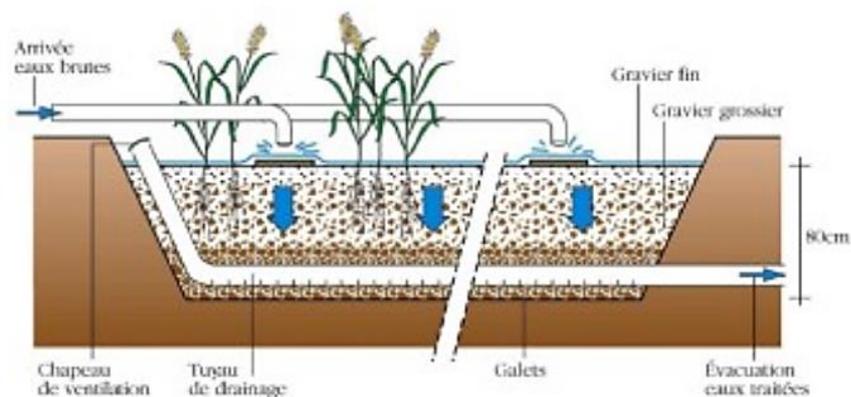
- La cantidad de oxígeno transportado por medio de las hojas y tallos hacia las raíces de las plantas de pantano (macrófilas), dándose la nitrificación solo a niveles bajos.
- Las raíces de las macrófilas crecen vertical y horizontalmente, abriendo así una vía hidráulica a través de la cual fluye agua.
- Alto tiempo de retención, normalmente en el rango de 3-7 días.
- Poca posibilidad de corto circuitos en el régimen hidráulico, por la homogeneidad del lecho filtrante.

### 1.8.1.2 DESCRIPCIÓN DE UN BIOFILTRO DE FLUJO VERTICAL

El biofiltro de flujo vertical no se alimenta de forma continua sino por olas intermitentes (cf. ficha A18 “Rejas de gruesos y sistemas de descarga de las aguas residuales por olas”). Al llegar la ola, el agua se reparte a la superficie del filtro y percola de manera uniforme. Se recoge el agua en el fondo del filtro, a unos 80 cm de profundidad, con ayuda del conducto de evacuación. Se acumula en la superficie del filtro una capa de lodos de unos 1,5 cm de espesor por año. Los tallos de los macrófitos perforan la capa de lodo e impiden la obstrucción del filtro. Suelen emplearse dos o tres filtros idénticos paralelos que funcionan de manera alternativa.

**FIGURA 1 – 9**

### ALIMENTACIÓN Y EVACUACIÓN



Fuente: Grupo Macrophytes et traitement de l'eau

El sistema de olas debe diseñarse de modo que cada ola cubra el filtro con una capa de 2 a 5 cm de agua. Idealmente, el filtro debe recibir 6 a 12 olas por día.

Al descargar el agua, deben observarse dos puntos:

- ✚ La buena repartición de la capa de agua que cubre todo el biofiltro después de cada ola.

- ✚ La planicidad de la superficie del Biofiltro: deben colocarse piedras por debajo de las entradas de agua para que los chorros no formen agujeros o socavación.

Al diseñar el sistema de descarga, debe anticiparse el hecho de que una capa de lodos va a formar un depósito en la superficie del filtro (hasta unos quince centímetros, cf. "mantenimiento"). Las salidas de agua deben estar a una altura suficiente por encima de la superficie del filtro.

El agua se evacua por conductos de evacuación que deben colocarse en el fondo del filtro sin estar justo por debajo de una entrada de agua, para que el agua recorra la máxima distancia en el filtro.

Cada filtro debe tener fases alternativas de funcionamiento y de reposo.

Para algunas pequeñas instalaciones (menos de 100 habitantes), se pueden alternar una fase de funcionamiento de 3 a 4 días, en la que el filtro se alimenta por olas, y una fase de reposo de misma duración. Esto requiere pues dos filtros: uno reposa mientras funciona el otro.

De forma general, es preferible alternar una fase de funcionamiento de tres a cuatro días y una fase de reposo dos veces más larga. Por lo tanto, se necesitan tres filtros idénticos: uno funciona mientras reposan los dos otros.

### **Principal elemento del filtro: el lecho filtrante**

El lecho filtrante se instala en un agujero formado en el suelo. Debe impermeabilizarse para evitar que el agua todavía no tratada se infiltre en la capa freática. Su profundidad está comprendida entre 50 y 70 cm.

Composición del lecho filtrante:

Capa superior: 30 cm de grava fina (2 a 8 mm de diámetro), a veces va por debajo de una pequeña capa de 10 cm de arena.

Capa intermedia: 10 a 20 cm de grava (5 a 10 mm de diámetro)

Capa del fondo: 10 a 20 cm de grava gruesa o cantos rodados (20 a 60 mm de diámetro)

Preferentemente, cuando se usan dos series sucesivas de filtros de flujo vertical (caso del dispositivo n°2 mencionado en la ficha A 17 sobre los diversos modos de tratamiento ecológico de los efluentes), la capa superior del segundo filtro debe estar constituida por arena.

Al empezar el filtro, conviene plantar 4 macrófitos por m<sup>2</sup> con su terrón. Se multiplicarán durante el funcionamiento del filtro.

Para garantizar el buen funcionamiento del filtro, deben instalarse pozos de aireación conectados a los conductos de evacuación, cuidando de que desemboquen bastante alto para evitar que el agua baje por esta vía (cf. esquema página 1). Los conductos de evacuación deben colocarse en el fondo del filtro sin estar justo por debajo de una entrada de agua, para que el agua recorra la máxima distancia en el filtro.

### **Mantenimiento**

Los macrófitos deben podarse todos los años, dejando una altura de 30 cm para evitar que se sumerjan las plantas cuando llegan las olas. Si aparecen malas hierbas en el filtro, deben arrancarse manualmente lo antes posible y sacarse del filtro.

Es necesario controlar periódicamente el buen funcionamiento del filtro, en particular para asegurarse de que el filtro no esté saturado y que los conductos no estén atascados.

A modo indicativo, los lodos suelen acumularse en la superficie del filtro a razón de 1,5 cm por año. Hace falta controlar periódicamente que la acumulación de lodos no perturbe el funcionamiento del filtro: sistema de descarga, pozos de aireación, repartición del agua... Debe sacarse la capa de lodo cuando alcanza unos quince centímetros. Entonces se puede usar como compost agrícola.

### 1.8.2 VENTAJAS DE UN BIOFILTRO

- ✚ Sistema Ecológico que permite el reúso de las aguas tratadas.
- ✚ Sistema modular muy flexible.
- ✚ Produce Lodos Estables que pueden ser utilizados como abono natural.
- ✚ Alta eficiencia en el tratamiento de sólidos y líquidos orgánicos.
- ✚ Eliminación de agentes patógenos sin necesidad de etapa posterior de cloración.
- ✚ Bajos costos de operación, mantención y limpieza.
- ✚ Requiere 1/5 del área usada en un sistema tipo wetland.
- ✚ No requiere suministro de oxígeno, el diseño contempla la aireación natural.
- ✚ No requiere usuarios expertos.

#### CUADRO 1 – 2

#### EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO

Parámetros estudiados	% de Remoción
<b>En efluentes Agroindustriales se registraron las siguientes eficiencias:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes Fecales:</li> <li>• DBO5:</li> <li>• DQO:</li> <li>• Sólidos Suspendidos Totales:</li> <li>• Nitrógeno Total:</li> </ul>	99% 99% 96% 99% 90%
<b>En efluentes provenientes de industria Petroquímica se tiene las siguientes eficiencias:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceites y Grasas:</li> <li>• COV</li> </ul>	68 -90% 99%
<b>En efluentes coloreados provenientes del rubro textil:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Color verdadero:</li> <li>• DQO:</li> </ul>	90% 99%

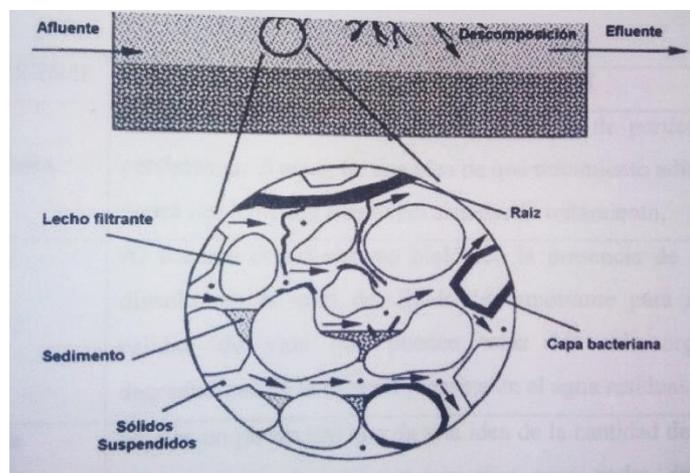
Fuente: tecnología de Biofiltros, fundación Chile

### 1.8.3 FORMACIÓN DE LA PELÍCULA MICROBIANA

Algunos autores, recomiendan que es importante inducir y mantener las condiciones aerobias para favorecer la formación de una película microbiana alrededor de las partículas de grava, para que contribuyan al desarrollo de microorganismos aerobios que coadyuven a una adecuada degradación de la materia orgánica, el modelo se representa en la siguiente figura.

**FIGURA 1 - 10**

**PELICULA MICROBIANA**



**1.8.4 PARAMETROS DE IMPORTANCIA PARA EL DISEÑO DE UN BIOFILTRO**

De los contaminantes ya mencionados con anterioridad, estos se consideran de mayor importancia debido al grado de contaminación que provocan al medio ambiente.

**CUADRO 1 – 3**

## INDICADORES DE IMPORTANCIA PARA EL DISEÑO DEL BIOFILTRO

PARAMETRO	CONSIDERACIONES Y OBSERVACIONES
Demanda bioquímica de oxígeno	Este es un parámetro que da una idea de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para poder depurar la materia orgánica presente en el agua residual.
Coliformes totales y fecales	Con este parámetro medimos la calidad microbiológica del efluente. Este parámetro muestra cuanto ha mejorado el efluente en cuanto a sus características microbiológicas con relación a las características microbiológicas de entrada.

### 1.9 TRABAJOS EXPERIMENTALES PREVIOS REALIZADOS POR OTROS AUTORES

En la realización del presente estudio se toman en cuenta tres estudios realizados en anteriores proyectos.

1. Determinación de la capacidad depuradora de plantas acuáticas seleccionadas en el valle de Tarija y en sistemas de experimentación de carga discontinua Batch, para condiciones climáticas de Tarija. Con el que se determinó cual es la planta que se adecua al valle central.

Se realizó un estudio en Bacth utilizando tres especies: Jacinto de agua, azolla y totora, en el cual se concluyeron que el sistema que contenía totora fue el que alcanzo mejores resultados; brindó una alta depuración de contaminantes; además esta planta soporta temperaturas bajas y elevadas que se presentan en la ciudad de Tarija entre el invierno y verano.

Los humedales de flujo sub-superficial tienen varias ventajas sobre los de flujo superficial. Como el nivel de agua está debajo de la superficie del medio granular, la misma no está expuesta, con lo que se evitan posibles

problemas de mosquitos que puedan llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. (Duran2000)

2. Un estudio hidráulico para la implantación de un sistema continuo con la planta recomendada en la anterior etapa.(Uzqueda, 2002)

A pesar que la diferencia es mínima con grava de 3/8” se obtuvieron mejores resultados ya que se presentó porcentaje entre en tiempo medio de retención y tiempo teórico alcanzando un valor de 53,15%. Como la diferencia en el resultado es bastante entre los sustratos de estudio, se recomienda utilizar grava de 7/8” y así evitar riesgo de taponamiento que conllevaría la utilización de la grava de 3/8.

3. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales a flujo continuo en humedales artificiales sub-superficial.(Sullca, 2004)

La biomasa generada es abundante. En este estudio se observó que las plantas crecen a un ritmo acelerado por la inmediata disposición de alimento que tienen. La biomasa generada en el sistema con deflectores debido a la materia orgánica disponible como alimento para las plantas es mejor aprovechando así un mayor rendimiento en la depuración de los parámetros estudiados.

4. Tratamiento de las aguas residuales de la bodega del CENAVIT a través de la utilización de un biofiltro a escala de laboratorio(Cari, 2012)

En este estudio se muestra ya la eficiencia de un biofiltro con grava de 7/8 que cuenta con tanques de sedimentación, oxigenación para posteriormente realizar el tratamiento en el biofiltro específicamente. Se recomendaría que se hubiese utilizado algún tipo de planta acuática para mejorar el rendimiento de dicho estudio.

## CAPITULO II

## **PARTE EXPERIMENTAL**

### **INTRODUCCIÓN**

Este estudio se realizó con el objetivo de diseñar un sistema de tratamiento para el agua residual sanitaria generada en la planta de embotellado EL PORTILLO Distrito Comercial Tarija, planteando una alternativa viable, técnica y económica para las necesidades planteadas.

El presente trabajo describe la aplicación del método de tratamiento por biofiltración y un posterior humedal artificial en base a plantas acuáticas (totora), el cual está ubicado en el Barrio El Portillo en el kilómetro 8 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> carretera a Villamontes de la ciudad de Tarija.

Esta investigación muestra una alternativa simple y económica que está orientada a solucionar los problemas causados por los vertidos del agua residual sanitaria el cual tiene un colapso actual generando gran contaminación hacia la salida a la quebrada de este efluente.

El biofiltro que se estudió, demostró que tiene altas eficiencias en remoción de materia orgánica, inorgánica, indicadores de contaminantes fecales y nutrientes.

Debido al cambio climático que genera escases de agua en el mundo actual, la reutilización de las aguas residuales hoy en día, se ha convertido en una de las necesidades más apremiadas de todas las comunidades tanto para el consumo humano, riego u otros usos que son necesarios para la vida. Los efluentes líquidos están siendo desperdiciados y subvalorados, las cuales si no son tratados adecuadamente, ocasionan problema de contaminación en las fuentes receptoras, en los suelos y en general dañando el medio ambiente y afectando a la calidad de vida de la población.

### **2.1 MODELO DE FUNCIONAMIENTO DEL BIOFILTRO PLANTEADO**

## PARA EL ENSAYO

### 2.1.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS

A continuación se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas, los métodos de análisis, y las unidades que se emplean para caracterizar la presencia de cada uno de los contaminantes en el agua residual.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en la tabla están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

A continuación se hace una descripción de los parámetros analizados en el proceso de caracterización de las plantas de tratamiento ubicadas en la mina Marlin.

- + **Turbiedad:** es un efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; esto hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de los sólidos en suspensión del agua. La turbiedad en el agua es medida en términos de “Unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)”.
- + **Color aparente:** el color en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas de manera negativa; el color aparente es producto de suspensiones no naturales que interfieren con la calidad del agua. La unidad de medida es “Unidades de color (UC)”.
- + **Potencial de Hidrógeno:** es comúnmente llamado pH; es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. Este valor indica la concentración de iones de hidrógeno ( $H_3O^+$ ) presentes en el agua. Fue acuñado por el químico Danés Sorensen, quien lo definió como el logarítmico negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno presentes en el agua. El potencial de hidrógeno se mide en una escala propia que va desde 0 hasta 14.
- + **Sólidos totales:** se le conoce como el material sólido disuelto y no disuelto dentro del agua, se determinan como: “la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C de una

muestradeterminada”. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.

- ✚ Sólidos disueltos: es la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Son las sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o microgranular que contiene el agua; es un indicador de la calidad del agua. La unidad de medida es “miligramos dividido litros(mg/l)”.
- ✚ Sólidos sedimentables: se le denomina así a aquellos sólidos que se sedimentan por acción de la gravedad, en condiciones tranquilas. Este parámetro es determinado mediante el cono Imhoff de un litro de capacidad y registra el volumen de los sólidos sedimentados en el cono al cabo de 1 hora. Se mide en términos de “mililitros dividido litros en una hora (mg/l/hora)”.
- ✚ Sólidos suspendidos: son partículas sólidas muy pequeñas inmersas en el agua; estos sólidos son la principal causa de turbiedad en el agua, las partículas en suspensión actúan con fuerzas aleatorias que se contrarrestan con la fuerza de gravedad, impidiendo así que los sólidos se depositen en el fondo. La unidad de medida es “miligramos dividido litros(mg/l)”.
- ✚ Sólidos suspendidos volátiles: son los residuos orgánicos presentes en el agua, capaces de combustionar y volatizarse. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- ✚ Sulfatos (SO<sub>4</sub>): el anión sulfato es común en agua residual de tipo doméstico e industrial, se encuentra de manera suspendida; el sulfato tiene un efecto purgante en niños menores de 9 años, el contenido de sulfatos es importante, porque en altas cantidades presentes en el agua tiende a formar incrustaciones en tubería, canales y otras estructuras metálicas. La unidad de medida es “miligramos por litro (mg/l)”.
- ✚ Fósforo total: el fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales; el fósforo total es la suma del elemento en todas sus formas y compuestos; entre los compuestos con fósforo más importantes se tiene: fosfatos orgánicos e inorgánicos. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- ✚ Fosfatos: el uso de detergentes con altas cantidades de fosforo ha

incrementado la cantidad de fosfato en el agua residual doméstica. El fosfato es un indicador del crecimiento de microorganismos presentes en el agua residual. La unidad de medida es “miligramos por litros (mg/l)”.

- ✚ Demanda química de oxígeno (DQO): es un parámetro de contaminación que mide la materia orgánica contenida en el agua; determina la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos presentes en la materia orgánica y que puede ser oxidable por agentes químicos oxidantes fuertes. El ensayo de DQO tiene la ventaja de ser mucho más rápido y sujeto a menos variables que el ensayo de DBO. La unidad de medida es “miligramos de oxígeno disuelto dividido litros (mg/l)”.
- ✚ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): mide la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. El ensayo de la DBO asume la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos utilizados en la materia orgánica que debe ser degradada. El valor de la DBO siempre ha de ser menor o igual a la DQO, pero nunca mayor. La unidad de medida es “miligramos de oxígeno disuelto dividido litros (mg/l)”.
- ✚ Coliformes totales: es la cantidad de bacterias en forma bacilar, aerobia, anaerobia y facultativa, no formadas por esporas. Su presencia en el agua es un indicador de contaminación fecal y posible contaminación de microorganismos patógenos dañinos para el ser humano.
- ✚ Coliformes fecales: es un indicador de contaminación fecal por *Escherichiacoli*, este tipo de bacteria es totalmente patógena para el ser humano y para la mayoría de animales. Este parámetro es básico para determinar la probabilidad de reutilizar el agua residual en riego agrícola.

### **2.1.2 MODELO PLANTEADO PARA EL DISEÑO DEL BIOFILTRO HORIZONTAL**

De acuerdo a las experiencias previas locales realizados por Cari en 2012, Sullca en 2004 y Uzqueda en 2002, con biofiltros con plantas emergentes para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se concibe el modelo para el diseño de un biofiltro horizontal, sobre la base de las características de las aguas residuales que fluyen

reaccionando o degradando la materia orgánica en la medida que atraviesan el biofiltro desde la zona de distribución en la entrada del sistema, siguiendo una trayectoria serpenteada de forma horizontal a través del lecho filtrante, hasta que llegan a la zona de salida de recolección del efluente.

### **Características principales del Biofiltro de Flujo Horizontal:**

- La cantidad de oxígeno transportado por medio de las hojas y tallos hacia las raíces de las plantas de pantano (macrófilas), dándose la nitrificación solo a niveles bajos.
- Las raíces de las macrófilas crecen vertical y horizontalmente, abriendo así una vía hidráulica a través de la cual fluye agua.
- Alto tiempo de retención, normalmente en el rango de 3-7 días.
- Poca posibilidad de corto circuitos en el régimen hidráulico, por la homogeneidad del lecho filtrante.

