

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1. Introducción**

Históricamente a nivel mundial fue hasta mediados del siglo XIX en Londres que se comenzó a tomar interés en el desalojo de las aguas residuales de la ciudad debido a una fuerte epidemia de cólera. Se tomó como la mejor solución construir alcantarillados que condujeran los desechos humanos hacia cursos de agua naturales, lo cual posteriormente ocasionó una severa contaminación de los cuerpos de agua receptores y serios daños a la salud de las poblaciones aguas abajo de las descargas.

El tratamiento de las aguas residuales no fue considerado hasta que se descubrió que el proceso de auto purificación natural de los cuerpos de agua había sido sobrepasado por las excesivas descargas de desechos, causando condiciones nocivas intolerables para las poblaciones. A partir de 1920 ya se contaba con diversos métodos de tratamiento de aguas residuales, algunos de los cuales se usan todavía en la actualidad, pero no fue hasta el año 1960 que se comenzó con el diseño de las llamadas plantas de tratamiento de aguas residuales. Actualmente se continúan desarrollando a nivel mundial distintos tipos de tratamientos avanzados que logran incluso convertir las aguas residuales en agua potable para el consumo de la población.

A nivel mundial existe capacidad inadecuada del tratamiento de las aguas residuales, especialmente en países poco desarrollados como Bolivia.

Los contaminantes de las aguas servidas de uso doméstico e industriales, representan un grave problema para la salud pública, por lo que los proyectos de aguas residuales deben ser ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes al ambiente humano y natural, pues, cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el medio ambiente es positivo, siendo de relevante e igual importancia el

tratamiento legislativo de cada país para la sanción y prevención de la contaminación del agua.

Por otra parte, la legislación sobre el tratamiento de las aguas residuales producto del uso doméstico e industrial en nuestro país, se encuentra dispersa e inmersa en varios instrumentos jurídicos referidos al aprovechamiento, manejo, conservación y preservación de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente, enmarcadas en la Ley del medio ambiente N° 1333. No obstante a la existencia de leyes, Decretos Supremos y Reglamentos y otras disposiciones legales sobre el medio ambiente en general, se tiene una degradación notoria de los recursos naturales renovables como el agua, el suelo, bosques y biodiversidad, debido principalmente a que el Estado no hace cumplir las disposiciones al respecto y, por otra parte, se evidencia la falta de concientización de la mayor parte de la población en relación a la necesidad de preservación de estos recursos entre ellos el agua a través de su uso racional y adecuado y de su reúso con fines de preservación de este líquido elemento en un ámbito de desarrollo sostenible.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Sectorial de Saneamiento Básico de Bolivia 2008 - 2015, el 70% de las aguas residuales recogidas por los sistemas de saneamiento existentes en el país se descarga en ríos o arroyos sin tratamiento previo con el consecuente riesgo de contaminación de los cauces de agua superficiales, suelo y aguas subterráneas.

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

Para disminuir estos índices de contaminación, es indispensable brindar un tratamiento adecuado a las aguas residuales por medio de una planta de tratamiento de agua residual

(PTAR) minimizando el impacto del vertimiento de aguas residuales a las fuentes de agua.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Descripción del problema**

La utilización de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas es una respuesta acertada para mitigar el efecto de contaminación de los cuerpos de agua, pero lamentablemente en nuestro país las pocas plantas que existen no están generando los resultados esperados de mitigación.

Los ríos son un claro ejemplo de aguas superficiales que constituyen una importante fuente de suministro de agua tanto para usos agrícolas como domésticos. Pero, en los últimos años, los ríos, se han visto afectados por los efectos negativos de la contaminación.

En la ciudad de Tarija ( Según Defensa del medio ambiente) el 65% de las descargas de aguas residuales son conducidas a las lagunas de oxidación de San Luis, las mismas que están saturadas por las cantidades exorbitantes de las aguas residuales que genera la creciente población de la ciudad de Tarija y el 35% de las aguas residuales son depositadas de manera directa sin un previo tratamiento de las mismas al río Guadalquivir, por lo que se trata de un dato alarmante por el peligro de focos de contaminación causando el desequilibrio ambiental y la muerte de muchos ecosistemas acuáticos.

Los municipios del Departamento de Tarija en los últimos años ha tenido un gran desarrollo urbanístico e industrial lo que genera que el crecimiento poblacional sea mayor, y un aumento de la demanda de saneamiento básico.

Los pocos recursos técnicos, económicos en los municipios conllevan a falta de control de cantidad, calidad, capacidad en la operación y mantenimiento de las plantas de

tratamientos de aguas residuales ocasionando problemas sociales y técnicos, que hacen que las obras civiles que se ejecutan no cumplan con la finalidad prevista.

### **1.2.2. Formulación del problema**

¿Cómo podemos verificar que la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) del Valle de la Concepción del Municipio de Uriondo, está teniendo un adecuado funcionamiento y cumpliendo con los valores admisibles de calidad y cantidad del agua?

## **1.3. Objetivos Generales y Específicos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- ✓ Realizar un diagnóstico técnico de la actual Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAR) en funcionamiento del Valle de La Concepción y proponer alternativas de solución.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Realizar la recopilación bibliográfica relacionada con el tema en estudio y la información correspondiente a la planta de tratamiento de agua residual (PTAR), que exista en las instituciones involucradas.
- ✓ Obtener el levantamiento de información sobre la operación y mantenimiento de la PTAR.
- ✓ Tomas de muestras puntuales de las aguas residuales del afluente y efluente de la PTAR para su análisis fisicoquímico de los parámetros básicos.
- ✓ Análisis comparativo entre la eficiencia de remoción recomendada por las normativas y la encontrada en el estudio.
- ✓ Comparación de resultados fisicoquímicos de parámetros básicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales y la ley de Medio Ambiente N° 1333.
- ✓ Elaboraciones un análisis de los caudales de ingreso a la PTAR comparando con el número de conexiones de la población servida y la dotación de agua potable.
- ✓ Determinar el estado actual e identificar los problemas técnicos sobre el funcionamiento de la PTAR.

- ✓ Presentar recomendaciones pertinentes, referente a operación y mantenimiento del sistema, tal que garantice el funcionamiento de manera adecuada y segura.
- ✓ Proponer alternativas de solución.

#### **1.4. Alcances y limitaciones**

##### **1.4.1. Alcances**

Obtener un documento mediante el cual se demuestre el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del Valle de Concepción del municipio de Uriondo.

Elaborar el inventario y diagnóstico con los datos obtenidos de cantidad, calidad del agua residual, como así también de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas del valle de la concepción municipio de Uriondo, para contribuir con este diagnóstico a establecer la eficiencia con los cuales están trabajando en dicha planta de tratamiento.

Analizar la legislación existente referente a las de aguas residuales domésticas.

##### **1.4.2. Limitaciones**

No contar con estudios de caracterización de las aguas residuales domésticas por las instituciones del Gobierno municipal.

Limitaciones económicas por parte del estudiante, para realizar análisis propios de las aguas residuales domésticas en estudio, donde se tomara una cantidad de 7(siete) muestras puntuales de la siguiente manera. 3 en el afluente y 3 en el efluente de la PTAR, en diferentes horas del día y una muestra en el cuerpo receptor (rio Camacho) para su análisis fisicoquímicas de los parámetros básicos de diseño (DBO, BQO, SST, Ph, grasas y aceites.

No contar con datos de caudal que trata la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas del valle de Concepción, se determinara el caudal mediante el método volumétrico en el efluente de la misma.

No se cuenta con datos actuales de registro de población urbana del municipio, donde la población es proyecta para cualquier año a partir de los datos de registro del censo 2012.

No se tiene datos de población flotante (instituciones públicas, educativas, financieras, restaurantes, zonas turísticas, industriales, matadero municipal, hospital, etc.) lo cual se hará una elaboración propia de la cantidad de personas que se encuentran en actividades en estos lugares que generan una gran inferencia en demanda de agua potable.

### **1.5. Justificación**

Toda obra sanitaria que se implementa, no funciona sin que se designe una organización y/o administración que garantice una buena operación y mantenimiento. Este fenómeno es característico en las poblaciones intermedias donde las instituciones no disponen de capacidad técnica y económica, no garantizando la sostenibilidad de dichas obras y esto se suma las condiciones socio-económico de los usuarios.

Al no contar con la información de funcionamiento de la P.T.A.R., se decide hacer un diagnóstico técnico para poder identificar, el estado actual del funcionamiento de la planta a través de la caracterización de los componentes, operación, mantenimiento, etc. Y poder plantear alternativas de solución para mejorar el tratamiento y así lograr el cumplimiento lo que en mandan las normativas actuales.

### **1.6. Hipótesis**

A partir del diagnóstico técnico, se identificarán las falencias de orden técnico, organizacional, económico y social, que permitirán plantear las alternativas de solución para lo identificado y que sea de beneficio para los usuarios.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2. MARCO TEÓRICO

##### 2.1. Aguas residuales

Se consideran **Aguas Residuales** a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad y son transportadas mediante un sistema de alcantarillado sanitario.

Podemos definir al agua residual como la combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y pluviales que puedan agregarse a las anteriores.

##### 2:2. Tipos de aguas residuales

La composición de las aguas residuales resulta de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de recreo, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual

Las aguas residuales pueden clasificarse como:

- I. Aguas Residuales de Origen Doméstico.
- II. Aguas Residuales de Origen Industrial
- III. Aguas Residuales de Origen Agrícola.

##### **Aguas residuales de origen domestico:**

Son aquellas aguas utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavando, etc.) Consistentes básicamente en residuos descargados por los humanos, que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas de las instalaciones hidráulicas de los hogares, establecimientos comerciales, públicos y similares.

- **Aguas negras.-** A las Aguas Residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coniformes fecales.
- **Aguas grises.-** A las Aguas Residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros

### **Aguas residuales de origen industrial**

Son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas del tipo de la industria. La gran variedad y cantidad de productos vertidos por este tipo de actividad obliga a una investigación propia para cada tipo de industria, pues no existe similitud alguna entre los vertidos procedentes de industrias de alimentación, química, agrícola, metalúrgica, etc.

### **Aguas residuales de origen agrícola**

Son aguas procedentes de actividades agrícolas y ganaderas. El tratamiento de este tipo de aguas no debe pasar por desapercibido debido al grado de contaminación que pueden originar. Además de contener sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden contener productos característicos de la actividad agropecuaria, tales como fertilizantes, biácidos, estiércol, etc.

En cuanto a los fertilizantes es importante resaltar que antes eran de origen orgánico y en la actualidad son casi sustituidos por abonos de origen inorgánico, tales como sulfato, nitratos, fosfatos, etc., de especial incidencia en la contaminación de aguas.

### **Contaminación del agua**

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

### 2.3. Caracterización de las aguas residuales

Las Aguas residuales pueden caracterizarse de la siguiente manera

- I. Características Físicas.
- II. Características Químicas.
- III. Características Biológicas.

#### **Características físicas.**

La característica física más importante del agua residual es su Contenido Total de Sólidos, los cuales comúnmente se clasifican en: suspendidos, disueltos y sedimentables. Otras características físicas son la temperatura, color y olor.

#### **Características químicas**

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, de las sustancias que están presentes en las aguas residuales, los compuestos orgánicos son los de mayor importancia. Para medir de forma general el contenido de materia orgánica presente en un agua residual se utilizan los siguientes parámetros habitualmente: la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO5) “que indica la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual y la demanda química de oxígeno (DQO) “que representa la cantidad de oxígeno consumido al oxidar químicamente las sustancias orgánicas y algunas inorgánicas (biodegradables y no biodegradables) que están presentes en el agua residual, sin intervención de los microorganismos.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO):** La DBO se define como la cantidad de oxígeno (mg/l) necesaria para la degradación u oxidación de la materia orgánica del agua residual o servida en un período de 5 días a 20°C (DBO5). Se puede describir la DBO como la polución orgánica, que es degradable debido a la acción de

las bacterias. En Bolivia, se puede constatar un rango de la DBO por habitante de 30 hasta 60g DBO/ (hab.día), dependiendo de la región. Considerando caudales de 50 hasta 150 l/ (hab.día) esto significará concentraciones Entre 200 hasta 700mg DBO/l en las entradas de las plantas de tratamiento de aguas.