### **Etapas de un sistema de biofiltro.-**

#### **a) Pre-tratamiento**

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

#### **b) Tratamiento primario**

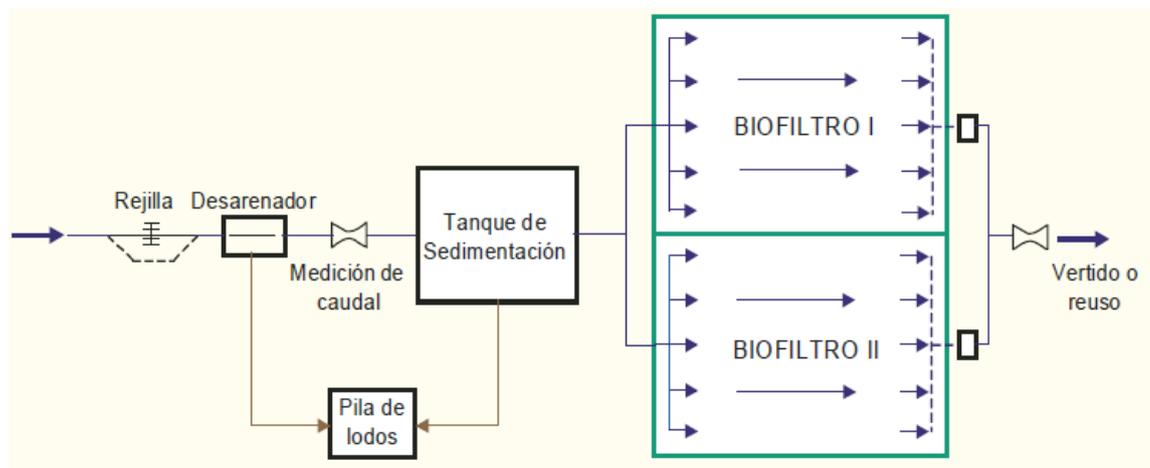
Tiene el propósito de retener la mayor fracción de los sólidos suspendidos, mediante un tanque de sedimentación que puede ser un tanque séptico de tres cámaras o un tanque Imhoff. Cuando estos tanques se cierran, puede instalarse un filtro de biogás para eliminar los olores desagradables.

#### **c) Tratamiento secundario**

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

#### d) Pila de secado de lodos

Los lodos generados en las diferentes etapas del sistema (desarenador, tanque Imhoff) son recolectados y trasladados a esta pila, donde permanecen al menos cuatro meses para permitir su estabilización.



(Etapas de un sistema de Biofiltro de flujo Horizontal)

Fuente: Elaboración propia.

### Componentes principales de un biofiltro:

#### a) Lecho filtrante

Sus funciones principales son eliminar los sólidos que contienen las aguas pretratadas y proporcionar la superficie donde se desarrollarán los microorganismos que se encargan de degradar aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante, además de constituir el medio utilizado por las raíces de las plantas macrófilas para su fijación y desarrollo.

Los criterios para seleccionar el lecho filtrante son la granulometría, la porosidad, la permeabilidad y la resistencia física contra el desgaste provocado por las aguas residuales. Es indispensable que se realice una evaluación cuidadosa a cargo de

especialistas para garantizar el buen funcionamiento de un biofiltro. Los materiales utilizados son grava, piedra triturada o piedra volcánica.

La acumulación de sólidos mineralizados provocará la disminución del volumen de los poros en el lecho filtrante y eventualmente será necesario remover la parte inicial del material después de dos a tres años de operación.

### **b) Plantas de pantano**

Las funciones que cumplen las plantas en los procesos de tratamiento de aguas residuales las convierten en 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.

Las macrófitas cumplen otras funciones dentro del sitio específico, tales como proveer un hábitat conveniente para la vida silvestre y proporcionar al sistema una apariencia estética.

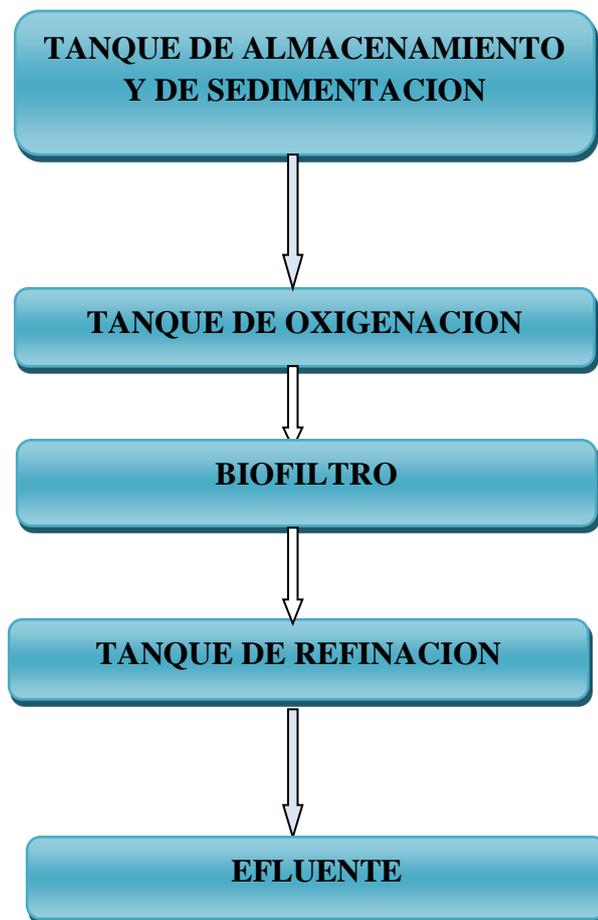
La planta más utilizada a nivel mundial es la *Phragmites australis*, conocida comúnmente en la región como carrizo, por su capacidad de proveer de oxígeno al lecho filtrante. Otras plantas utilizadas son la *Pennisetum purpureum* (zacate Taiwán), que puede ser utilizada como alimento animal; y las de la familia de las Heliconias (platanillo), porque proporcionan un aspecto colorido y estético. En general, es recomendable que las plantas de pantano crezcan en la zona de construcción del biofiltro.

### **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 sólidos orgánicos suspendidos asociados con las aguas residuales entrantes se acumulan, pero son retenidos dentro del lecho filtrante por un largo tiempo y los constituyentes orgánicos son mineralizados por las bacterias. Los microorganismos también permiten la remoción de nitrógeno mediante el mecanismo de nitrificación–Desnitrificación.

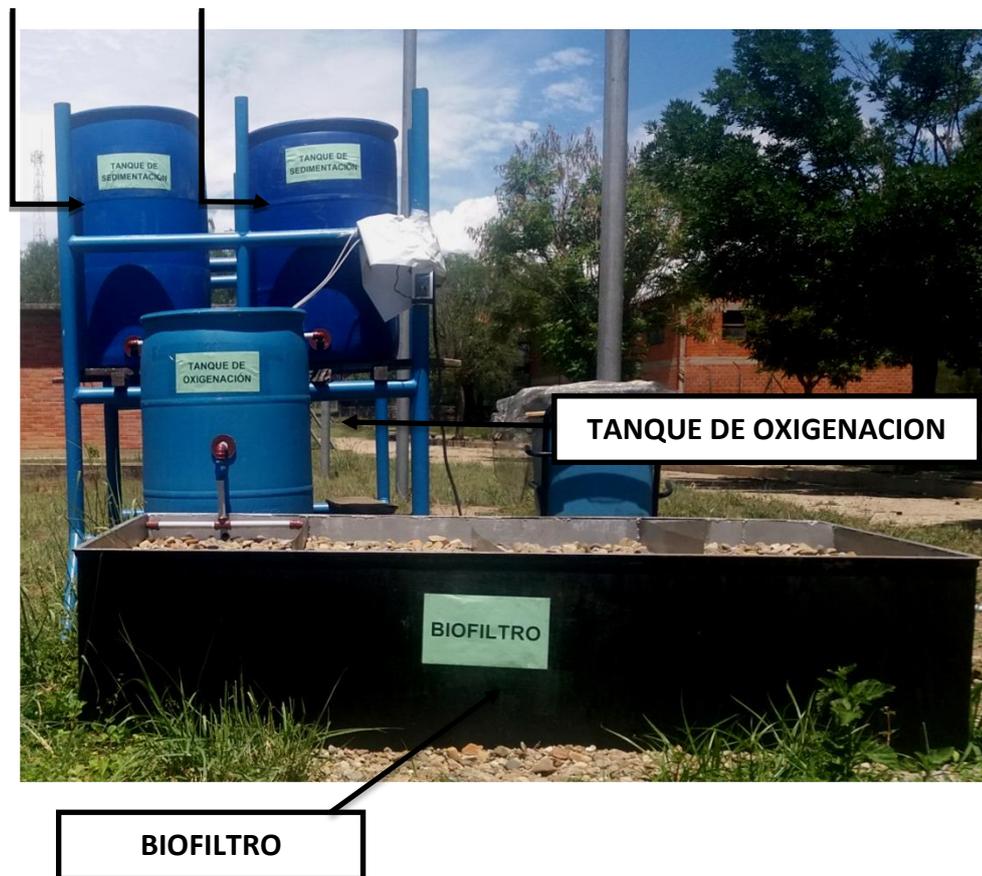
**FIGURA 2 – 1**  
**DIAGRAMA DE FLUJO**



Fuente: elaboración propia, 2016

La siguiente imagen muestra el sistema de tratamiento de aguas residuales sanitarias dimensionado a escala de laboratorio.

**TANQUES DE SEDIMENTACION**



Para este proceso se incorpora aire a través de un tanque de oxigenación como se muestra en la foto, para que se coadyuve a las reacciones de oxidación de la materia orgánica y la formación de una bicapa de microorganismos alrededor de la grava presente, lo cual se espera en una mayor eficiencia en la degradación de la materia orgánica y la posibilidad de su uso posterior de los efluentes del sistema de tratamiento para el abastecimiento como aguas de riego o recreativas.

**FOTO 2 – 1**

**TANQUE DE OXIGENACION**



Fuente: Elaboración propia, 2016

### 2.1.3 TANQUE DE OXIGENACIÓN

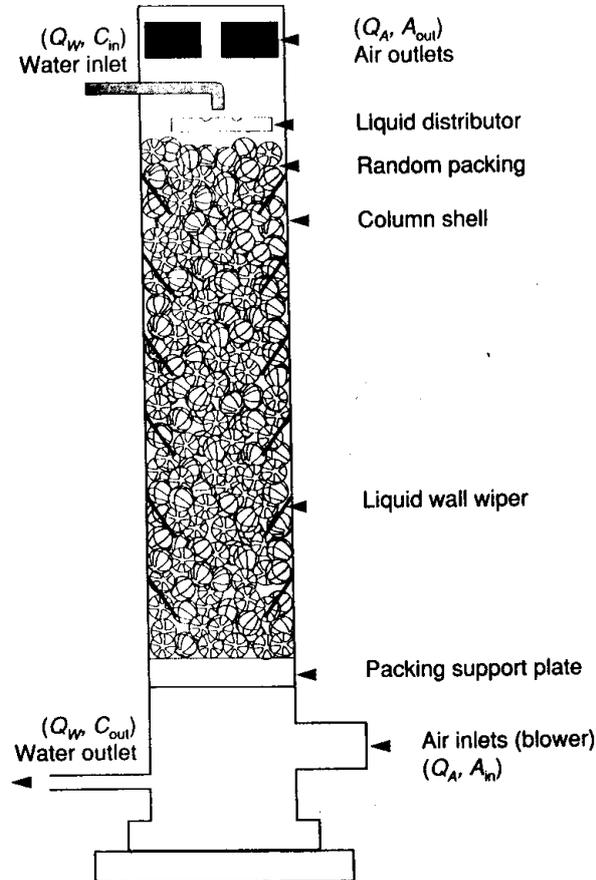
El burbujeo de aire es un proceso de transferencia de masa que aumenta la volatilización de compuestos del agua al pasar aire a través del agua para mejorar la transferencia entre el aire y las fases del agua. El burbujeo de aire es uno de los procesos comúnmente utilizados para la remediación de aguas subterráneas contaminadas con compuestos orgánicos volátiles (COVs) tales como los solventes. El proceso es idealmente apropiado para las concentraciones bajas ( $<200\text{mg/L}$ ). El burbujeo de aire se puede realizar mediante el uso de torres rellenas, torres en bandeja, sistemas de pulverización, aireación difusa o mecánica. Las torres rellenas son generalmente usadas para la aplicación específica de remediación de aguas subterráneas. A continuación se describe el burbujeo de aire en las torres rellenas, aunque la teoría puede ser aplicada a otras clases de sistemas de burbujeo de aire.

#### **Descripción del Proceso**

El proceso consiste en un flujo de contracorriente de agua y aire a través de un material de relleno.

El relleno provee un área de superficie alta para la transferencia de COV desde la fase líquida hacia el aire.

El proceso se ilustra en la Figura siguiente.



Se introduce una corriente de agua contaminada en la parte superior del cilindro a través del descargador y se distribuye en forma pareja sobre el relleno, mientras la corriente de aire se introduce en la parte inferior de la columna. Los materiales típicos de relleno están compuestos de formas plásticas que tienen una proporción de superficie a volumen alta y que proveen la superficie de transferencia necesaria para permitir a los componentes volátiles moverse desde la corriente líquida hacia la corriente de aire.

La corriente de aire deja la columna por la parte superior; la corriente de agua por la parte inferior.

Se podría escribir una ecuación de balance de masa para la columna estableciendo la masa del contaminante removido del agua igual a la masa adicionada al aire:

$$Q_w [C_{in} - C_{out}] = Q_a [A_{out} - A_{in}] \quad (1)$$

Donde  $Q_w$  = caudal de flujo de agua (m<sup>3</sup>/ seg)

$C$  = concentración en agua (kmol/ m<sup>3</sup>)

$Q_a$  = tasa de flujo de aire (m<sup>3</sup>/ seg)

$A$  = concentración en aire (kmol/ m<sup>3</sup>)

Supongamos que el aire que fluye hacia adentro no contiene ninguno de los contaminantes ( $A_{in} = 0$ ) y que el agua efluente también está libre de contaminantes ( $C_{out} = 0$ ). Esta última suposición implica que el cilindro descargador trabajará con una eficiencia del 100%. Finalmente, la concentración en el aire efluente,  $A_{out}$ , se deduce de la ley de Henry mediante el uso de las constantes sin dimensiones de la ley de Henry ( $H'$ ), y se presume equilibrio:

$$\begin{aligned} A_{out} &= H' C_{in} \\ Q_w [C_{in}] &= Q_a [H' C_{in}] \quad (2) \\ Q_w &= Q_a [H'] \end{aligned}$$

ó

$$H' (Q_a / Q_w) = 1 \quad (3)$$

Esta relación teórica es real para el equilibrio ideal y el perfecto burbujeo. La expresión  $R = H' (Q_a / Q_w)$  se denomina el **factor burbujeo**. Los valores de este factor deben ser mayores que el de un burbujeo que va a ocurrir.  $Q_a / Q_w$  se denomina la relación-proporción del aire respecto al agua.

Los sistemas de burbujeo de aire se limitan a las concentraciones COV de menos de unos cuantos miles de mg/ L. Los compuestos no volátiles (es decir, aquellos con  $H' < 0.01$ ) no serán removidos efectivamente. Sin embargo, este proceso es aplicable a una gama mayor de COVs y es capaz de remover contaminantes hasta niveles extremadamente bajos.

## 2.2 DISEÑO DEL BIOFILTRO.

Los biofiltros son lechos rellenos de un medio granular, a través de los cuales circula el agua que no aflora a la superficie. El medio granular sirve de sustrato para fijar la biopelículas, que en este caso, será la capa envolvente del medio granular.

En estos sistemas, el agua en un extremo del lecho, se infiltra, circula en sentido horizontal a través de un medio granular de relleno. Al final y en el fondo del lecho, el agua tratada se recoge y se evacua por medio de tuberías o vertederos. La profundidad del biofiltro descrito en experiencias anteriores, para garantizar un proceso aerobio, no suele exceder los 0,50m y para facilitar la circulación del agua deben ser construidos con una leve pendiente del 2% en el fondo del biofiltro. Los lechos deben ser aislados del suelo para evitar la contaminación de suelos y de aguas subterráneas.

## **2.2.1 DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES DEL BIOFILTRO**

### **2.2.1.1 CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO**

Para el diseño del biofiltro se tomaron en cuenta varios aspectos que se tienen que resaltar para realizar el diseño experimental que están descritos en los siguientes párrafos.

#### **🚧 Material Granular**

El material granular del lecho filtrante juega un papel determinante en la eficiencia del tratamiento. Materiales porosos y resistentes al desgaste mecánico y químico ocasionado por el flujo continuo de las aguas residuales sanitarias tienen una mayor conductividad hidráulica y han demostrado que alcanza una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

Es importante disponer de un material suficientemente homogéneo en forma y tamaño, dureza, capaz de mantener su forma a largo plazo y limpio (sin presencia de finos).

La característica fundamental requerida para el lecho filtrante es su resistencia al desgaste y taponamiento provocado por las características de las aguas residuales, por lo que se debe garantizar que el lecho no se deteriore en el transcurso del tiempo.

#### **🚧 Estructuras de Entrada/Salida**

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

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

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

### ✚ **Microorganismos**

Las moléculas orgánicas complejas son divididas por bacterias en pequeñas partes y productos parcialmente gaseosos como el nitrógeno, dióxido de carbono. Con esto la putrescibilidad en el biofiltro se reduce significativamente. Los sólidos suspendidos orgánicos asociados con las aguas residuales entrantes se acumulan, pero son retenidos dentro del lecho filtrante por un largo tiempo y los constituyentes orgánicos son mineralizados por bacterias. La acumulación de sólidos mineralizados provocan la disminución del volumen de poros en el lecho filtrante y eventualmente es necesario remover una parte del material después de algún tiempo de operación.

En la parte superior del biofiltro prevalecen las condiciones aerobias, mientras que en las capas inferiores pueden existir condiciones anoxias o anaerobias, dependiendo ello de una adecuada oxigenación al agua residual que ingresa. Una degradación aerobia completa da como resultado productos tales como dióxidos de carbono y agua. La degradación anaerobia ocurre a una tasa baja y provoca la formación de metabolitos orgánicos, por ejemplo, ácidos orgánicos o alcoholes, y productos finales reducidos como metano o sulfuro de hidrogeno.

Las reacciones de metabolismo primario son influenciadas por el tiempo de retención dentro del biofiltro, el grado de carga, la distribución de las aguas residuales y las condiciones físicas y químicas del lecho. Un tiempo de retención adecuado a la cinética de remoción, carga continua y una alimentación balanceada son prerequisites indispensables para una eficiencia de tratamiento satisfactoria.

### 2.2.1.2 GENERALIDADES DE DISEÑO

El dimensionamiento y las características físicas del biofiltro dependen, entre otros factores, de la localización de la planta, de las características climáticas del sitio, de la calidad del agua del efluente deseado, de las restricciones de calidad de vertido de aguas tratadas exigida por la normativa ambiental.

### 2.3 DISEÑO DEL BIOFILTRO EXPERIMENTAL

De acuerdo a los datos respecto a la cantidad de aguas residuales que se generan en la planta de engarrafado de YPFB, se tiene un caudal a la salida de  $10\text{m}^3/\text{día}$ .

Al ser este biofiltro a pequeña escala trabajaremos con el 1.4 % del caudal real de aguas residuales.

$$Q = 10\text{m}^3 \times 1.24\%/100\% = 0.124 \text{ m}^3/\text{día}$$

Al haber ya un estudio realizado por la señora Estela Sullca en el cual nos indica que el tiempo de retención óptimo para el tratamiento de las aguas residuales es de 3 días, tomaremos que el volumen vacío de biofiltro debe ser:

$$V_B = 0.124 \text{ m}^3/\text{día} \times 3 \text{ días} = 0.372 \text{ m}^3$$

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

**PARAMETROS**

**FLUJO SUB-SUPERFICIAL**

Porosidad de la grava empleada	0.04663
Relación largo-ancho	2:1
profundidad	0.5m
Pendiente del fondo	2%
Numero de deflectores	4
Tipo de relleno	Grava de 7/8"

Fuente: Parámetros de tesis para tratamiento de aguas residuales de Estela Sulca.

Donde tomaremos a “x”, como la porosidad o espacio disponible para el flujo del agua a través del biofiltro.

$x =$  porosidad del medio de grava = 0.4663, valor establecido por Sulca.

Entonces el volumen total del biofiltro será:

$$V_t = V_B / x = 0.372 \text{ m}^3 / 0.4663$$

$$V_t = 0.798 \text{ m}^3 \text{ volumen total del biofiltro}$$

Dimensionamiento del biofiltro:

LARGO: ANCHO: ALTO

2: 1: 0.4

Largo = 2 m ( $l_t$ )

Ancho = 1 m ( $a_t$ )

Profundidad (alto) = 0.4m ( $h_t$ )

$$V_t = l_t * a_t * h_t$$

$$V_t = 2 \text{ m} * 1 \text{ m} * 0.4 \text{ m}$$

$$V_t = 0.8 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el tiempo de retención es de:  $t = 72 \text{ hr}$

Caudal:  $Q = 0.8 \text{ m}^3 / 72 \text{ hr} = 0.0111 \text{ m}^3/\text{hr}$

### **Calculo del número de deflectores.-**

Se emplean deflectores para aumentar el tiempo de retención de las aguas residuales en el biofiltro, se asimila que la velocidad de oxidación de la materia orgánica es variable y permanente en la medida que atraviesa el biofiltro.

Por ello, para determinar el número de deflectores que incrementen el tiempo de retención del fluido al interior del biofiltro, se toma como base el volumen del reactor, las relaciones para el diseño que fueron recomendadas en el trabajo realizado por E. Sullca, en lo que toca a las dimensiones entre el largo: ancho: alto del biofiltro y la relación de ancho del biofiltro: espaciado de los deflectores. Las relaciones recomendadas por la autora del trabajo son las siguientes:

Largo: ancho: alto                    2:1:0.4

Ancho biofiltro: espaciado    2:1

Por ello si:

Ancho del biofiltro = 1 m ( $a_t$ )

Espaciado de los deflectores ( $a_1$ )

$$\frac{2}{1} = \frac{1}{a_1}$$

Entonces el espacio del deflector es:

$$a_1 = 0.5 \text{ m}$$

Por lo tanto el número de deflectores a utilizar esta dado por:

$N = \text{Numero de deflectores} = \text{largo del biofiltro} / \text{espaciado entre deflectores}$

$l_t = \text{largo del biofiltro}$

$$N = 2 / 0.5 = 4$$

El número de deflectores es:  $N = 4$

### **Calculo del largo de los deflectores: $a_2$**

Para garantizar un adecuado escurrimiento del fluido y evitar las zonas o espacios muertos, Jairo Romero en el libro de 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 mismo, por lo que para el trabajo se asume que el largo del deflector será del 75% del ancho del biofiltro.

Entonces:

$$a_2 = 0.75 * a_1 = 0.75 * 1\text{m} = 0.75 \text{ m}$$

Calculo de la velocidad de flujo  $v$ :

$$A = a_1 * a_2 = 1 \text{ m} * 0.5 \text{ m} = 0.5 \text{ m}^2$$

$$v = Q / A = 0.0125 / 0.5 = 0.025 \text{ m/h}$$

**TABLA II – 1**

### RESUMEN DE LOS CALCULOS DEL BIOFILTRO

PARAMETRO	SIMBOLO	MEDIDA
Caudal	Q	0.01111m <sup>3</sup> /hr
Volumen total del biofiltro	V <sub>t</sub>	0.8 m <sup>3</sup>
Largo del biofiltro	l <sub>t</sub>	2 m
Ancho del biofiltro	a <sub>t</sub>	1 m
Altura del nivel de agua	h <sub>t</sub>	0.4 m
Altura total del biofiltro	h	0.5m
Espaciado entre deflectores	a <sub>1</sub>	0.5 m
Largo de los deflectores	a <sub>2</sub>	0.75m
Numero de los deflectores	N	4
Velocidad del fluido	v	0.025 m/h

Fuente: Elaboración propia.

**ALIMENTACION DEL AGUA RESIDUAL AL BIOFILTRO**



Fuente: elaboración propia

**FOTO 2 – 3**

**SALIDA DE AGUA RESIDUAL DEL BIOFILTRO**



Fuente: elaboración propia

**FOTO 2 – 4**



## RECEPCION DEL AGUA A LA SALIDA DEL BIOFILTRO

Fuente: elaboración propia

FOTO 2 – 5

### SEÑALIZACION DEL EQUIPO



Fuente: elaboración propia

### 2.3.1 PLANTAS ACUATICAS (TOTORA)

Una de las macrófitas más conocidas y difundidas en nuestro medio es la Totorá (*Scirpuscalifornicus*). Esta especie fue traída del Lago Titicaca a la Laguna Alalay, donde forma parte de la flora presente en la laguna y también se encuentra en abundancia en las zonas de inundación de la planta de tratamiento de Alba Rancho. Esta macrófita, forma parte de la amplia gama de plantas fitodepuradoras empleadas en los sistemas no convencionales de depuración de aguas residuales.

En este apartado presentamos las características de la totora como agente depurador.

Asimismo, se presentan algunos resultados de la experiencia sobre su implantación en grava, realizada en Punata, dentro del marco del proyecto: “Zonas húmedas construidas para la depuración de aguas residuales en el municipio de Punata”, el cual pretende probar precisamente zonas húmedas construidas con totoras, para depurar aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento con lagunas de estabilización, ubicada en la comunidad de Tajamar Centro, sudoeste del municipio de Punata.

### **Características generales de la totora**

El tipo de humedal artificial al que nos referiremos en es de flujo subsuperficial, por lo que nos centraremos en la descripción de las plantas que se usan en dicho tipo de humedal: las helófitas y en particular la totora.

Las helófitas son plantas adaptadas a condiciones de saturación de humedad e inundación, siempre que el agua no las cubra completamente. Es decir, soportan una fuerte limitación en la disponibilidad de oxígeno en el suelo. Comprende una parte debajo del nivel del agua, y otra parte aérea.

El papel de las helófitas en los humedales artificiales se resume en los siguientes aspectos:

- Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas (Valdés *et al.*, 2005).
- Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal (Lahora Cano, 2004).

- Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación (Valdés *et al.*, 2005).

- Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos (Lahora Cano, 2004).

Además del oxígeno en la zona radicular, las bacterias son favorecidas por exudados de las plantas en la misma zona (Stengel en Soto *et al.*, 1999).

Las helófitas más usadas en depuración son *Typha*, *Scirpus*, *Phragmites* y *Carex* (Lahora Cano, 2004). Si bien existen pequeñas diferencias en la eficiencia de remoción de contaminantes entre dichas especies, la recomendación es *utilizar la especie de mayor adaptación y disponibilidad en el medio*.

*Scirpus californicus*, comúnmente conocida como totora, es la especie que se encuentra en mayor proporción en el Valle Central cochabambino (Laguna Alalay, zonas de inundación de Alba Rancho y otros cauces de agua naturales).

FOTO

TOTORA EN HUMEDAL ARTIFICIAL



Fuente: elaboración propia, 2016

**PRESUPUESTO COSTO DEL ESTUDIO PROPUESTO.-**

La estimación de costos que demandará el presente trabajo para su elaboración se detalla a continuación:

**TABLA II - 2****COSTOS ESTIMADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL BIOFILTRO**

DETALLE DEL MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (BS)	PRECIO TOTAL (BS)
Planchas de 1.5mm	6	Unidad	350	2100
Hierro de 15x20 mm	4	Barra	86	344
Pintura	4	Litros	40	160
Brea	2	Kg	25	50
Tiner	4	Litros	14	56
Tapón ½ IPS	6	Unidad	3	18
Llave de ½ IPS	4	Unidad	20	80
Niples ½ IPS	6	Unidad	9	54
Brida ½ IPS	6	Unidad	10	60
Sella roscas	2	Unidad	12	24
Cinta Teflón	2	Unidad	15	30
Grava 7/8"	2	m <sup>3</sup>	155	310
Tanque de 200 l	4	Unidad	300	1200
Mangueras	4	m	6	24
Bombas de oxígeno	4	unidad	80	320
Cronometro	2	Unidad	40	80
<b>TOTAL</b>				<b>Bs 4910</b>

Fuente: Elaboración propia

## COSTOS ESTIMADOS PARA EL ARMADO DEL EQUIPO

**Precio del armado y soldadura del biofiltro                      Bs 6000**

Fuente: Elaboración propia

### COSTO DE LOS ESTUDIOS DE LABORATORIO

PARÁMETROS	METODO	UNIDAD	COSTO Bs.
<b>ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO</b>			
<b>TPH</b>	<b>Infrarrojo</b>	mg/l	309,64
<b>Alcalinidad</b>	<b>Espectrométrico</b>	mg/l	32,98
<b>Calcio</b>	<b>Titulométrico</b>	mg/l	32,56
<b>Cloruros</b>	<b>Titulométrico</b>	mg/l	38,62
<b>Conductividad</b>	<b>Potenciométrico</b>	uS/l	25,18
<b>Dureza Total</b>	<b>Titulométrico</b>	mg/l	39,80
<b>Hierro</b>	<b>Absorción Atómica</b>	mg/l	126,80
<b>Magnesio</b>	<b>Espectrométrico</b>	mg/l	36,32
<b>Manganeso</b>	<b>Absorción Atómica</b>	mg/l	126,80
<b>PH</b>	<b>Potenciométrico</b>	.....	25,18
<b>Temperatura</b>	<b>Infrarrojo</b>	°C	10,57
<b>Sodio</b>	<b>Absorción Atómica</b>	mg/l	121,93
<b>Sulfatos</b>	<b>Espectrométrico</b>	mg/l	34,23
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	<b>Potenciométrico</b>	mg/l	27,27
<b>Turbiedad</b>	<b>Nefelométrico</b>	N.T.U.	30,06
<b>DQO</b>	<b>Espectrométrico</b>	mg/l	154,64
<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>Dilución</b>	mg/l	144,20
<b>ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO</b>			
<b>Coliformes Totales</b>	<b>Membranas</b>	mg/l	86,92
<b>Coliformes Fecales</b>	<b>Membranas</b>	mg/l	86,92
<b>Cloro Residual</b>	<b>O-Tolidina</b>	mg/l	37,78
<b>Total</b>			1528,40
<b>N° de Muestras</b>			6
<b>TOTAL BS</b>			9170,40

Fuente: Elaboración propia

## FINANCIAMIENTO DEL ESTUDIO

ACTIVIDAD	COSTO (Bs)
Búsqueda de información (Internet)	400
Fotocopias (Libros, Revistas, etc.)	200
Impresiones (Información, Anteproyecto, perfil, proyecto)	900
Transporte	300
Empastados	400
Imprevistos	500
Consultoría	5000
<b>Total</b>	<b>7700</b>

Fuente: Elaboración propia

Total Costos Estimados Para La Elaboración Del Biofiltro	Bs 4910
Total Costos Estimados Para El Armado Del Equipo	Bs 6000
Costo De Los Estudios De Laboratorio	9170,40
Total Costos de Financiamiento Del Estudio	Bs 7700
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>Bs 27780,40</b>

Fuente: Elaboración propia

**El costo total del proyecto será de Bs. 27780,40.**

## 2.4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Después de instalado el sistema de tratamiento se procede a la toma de muestras para la caracterización del agua residual. En los puntos definidos para el sistema de biofiltración se realiza semanalmente para poder ver cómo va el funcionamiento y

así determinar la calidad del agua de salida.

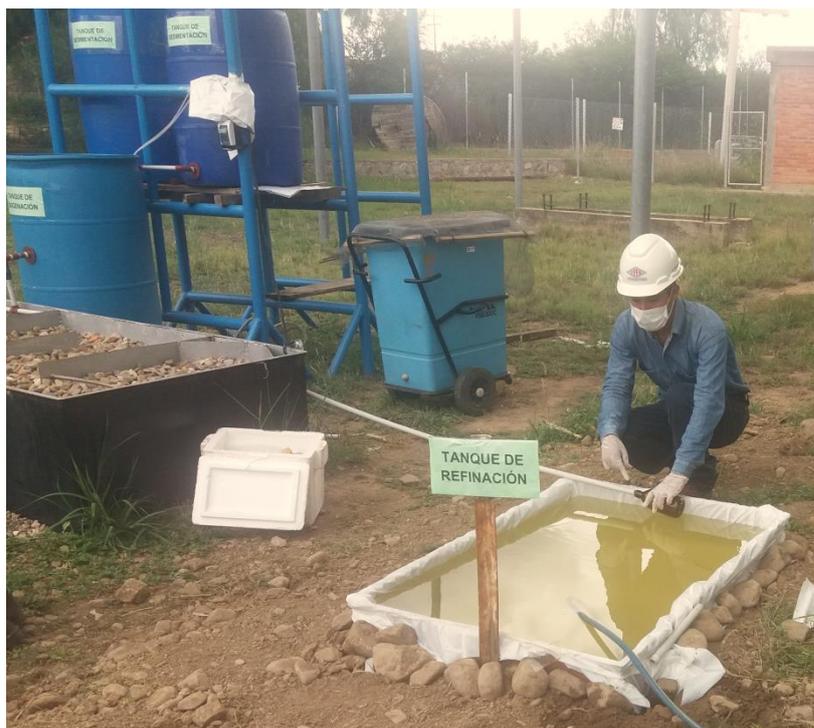
#### **2.4.1 PARTE EXPERIMENTAL: MONITOREO Y TOMA DE MUESTRAS**

La calidad de un agua se ha entendido por el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que hacen que el agua sea apropiada para el uso determinado.

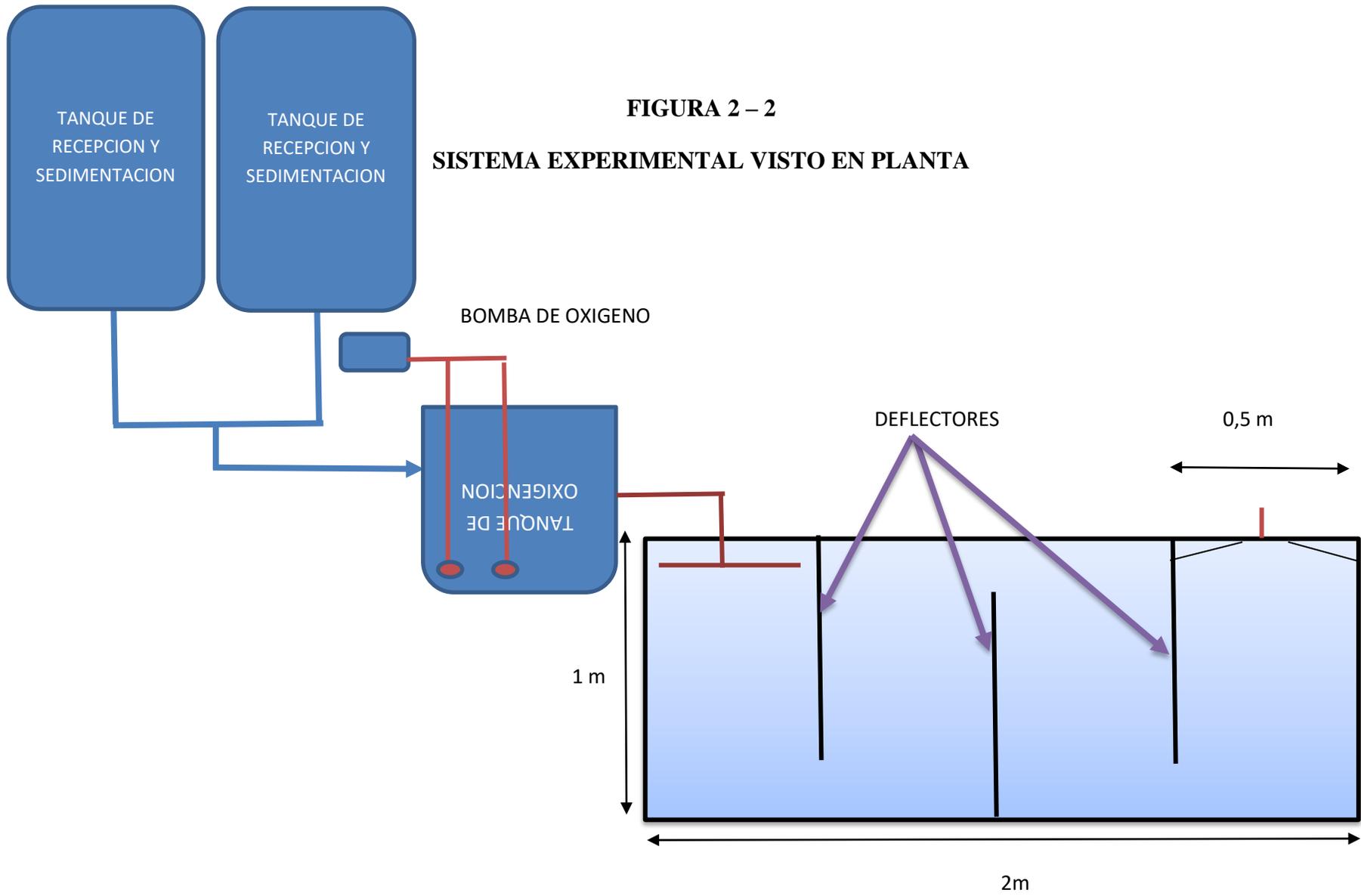
Esta definición ha dado lugar a diversa normativa, que asegura la calidad suficiente para garantizar determinados usos, pero que no recoge los efectos y las consecuencias que la actividad humana tiene sobre las aguas naturales.