La DBO del efluente es un indicador del buen funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales y este parámetro es más usado para definir la calidad del agua residual con fines de tratamiento.

<b>Estado.....</b>	<b>DBO5; mg/l</b>
Agua Pura.....	0 - 20 mg/l
Agua Levemente Contaminada.....	20 - 100 mg/l
Agua Medianamente Contaminada.....	100 - 500 mg/l
Agua Muy Contaminada.....	500 - 3000 mg/l
Agua Extremadamente Contaminada .....	3000 - 15000 mg/l

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua y oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (incluye la materia orgánica degradable por bacterias).

La DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Considerando el agua residual doméstica, la DQO es siempre más grande, y en situaciones extremas igual que la DBO.

En Bolivia se puede constatar un rango de la DQO por habitante de 60 hasta 120g DQO/ (hab.día). Considerando caudales de 50 hasta 150 l/ (hab.día) esto significará concentraciones entre 400 hasta 1.400mg DQO/l en las entradas de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

### Biodegradabilidad del agua residual urbana según la relación DBO5/DQO

DBO5/DQO	Biodegradabilidad del agua residual
> 0,40	Alta
0,2 – 0,4	Normal
<0,2	Baja

Fuente: CENTA, Fundación. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población.

La relación DBO5/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas:

- ✓ Mayor o igual a 0,4 Aguas muy biodegradables: El vertido es orgánico (probablemente aguas residuales urbanas, resto de ganado o industria alimentaria) se recomienda solo tratamiento biológico para su depuración.
- ✓ Entre 0,2 - 0,4 Aguas biodegradables : Se puede recomendar tratamiento mediante lechos bacterianos o lodos activos
- ✓ Menor o igual 0,2 Aguas poco biodegradables: Nos indica un vertido de tipo inorgánico (probablemente aguas residuales industriales) se recomienda tratamiento químicos para su depuración.

En la materia inorgánica los parámetros de mayor importancia a tener en cuenta en depuración de aguas residuales son: pH, nutrientes (nitrógeno y fósforo), y gases.

El pH “es la medida de concentración del ion hidrogeno en el agua.

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas.

#### Las características Biológicas de las aguas residuales:

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Debido a la importancia de las

características biológicas de un agua residual, se hace necesario conocer los principales grupos de microorganismos que originan dichas características, estos grupos están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, y virus.

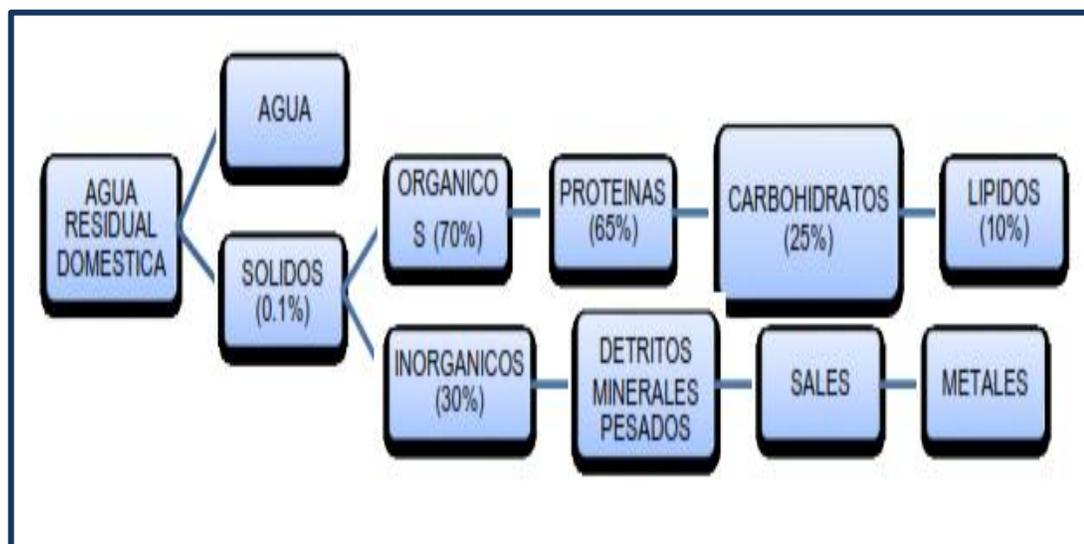
### Coliformes

Grupo de bacterias, que habitan predominantemente en el intestino del hombre, pero que también se encuentran en los vegetales, incluyéndose todos los bacilos aerobios, anaerobios o facultativos Gram negativos, que no esporulan y fermentan la lactosa desprendiendo gases. Este grupo incluye cinco familias, de las cuales la mayor de la Escherichia. Esta última comprende tres géneros y 10 especies, de las cuales las predominantes son la Escherichia coli y el Aerobacter aerógenes. La Escherichia coli es un habitante normal del intestino del hombre y de los vertebrados, mientras que el Aerobacter aerógenes normalmente se encuentran en las semillas y las plantas y solamente en una proporción variable, en el intestino del hombre y de los animales.

### 2.4. Características cuantitativas y cualitativas

Las aguas residuales domesticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99,9 %, y apenas el 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. Lo cual se representa en el siguiente Diagrama.

**Figura 1. Diagrama de la constitución del agua residual domestico**



Fuente: Metcalf & Eddy (1985).

## **2.5. Tratamiento de las aguas residuales**

La reunión y concentración de los residuos líquidos de una comunidad, llamadas aguas negras o residuales, crea el subsecuente problema de su evacuación, problema que es necesario resolver para la salud y bienestar de los habitantes. Para esto es necesario darle un tratamiento adecuado a las aguas residuales. El tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos. Todos estos métodos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos. Su objetivo es producir un líquido derivado, que se pueda eliminar sin causar ningún perjuicio al medio ambiente.

Después de evacuar el afluyente de una planta de tratamiento de aguas negras, también quedan los sólidos y el agua contenida en los sólidos, que han sido separados de las aguas negras y los cuales, también deben ser tratados de una manera adecuada antes de su disposición final.

## **2.6. Métodos de tratamiento de las aguas residuales**

El tratamiento de las aguas negras, es el conjunto de los recursos por medio de los cuales se realiza el proceso de auto purificación de una corriente, dentro de un área delimitada y bajo condiciones controladas.

Aunque hay muchos métodos de tratamiento de aguas residuales, todos se pueden incluir dentro de los procesos siguientes:

- I. Tratamiento Preliminar
- II. Tratamiento Primario
- III. Tratamiento Secundario
- IV. Tratamiento Terciario
- V. Tratamiento de Lodos

El diagrama muestra los distintos procesos englobados para el tratamiento.

**Figura 2. Tratamiento de aguas residuales**

PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
<p><b>Objetivo</b></p> <p>Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas</p>	<p><b>Objetivo</b></p> <p>Eliminación de materia sedimentable y flotante</p>	<p><b>Objetivo</b></p> <p>Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal</p>	<p><b>Objetivo</b></p> <p>Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos</p>
<p><b>Operaciones básicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desbaste</li> <li>- Tamizado</li> <li>- Desarenado</li> <li>- Desengrasado</li> </ul>	<p><b>Operaciones básicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decantación primaria</li> <li>- Tratamientos fisico-químicos (coagulación-floculación)</li> </ul>	<p><b>Procesos básicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradación bacteriana</li> <li>- Decantación secundaria</li> </ul>	<p><b>Procesos básicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Floculación</li> <li>- Filtración</li> <li>- Eliminación de N y P</li> <li>- Desinfección</li> </ul>
<p><b>Procesos físicos</b></p>	<p><b>Procesos físicos y químicos</b></p>	<p><b>Procesos biológicos</b></p>	<p><b>Procesos físicos, químicos y biológicos</b></p>

Fuente: Aguirre, P. (2004).

Etapas de la línea de agua, ordenadas secuencialmente de izquierda a derecha, en el tratamiento de las aguas residuales.

### 2.6.1. Tratamiento preliminar o pre-tratamiento

El tratamiento es físico, comprende una serie de operaciones físicas o mecánicas, puesto que la remoción de estos sólidos de mayor tamaño se lleva a cabo por el proceso de tamizado y por la sedimentación en el desarenado a través de la interacción de fuerzas como la gravedad, diferencias de concentración y el tamaño de las partículas.

Las unidades de tratamiento preliminar más importantes son:

- Rejas o cribas de barras.
- Canaleta Parshall
- Desarenadores.
- Trampa de grasas y aceites.

**Figura 3. Tratamiento preliminar**



Fuente: Terán, 2004

### **Rejillas o cribas de barras**

Tienen como objetivo la remoción o detención de los materiales gruesos o en suspensión de mayor tamaño como palos, piedras, trapos, bolsas, etc., los cuales pueden ser retirados mecánicamente o manualmente, están formadas por barras separadas entre 1.0 a 5.0 cm colocadas en un ángulo de 30 a 60 grados respecto a la base.

### **Canaleta Parshall**

El objetivo de la Canaleta Parshall es el de servir como estructura de aforo, es decir, permitir medir el caudal de agua residual que ingresa diariamente a la PTAR con el fin poder llevar una medición y a su vez un mejor control de los procesos.

### **Desarenador**

La función del desarenador propiamente dicha es la separación de los sólidos inorgánicos tales como arenas, grava y objetos metálicos, entre otros, aprovechando el efecto de la gravedad sobre los cuerpos pesados, los cuales tienden a depositarse cuando el agua fluye a velocidades muy lentas. Los desarenadores son canales en los cuales se transporta el agua residual a una velocidad de, 60 cm/seg, para permitir la sedimentación de arenas y todas las partículas de peso y diámetro considerablemente alto, sin que se logre depositar la materia orgánica presente en el agua.

- ✓ Medidor de caudal puede ser: Canaleta Parshall o vertedero.
- ✓ Desarenador cumple la función de remover las arenas, tierras, virutas, etc.
- ✓ Desengrasado nos permite eliminar los aceites y las grasas presentes en el agua residual.

### **2.6.2. Tratamientos primarios**

Este tipo de tratamiento se refiere a la remoción parcial de sólidos suspendidos, material orgánico y organismos patógenos, generalmente mediante sedimentación, dando al agua condiciones favorables para el tratamiento secundario.

El tratamiento primario constituye el primero, y a veces el único tratamiento de las aguas residuales. Este proceso elimina los sólidos flotantes y los sólidos sedimentables tanto finos como gruesos. Si la planta provee solamente un tratamiento primario, se considera que el efluente sólo ha sido parcialmente tratado. Es un simple tratamiento físico que consiste en la separación de elementos sólidos que contiene el agua.

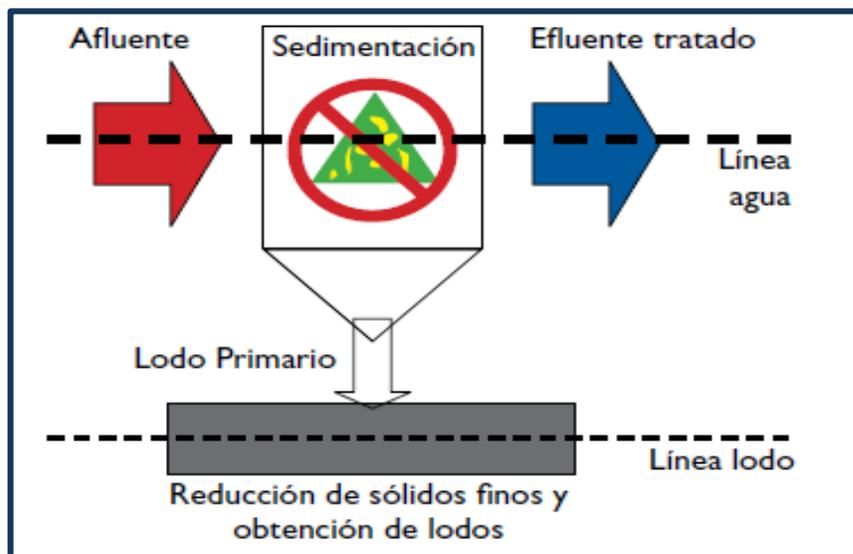
El tratamiento primario persigue retener una buena parte de los sólidos en suspensión que lleva el agua residual (entre un 90 y 95% de los sólidos sedimentables). A fin de lograr lo anterior se emplea el efecto de la gravedad, para que se depositen los sólidos sedimentables en los sedimentadores o en las lagunas. Los parámetros de diseño apuntan a un tiempo de retención y velocidad del líquido lo más constante posible, impidiendo las variaciones de caudal, con la finalidad de que los lodos y la espesecida en el fondo y la superficie no se vuelvan a mezclar con el líquido y prepararse para ser enviados a tratamiento posteriores.

Entre algunos de los elementos más empleados en el tratamiento primario están:

- Sedimentadores Primarios
- Fosas Sépticas.
- Tanque Imhoff.
- Reactor anaeróbico de flujo a pistón – RAP.
- Reactor anaeróbico de flujo a pistón – RAP-100(reactor a bafles)
- Reactor anaeróbico de flujo ascendente – UASB

- Laguna Anaerobia.
- Filtros Anaerobios.

**Figura 4. Tratamiento primario**



Fuente: Terán, 2004

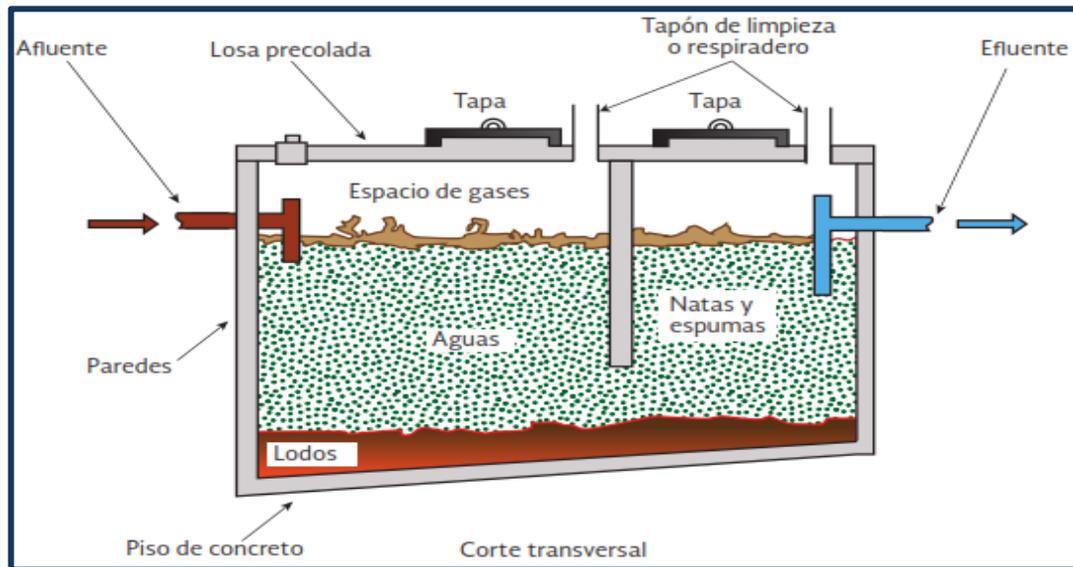
### **Sedimentadores primarios.**

El objetivo principal del tratamiento es la remoción de sólidos suspendidos y DBO de las aguas residuales, por un proceso físico de asentamiento en tanques, cuyo tiempo de retención mínimo aconsejable es de una hora, profundidades entre 2,5 a 4m y una velocidad de entrada de 0,3m/s.

### **Tanque Séptico**

Indica la construcción de uno o varios compartimientos en serie de sedimentación de sólidos. Esta unidad de tratamiento tiene la particularidad de realizar la sedimentación y la digestión en el mismo tanque, lo que lo que impide complicaciones de excavación y construcción. Se emplea para acondicionar las aguas residuales y posterior disposición subsuperficial en sitios en que no hay presencia de sistemas de alcantarillado sanitario. La función más importante es la de eliminar sólidos suspendidos, material flotante, efectuar tratamiento anaerobio de lodos sedimentables y almacenar lodos.

**Figura 5. Esquema de tanque séptico**

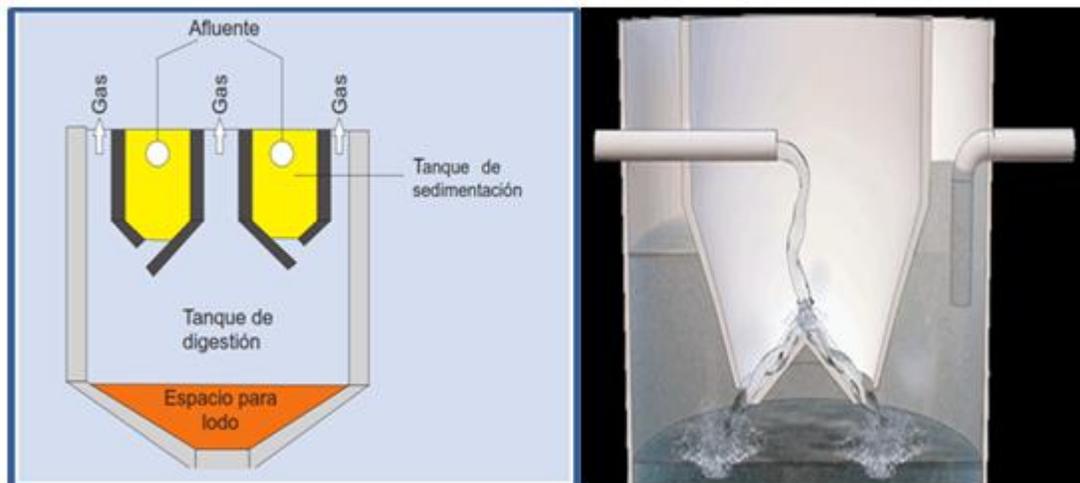


**Fuente:** Escalante et al. (2000)

### Tanque Imhoff

Este tanque es un sistema de tratamiento anaerobio; el cual está equipado con un compartimiento inferior para la digestión de los sólidos sedimentados y de una cámara superior de sedimentación; éstos sólidos se transportan por la abertura del compartimento hacia la zona de digestión. El tanque puede disponer de dos cámaras de sedimentación sobre las cámaras de digestión.

**Figura 6. Esquema de tanque Imhoff**



**Fuente:** Dr.-Ing. Wolfgang Wagner

### **Reactor anaeróbico de flujo a pistón (con baffles)**

El RAP fue desarrollado por Orozco (1997) para temperaturas inferiores a 20°C, tomando ventaja de mayor eficiencia de remoción de sustrato que se obtiene con el flujo pistón causado por los baffles. De este reactor se han construido plantas a escala real, que han operado con eficiencias de 70% de remoción de DQO, a temperaturas entre 13 y 17°C, que pueden ser mejoradas a medida que la remoción de sólidos sea más efectiva, pues el alto contenido de SST en el afluente representa la mayor parte de DQO del mismo.

Si se visualiza al reactor, el concepto de flujo en pistón como un flujo en el cual el fluido, al llegar al reactor, es encerrados en paquetes herméticos que luego viajan a lo largo del tanque, sin transferir ninguna sustancia de un paquete a otro, aunque exista mezcla completa dentro de cada paquete, se puede considerar que cada paquete es un mini reactor.

Las plantas de tratamiento basadas en el concepto RAP, reactor anaerobio de flujo a pistón con 100% de flujo ascendente es una variedad de reactor por baffles, que utiliza un separador Gas-Sólido-Líquido en la cámara final para mejorar el atrapamiento de los lodos lo más alta posible.

El RAP contiene unas series de cámaras, de tal forma que exige al agua realizar un movimiento ascendente y descendente; en el fondo se coloca un lodo de arranque para el crecimiento de las bacterias.

Los lodos del RAP se evacúan por medio de válvulas de purga y se conducen por gravedad hacia un pozo de succión de lodos y finalmente son evacuados hacia las eras de secado.

El periodo de puesta en marcha de los RAP para pequeñas poblaciones está entre los 40 o 50 días, se alcanzan eficiencias de 70 a 80% de remoción de carga patogénica y orgánica (DQO y DBO) para un tiempo de retención hidráulico de 6 a 12 horas. Nos indica una buena capacidad del medio donde se desarrolla la digestión anaerobia.

La distribución de lodos es bastante lógica (cantidades de lodo descendentes desde las primeras cámaras hacia las últimas) en las primeras cámaras, la cual es posiblemente gobernada por la concentración del sustrato y el arrastre de lodos. La lógica de esta distribución de lodo, pierde continuidad en las últimas cámaras y un hecho bastante destacable es el volumen ocupado por los lodos dentro del RAP, el cual está alrededor del 12.3%, con eficiencias de remoción de materia orgánica cercanas al 75%.

La cámara de hidrólisis (primera cámara del RAP), la cual tiene el doble de volumen que el resto de las cámaras, retiene la mayor parte de los sólidos y en la superficie de esta cámara se observa la formación de una nata gruesa, consistente y auto controlable, probablemente porque en ella se establece un equilibrio entre la materia orgánica estructurada (acumulada) y la velocidad de su hidrólisis.

#### **Control visual del proceso fermentativo de una planta RAP:**

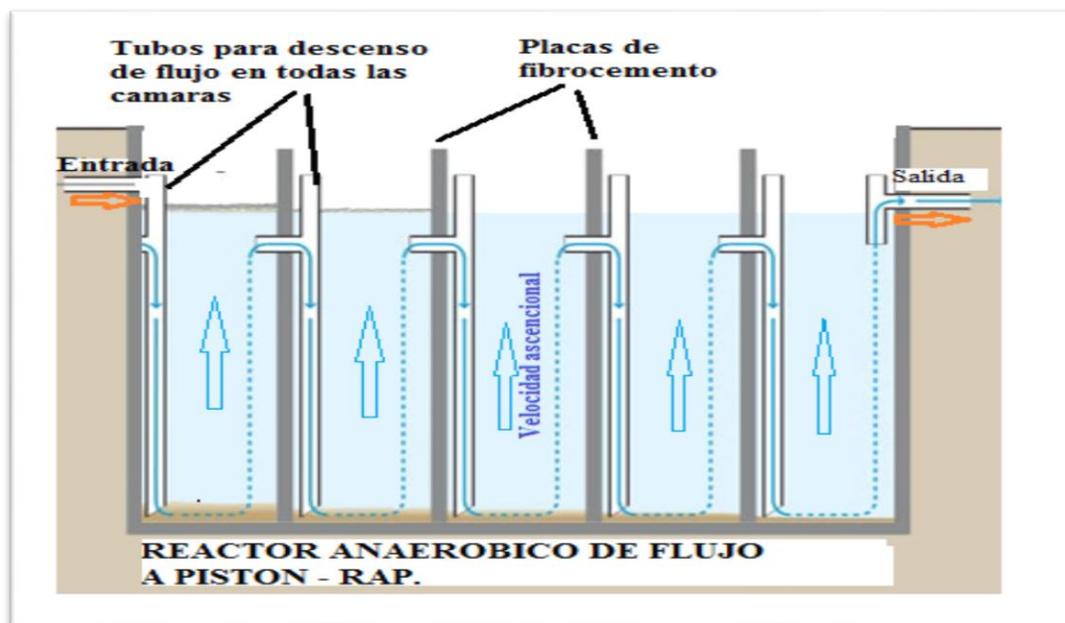
- ✓ En un RAP bien operado no se debería observar la proliferación de vectores.
- ✓ En la superficie de todas las cámaras se debería observar explosiones de gas y lodo en forma más o menos continua.
- ✓ Las burbujas de biogás deben ser más pequeñas y dispersas (como en un vaso de refresco carbonatado) que grandes y localizadas.
- ✓ El lodo que sale a flote, debería sedimentarse inmediatamente, luego de liberar el gas.
- ✓ No se debería sentir malos olores a más de 10 metros a la redonda del RAP.