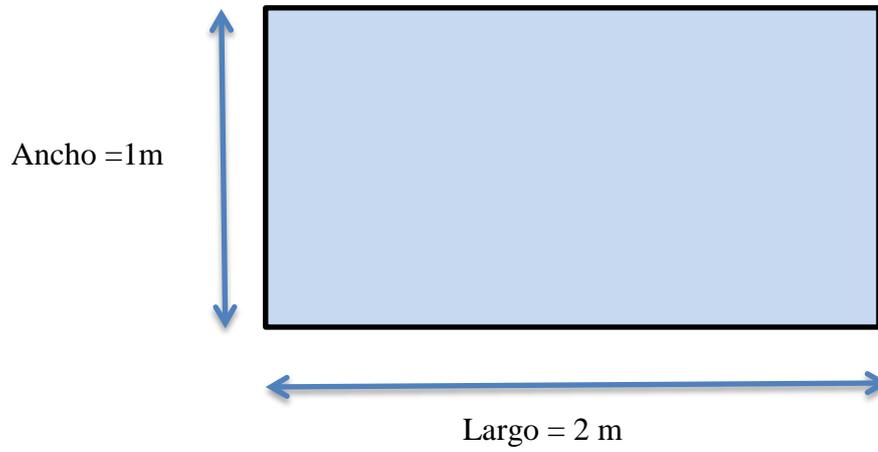
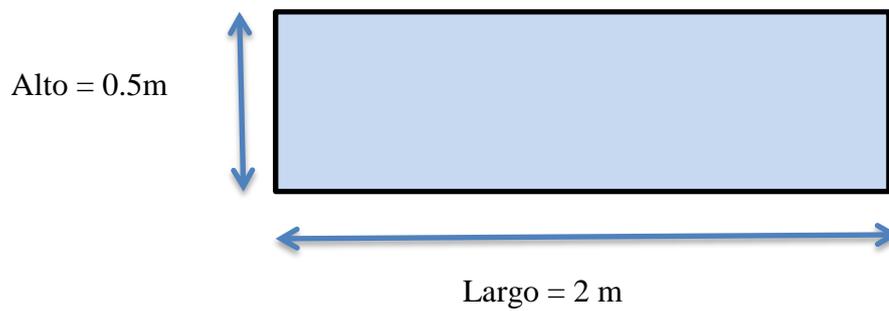
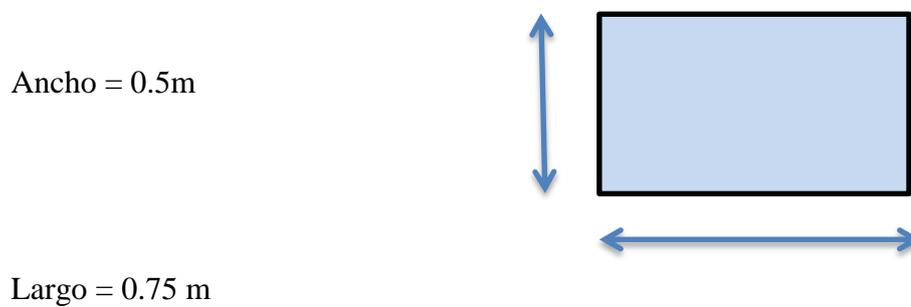
#### **FOTO 2 – 6**

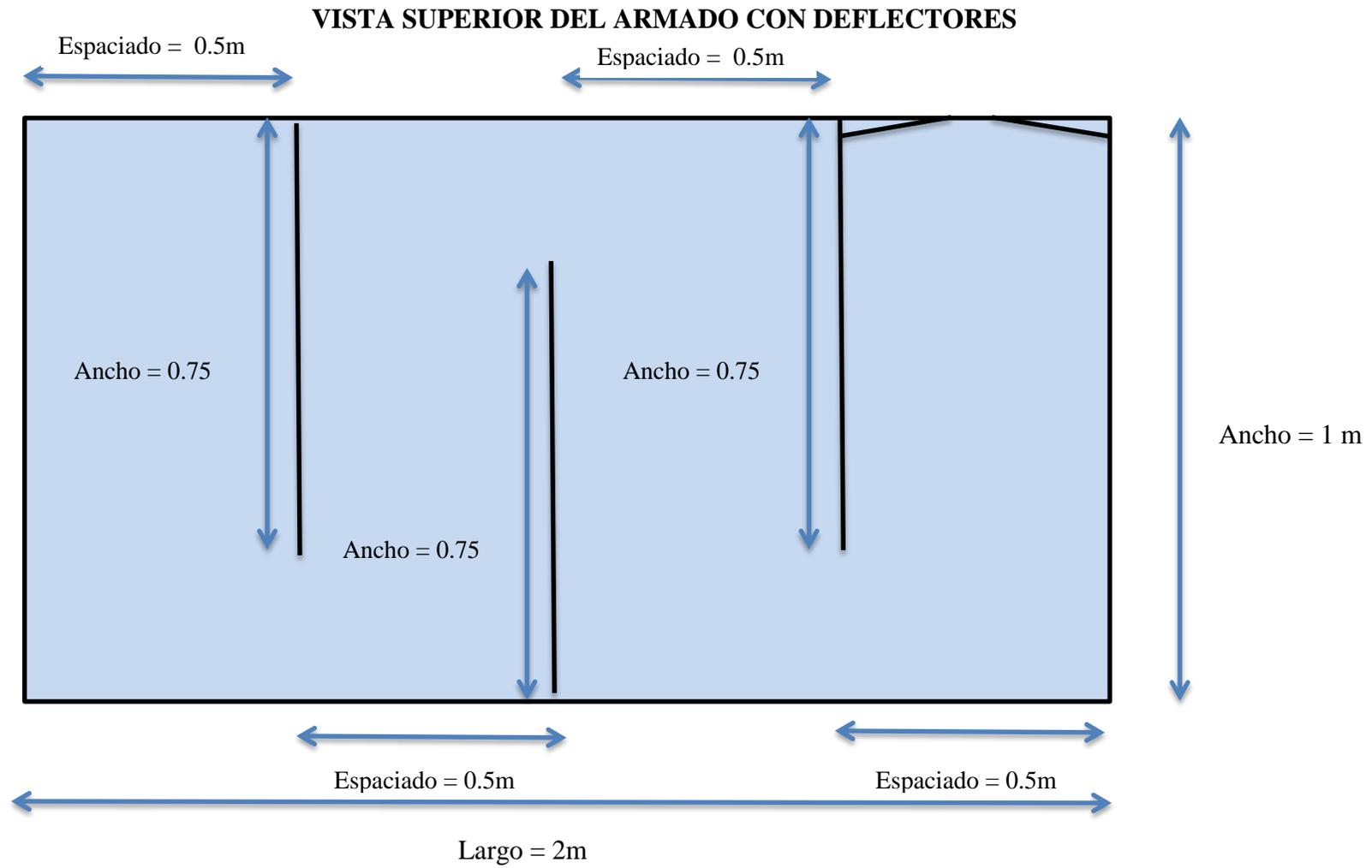
#### **MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL**



Fuente: elaboración propia, 2016



**VISTA SUPERIOR****VISTA LATERAL****TAMAÑO DE LOS DEFLECTORES****3 deflectores**



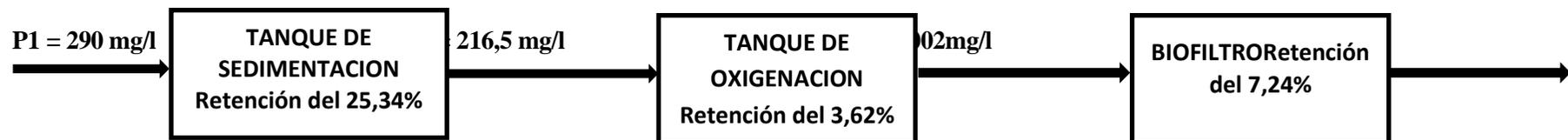
## 2.5 BALANCE DE MATERIA

### BALANCE DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

#### Datos:

Caudal total = 11,1 lt/hr

VARIABLES	UNIDAD	P1	P2	P3	P4
Solidos Totales Disueltos	mg/l	290	216,5	206,002	185

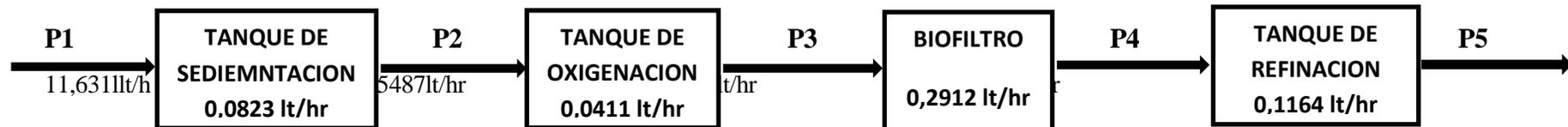


### BALANCE DE AGUA

Para el sistema el caudal de ingreso es  $Q = 0.0111 \text{ m}^3/\text{hr} = 11,1\text{lt/hr}$

Evapotranspiración:  $E_v = 3,4943 \text{ mm/día}$

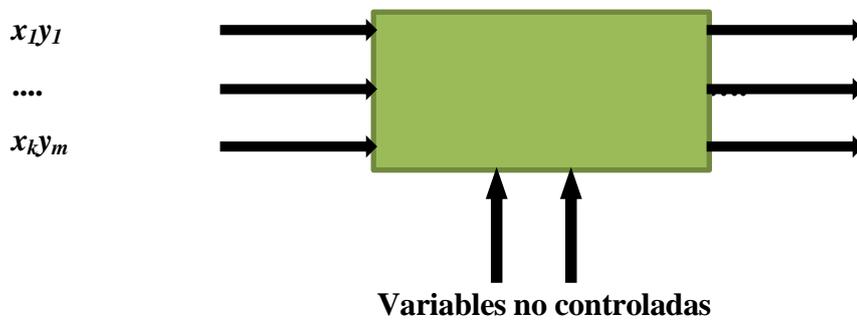
VARIABLES	UNIDAD	P1	P2	P3	P4	P5
Caudal de Agua	l/h	11,631	11,5487	11,51	11,2164	11,1



## 2.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Las situaciones en las que se puede aplicar el Diseño Experimental son muy numerosas. De forma general, se aplica a sistemas como el mostrado en la figura los cuales se observan una o más variables experimentales dependientes y llamadas respuestas cuyo valor depende de los valores de una o más variables independientes  $x$  controlables llamadas *factores*. Las respuestas además pueden estar influidas por otras variables que no son controlables por el experimentador. La relación entre  $x$  e  $y$  no tienen porqué ser conocida.

**FIGURA 2 - 3**  
**SISTEMA DEL DISEÑO FACTORIAL**



Representación de un sistema en estudio de diseño experimental: factores  $x$ , respuestas  $y$ .

Para el caso del sistema experimental tenemos:

Un sistema de tratamiento para la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales sanitarias de la Planta De Engarrafado de GLP (EL PORTILLO-TARIJA), cuyo caudal de agua  $x_1$  y caudal de aire  $x_2$  pueden condicionar otras variables, entre otras, como los sólidos disueltos totales  $y_1$ , DBO<sub>5</sub>  $y_2$  y coliformes totales y fecales  $y_3$ .

### 2.6.1 ELECCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

En este trabajo se realizará la experimentación en diversas etapas secuencialmente. En cada etapa, las series de experimentos se agrupan en diseños denominados *matrices de experimentos*.

La sección de una matriz u otra depende del objetivo de cada etapa, y de otras características. A continuación se identifican distintos objetivos y del tipo de diseño

que pueden aplicar a este caso.

### **2.6.1.1 ESTUDIO DE LOS FACTORES.**

Una vez identificado los factores más importantes, el siguiente paso es el estudiar cuantitativamente su efecto sobre la respuesta y sus interacciones. Para este propósito se pueden utilizar los diseños *factoriales completos* a dos niveles  $2^k$ .

Un objetivo de la investigación suele ser la optimización de una o varias respuestas en un producto o proceso. Es decir, conocer que valores de los factores proporcionan respuestas (caudal de alimentación, oxigenación, etc.) con la calidad deseada. Estos se pueden conocer calculando un modelo matemático que relación los factores más relevantes  $x$  con las respuestas  $y$ .

### **2.6.2 PASOS A REALIZAR EL DISEÑO FACTORIAL**

El diseño factorial comprende los siguientes pasos:

- ✚ Elección de las variables objeto de estudio.
- ✚ Elección de las respuestas a medir.
- ✚ Elección del intervalo de valores para dichas variables.
- ✚ Planificación de experimentos.
- ✚ Realización de experimentos y recolección de datos.
- ✚ Análisis de los datos experimentales.

#### **2.6.2.1 ELECCIÓN DE LAS VARIABLES A MEDIR: RESPUESTAS**

La variable respuesta más adecuada a medir es la cantidad de materia orgánica  $DBO_5$ , medida como el número de miligramos/litro necesarios de  $DBO_5$  que es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable en el agua.

#### **2.6.2.2 ELECCION DE LAS VARIABLES OPERACIÓN: FACTORES**

Las variables identificadas y seleccionadas para este proceso son las siguientes:

- ✚ Caudal del agua residual
- ✚ Caudal de aire

### **2.6.2.3 ELECCIÓN DE LOS INTERVALOS DE OPERACIÓN PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN: NIVELES**

Según las variables que influyen en el proceso son el caudal de agua residual sanitaria, caudal de aire se tomo los intervalos de operación más convenientes, los mismos que son seleccionados teniendo en cuenta los datos recopilados. Los intervalos de operación propuestos son los que se muestran a continuación:

#### **Caudal del Agua Residual Sanitaria**

De acuerdo al diseño experimental, el caudal es una de las variables independientes que debe variar en dos niveles, uno superior y otro inferior. Por ello se fija un límite superior de 21,1 l/h para un tiempo de retención de 72h., y límite inferior de 11,1 l/h., para un tiempo de retención de 96h.

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

#### **Caudal de aire**

El límite inferior como superior se ha fijado de acuerdo a las especificaciones del compresor. El límite mayor del caudal de aire es de 240 l/h, mientras que el límite menor se ha establecido en 120 l/h.

### **2.6.3 CONSTRUCCIÓN DE UN DISEÑO FACTORIAL COMPLETO $2^k$**

Por su sencillez, una matriz de experimentos factorial completa  $2^k$ , debe diseñarse de acuerdo a los requerimientos de entrada de variables que requiere el software especializado para discriminar y recategorizar las variables experimentales, como es el SPSS.

De acuerdo a Montgomery (1991), el diseño experimental, es una técnica que tiene como objetivo definir una serie de pruebas en las cuales existen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de tal manera que sea posible

observar e identificar las causas de los cambios que se producen en la respuesta de salida, de tal modo que el investigador obtenga estimaciones con la mayor precisión posible.

Para la determinación de la superficie de respuesta se pretende estimar la función:

$$Y = f(x_1, \dots, x_n)$$

Para ello se utiliza el desarrollo de Taylor de tal función:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2 + \dots$$

Para poder determinar las variables significativas en el presente trabajo experimental se plantea un diseño factorial de 2 niveles y 2 variables o parámetros con 2 repeticiones.

Para el diseño experimental, cada factor se estudia a solo dos niveles y sus experimentos contemplan todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores. Muestra las matrices  $2^2$ ,  $2^3$  y  $2^4$ , para el estudio de 2, 3 y 4 factores respectivamente. La matriz comprende  $2^k$  filas ( $2 \times 2 \times 2 = 2^k$  experimentos) y  $k$  columnas, que corresponden a las  $k$  variables en estudio.

Para el caso del diseño experimental que nos toca:

$$2^2 = 4 \text{ filas y } 2 \text{ columnas}$$

Se asumen que las variables controlables o factores para el ensayo experimental son:

**Factores:**

Q = Caudal del agua residual Sanitaria (l/h)

$\Phi_a$  = Caudal de aire (l/h)

A continuación en la tabla se muestran las variables o parámetros elegidos para el proceso seleccionado.

Factores	Inferior (-1)	Superior (+)
Q = Caudal del agua residual Sanitaria (l/h)	11,1	21,1
$\Phi_a$ = Caudal de aire (l/h)	120	240

Fuente: elaboración propia.

### 2.6.3.1 DOMINIO EXPERIMENTAL O MATRIZ DE DISEÑO

Exp.	Q(l/h)	$\Phi_a$ (l/h)
1.-	-	-
2.-	+	-
3.-	-	+
4.-	+	+

Posteriormente se elabora el plan de experimentación que se obtiene al reemplazar los valores – y + por los valores de las variables reales que se desarrolla.

- = Valor Bajo; Limite inferior

+ = Valor Alto; Limite superior

Tomando estos datos como punto de partida se realiza un diseño factorial de  $2^2$  (dos niveles, dos variables).

$$N^{\circ} \text{ variables} = 2$$

$$\text{Niveles} = 2$$

$$N^{\circ} \text{ de experimentos} = 2^2 = 4$$

Como se harán dos repeticiones entonces:

$$N^{\circ} \text{ de experimentos} = 4 \times 2 = 8 \text{ experimentos}$$

Considerando las combinaciones de estas variables se determinara cuál de ellas es la más significativa cuando se toma el rendimiento como variable respuesta.

Se puede observar el diseño factorial resultante (Anexo 2).

La matriz de diseño para el estudio se concreta sustituyendo los valores +1 y -1 de las variables codificadas por los valores de las variables reales. Así se obtiene el plan de experimentación que comprende de forma estructurada y comprensible la lista de experimentos a realizar como se muestra a continuación en la tabla.

Donde:

Resp 1 = Respuesta uno

Resp 2 = Respuesta dos

N° = Numero de ensayos  $y_1$ ,  $y_2$  y  $y_3$ .

#### Plan de experimentación de los factores de estudio

N° Exp.	Factores		Variables de Respuestas		
	Q (l/h)	$\Phi_a$ (l/h)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Sólidos disueltos totales (mg/l)	Coliformes totales y fecales (mg/l)
1.-	11,1	120	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>
2.-	21,1	120	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>
3.-	11,1	240	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>
4.-	21,1	240	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>
5.-	11,1	120	R <sub>5</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>5</sub>
6.-	21,1	120	R <sub>6</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>6</sub>
7.-	11,1	240	R <sub>7</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>7</sub>
8.-	21,1	240	R <sub>8</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>8</sub>

Fuente: Elaboración Propia, 2017

<b>SALIDA DEL BIOFILTRO</b>					
<b>Exp.</b>	<b>Q (l/h)</b>	<b>Va (l/h)</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>Sólidos disueltos totales (mg/l)</b>	<b>Coliformes totales y fecales (mg/l)</b>
1.-	-1	-1	43	263	840
2.-	1	-1	12.8	270	21
3.-	-1	1	22.5	130	218
4.-	1	1	17.1	240	2
5.-	-1	-1	15	240	31
6.-	1	-1	12.3	189	20
7.-	-1	1	17.42	215	150
8.-	1	1	16.64	185	12

### **CAPITULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Cuando se habla de calidad de un agua se está integrando una amplia gama de características físicas, químicas y biológicas que permiten emitir un juicio acerca de si esta agua es adecuada o inadecuada para un uso específico.

La evaluación de la calidad de un agua debe, permitir el conocimiento de la naturaleza física, química y biológica de la misma, en relación con su calidad natural, los efectos humanos y los usos a los que se va a destinarse, en particular aquellos que pueden afectar la salud humana o a la del propio sistema acuático.

En ello, para poder comprender un poco más acerca de los resultados obtenidos por este tratamiento y la forma en la que se realizó a cabo, explicaremos a continuación un breve resumen de la metodología utilizada para el tratamiento de las aguas sanitarias de la planta de Engarrafado El Portillo de Distrito Comercial Tarija (YPFB).

Este proceso se realizó empleando un biofiltro a escala, el mismo fue instalado en un área abierta para que así los microorganismos contaminantes no afecten a la salud de las personas que trabajan dentro de la institución. Por otra parte el biofiltro cuyo propósito fue la retención y remoción de contaminantes trabajó durante un periodo de 62 días calendario en el cual se tomaron muestras de agua a la entrada y salida del mismo para su posterior estudio y verificación de los resultados obtenidos.

El tratamiento de las aguas residuales sanitarias se realizó empleando en una primera fase dos tanques de sedimentación, estos cumplían la labor de retener los sólidos más pesados dentro del tanque para así solamente el líquido pueda ingresar a la siguiente etapa; en una segunda fase se utilizó un tanque de oxigenación, para que se coadyuve a las reacciones de oxidación de la materia orgánica presentes y así también quitar en una gran parte el mal olor producido por estas aguas.

En una tercera etapa estas aguas entraban al tratamiento del biofiltro en donde al pasar a través de la grava contenida en el mismo se formaba una película microbiana que cumplía la función de retener y remover contaminantes, en esta etapa se seguía

un recorrido en forma de serpentín, en donde a medida que el agua realizaba este recorrido se removían en un gran porcentaje los contaminantes presentes.

En una última fase, estas aguas eran vertidas a un tanque de refinación en donde se realizaban las muestras para ser analizadas en el laboratorio.