#### **Respecto a la formación de natas en las cámaras se puede afirmar:**

En la primera cámara la formación de natas de espesor auto controlable es ventajosa para acelerar la hidrólisis y evitar la propagación de malos olores, cámaras intermedias la formación de natas de espesor auto controlable no supone probablemente ventajas ni desventajas y en últimas cámaras la ausencia de natas es deseable para garantizar la calidad del efluente.

Estos sistemas pueden llegar a costar menos del 60% que un tanque Imhoff y una laguna de tierra; igual que un tanque de sedimentación; menos de la mitad de filtro aerobio y de seis a diez veces menos que un sistema de lodos activados y es dos o tres veces más eficiente que estos sistemas.

**Figura 7. Reactor anaeróbico de flujo a pistón RAP**



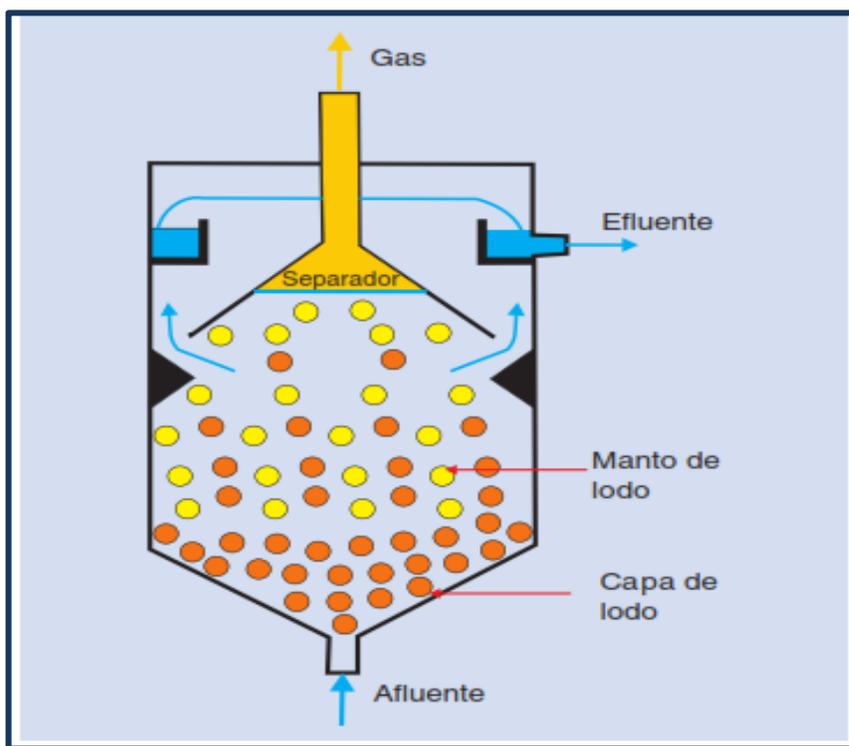
**Fuente: (Jiménez & Mojica, 1990)**

### **Reactor anaeróbico de flujo ascendente - UASB.**

En éste, se desarrolla un proceso anaeróbico, en donde, la materia orgánica por medio de microorganismos es degradada; dando como resultado gas metano y material biológico ya estabilizado. A diferencia del RAP, el agua no se encuentra expuesta a la atmósfera.

Existen dos tipos de reactor anaeróbico de flujo ascendente, el primero se refiere al reactor de lodo granular, lo que indica produce un lodo granular que permiten unas buenas condiciones de sedimentación y actividad metano génica aceptando altas cargas de orgánicas específicas; el segundo es de lodo floculante que tiene menos capacidad de soportar cargas tanto hidráulicas como orgánicas.

**Figura 8. Reactor anaeróbico de flujo ascendente - UASB**



Fuente: Dr.-Ing. Wolfgang Wagner

### **Laguna Anaerobia.**

Este sistema tiene una mayor capacidad de soportar cargas elevadas pero las eficiencias son mínimas lo que se hace necesario el posterior tratamiento. Corresponde a un proceso físico de sedimentación.

### **Filtro Anaerobios**

Un filtro anaerobio es un reactor en el cual la materia orgánica es estabilizada a través de la acción de microorganismos que quedan retenidos en los intersticios o adheridos al material soporte que constituye el lecho, a través del cual los desechos líquidos fluyen.

Ese tipo de reactor se puede emplear en una variedad de materiales para la constitución del relleno, tales como piedras, piezas cerámicas, piezas en madera, módulos tubulares, etc., e inclusive, en casos especiales, se puede pensar en usar materiales flotantes.

### 2.6.3. Tratamientos secundarios.

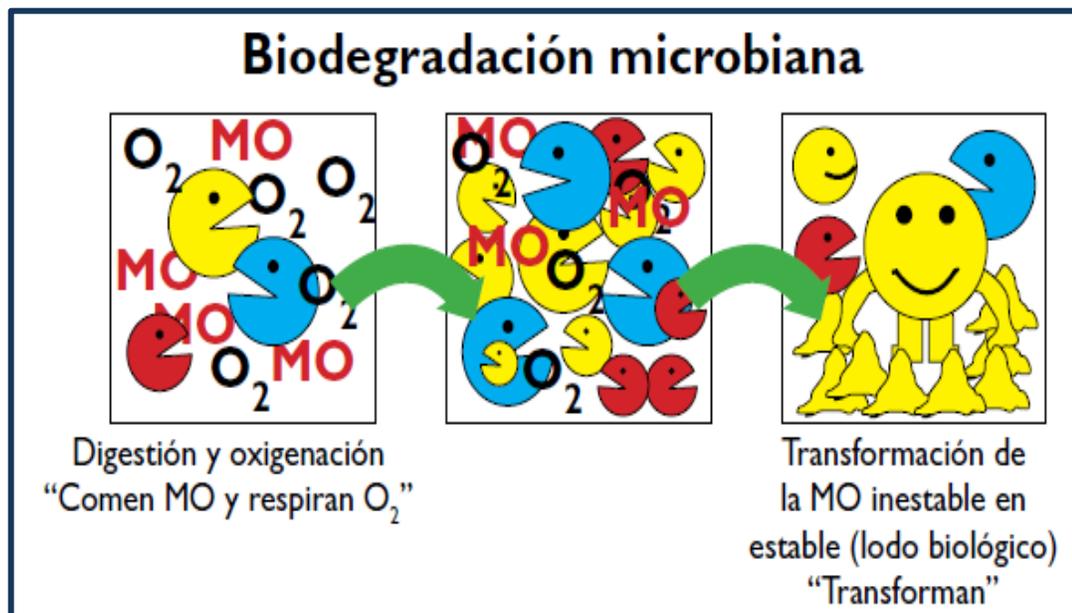
El tratamiento secundario es un tratamiento biológico que persigue transformar la materia orgánica (remoción del DBO) del agua residual en materia celular, gases, energía y agua.

A su vez se retienen también sólidos en suspensión y sólidos coloidales.

En la zona de tratamiento secundario algunas veces se añaden reactivos para favorecer la eliminación de fósforo, o de sólidos coloidales. A este tratamiento químico no se le debe considerar un tratamiento secundario.

- Lagunas de estabilización.
- Aerobias.
- Anaerobias.
- Facultativas.
- Filtros Biológicos.
- Reactores Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).
- Lodos Activados.
- Sedimentadores Secundarios.

**Figura 9. Biodegradación microbiana**



Fuente: Terán, 2004

### Laguna aerobia

Este tipo de lagunas se realiza la estabilización de la materia orgánica a través de la oxidación biológica. Estas condiciones se logran generalmente en lagunas de poca profundidad mantenidas por acción fotosintética y con gran producción de algas que deben ser retiradas periódicamente o manteniendo procesos mecánicos de aireación, con retiro de lodos; soportan altas cargas de DBO superiores a 150 Kg/hab.día.

### Laguna facultativa

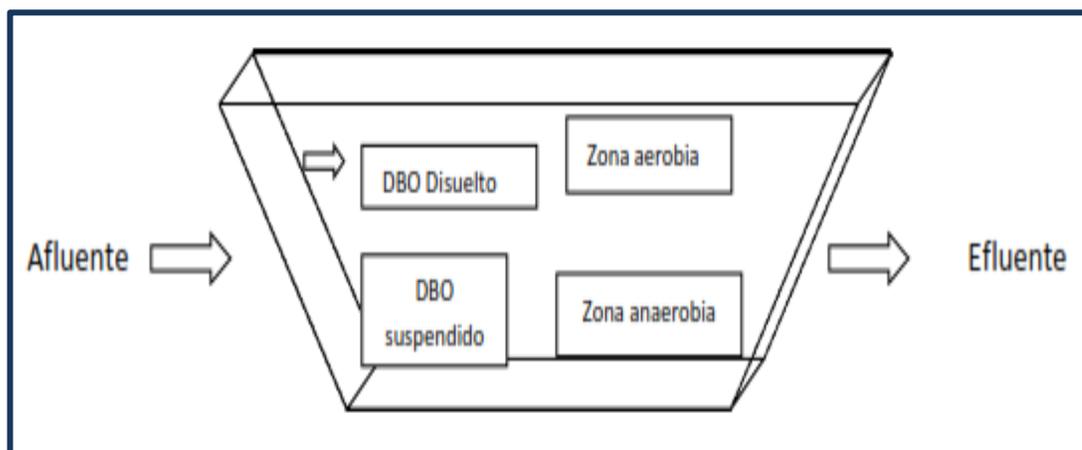
Éste es un método de tratamiento biológico que logra sintetizar tanto desechos crudos, como efluentes de sistemas de tratamiento secundario que deben ser mejorados.

Las lagunas secundarias producen una mayor remoción de DBO que ha pasado a este reactor en forma soluble. También se produce una reducción de patógenos y huevos de helmintos de acuerdo al tiempo de retención hidráulica que tengan las mismas.

El oxígeno producido por el proceso de fotosíntesis de algas es fundamental para alimentar las bacterias involucradas.

La gran ventaja de las lagunas facultativas es que no producen malos olores si son diseñadas y operadas adecuadamente. Su mayor desventaja es que ocupan una gran área. Además, como hay muchas especies de plantas y bacterias, son muy sensibles contra variaciones en oxígeno y pH.

**Figura 10. Laguna facultativa**



Fuente: Lienard, A., Boutin, C. y Esser, D. (1990).

**Lodos activados**

Se puede emplear cuando el agua residual responde a tratamientos biológicos, no sin antes remover los sólidos gruesos, arenas, grasas y aceites.

**Filtros Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)**

Consiste en un tanque, cámara cerrada o abierta, compuesta por un lecho de piedra en donde el efluente proveniente del tratamiento anterior pasa de manera ascendente (de abajo hacia arriba), a través de una losa perforada, una capa filtrante plástica o de piedras y la película biológica que se forma sobre la superficie de ellas. Esta tecnología de tratamiento realiza un trabajo de biodegradación anaerobia (sin presencia de oxígeno).

El relleno del tanque (lecho o medio filtrante) puede estar compuesto por estructuras plásticas u otros materiales, sin embargo por su bajo costo la grava es el medio filtrante de mayor uso.