En la tabla que se verá a continuación tenemos elevados resultados de los iones dentro del agua que se trato, estos se deben a que la grava al ser introducida en el tanque que se utilizo como biofiltro no fue previamente lavada antes de ser usada para su propósito, este hecho hizo que se arrastre durante mucho tiempo los iones que se encontraban adheridos a la grava y por ende los resultados del agua tratada en el biofiltro contenían un valores más elevado al inicial. A medida que paso el tiempo estos valores fueron bajando como consecuencia de que el agua sanitaria ayudo a lavar los iones adheridos en dicha grava, hasta que estos se estabilizaron lanzando respuestas favorables del tratamiento realizado.

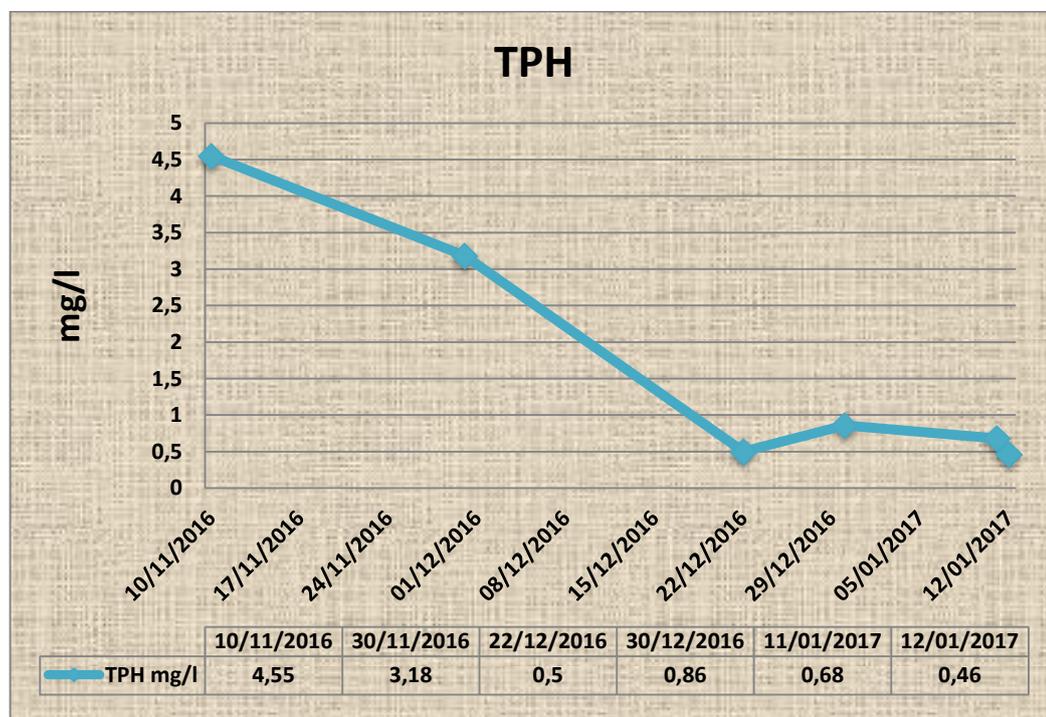
## CUADRO N° ....

## RESULTADOS DE LABORATORIOS Y PORCENTAJE MAXIMO DE REMOCION EN AGUAS TRATADAS EN BIOFILTRO

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA 1 CAMARA SEPTICA	MUESTRA 2 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 3 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 4 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 5 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 6 SALIDA BIOFILTRO HUMEDAL	VALORES MAXIMOS PERMITIDOS		% MAXIMO DE REMOCION
								NB 512 AGUA POTABLE	LEY 1333 RIEGO	
<b>ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO</b>										
<b>TPH</b>	mg/l	4.55	3.18	0.5	0.86	0.68	0.46	2,0 µg/l - 10,0 µg/l	NE	89,89%
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	49	29.4	39.2	39.2	49	39.2	370,0 mg/l de CaCO3	NE	40,00%
<b>Calcio</b>	mg/l	26.62	72.98	38.04	45.64	38.03	34.23	200,0 mg/l	300	-%
<b>Cloruros</b>	mg/l	69.49	52.12	69.49	60.8	43.42	42.11	250,0 mg/l	400	39,40%
<b>Conductividad</b>	uS/l	580	540	480	480	430	370	1500	NE	36,21%
<b>Dureza Total</b>	mg/l	95	184.2	133	124	104.5	95	500,0 mg/l de CaCO3	NE	-%
<b>Hierro</b>	mg/l	0.08	0.02	0.03	0.13	0.17	0.07	0,3 mg/l	1,0	75%
<b>Magnesio</b>	mg/l	2.72	0.17	3.64	0.9	0.9	0.9	150,0 mg/l	150,0	93,75%
<b>Manganeso</b>	mg/l	0.008	0.037	0.006	0.004	0.004	0	0,1 mg/l	0,5	100%
<b>PH</b>	.....	6.7	6.7	7.8	7.5	7.9	7.5	6,5 - 9	6 - 9	-----
<b>Temperatura</b>	°C	27	27	25.1	25	22.1	27.5	NE	+/- 5°C	-----
<b>Sodio</b>	mg/l	45.16	33.87	45.17	39.52	28.22	27.37	200,0 mg/l	200,0	39,39%
<b>Sulfatos</b>	mg/l	4.19	50.1	50.45	52.31	49.54	43.95	400,0 mg/l	400,0	0%

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA 1 CAMARA SEPTICA	MUESTRA 2 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 3 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 4 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 5 SALIDA BIOFILTRO	MUESTRA 6 SALIDA BIOFILTRO HUMEDAL	VALORES MAXIMOS PERMITIDOS		% MAXIMO DE REMOCION
								NB 512 AGUA POTABLE	LEY 1333 RIEGO	
<b>ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO</b>										
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	mg/l	290	270	240	240	215	185	1000	1500	36,21%
<b>Turbiedad</b>	N.T.U.	4.48	0.76	0.62	0.88	1.46	1.5	5	< 50	86,16%
<b>DQO</b>	mg/l	86	19.7	26.3	23.1	26.8	25.6	50(riego)	40	77,09%
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/l	55.9	12.8	17.1	15	17.42	16.64	20(riego)	20	77,10%
<b>ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO</b>										
<b>Coliformes Totales</b>	mg/l	4.20 x 10 <sup>2</sup>	0.2 x 10 <sup>1</sup>	1.3 x 10 <sup>1</sup>	1.8 x 10 <sup>1</sup>	2.6 x 10 <sup>2</sup>	3.8 x 10 <sup>1</sup>	< 2	< 1000 – 5000 /100 NMP	99,52%
<b>Coliformes Fecales</b>	mg/l	1.428 x 10 <sup>3</sup>	2.1 x 10 <sup>1</sup>	0.2 x 10 <sup>1</sup>	3.1 x 10 <sup>1</sup>	1.5 x 10 <sup>2</sup>	1.2 x 10 <sup>1</sup>	< 2	< 1000 /100 NMP	99,86%
<b>Cloro Residual</b>	mg/l	0	0	0	0	0	0	0,2 - 1	NE	-----

**GRAFICA 3-1.- COMPORTAMIENTO DEL TPH  
(HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO)**



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.1 COMPORTAMIENTO DEL TPH

#### Importancia sanitaria.-

Algunos de los compuestos de los TPH pueden perjudicar al sistema nervioso. Un compuesto puede producir dolores de cabeza y mareos en altos niveles en el aire.

#### Resultado obtenido.-

De acuerdo a la norma Boliviana (NB512) para consumo de agua potable los valores permitidos de TPH son de 2,0  $\mu\text{g/l}$  a 10,0  $\mu\text{g/l}$ , puesto que para aguas que serán utilizadas para riego no se tienen un valor impuesto para el mismo.

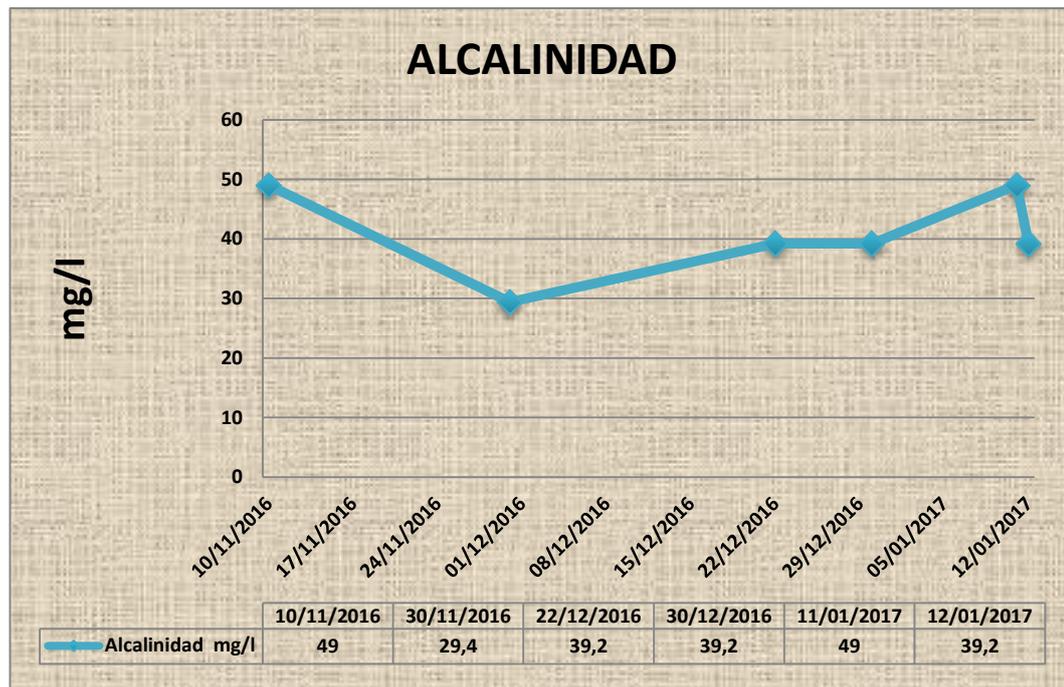
Como se puede observar, los resultados obtenidos en la grafica 3-1, nos muestra el descenso considerable de este contaminante desde un valor de 4,55 antes de ser sometida al tratamiento en el biofiltro a escala, hasta un valor de 0,46 a dos meses 63 dias de haber sido instalado dicho equipo para el tratamiento de Aguas Residuales Sanitarias en la planta de embotellado.

Se puede hacer notar el porcentaje máximo de retención que se tuvo para este parámetro el cual fue de 89,89%, indicando que el equipo no estaba diseñado para este tipo de

retención, sin embargo es un aporte extra y muy significativo que se dio.

Actualmente no se tiene en la Ley N° 1333 de Medio Ambiente, valores establecidos de TPH para su vertido como agua de riego o que sean expulsadas al río, sin embargo podemos observar que según estos valores obtenidos el agua podría ser vertido para riego para plantas de cuello alto ya que son menos propensas a absorber este tipo de contaminantes para su desarrollo.

**GRAFICA 3-2.- COMPORTAMIENTO DE LA ALCALINIDAD**



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.2.- COMPORTAMIENTO DE LA ALCALINIDAD

#### Importancia sanitaria.-

La alcalinidad excesiva no produce efectos nocivos en la salud de los consumidores, pero si le imparte un sabor desagradable al estar expuesto en agua, que puede causar que sea rechazada.

#### Resultado obtenido.-

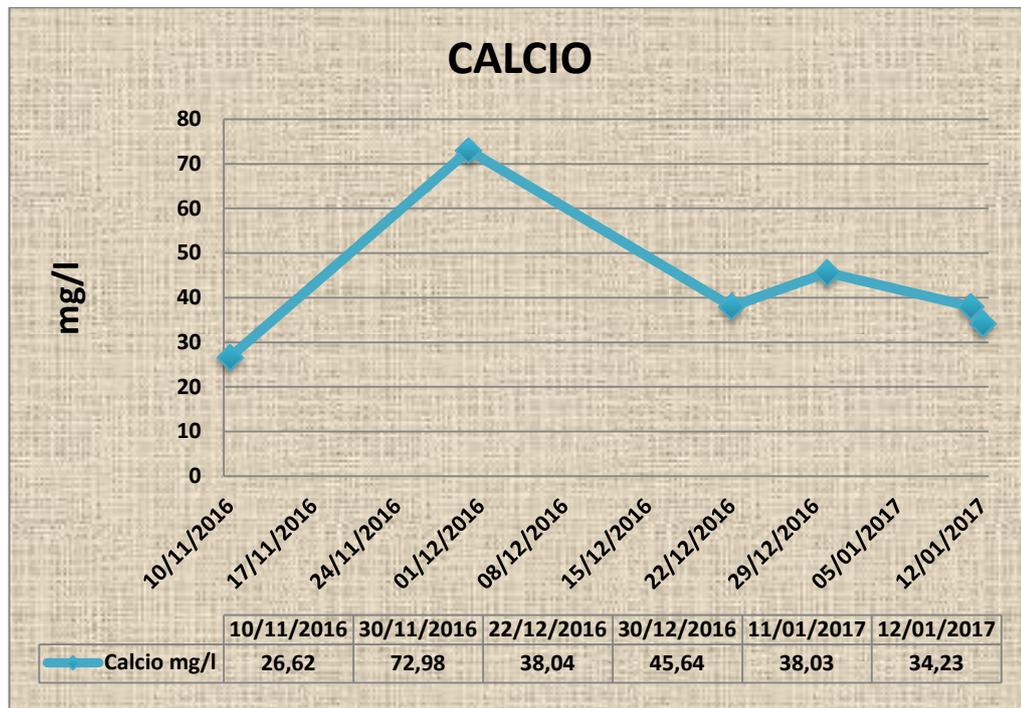
Para poder evaluar el desempeño del equipo utilizado, partiremos de la Norma Boliviana para agua potable, esta nos indica que el valor máximo permitido para poder ser consumido es de 370,0 mg/l de CaCO<sub>3</sub>; lo cual nos da a conocer que los valores obtenidos al tratarse el agua residual sanitaria están dentro de los valores

permitidos para un consumo del mismo.

De acuerdo a la grafica 3-2, se puede apreciar que en los 60 dias de tratamiento hubo un considerable descenso de la alcalinidad del agua que fue tratada, sin embargo los valores en las últimas fechas subieron ya que el equipo al estar abierto, fue expuesto a lluvia y por tanto elevaba el agua que estaba siendo tratada y no se podía controlar el caudal de una manera optima haciendo que dicho caudal aumente durante estas fechas que estaba expuesto a lluvias.

El agua proveniente de lluvias elevaba el agua dentro del biofiltro dejando que escape la retención que se debía de llevar a cabo en el equipo. Sin embargo a pesar de ello podemos destacar que se obtuvo un porcentaje máximo de retención del 40%, y que para tener un valor constante de este rendimiento se recomienda colocar un techo al biofiltro.

GRAFICA 3-3.- COMPORTAMIENTO DEL CALCIO



Fuente: elaboración propia, 2016

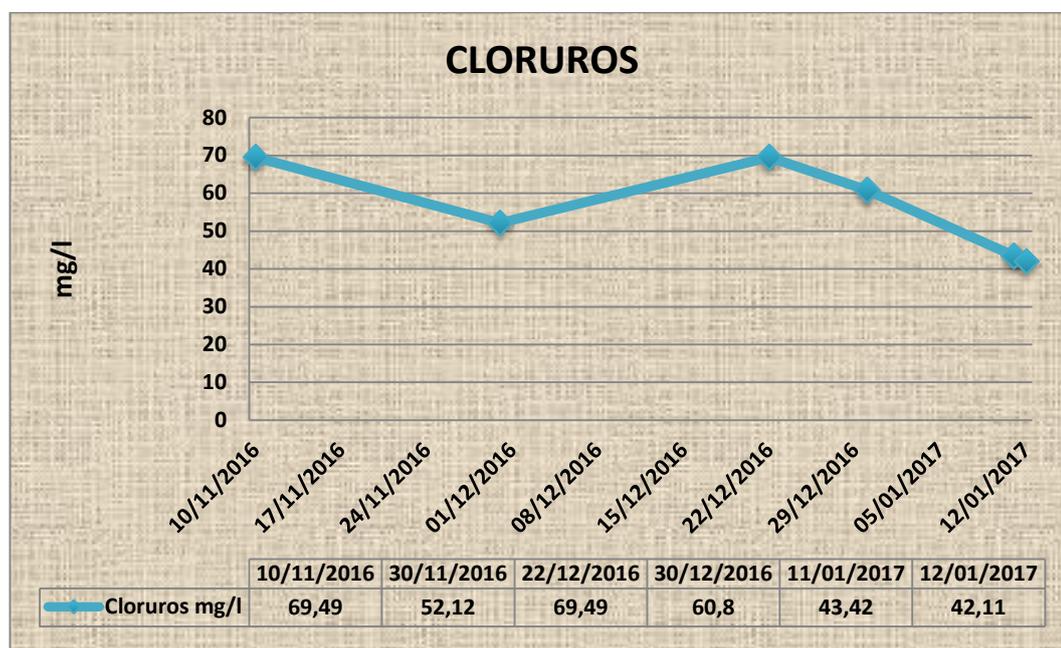
### 3.3.- COMPORTAMIENTO DEL CALCIO

#### Resultado obtenido.-

Partiendo tanto de la Norma Boliviana(NB512) para Agua Potable la cual no muestra un valor máximo de 200,0 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 300,0 mg/l para riego. Se observa que los resultados dados tras el tratamiento de las aguas residuales sanitarias están dentro de los valores permitidos tanto para el consumo humano como para ser utilizados para riego dentro de las instalaciones de la planta de embotellado.

Podemos denotar que los valores de calcio subieron en el primer mes de implementado el equipo, esto se debe a que la grava al ser colocada dentro del biofiltro, no fue lavada con anterioridad, por lo tanto, la misma contenía restos de arena y por ende calcio adherido al mismo. A medida que el biofiltro realizaba la retención de contaminante, también se fue lavando la grava hasta que se pudo observar la estabilidad de este metal contenido en las aguas residuales sanitarias.

### GRAFICA 3-4.- COMPORTAMIENTO DEL CALCIO



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.4.- COMPORTAMIENTO DEL CALCIO

#### Importancia Sanitaria.-

Entre los cloruros a destacar tenemos:

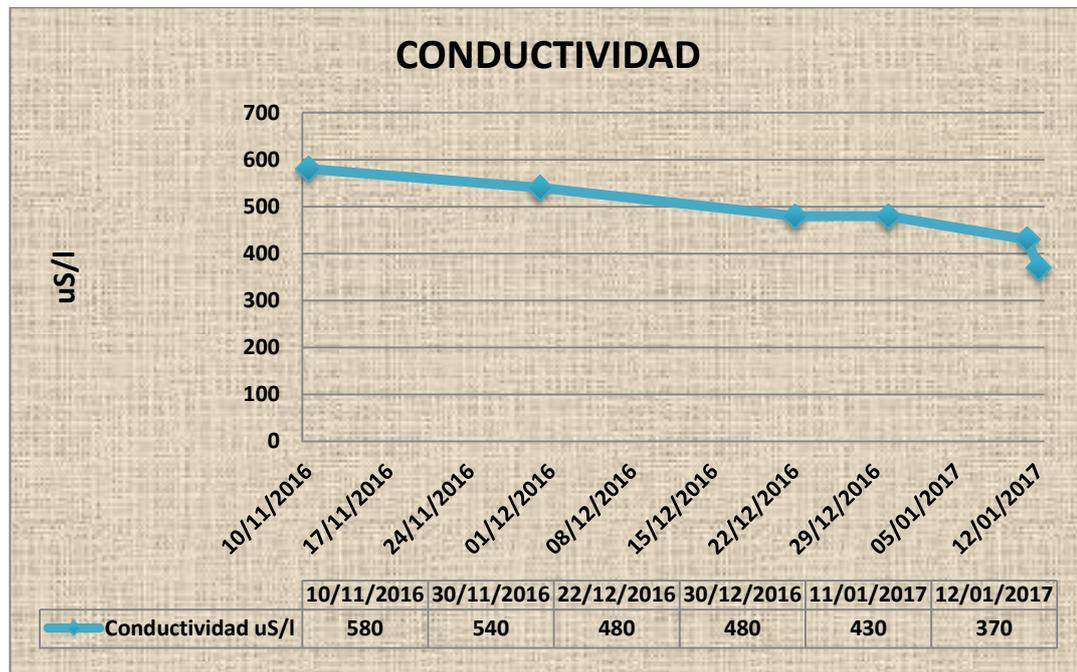
- ✚ *Cloruro de sodio*: da al agua gusto salado, la misma puede tener un efecto tóxico, produciendo anorexia, pérdida de peso y deshidratación. Hay que tener cuidado pues la misma concentración que no produce toxicidad en invierno, en el verano por el aumento del consumo de agua y la evaporación que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

**Resultado obtenido.-**

Teniendo en cuenta la Norma Boliviana(NB512) para Agua Potable la cual no muestra un valor máximo de 250,0 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 400,0 mg/l para riego. Podemos concluir que el valor de dichos cloruros contenidos dentro del agua residual sanitaria de la Planta de Engarrafado cumplen con lo predispuesto para cualquiera de sus usos, sin causar daño nocivo a las personas o animales.