En general, los tamaños de material para el filtro reportados como los de mejores resultados varían entre 2,5 y 7,5 cm, con tamaño uniforme desde la parte superior hasta el fondo.

Puede lograr reducciones de entre un 50 a 70% de DBO, sobre la remoción lograda previamente en el tratamiento anterior.

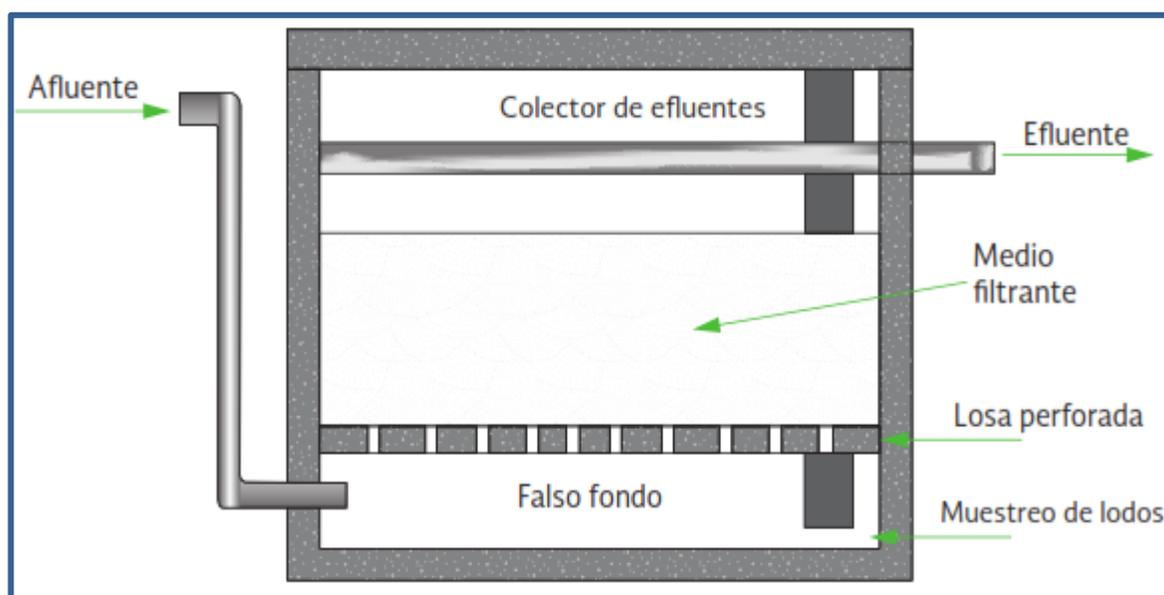
La instalación de este tipo de tecnología, va a requerir de una etapa de pre tratamiento y tratamiento primario que incluyan la separación de sólidos gruesos y finos así como la separación de grasas y aceites, para garantizar un adecuado funcionamiento y evitar que el filtro se obstruya con sólidos presentes en el agua residual.

Con respecto a las partículas del afluente, es conveniente operar adecuadamente el Sistema de pre tratamiento para evitar que los excesos de sólidos suspendidos totales colmaten los filtros.

Al respecto se deberá encontrar un equilibrio entre el grado de pre tratamiento, la pérdida de carga permisible, la duración deseada del funcionamiento del filtro y las necesidades de limpieza del mismo (Metcalf & Eddy, Inc., 1977).

En la salida del efluente del FAFA conviene ubicar la estructura (tubos perforados) de salida a una distancia mínima de 30 cm del medio filtrante, de tal manera que se garantice un trabajo uniforme de evacuación de las aguas tratadas en todo el material filtrante (Chernicharo de Lemos, 2007).

**Figura 11. Filtro anaeróbico de flujo ascendente FAFA**



Fuente:(Chernicharo de Lemos, 2007)

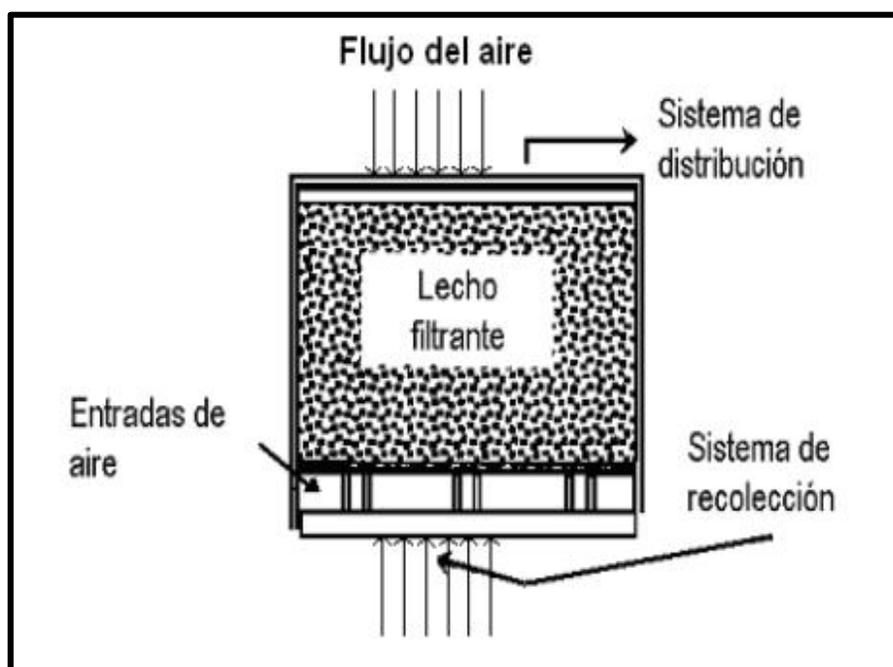
### **Filtros percoladores/ Filtros Biológicos**

El filtro consta de un tanque que contiene un lecho filtrante compuesto generalmente, de materiales sintéticos o diferentes tamaños de piedras y con una alta relación área / volumen. Sobre el lecho es aplicada el agua residual y distribuida por brazos fijos o móviles, este procedimiento causa la formación de una capa bacteriana que descompone las aguas residuales en su paso por el filtro; transcurrido cierto tiempo esta capa adquiere un determinado espesor y posteriormente se desprende hidráulicamente del lecho de piedras, seguidamente, ingresa a un clarificador secundario separándose allí los lodos formados.

**Los filtros son clasificados de acuerdo a su carga en:**

- **Filtros de baja carga.** En estos, el agua pasa una sola vez a través del medio, con unas cargas volumétricas bajas. Aunque su operación es fácil y segura, se crean problemas de olores y moscas que deben ser manejados.
- **Filtros de alta carga.** Emplean recirculación de hasta un 400%, la que no debe ser menor a la mitad del caudal de diseño de la planta, para así homogenizar la carga hidráulica y no presentar graves problemas de olores y moscas.

### Filtros percoladores/ Filtros Biológicos

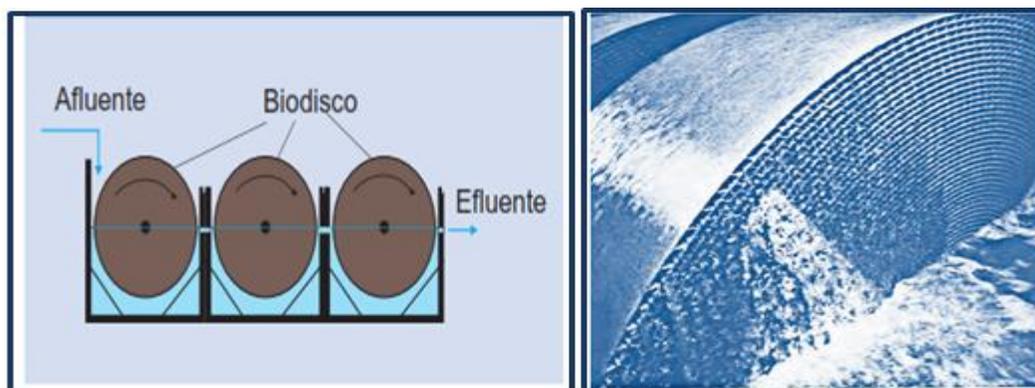


Fuente: Metcalf & Eddy 3ª Edición Mac Graw Hill 1997.

### Tanques de biofísicos

Es un sistema de tratamiento biológico secundario, trata aguas residuales domésticas e industriales biodegradables. Consta de discos que facilitan el crecimiento de partículas biológicas, que por medio del movimientos circulares sobre un eje. El agua a tratar circula en sentido paralelo o perpendicular al eje de rotación. Es un sistema sencillo que soporta cargas choques y toxicas, pero también puede ocasionar problemas por fallas en los discos y fugas de lubricantes.

## Tanque biodiscos



Fuente: Dr.-Ing. Wolfgang Wagner

### 2.6.4. Tratamientos terciarios

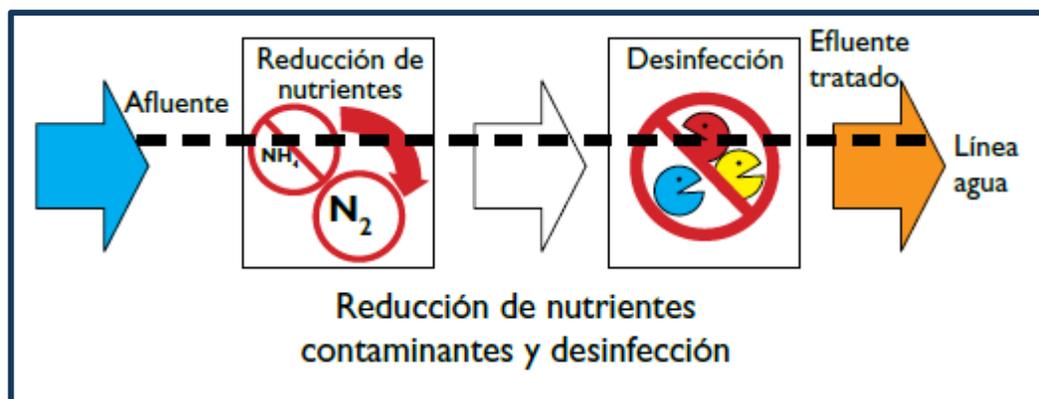
Se define como el tratamiento adicional necesario para la eliminación de los sólidos suspendidos no tratados en las etapas anteriores y de las sustancias disueltas que permanecen en el agua residual después del tratamiento secundario convencional. Estas sustancias pueden ser materia orgánica o inorgánica, en forma de sólidos suspendidos, y su naturaleza puede variar desde iones inorgánicos relativamente simples, como el calcio, el potasio, el sulfato, el nitrato y el fosfato, hasta un número cada vez mayor de compuestos orgánicos sintéticos muy complejos.

El propósito del tratamiento terciario es reducir el número de organismos vivos a niveles aceptables que permitan el posterior reúso de las aguas, o simplemente para alcanzar los niveles de concentración establecidos por norma cuando se realizan las descargas a los cuerpos de agua. También sirve para la reducir la carga de nutrientes causantes de la eutrofización de los cuerpos de agua.

Algunos de los elementos más empleados en el tratamiento primario están:

- Lagunas de maduración
- Humedales con flujo superficial
- Humedales con flujo subsuperficial

### Tratamiento terciario



Fuente: Terán, 2004

### Lagunas de maduración

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

### Humedales artificiales

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

Existen humedales artificiales de flujo superficial y humedales artificiales de flujo subsuperficial.