Cabe destacar que se obtuvo un porcentaje máximo de retención del 39,40% de este parámetro, el mismo como en el anterior caso de la alcalinidad, se vio afectado por las lluvias de la temporada, esto ocasiono que no se pueda controlar bien el caudal y el rebalse por encima de la grava del agua a tratarse, ocasionando así el incremento del valor de este parámetro.

### GRAFICA 3-5.- COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.5.- COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD

#### 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 umhos/cm y un agua ultra pura tendrá una conductividad de 0,1 umhos/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:

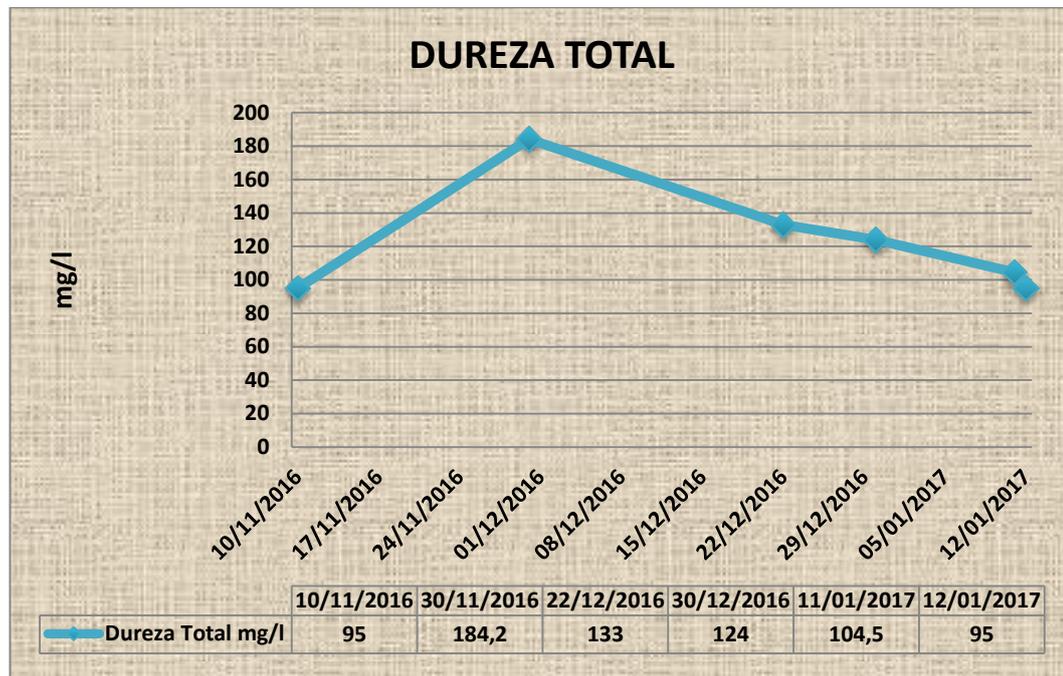
PUREZA DEL AGUA	CONDUCTIVIDAD (umhos/cm)
PURA	10
MUY PURA	1
ULTRA PURA	0,1
PUREZA TEÓRICA	0,055

**Resultado obtenido.-**

Al comparar el valor máximo permitido en la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable la misma que nos muestra un valor máximo de 1500,0 uS/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), la cual no especifica un valor máximo para el vertido de este parámetro contenido en agua para su uso en riego.

Se observa que los valores obtenidos después del tratamiento sometido en el biofiltro están dentro del máximo permitido para el consumo humano, estos valores oscilan desde 580uS como valor máximo de entrada hasta un valor de 370uS como valor mínimo a la salida del biofiltro. Se menciona también el porcentaje máximo de retención el cual fue de 36,21% que a su vez ayuda a que estas aguas puedan ser utilizadas en cualquier uso posterior sin causar daños a la salud de las personas, animales o plantas.

### GRAFICA 3-6.- COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA TOTAL



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.6.- COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA TOTAL

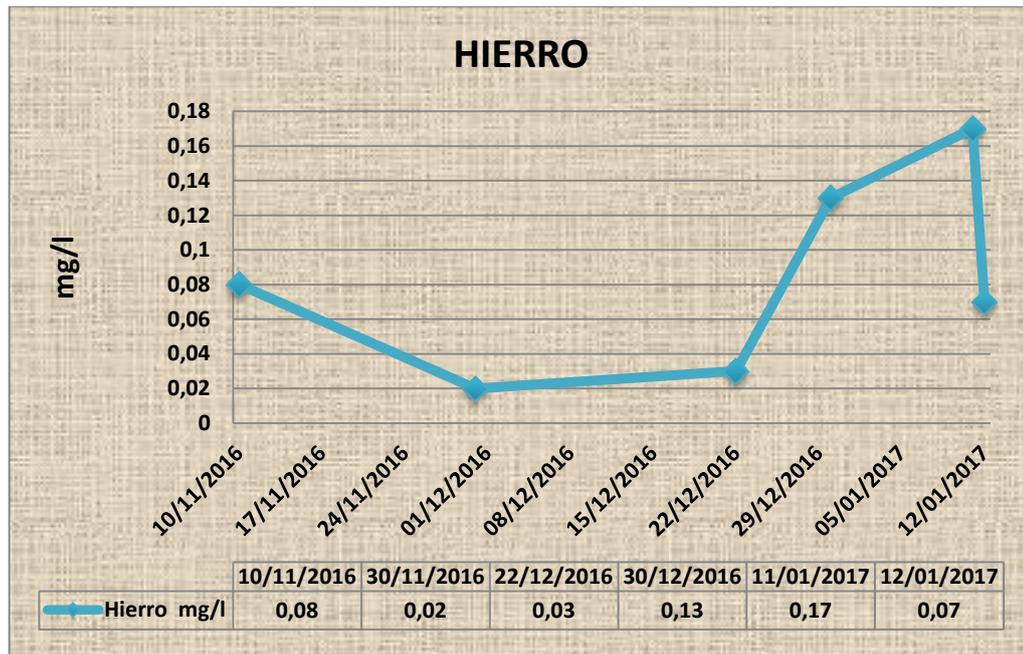
#### Resultado obtenido.-

Al igual que en el anterior caso se puede comparar el valor máximo permitido en la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable la misma que nos muestra un valor máximo de 500,0 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), la cual no especifica un valor máximo para el vertido de este parámetro contenido en agua para su uso en riego.

Al tener un valor máximo de 184,2 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  se puede concluir que el agua tratada obtenido a la salida del biofiltro es apta para el consumo humano y por ende también para su uso de riego sin afectar la salud humana o a los animales y plantas.

Se denota que al igual que en anteriores casos, al no estar la grava lavada para empezar el tratamiento dentro del biofiltro, hizo que esta sal adherida a la grava que contenía tierra ayude a incrementar el valor del mismo en los resultados de laboratorio hasta que se estabilizo dicho valor cuando la grava fue lavada por el agua residual sanitaria a lo largo del tiempo.

GRAFICA 3-7.- COMPORTAMIENTO DEL HIERRO



Fuente: elaboración propia, 2016

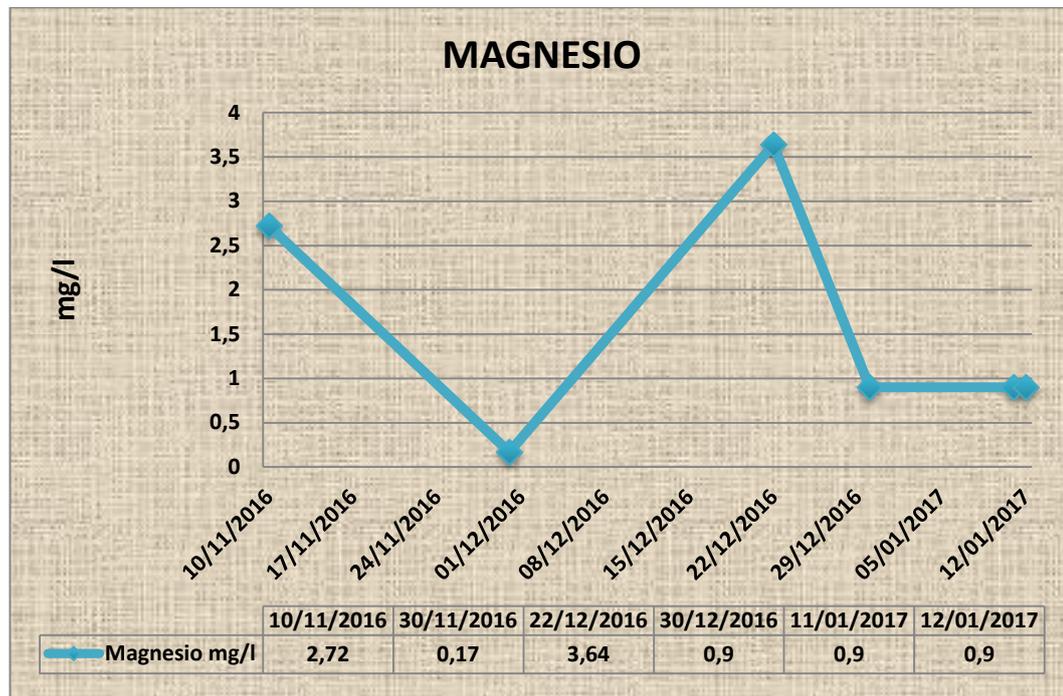
### 3.7.- COMPORTAMIENTO DEL HIERRO

#### Resultado obtenido.-

Tal y como se puede observar en la grafica 3-7 el hierro en el primer mes de tratamiento fue bajando de manera sistemática, pero ya en el segundo mes al encontrarse en época de lluvias hizo que el agua de lluvia rebalse el agua contenida en el biofiltro haciendo que el hierro acumulado por retención dentro de este sistema de tratamiento, salga e incremente el valor de este en los resultados de los posteriores laboratorios.

Así también tomando en cuenta la Norma Boliviana(NB512) para Agua Potable la cual no muestra un valor máximo de 0,3 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 1,0 mg/l para riego. Muestra que el agua tratada cumple con ambos requisitos, tanto para ser consumida por personas o para ser vertida como riego, sin causar daños nocivos a la salud.

### GRAFICA 3-8.- COMPORTAMIENTO DEL MAGNESIO



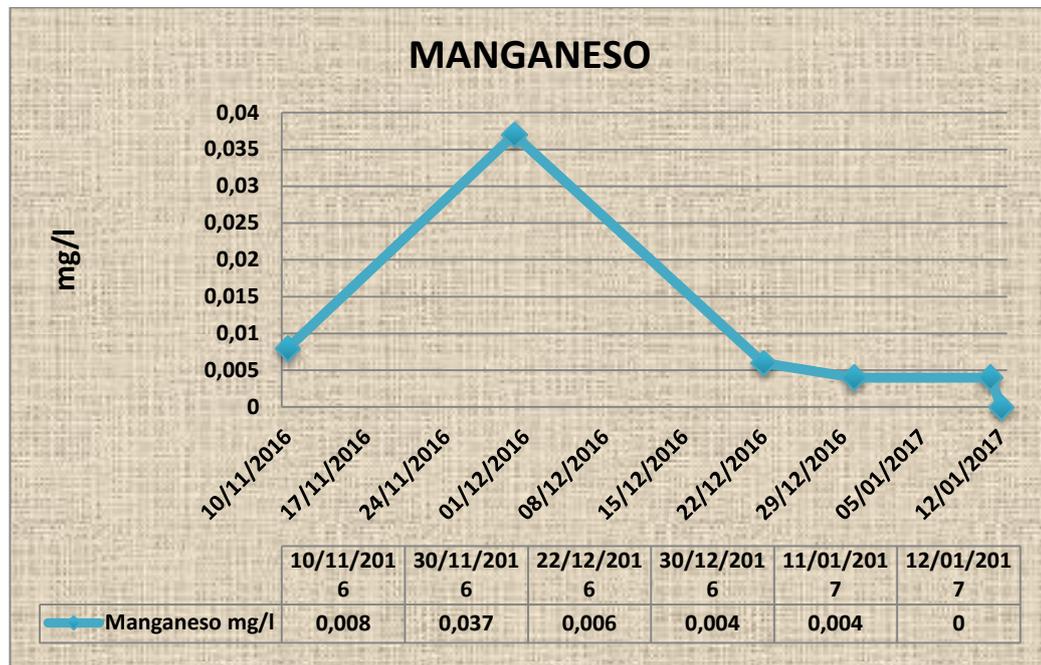
Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.8.- COMPORTAMIENTO DEL MAGNESIO

#### Resultado obtenido.-

De la misma manera como se indica en el resultado anterior, este parámetro se ve afectado por las lluvias producidas por la estación, sin embargo al ser parámetros usados más como indicadores no nos afecta mucho su incremento, en ello se observa que la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable la cual nos muestra un valor máximo de 150,0 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo también de 150,0 mg/l para riego. Esto nos indica que los resultados obtenidos no irán a afectar la salud de las personas o en este caso plantas al ser usadas para riego.

### GRAFICA 3-9.- COMPORTAMIENTO DEL MANGANESO



Fuente: elaboración propia, 2016

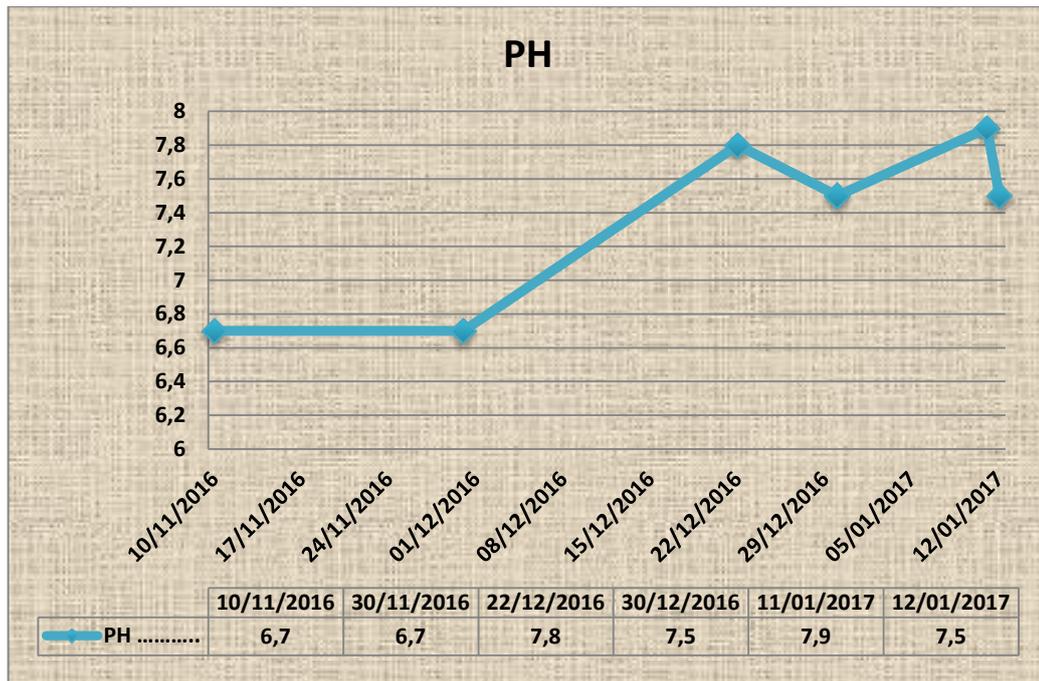
### 3-9.- COMPORTAMIENTO DEL MANGANESO

#### Resultado obtenido.-

De acuerdo a la grafica 3-9, podemos observar que el manganeso en una primera etapa de tratamiento incrementa su concentración; esto se debe al no lavado de la grava para su uso en el tratamiento, ya que en una primera etapa se fue acumulando el metal hasta que empezó a salir de una manera concentrada a medida que la grava iba siendo lavada por el agua residual y por ende pasado este tiempo el equipo de biofiltración funcionó de forma efectiva la retención de este metal.

De acuerdo a la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable la cual nos muestra un valor máximo de 0,1 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333 (Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 0,5 mg/l para riego. Esto indica que el biofiltro cumplió con la retención del mismo de una manera óptima ya que cuando el equipo se estabilizó se obtuvo una retención máxima del 100% de manganeso.

GRAFICA 3-10.- COMPORTAMIENTO DEL PH



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3-10.- COMPORTAMIENTO DEL PH

#### 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.

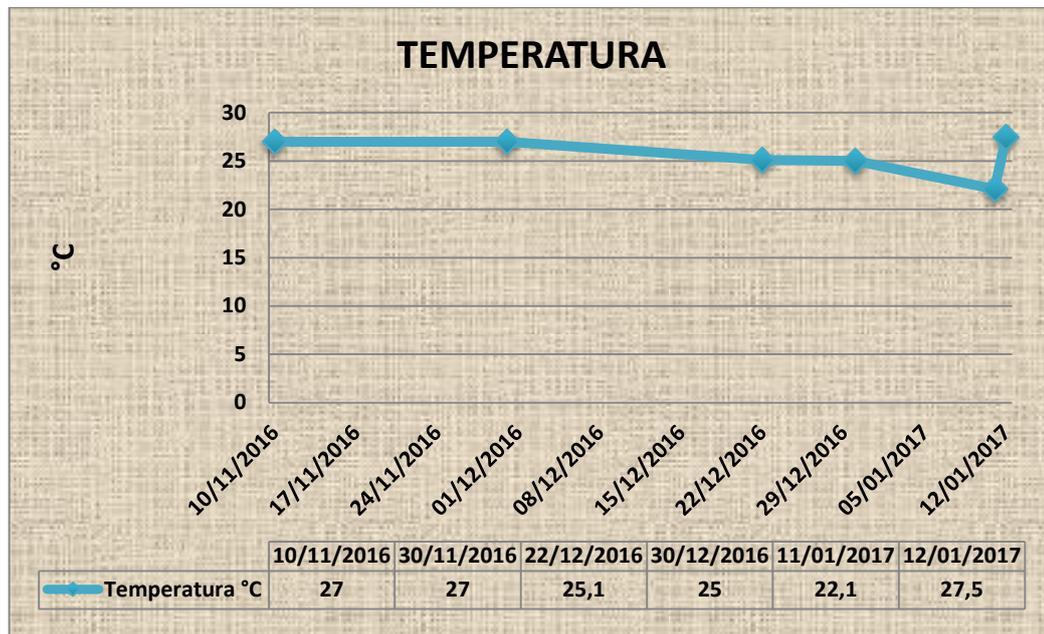
El pH tiene una relación directa con los parámetros acidez y alcalinidad lo que hace necesario que se conozcan los aspectos prácticos y teóricos del pH, ya que los términos alcalinidad y acidez indican la reserva total o capacidad amortiguadora de una muestra, mientras que el valor del pH representa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

**Resultado obtenido.-**

Tomando en cuenta la importancia sanitaria del pH para el crecimiento de microorganismos revisamos la grafica 3-10, esta nos muestra un valor máximo de 7,9 a un mínimo de 6,7 y basándonos en lo que dice la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable la cual nos muestra un valor de 6,5 a 9 como máximo para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 6 a 9 como máximo para riego, lo cual nos índice que estamos cumpliendo tanto la norma Boliviana como la Ley de Medio Ambiente.

En dicha grafica observamos un incremento de del pH a medida que pasa el tiempo hasta que se estabiliza en un valor mayor al de inicio, esto muestra que a medida que pasa el tiempo se va formando la película microbiana justamente por el incremento del pH en el mismo, esto ayuda a que se forme más rápido dicha película microbiana para su posterior aplicación de retención y remoción de contaminantes.

### GRAFICA 3-11.- COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.11.- COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA

#### 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 exactas de temperatura; por otra parte, el conocimiento exacto 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.

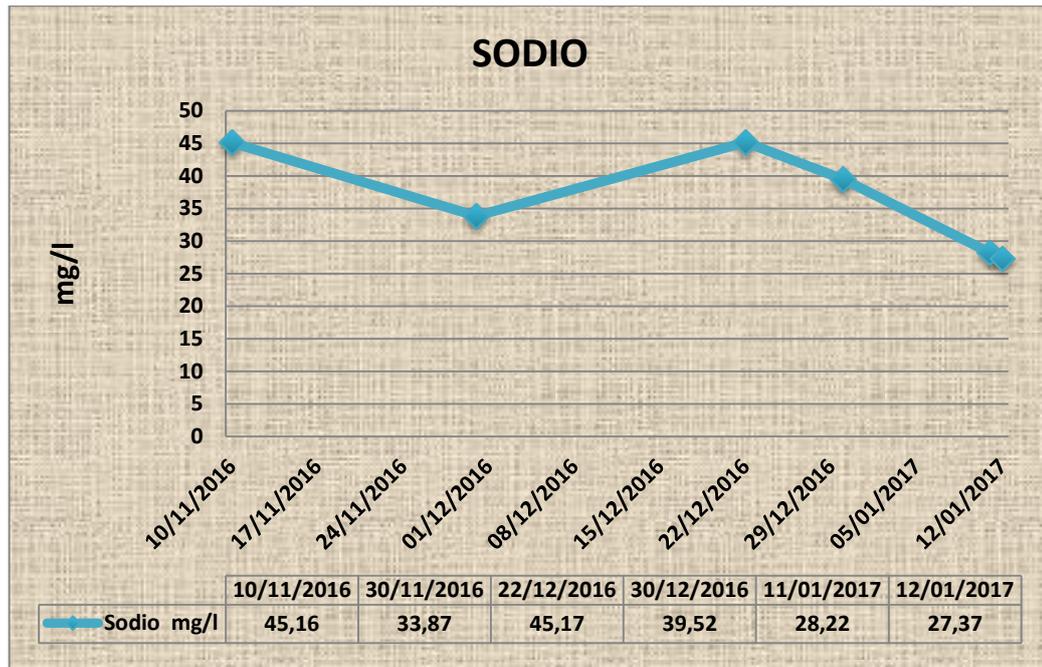
#### Resultado obtenido.-

A partir de los datos obtenidos se concluye con que los valores de temperatura que se obtuvieron no muestran un cambio significativo lo cual nos lleva a ver que no afecta

a los demás parámetros como alcalinidad, conductividad, densidad, etc.

De tal manera se observa que en base a la norma Boliviana y a la Ley de Medio Ambiente 1333, no nos especifican el cambio que tendría la temperatura en el consumo del mismo para riego o para las personas.

**GRAFICA 3-12.- COMPORTAMIENTO DEL SODIO**



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.12.- COMPORTAMIENTO DEL SODIO

#### Resultado obtenido.-

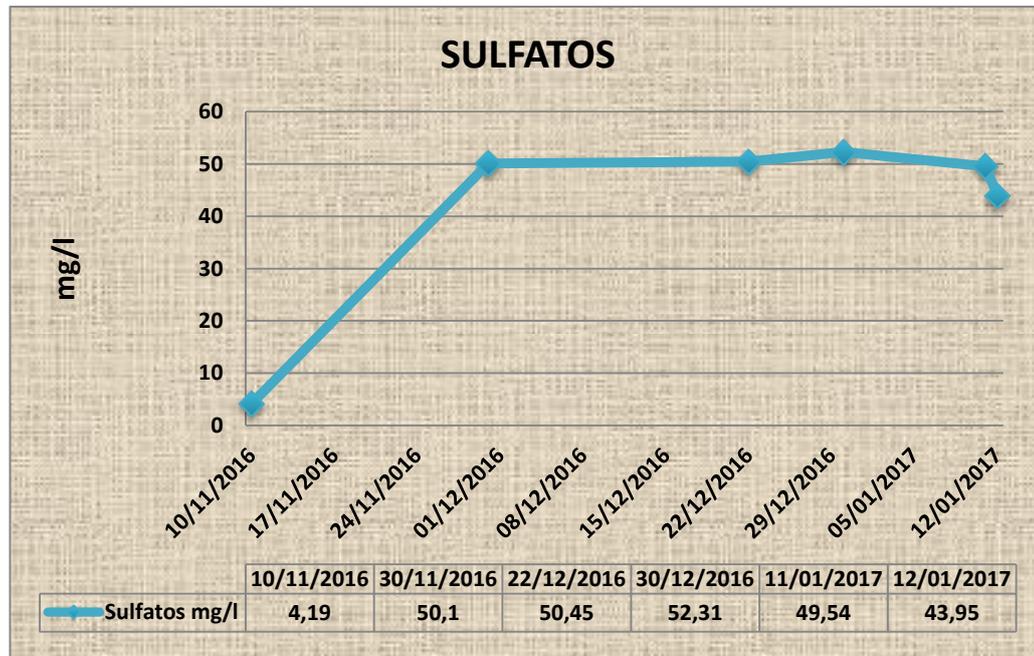
Si se observa la grafica 3-12, se puede apreciar que el Sodio en una primera etapa de adecuación del equipo es retenido por la tierra adherida en la grava; a medida que pasa el tiempo se lava la grava con es agua residual y a su vez se forma la película microbiana que actúa como una red ya reteniendo este ion de una manera más estable.

De acuerdo a la Norma Boliviana(NB512) para Agua Potable la cual nos muestra un valor máximo de 200 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 200 mg/l para riego. Donde los valores obtenidos mediante laboratorios nos mostraron un valor máximo de sodio contenido en el agua de 45,17 mg/l y un valor mínimo de 27,37mg/l. estos valores se

encuentran cumpliendo tanto la Norma Boliviana para Agua Potable como la Ley 1333 de Medio Ambiente.

Esto nos lleva al porcentaje máximo de retención, el cual tiene un valor de 39,39%.

**GRAFICA 3-13.- COMPORTAMIENTO DE SULFATOS**



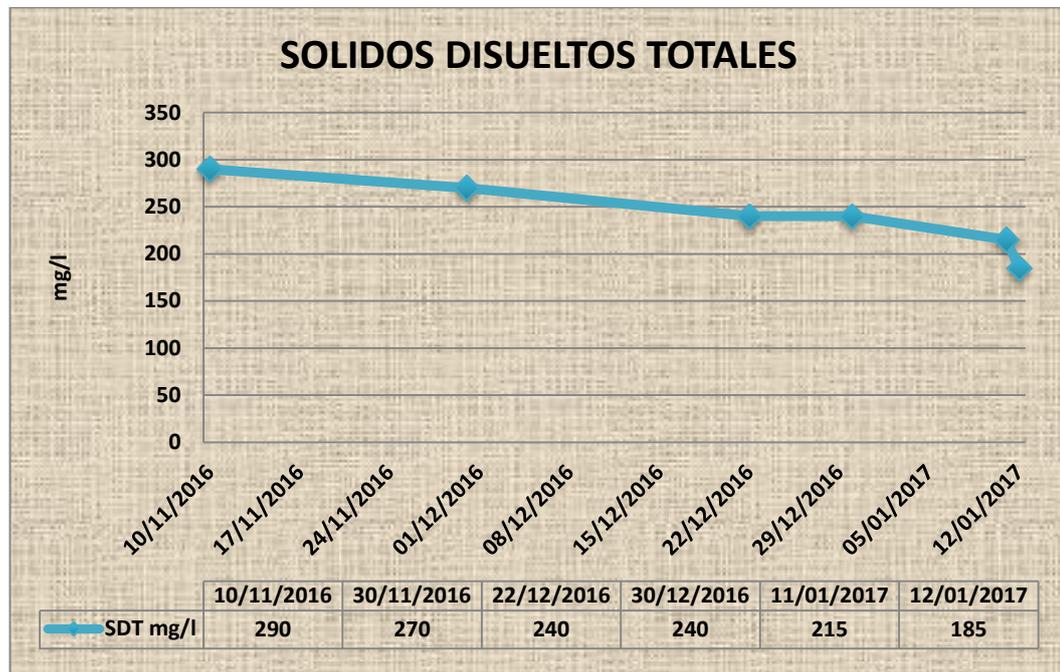
Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.13.- COMPORTAMIENTO DE SULFATOS

#### Resultado obtenido.-

Teniendo en cuenta que se realizó una oxigenación previa al biofiltro vemos que el azufre contenido dentro del agua se concentra dentro del biofiltro, pero este valor el cual tiene un máximo de 52,31mg/l a la salida de dicho equipo, no supera el máximo permitido en la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable el cual nos muestra un valor máximo de 400,0 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333 (Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 400,0 mg/l para riego. Esto nos dice que el agua que contiene los sulfatos a la salida de la biofiltración pueden ser tanto consumidos como vertidos para riego sin afectar a la salud humana o a las plantas.

**GRAFICA 3-14.- COMPORTAMIENTO DE  
LOS SOLIDOS DISUELTOS TOTALES**



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3-14.- COMPORTAMIENTO DE LOS SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

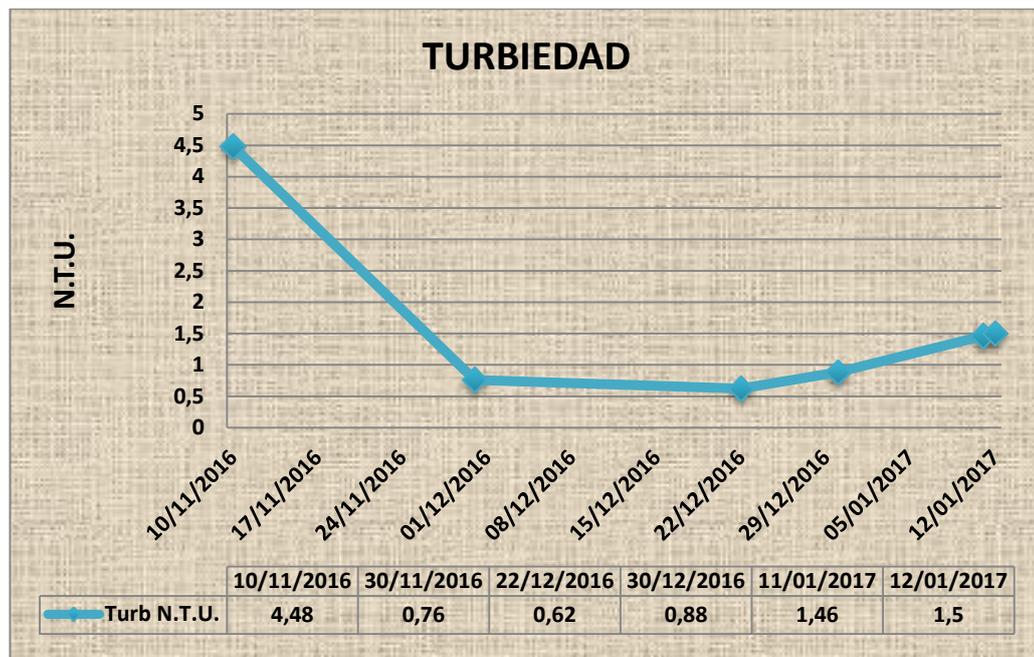
#### Resultado obtenido.-

Como se puede observar en la gráfica 3-14, la variación de los sólidos encontrados en las aguas que ingresan a los tanques de sedimentación con respecto a la salida del Biofiltro es bastante elevada, esta va de 290 a 185mg/l. esto nos muestra que el agua a residual sanitaria contiene bastantes sedimentos, al depositarse en un tanque de sedimentación ayudamos a que su valor inicial baje en 25,34%, como se muestra en el balance de materia de los sólidos disueltos, al pasar ya al tanque de oxigenación se observa también que el 3,62% de estos sólidos disueltos es retenido dentro de este tanque, y posteriormente se aprecia que el 7,24% de estos sólidos es retenido en el biofiltro; haciendo que este sistema sea capaz de retener un total de 36,21% de los sólidos contenidos inicialmente en el agua residual sanitaria.

Para mayor referencia podemos ver tanto en la Norma Boliviana(NB512) para Agua Potable el cual nos muestra un valor máximo de 1000,0 mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor máximo de 1500,0 mg/l para riego

En la gráfica también podemos ver como a medida que pasa el tiempo el valor de los sólidos disueltos va bajando y en cierto punto se mantuvo constante, esto nos muestra que el equipo se mantuvo constante a la hora de recibir la carga de agua residual e ir reteniendo los sedimentos contenidos dentro del mismo.

### 3-15.- COMPORTAMIENTO DE LA TURBIEDAD



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.15.- COMPORTAMIENTO DE LA TURBIEDAD

#### 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.

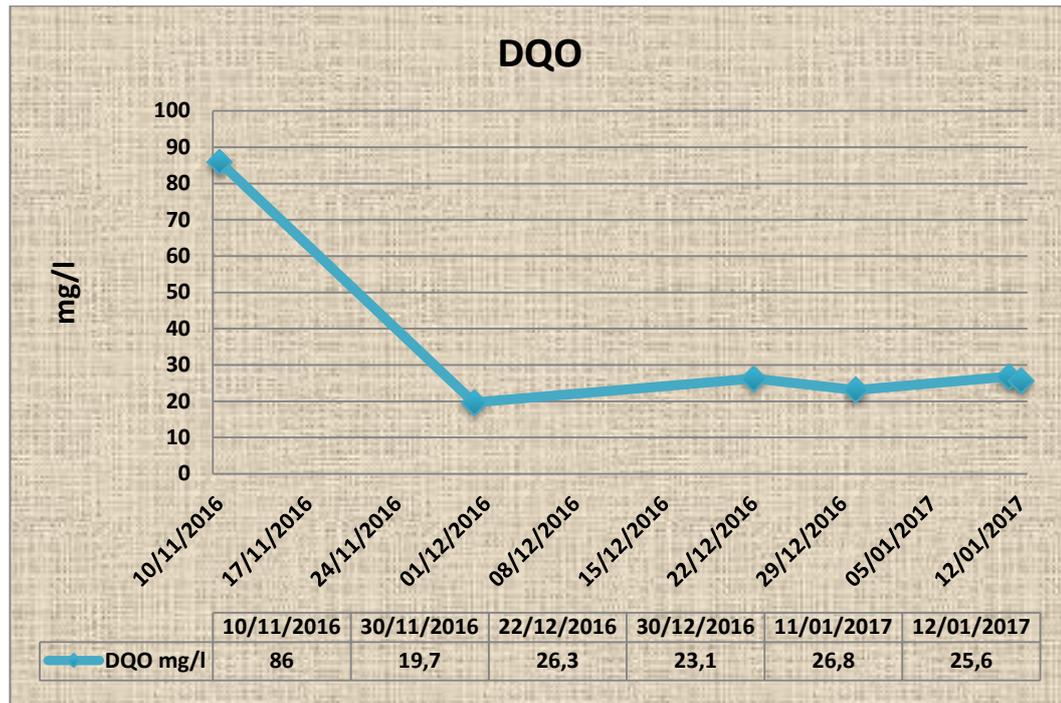
#### Resultado obtenido.-

En base a la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable el cual nos muestra un valor máximo de 5,0 N.T.U. para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor <50,0 mg/l para riego; en ello nuestro valor obtenido por el tratamiento realizado en el biofiltro es 4,48 N.T.U. sin tratamiento hasta un valor final de 0.62 N.T.U., el cual cumpliría con las especificaciones para ser apto

para el consumo humano sin afectar a la salud.

Cabe destacar el porcentaje máximo de retención que se tuvo en esta experiencia el cual fue de 86,16%.

### 3-16.- COMPORTAMIENTO DE LA DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3-16.- COMPORTAMIENTO DE LA DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)

#### Importancia sanitaria.-

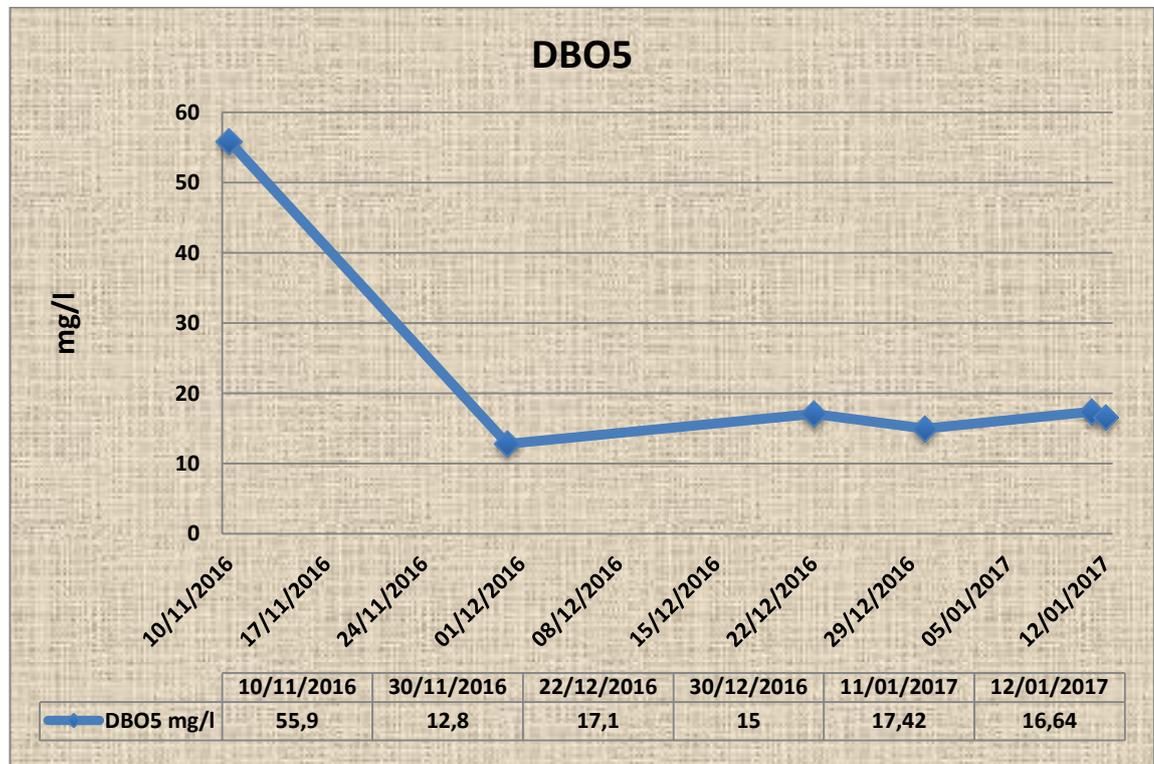
Solo en los desechos donde la materia orgánica es oxidada en las reacciones de la DBO y la DQO y conociendo el grado de estabilización del desecho, puede establecerse una relación confiable DBO/DQO. Bajo estas condiciones se puede tomar el resultado de la DQO para determinar las diluciones en la prueba 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.