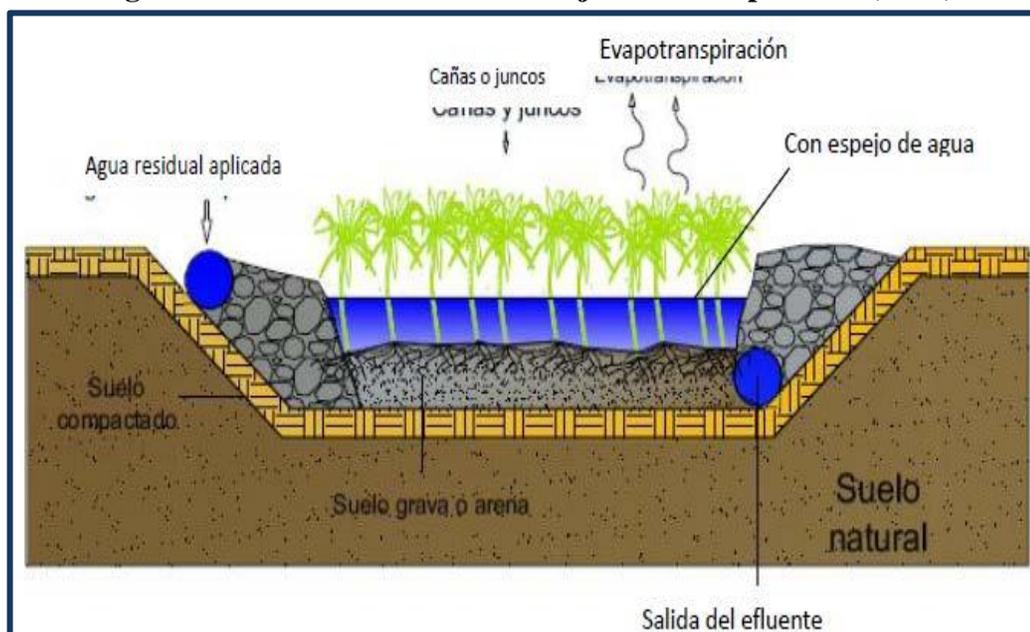
La remoción de los contaminantes en los humedales ocurre a través de las especies vegetales presentes. Los contaminantes, en su mayoría, son también nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato. Muchas especies de plantas utilizadas en humedales son también capaces de captar e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como por ejemplo, cadmio y plomo. También las bacterias, como otros microorganismos en el suelo, captan y almacenan nutrientes, algunos otros contaminantes, y asimismo, son responsables para la degradación de la materia orgánica.

### Humedales de Flujo libre o superficial (HFL)

Los humedales de flujo libre o superficial (hfl) con espejo de agua libre son balsas, una ciénaga, pantano o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera.

Es un sistema parecido a las lagunas con vegetación, donde solo las plantas se encargan de tratar las impurezas y absorber la materia orgánica.

**Figura 12. Humedal artificial de flujo libre o superficial (HFL)**



**Fuente: Wagner, 2010**

### Humedales de Flujo Sub-superficial (HSS)

Los HSS son métodos acuáticos en el que el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso de grava gruesa o arena sembrado de plantas emergentes.

Este tipo de tratamiento tiene la ventaja de evitar problemas de plagas y emisión de malos olores, ya que el nivel del agua está por debajo de la superficie. Sin embargo, la desventaja

Son los costos de construcción por el uso de grava para el tratamiento.

**Figura 13. Humedales de Flujo Sub-superficial (HSS)**



**Fuente: Wagner, 2010**

### **Situación actual de PTAR en Bolivia (mayo 2010-octubre 2013)**

En forma genérica, el tratamiento de aguas residuales se puede clasificar en cuatro tipos, de acuerdo a los procesos y operaciones unitarias que se llevan a cabo. éstos son el pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

Para poder realizar un mejor análisis de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, la tabla 4 muestra las ventajas y desventajas de los procesos unitarios de tratamiento detallados anteriormente.

**Tabla 1. Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento**

<b>Tratamiento preliminar - acondicionamiento del agua</b>		
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
REJAS MANUALES	<p>Eficiente en la separación de sólidos flotantes, especialmente plásticos.</p> <p>No requiere mano de obra especializada.</p> <p>Fácil de construir con materiales locales.</p>	<p>Material se corroe rápidamente si no se protege.</p> <p>Requiere mantenimiento diario para la recolección de material flotante atrapado.</p>
REJAS AUTOMÁTICAS	<p>Se puede separar material flotante más fino.</p> <p>No requiere intervención en la recolección de flotantes.</p> <p>La recolección es automática con tiempo programado.</p>	<p>Utiliza energía eléctrica.</p> <p>Requieren operación y mantenimiento constantes.</p> <p>Usan motores y partes mecánicas no producidos en el país.</p>
DESARENADORES	<p>Son fáciles de construir y usan material local.</p> <p>Pueden ser usados en conjunción con medidores de caudal.</p> <p>Operación manual que no requiere personal capacitado.</p>	<p>Requieren al menos dos estructuras en paralelo por mantenimiento.</p> <p>Requieren que una vez colmatada la tolva se saque el material sedimentado.</p> <p>Requiere tratamiento de lodo acumulado.</p>

<b>Tratamientos de baja producción - sistemas biológicos</b>		
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
CÁMARAS SÉPTICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnología empleada ampliamente en poblaciones rurales y áreas periurbanas.</li> <li>» Construcción con elementos locales.</li> <li>» No requiere especialización en personal para el manejo y operación.</li> <li>» Baja la carga de DBO hasta en un 40%.</li> <li>» Se puede mejorar rendimiento con adición de químicos.</li> <li>» Ocupan poco terreno.</li> <li>» Construcción por lo general subterránea, que ayuda con generación de olores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Muy poca o ninguna remoción de patógenos.</li> <li>» Requiere mantenimiento periódico.</li> <li>» Los lodos producidos deben ser tratados.</li> <li>» Muy peligroso cuando se hace mantenimiento por los gases tóxicos producidos.</li> <li>» Requieren de tratamientos posteriores para su uso como agua de riego.</li> <li>» Con químicos se produce más lodo y se necesita personal especializado.</li> <li>» Sólo para pequeñas poblaciones.</li> </ul>

Tratamientos de baja producción - sistemas biológicos		
TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TANQUES IMHOFF	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnología conocida y empleada mayormente en poblaciones rurales.</li> <li>» Construcción con elementos locales.</li> <li>» Tiene cámara de sedimentación y biodigestor en un solo reactor.</li> <li>» Baja la carga de DBO hasta en un 40%.</li> <li>» Ocupan poco terreno.</li> <li>» Producen un lodo estable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Muy poca o ninguna remoción de patógenos.</li> <li>» Requiere mantenimiento periódico.</li> <li>» Los lodos producidos deben ser extraídos con periodicidad y tratados.</li> <li>» La cámara de sedimentación tiende a obstruirse fácilmente.</li> <li>» Requieren de tratamientos posteriores para su uso como agua de riego.</li> <li>» Construcción profunda no recomendable cuando el nivel freático está alto.</li> <li>» Genera malos olores.</li> <li>» Requiere de personal entrenado.</li> </ul>
FILTRO ANAEROBIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnología empleada ampliamente en poblaciones rurales.</li> <li>» Construcción con elementos locales.</li> <li>» No requiere especialización en personal para el manejo y operación.</li> <li>» Baja la carga de DBO hasta en un 40%.</li> <li>» Lodo estabilizado.</li> <li>» Ocupan poco terreno.</li> <li>» Construcción por lo general subterránea, que ayuda con generación de olores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Poca reducción de patógenos.</li> <li>» El mantenimiento es dificultoso.</li> <li>» Requiere tiempo para generar bacterias acostumbradas al medio.</li> <li>» Produce olor.</li> </ul>

Tratamientos de baja producción - sistemas biológicos		
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnología conocida y ampliamente utilizada en el país.</li> <li>» Construcción con elementos locales.</li> <li>» Requiere poca operación y mantenimiento.</li> <li>» Reduce patógenos cuando se usan lagunas facultativas y de maduración.</li> <li>» No usa energía adicional a la gravitatoria.</li> <li>» Reduce grandemente la DBO hasta 99%.</li> <li>» Actúa como reservorio de regulación para sistemas de riego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Se requiere una gran superficie.</li> <li>» Las lagunas anaerobias son profundas; no se usa con nivel freático alto.</li> <li>» Si se sobrecargan producen malos olores.</li> <li>» La evaporación es grande en climas áridos.</li> <li>» Si no se maneja bien el pelo de agua, gran producción de mosquitos.</li> <li>» Existe rechazo por parte de la población a esta solución.</li> </ul>

<b>Tratamientos de baja producción - sistemas biológicos</b>		
<b>HUMEDALES</b>	» Tecnología conocida ampliamente utilizada en el país.	» Se requiere superficie de tamaño medio.
	» Construcción con elementos locales.	» Si no se cosechan plantas hay sobrepoblación que afea el paisaje.
	» Requiere poca operación y mantenimiento.	» Requieren de geomembrana para no contaminar subsuelo.
	» Reduce patógenos, las plantas fijan metales pesados.	» Requiere una cuidadosa selección del medio filtrante.
	» No usa energía adicional a la gravitatoria.	» Requiere de plantas que se adapten al líquido. » Humedales de flujo superficial conllevan gran población de mosquitos.

<b>Tratamientos de alta producción</b>		
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>REACTOR UASB REACTOR (RAFA) REACTOR (RALF)</b>	» Tecnología ampliamente probada en el contexto internacional.	» Poca reducción de patógenos.
	» Construcción con elementos locales	» Muy inestable con cambios bruscos de temperatura.
	» Ocupa poco terreno.	» Requieren de operación y mantenimiento constante.
	» Baja la carga de DBO hasta en un 50%.	» Requieren de personal especializado.
	» Los olores son contenidos en el reactor eliminados por ventilación.	» Requiere de laboratorio para control de pH, alcalinidad.
	» Producen un lodo estable.	» Requiere inóculo para generar el manto suspendido. » En invierno pueden necesitar fuente de calor.
<b>DESINFECCIÓN POR RAYOS ULTRAVIOLETAS</b>	» No se producen elementos tóxicos o cancerígenos.	» La lámina de agua tratada debe ser pequeña (cm).
	» Efectiva reducción de patógenos.	» El agua no debe contener sedimentos.
	» Tecnología simple de fácil manejo.	» Necesita mantenimiento intensivo de las lámparas. » No se debe tener flujo turbulento.
<b>LAGUNAS AIREADAS + LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN</b>	» Tecnología conocida.	» Requiere electricidad para los aireadores.
	» Construcción de las lagunas con elementos locales.	» Aireadores se deben importar.
	» Reduce patógenos muy efectivamente.	» Se requiere personal de mantenimiento.
	» No requiere etapa previa de sedimentación.	» Los lodos deben ser tratados para reducir patógenos.
	» No producen olor.	» Si no se maneja bien puede haber gran producción de mosquitos.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2013 la Paz-Bolivia)

## **2.7. Desinfección**

La desinfección de las aguas residuales incluye la destrucción de patógenos, virus y parásitos perjudiciales para la salud. Con un dimensionamiento adecuado se puede conseguir una remoción de coliformes fecales de 99,9% y la efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua tratada, el tipo de desinfección utilizado, la dosis de desinfectante (concentración y tiempo) y de otras variables ambientales.

Los métodos de desinfección de las aguas servidas son principalmente:

- Cloración
- Luz Ultravioleta(UV)

### **Cloración**

El más usado es la cloración por ser barata, fácilmente disponible y muy efectiva. Sin embargo, como el cloro es tóxico para la vida acuática el agua tratada con este elemento debe ser sometida a cloración antes de disponerla a cursos de agua natural. Desde el punto de vista de la salud pública se encuentra aceptable un agua servida que contiene menos de 1.000 coliformes totales por 100 ml y con una DBO inferior a 50 mg/L.

La estructura que se usa para efectuar la cloración es la cámara de contacto. Consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua servida tratada de manera que ésta esté al menos 20 minutos en contacto con el cloro, tiempo necesario para dar muerte a los microorganismos patógenos.