**Resultado obtenido.-**

Para esta planta de tratamiento de aguas residuales sanitarias se observa que el valor de la DQO es igual al de la DBO<sub>5</sub>, esto nos indica que la relación entre estos dos parámetros es 1 a 1 y con ello podemos controlar las etapas del proceso.

Si tomamos en cuenta la Norma Boliviana (NB512) para Agua Potable el cual nos muestra un valor máximo de 25,6mg/l para el consumo humano y de la Ley 1333(Ley de Medio Ambiente), con un valor 50,0 mg/l para riego. Vemos que partimos de un valor no apto para el consumo humano ni para usar estas aguas como riego ya que tiene un valor de 86,0mg/l el cual causaría daños en las personas y también afectaría a las plantas, pero gracias al tratamiento realizado este valor desencio a 19,7mg/l, dándonos un porcentaje máximo de retención de 77,09%. Haciendo optimo su desempeño para poder ser consumido o para usarse en riego.

**GRAFICA 3-17.- COMPORTAMIENTO DE LA (DBO5)  
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO**



Fuente: elaboración propia, 2016

### **3.17.- COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)**

#### **Importancia sanitaria.-**

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.

### **Resultado obtenido.-**

En la gráfica 3-17, se puede observar las variaciones que se tienen en el agua residual sanitaria en la cámara séptica principal con respecto a la tratada en el biofiltro. Dentro de la adecuación en el biofiltro vemos que la variación dentro del sistema no es muy significativa y que el proceso de descontaminación de estas aguas cada vez es menor con respecto al inicial.

Como se puede apreciar en la grafica el valor máximo de la DBO5 es de 55,9 mg/l y la misma bajo hasta un valor de 12,8 en su remoción máxima, lo que nos dice que un 77,10% de dicha demanda bioquímica de oxígeno fue removida gracias a este tratamiento.

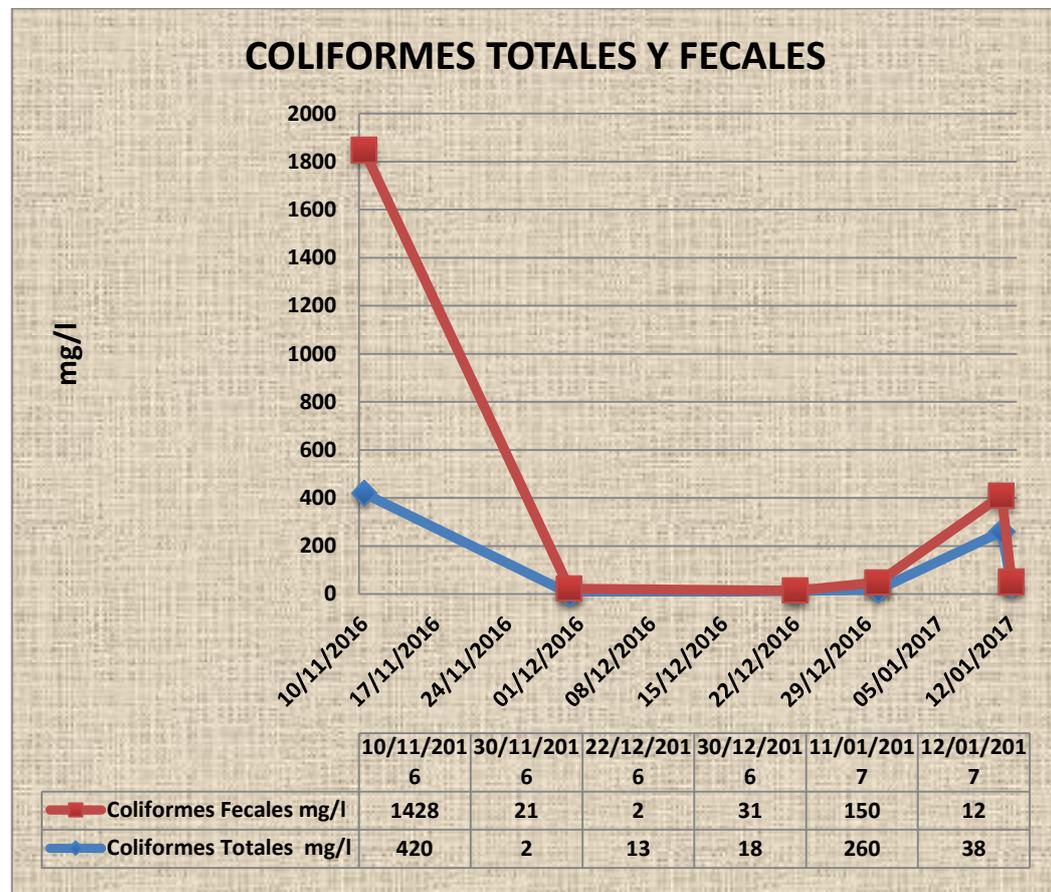
Gran parte de este porcentaje se debe a que el agua residual pasaba a través del tanque de oxigenación el cual le entregaba el oxígeno necesario antes de ingresar al biofiltro; este aporte en gran parte al requerimiento del DBO5. Podemos decir que el acondicionamiento inicial se realizó en el tanque de oxigenación y que el tratamiento como tal para la disminución de dicho parámetro se completo en el biofiltro.

Esta disminución dentro del biofiltro pudo realizarse gracias al desarrollo de la película microbiana que se desarrollo alrededor de la grava de 7/8, esta actuo como un filtro natural reteniendo gran cantidad de materia contaminante dentro del agua.

**FOTO 3 – 1****FORMACION DE LA PELICULA MICROBIANA**

Fuente: Elaboración Propia, 2016

**GRAFICA 3-18.- COMPORTAMIENTO DE LOS COLIFORMES TOTALES Y FECALES**



Fuente: elaboración propia, 2016

### 3.17.- COMPORTAMIENTO DE LOS COLIFORMES TOTALES Y FECALES

#### 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*, *Lactobacillus*, *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, ECHO 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.

#### **Resultado Obtenido.-**

De acuerdo a la gráfica 3-18, uno de los parámetros que tuvo un mayor porcentaje de remoción fueron los coliformes totales. Al momento de evaluar la calidad de remoción bacteriológica del biofiltro a las aguas residuales sanitarias de la planta podemos apreciar que desde un valor de 420 mg/l de organismos patógenos

proveniente de estas aguas se pudo bajar en su remoción máxima hasta un valor de 2mg/l, obteniendo así un valor de 99,52% de remoción de los mismos.

En la cuarta medición realizada a la salida del biofiltro, observamos que el valor de estos coliformes vuelven a aumentar, esto es debido a las lluvias de esta estación, estas aumentaron el volumen de agua dentro del biofiltro sobrepasando su volumen habitual y a su vez ayudo a que el agua que estaba siendo tratada sea expulsada de manera más rápida hacia el tanque de refinación; esto directamente afecto a la medición de este parámetro para la cuarta muestra a la salida del biofiltro.

En la quinta muestra realizada a la salida del tanque de refinación se colocó plantas acuáticas para poder realizar una comparación acerca de su aporte a este tipo de sistemas, en ello este tanque paso de ser un tanque de refinación a ser un humedal natural para así poder brindar mayor remoción de agentes contaminantes de estas aguas. Por ello, podemos ver como en muy poco tiempo de tomada la cuarta muestra el valor de estos coliformes totales vuelve a disminuir de manera considerable. Dándonos así un indicador de cómo actúan estas plantas en remoción de este tipo de organismos patógenos.

### **FOTO 3 – 2**

#### **TOTORA EN HUMEDAL ARTIFICIAL**



Fuente: elaboración Propia, 2016

Al añadirse totora en el tanque de refinación se tuvo a los 12 días del inicio del aporte de oxigenación dos tipos más de algas flotando en este tanque.

Una de ellas es pequeña, la misma se desarrolló en mayor proporción cubriendo todos los espacios libres del mismo, esta aporta oxigenando el agua a la salida del biofiltro y absorbe materia orgánica que quedaba en el tanque.

Un tipo de alga muy pequeña de color verde azulado se formó en pequeña cantidad dentro del tanque, esta mayormente se forma en humedales los cuales están estancados, esto se produjo mayormente por los días lluviosos que se tuvo por la época de año en la que se encuentra el equipo.

Al ser el agua semi estancada por la época de lluvias se tiene que realizar una salida con manguera diaria, esta se adecua por diferencia de presiones para hacer el descargue d la misma.

Dicha agua se tornó de un color verde claro por el estancamiento que tiene y por la formación de esta alga.

La totora como tal realiza el mayor aporte de oxígeno dentro de este tanque de refinación, el mismo en los 12 días de ser colocado desarrollo nuevas hojas y a su vez incremento el tamaño del mismo.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados parciales realizados previamente y después del tratamiento de las aguas residuales sanitarias de la planta de embotellado EL PORTILLO – TARIJA, se observa que el cambio en la calidad del agua es muy cambiante y a su vez significativa como se los muestra en el cuadro presentado en resultados.

PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA
<b>ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO</b>			
<b>TPH</b>	mg/l	4.55	0.46
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	49	39.2
<b>Calcio</b>	mg/l	26.62	34.23
<b>Cloruros</b>	mg/l	69.49	42.11
<b>Conductividad</b>	uS/l	580	370
<b>Dureza Total</b>	mg/l	95	95
<b>Hierro</b>	mg/l	0.08	0.07
<b>Magnesio</b>	mg/l	2.72	0.9
<b>Manganeso</b>	mg/l	0.008	0
<b>PH</b>	.....	6.7	7.5
<b>Temperatura</b>	°C	27	27.5
<b>Sodio</b>	mg/l	45.16	27.37
<b>Sulfatos</b>	mg/l	4.19	43.95
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	mg/l	290	185
<b>Turbiedad</b>	N.T.U.	4.48	1.5
<b>DQO</b>	mg/l	86	25.6
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/l	55.9	16.64
<b>ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO</b>			
<b>Coliformes Totales</b>	mg/l	4.20 x 10 <sup>2</sup>	3.8 x 10 <sup>1</sup>

<b>Coliformes Fecales</b>	mg/l	$1.428 \times 10^3$	$1.2 \times 10^1$
<b>Cloro Residual</b>	mg/l	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2016

- ✚ De acuerdo a los análisis realizados a las aguas residuales sanitarias de la planta de embotellado El Portillo – Tarija, se tiene un valor máximo de 80 mg/l, por lo que si vemos el caudal de  $10 \text{ m}^3/\text{día}$ , tiene una carga contaminante de  $0,0008 \text{ Kg/día}$  y alcanza a una población equivalente de 30 habitantes.
- ✚ Se realizó la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales sanitarias de la planta de embotellado mediante laboratorio certificado enviado a la empresa YACULAB SRL. De la ciudad de Yacuiba – Tarija.
- ✚ En base a los materiales que se pudieron reutilizar en la planta se obtuvo mediante dimensionamiento parámetros de proceso de diseño a través de un biofiltro a escala, en planta de embotellado.
- ✚ Se realizó el dimensionamiento del proceso y diseño de un biofiltro llevándolo a una escala del 1,24 % de su tamaño original.
- ✚ Con los datos de dimensionamiento del proceso se diseñó un Biofiltro para el tratamiento de las aguas residuales sanitarias de la planta de embotellado del Portillo para su posterior uso en riego como aporte a la comunidad más cercana.
- ✚ Una vez ya definido el tamaño del equipo se cuantificó el caudal de las aguas residuales sanitarias y la capacidad de los sistemas de almacenamiento.
- ✚ Hecho todo este proceso de biofiltración, posterior y finalmente se realizó la caracterización física, química y microbiológica de las aguas tratadas en el biofiltro.

## 5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a la experiencia se puede resaltar los siguientes aspectos:

- ✚ La implementación de un biofiltro como sistema aerobio para el tratamiento de las aguas residuales sanitarias de la Planta de Engarrafado de GLP El Portillo – Tarija, es recomendable desde los puntos ambiental, tecnológico y económico, por cuanto en la experiencia realizada se adaptó una tecnología que es compatible al proceso productivo, amigable con el medio ambiente, requiere de un mantenimiento reducido y su inversión es muy inferior a diferencia de otros procesos de depuración y a los resultados que se obtienen.
- ✚ Para poder realizar una remoción total de los coliformes fecales y totales contenidos dentro de las aguas a la salida del biofiltro se puede clorar de tal manera que con ello eliminemos los agentes patógenos restantes después del tratamiento, ayudando así a que esta agua pueda ser después utilizada no solo como rego sino para el consumo de personas.
- ✚ Para poder llevar a cabo este proceso de biofiltración es necesario la separación de sistema de depuración de aguas tanto residuales sanitarias como la de aguas industriales que provienen de la planta de engarrafado como tal, ya que el mismo al mezclarse no podrán hacer posible la ejecución de dicho trabajo.
- ✚ De acuerdo a los resultados alcanzados en la investigación y a la normativa ambiental boliviana, el agua residual que ingresa a una planta de tratamiento que opera a través de un proceso aerobio y que cuenta con un biofiltro, es recomendable para usos posteriores de riego y actividades recreativas, tal como lo exige la normativa ambiental boliviana.



## BIBLIOGRAFÍA

- 1. Fernández B. Carlos, 2007.** Uso d Biofiltros para mejorar la calidad del agua de riego. Proyecto FONSAAG “establecimiento y evaluación de biofiltros para reducir la contaminación difusa en aguas de riego de las regiones VI y VII”, Santiago de Chile 2007.
- 2. OMS, 2004.** Organización Mundial de la Salud – agua saneamiento y salud.
- 3. SUCHER & HOLZER, 2005.** Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales: proyecto ASTEC Austria – Nicaragua; “Documento del Taller Biofiltro”: Managua, 03 – 04 de agosto de 2005.
- 4. Rodríguez T, 1999.** “Biofiltros, una opción para mejorar las características de las aguas residuales provenientes de tratamientos tradicionales”, Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada de Colombia.
- 5. Constitución Política Del Estado, 2008.** Constitución Política del Estado Plurinacional, Derechos fundamentales y garantías; Sección I – Derecho al Medio Ambiente; Artículo 33.
- 6. Ley de Medio Ambiente, 1992.** La Ley de Medio Ambiente 1333, capítulo V de los delitos ambientales; Artículo 107.
- 7. OMS, 2000.** Organización Mundial de la Salud – OMS en el año 2000
- 8. La Razón, 2009.** La Razón, noticia relacionada: red social Latinoamericana, planta de tratamiento de aguas

residuales, agosto de 2009.

- 9. Aguilera A. Osmany, 2010.** Estrategia para favorecer la Gestión Ambiental. Monografias.com
- 10. YPFB, 2016.** Información Obtenida por: Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos – Tarija.
- 11. Gabriela Moeller Chavez, 2011.** Los biofiltros de empaque orgánico: una alternativa simple, robusta y eficiente para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, mayo 2011.
- 12. Ana Laura Cervantes Quiroz, 2009.** Sistema combinado para el tratamiento de Aguas residuales para viviendas Unifamiliares.
- 13. Mara, 1976.** Conceptualización de aguas residuales. Disponible en: Monografias.com
- 14. MUCH SANTOS, 2012.** Apuntes sobre aguas negras. Aspectos relacionados con las descargas de aguas residuales de origen doméstico. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Guatemala, año 2012.
- 15. JIMMY OBDULIO CÁCERES, 2010.** Implementación de material de desecho pet como Elemento filtrante en filtros biológicos, noviembre de 2010.
- 16. Agencia de sustancias toxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 1998).** Reseña Toxicológica de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), 1998.

- 17. Peña Saenz, 2008.** Depuración de las aguas residuales. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad Agroindustrial, 2008.  
De: <http://www.biologia.edu.ar>
- 18. Jaime Raúl Hernández Juárez, 2010.** Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen domestico, Noviembre 2010.
- 19. DI MARZIO, Walter Darío 2014.** Microbiología de los lodos activados, una herramienta retrospectiva y predictiva de la depuración de efluentes. Asociación Interamericana De Ingeniería Sanitaria. México, septiembre, 2014.
- 20. Rigola Miguel, 2010.** Tratamiento de aguas industriales: Aguas de Proceso y Residuales. Disponible en: [Rincón del vago.com](http://Rincón del vago.com)
- 21. Carta Europea del Agua, 1968.** Carta Europea Estamburgo. Contaminación de las aguas residuales. Disponible en: [html.ricondelvago.com/aguas-residuales.html](http://html.ricondelvago.com/aguas-residuales.html).
- 22. Delgado Claudia, 2007.** Determinación de coliformes fecales y totales. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ciencias Bioquímicas.
- 23. Iveth Analy Liquidano Illescas, 2008.** Determinación de la eficiencia de la megaplanta de biofiltros de Villa canales en la reducción de demanda química y bioquímica De oxígeno y en la remoción de nutrientes de aguas residuales que se vierten en el lago de Amatitlán, Noviembre de 2008.
- 24. Maribel Cari Figueroa, 2012.** Tratamiento de las aguas Residuales de la Bodega del Centro Nacional Vitivinícola Tarija-Cenavit, en un Biofiltro a escala de laboratorio.

- Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.  
Facultad de Ciencias y Tecnología.
- 25. Romero, 1999.** Tratamiento de aguas residuales, lagunas de estabilización
- 26. Mendonca, Sergio Rolim, 2000** Tratamiento de aguas residuales en pequeñas Comunidades, febrero de 2000.
- 27. Planta Santa Rosa Jáuregui, 2011** . Planta de tratamiento de aguas Residuales Santa Rosa Jáuregui, México, 2011.
- 28. Navarro Y., 2010.** Tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales.
- 29. Magaly Katerine Toledo Verdezoto, 2014.** Determinación de eficiencia de especies vegetales: totora - achira implementada en biofiltros para agua de riego en Punín 2014.
- 30. Martin Gauss, 2006.** Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades, Proyecto ASTEC, UNI - RUPAP, Nicaragua, Abril de 2006.
- 31. Tecnologías de biofiltros, 2010.** Fundación Chile, tecnologías de biofiltros (CONAMA),2010.
- 32. GuevaraLópezEliane, 2004.** “Diseño, Construcción y Caracterización Hidrodinámica de un biorreactor multifuncional”. Carrera de Ingeniería de Alimentos. Universidad Tecnológica de Mixteca. Huajuapán de León.
- 33. Sullca, Mará Estela, 2004.** Tratamiento de aguas residuales domiciliarias con totora en humedales artificiales en flujo continuo. (Carrera de Ingeniería Química). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho,

Tarija (Bolivia), 2004.

- 34. Duran, Jimena., 2000.** Tratamiento de las aguas residuales domiciliarias con plantas acuáticas en flujo Discontinuo. (Carrera de Ingeniería Química). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia)
- 35. Narváez Jorge, 2010.** El monitoreo Ambiental “Toma de Muestras de Aguas Residuales.” 2010.
- 36. Montgomery D.C, 1991** Libro “Control Estadístico de Procesos.”, 1991.
- 37. Hernández Lara, 1997.** “Biosfera. Ecología y evolución”. Grupo Editorial Planeta: Calidad del agua. DBO (Demanda de Oxígeno). Análisis de aguas residuales.
- 38. Wikipedia, 2010.** Tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales. Disponible: Wikipedia, 2010.
- 39. Platzer, S.I., 2000.** Investigaciones y experiencias con Biofiltros en Nicaragua, Centro América. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México.