### **Luz ultravioleta (UV)**

La radiación UV se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los

microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

**Tabla 2. Eficiencia de remoción según diferentes autores**

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH <sub>3</sub> -N	Patógenos
Rejilla	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
Filtros percoladores							Desp.
▪ alta tasa, roca	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15	
▪ supertasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15	
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Lagunas de oxidación							
▪ Lagunas anaerobias	50-70	---	20-60	---	---	---	90-99.99
▪ Lagunas aireadas	80-95	---	85-95	---	---	---	90-99.99
▪ Lagunas facultativas	80-90	---	63-75	30	---	---	90-99.99
▪ Lagunas de maduración	60-80	---	85-95	---	---	---	90-99.99
Ultravioleta	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100

Fuente: Jairo Romero Rojas, Diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales

## La eficiencia real de remoción orgánica alcanzada por el FAFA y Tanques Imhoff

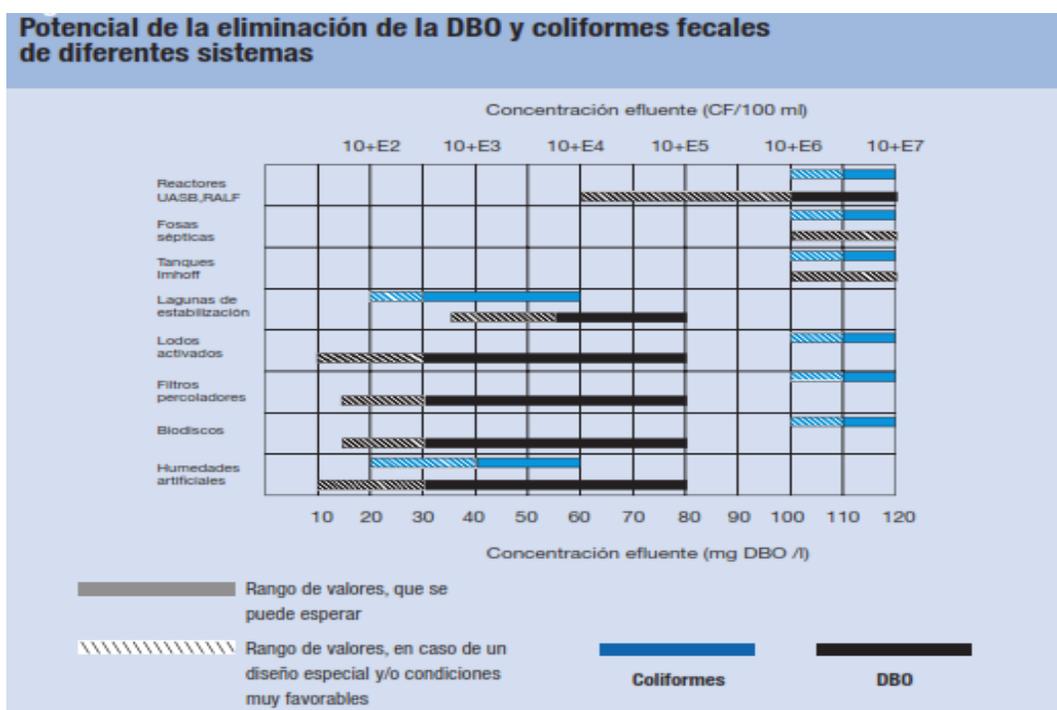
Unidad de tratamiento	% Remoción		
	DBO5	DQO	SST
Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)	63	62	74
Tanques Imhoff	35	50	60

Fuente: Instituto de investigaciones tecnológicas (Bolivia Tecno ciencia Universitaria).

## Porcentaje de remoción para humedales artificiales subsuperficiales

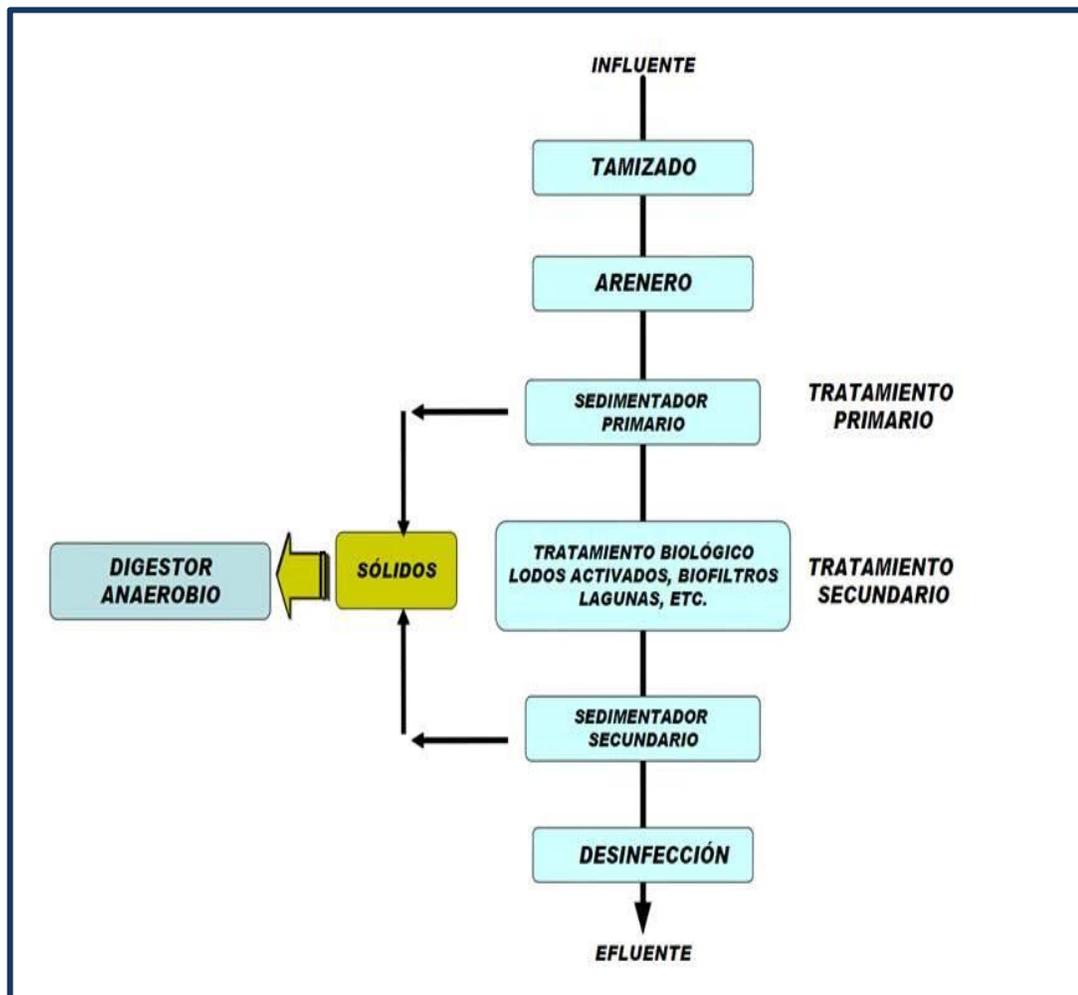
Parámetro	%
Sólidos en Suspensión	85 – 95
DBO <sub>5</sub>	85 – 95
DQO	80 – 90
N	20 – 40
P	15 – 30
Coliformes fecales	90 – 99

Fuente: Manual de depuración de aguas residuales urbanas (Alianza el agua en Centroamérica)



Fuente= Ing. Wagner, 2010

## Estructuración de un sistema de tratamiento de aguas residuales.



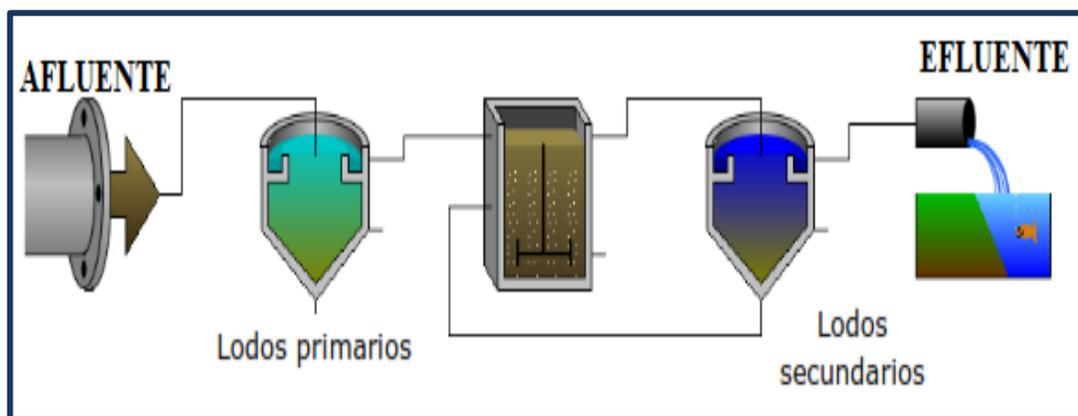
Fuente: Wagner, 2010

### 2.8. Producción de lodos

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en la planta de tratamiento incluyen basuras, arenas, espumas y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamientos de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o líquido semisólido con gran contenido de sólido entre el 0.25% y el 12% en peso. El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios

Los lodos separados en el sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. A continuación se analizan proceso que se utilizan para reducir el contenido de agua y materia orgánica del lodo, y se utilizan además para acondicionar el fango para su reutilización o evacuación final.

### Flujo de producción de lodos primarios y secundarios



Fuente. Wagner, 2010

#### 2.8.1. Estabilización de lodos

El termino estabilización puede considerarse como el proceso o el conjunto de procesos que dan como producto final un lodo con características tales que después del proceso puede ser usado sin que comprometa la salud pública o al medio ambiente.

La estabilización de lodo se lleva a cabo principalmente para reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables, reducir o eliminar su potencial de putrefacción, la supervivencia de microorganismos patógenos y la proliferación de olores el lodo se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollan sobre la fracción orgánica del mismo.

Las técnicas de estabilización de lodos más recurridas son; la indigestión anaerobia; la digestión aerobia; estabilización con cal; y el compostaje.

En Latinoamérica se calcula normalmente con un valor del lodo de 50l/ (hab.año).

Los métodos más comunes para estabilizar los lodos son:

- Digestión anaerobia
- Digestión aerobia
- Composteo
- Estabilización con cal
- Incineración

### **La digestión anaerobia**

Se realiza en un estanque cerrado llamado digester y no requiere la presencia de oxígeno pues es realizada por bacterias que se desarrollan en su ausencia. Para el óptimo crecimiento de estos microorganismos se requiere una temperatura de 35 ° C. Las bacterias anaerobias degradan la materia orgánica presente en el agua servida, en una primera fase, a ácido propiónico, ácido acético y otros compuestos intermedios, para posteriormente dar como producto final metano (60 - 70 %), anhídrido carbónico (30%) y trazas de amoníaco, nitrógeno, anhídrido sulfuroso e hidrógeno. El metano y el anhídrido carbónico son inodoros; en cambio, el ácido propiónico tiene olor a queso rancio y el ácido acético tiene un olor a vinagre.

### **La digestión aerobia**

Se realiza en un estanque abierto y requiere la presencia de oxígeno y, por tanto, la inyección de aire u oxígeno. En este caso la digestión de la materia orgánica es efectuada por bacterias aerobias, las que realizan su actividad a temperatura ambiente. El producto final de esta digestión es anhídrido carbónico y agua. No se produce metano. Este proceso bien efectuado no produce olores.

### **La composta o abonamiento**

El compostaje es la descomposición aerobia de la materia orgánica, los microorganismos llevan a cabo este proceso. Aproximadamente el 20-30% de los sólidos volátiles se convierten a dióxido de carbono y agua. Conforme se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica contenida en los lodos, la temperatura se eleva hasta alcanzar 50-70°C, lo cual permite la eliminación de organismos patógenos entéricos.

El compostaje es la mezcla del fango digerido aeróbicamente con madera o aserrín y o llantas trituradas, con el objetivo de disminuir su humedad para posteriormente ser dispuesto en un relleno sanitario.

### **Estabilización con cal**

Durante el proceso se añade suficiente cal a los lodos para elevar el pH arriba de 12 condiciones a las cuales los microorganismos no mantienen sus funciones metabólicas como consecuencia de ello, mientras se mantenga este valor de pH, los lodos no despedirán olores, no serán vectores infecciosos y se eliminara su potencial de putrefacción, el proceso de estabilización con cal puede ser previo a un proceso de deshidratación o posterior a él.

### **Incineración**

La incineración es el proceso de estabilización de solidos más completo, ya que oxida completamente toda la materia orgánica, el olor es eliminado y los patógenos destruidos. En ese proceso la temperatura de los lodos es elevada por encima de los 800°C en un ambiente rico en oxígeno para conseguir la degradación de los compuestos orgánicos y obtener como producto final dióxido de carbono, agua y ceniza estable, lográndose una reducción del 90% del volumen total de los lodos alimentados.

### **2.8.2. Aprovechamiento y disposición**

La producción de lodos en una planta de tratamiento, puede traer también ciertos beneficios dependiendo del tratamiento o destino que se les dé. Las principales formas de aprovechamiento son como fuente de energía o mejoradores de suelo en la agricultura también pueden ser usados para acelerar la restauración ecológica de terrenos afectados por incendios forestales y para rellenar huecos formados por bancos de materiales.

### **2.9. Parámetros básicos de diseño de plantas de tratamientos de aguas residuales.**

En el dimensionamiento de las unidades de tratamiento y accesorios complementarios así como otros componentes, serán tomados en cuenta entre los elementos obtenidos, los siguientes "Parámetros Básicos": El caudal máximo, medio y mínimo, la demanda

bioquímica de oxígeno (DBO 5 días y 20 °C ) y materia en suspensión (en mg/l) y los sólidos sedimentables (ml/l), temperatura, pH, DBO sedimentable.

Se podrán utilizar los diferentes caudales (máximo, medio y mínimo) para el dimensionamiento o verificación de funcionamiento de las diferentes unidades de tratamiento, según sus características.

### **Carga orgánica**

El parámetro de carga orgánica a ser asumido tiene un valor de DBO igual a 54 gr/hab.día.

### **2.10. Medición de caudal**

En cualquier proyecto de estación de tratamiento debe ser incluido un sistema de medición de caudal, compatible con la dimensión de la propia P.T .A.R., Esto posibilita, a su vez, ajustar las condiciones operativas de las distintas etapas del tratamiento, así como obtener el coste del tratamiento por unidad de volumen tratado. Este sistema comprenderá:

- a) Medición de caudal afluente y/o efluente de las aguas residuales.
- b) Medición del caudal de lodo activado recirculado y en exceso, en el caso de proceso de lodos activados, excluyendo los sistemas conjugados de tratamiento.
- c) lodo a ser tratado por procesos biológicos, químicos o térmicos.

### **2.11. Estudios de caracterización del agua residual**

Los estudios de caracterización del agua residual están encaminados a determinar; las características físicas, químicas y biológicas del agua y las concentraciones de los constituyentes del agua residual, y los medios óptimos para reducir las concentraciones de contaminantes.

### **Muestreo**

Las técnicas de muestreo utilizadas en un estudio del agua residual deben asegurar la obtención de muestras representativas, ya que los datos que se deriven de los análisis de dichas muestras serán, en definitiva, la base para el proyecto de las instalaciones de tratamiento. No existen procedimientos universales de muestreo.

Se toman muestras para hacer el análisis de la calidad del agua, con el objetivo que se tenga conocimiento del funcionamiento y la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

### **Existen cuatro principios importantes en la toma de muestras**

En general, el objetivo es lograr una muestra de una composición representativa que nos indique el estado promedio de la PTAR. Es por eso que estos cuatro principios nos ayudarán a conseguir una muestra con esas cualidades:

- 1. Lugar:** elegir un lugar adecuado para tomar la muestra.
- 2. Tiempo:** considerar el tiempo adecuado para tomar la muestra.
- 3. Frecuencia:** tomar las muestras en la frecuencia adecuada.
- 4. Técnica:** usar una técnica del muestreo adecuada.

### **Instrucción de toma de muestras**

Aspectos que debemos tomar en cuenta para la toma de muestras.

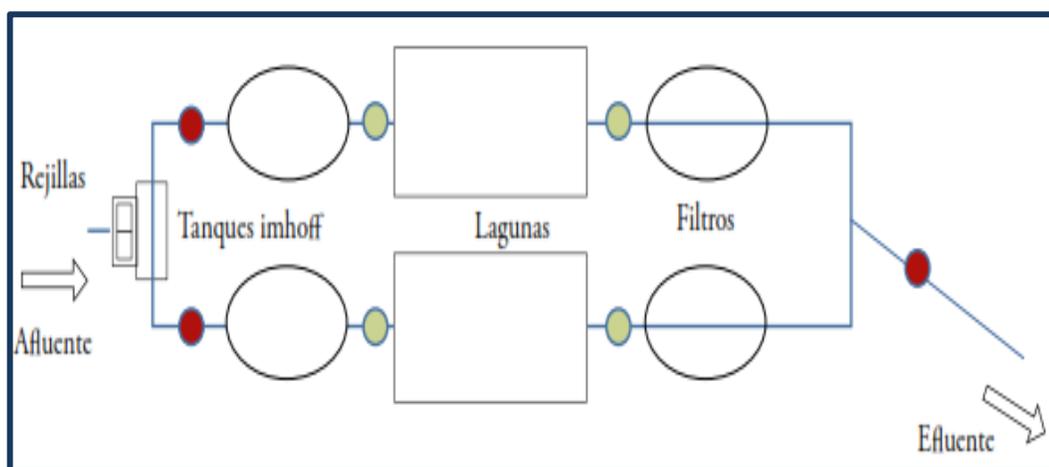
- ✓ Se toman las muestras en una posición donde el agua esté bien mezclada. Se puede encontrar dentro de estrechamientos, donde el agua fluye con rapidez o donde cae.
- ✓ Siempre se toma la muestra en el centro del agua corriente. Nunca toque el fondo de la tubería o paredes de un canal para que los sedimentos no puedan entrar a la muestra.
- ✓ La muestra siempre debe ser tomada en contracorriente (el lado abierto del frasco contra el flujo).
- ✓ Para que las muestras de diferentes días sean comparables, tómelas en el mismo lugar de la misma manera.
- ✓ Si una persona entra al agua para tomar la muestra, debe estar ubicada detrás del frasco/botella en el sentido de contracorriente para que no contamine la muestra.
- ✓ Las diferentes muestras que se toman tienen un volumen aprox. 1-2 litros para que sean representativas.

- ✓ Rellenar los papeles de la documentación y las etiquetas de los frascos. Siempre hacerlo ANTES de la toma de las muestras.
- ✓ Abra el recipiente y llene el recipiente con agua, de manera que quede un poco de aire en el recipiente. Nunca llene completamente, inmediatamente cierre el recipiente y seque el exterior del frasco o botella.

### Lugares adecuados para tomar muestras

Para conocer la eficiencia de una PTAR se toma en general una muestra del efluente y del afluente, es decir de la salida y de la entrada del agua a la PTAR y los cuales están caracterizados por un punto rojo.

#### Lugares adecuados para tomar muestras (puntos rojos)



Fuente: Guía para la toma de muestras de agua residual (PERIAGUA)

### Técnica para toma de muestras

Existen diferentes técnicas de muestreo que tienen sus ventajas, desventajas y usos distintos. A continuación se mencionan las muestras más importantes para el tema de agua residual.

#### Muestra simple

La muestra simple es solo una muestra tomada en un instante, es muy fácil de hacerla, ya que solamente se toma con un recipiente el agua de la tubería o de una caída. Además

es rápido de tomarla. Tiene desventajas que solo indica la composición del agua en el instante en que fue tomada, además los errores durante el muestreo no son relativos.

### **Muestra compuesta**

La muestra compuesta es un término genérico que se le otorga a la mezcla de un número de muestras simples, tomadas durante un cierto periodo de tiempo. Se la usa para conocer las condiciones promedio del agua, con el fin de controlar la eficiencia de una PTAR. En general, las muestras compuestas son aptas para indicar el promedio de las variaciones de la contaminación en el agua.

### **Transporte de las muestras**

Se debe transportar las muestras con cuidado, prestando atención que no se caigan o derramen. Para transportarlas se puede usar una conservadora. Las condiciones perfectas para transportar las muestras son: oscuridad y una temperatura entre 1 – 5 °C. Pero las muestras no deben estar congeladas. En circunstancias así las muestras son estables hasta 24 horas.

Es importante que durante todo el transporte las muestras no se calienten y no estén en el sol. La radiación y el calor pueden influir en los resultados.

### **Salud y desinfección higiénicas**

Siempre tener ropa apropiada durante el trabajo. La ropa de trabajo consiste en tener zapatos fijos, guantes de trabajo, pantalones, camisa de manga larga y un sombrero.

El agua residual y el lodo de una PTAR contienen muchas bacterias, virus, parásitos y huevos de parásitos. En un mililitro de agua residual cruda hay 1 millón de bacterias, pero la mayoría no son dañinas para el ser humano. Pero quedan todavía muchas que pueden causar infecciones o enfermedades.

Desinfectar las manos después de los trabajos con el agua residual, lodo o los residuos de la de la planta de tratamientos de aguas residuales.

## Desinsectación higiénica



Fuente: Guía para la toma de muestras de agua residual (PERIAGUA)

## 2.12. Mantenimiento y operación de sistemas de tratamientos de aguas residuales

### 2.12.1. Mantenimiento

Mantenimiento significa todas las actividades desarrolladas con el fin de conservar las instalaciones y equipos en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico.

Como objetivo básica, el mantenimiento procura contribuir por todas los medios disponibles, reducir en lo posible el costo de operación de la planta y cumplir de manera adecuada con su objetivo de construcción. De lo anterior se desprende un objetivo técnico que trata de conservar en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente todo el equipo, tanto maquinaria como estructura, de tratamiento de las aguas residuales se conocen dos tipos de mantenimiento preventivo y correctivo.

#### Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia, evitando que produzcan paros forzados o imprevistos.

Este sistema requerido de un alto grado de conocimiento y una organización muy eficiente. Consiste en elaborar un plan de inspección para los distintos equipos de la planta, a través de una buena planificación, programación, control y ejecución de

actividades para descubrir y corregir deficiencias que puedan ser causa de daños más graves posteriormente.

### **Mantenimiento Correctivo**

Es el conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido un paro forzado o imprevisto, debido al funcionamiento inadecuado. Este es el sistema más generalizado, debido a que requiere de menor conocimiento y organización.

Cuando se hace mantenimiento preventivo dentro de un sistema correctivo, a este se le llama “mantenimiento rutinario”. Cuando se hace mantenimiento correctivo en un sistema preventivo, se llama “corrección de falla”, En la práctica, no es posible tener a los dos sistemas como procesos totalmente diferenciados.

#### **2.12.2. Operación**

Operar es hacer funcionar en forma correcta el sistema de alcantarillado y de tratamiento de aguas residuales a través de un trabajo permanente y responsable en las instalaciones y equipos, para tener un servicio constante, evitar la contaminación del ambiente y, sobre todo, asegurar la satisfacción de los usuarios.

Si el sistema no funciona bien, los usuarios no estarán contentos y rehusarán pagar sus tarifas, si no se pagan las tarifas, no habrá recursos para operar y mantener el sistema. De esta manera se genera un círculo vicioso que terminará con la destrucción del sistema de alcantarillado y la frustración de la comunidad.

Para operar un sistema de alcantarillado y su planta de tratamiento es necesario contar con los planos de construcción, los cuales deben ser entregados por la empresa constructora o el financiador al Gobierno Municipal y a la entidad responsable de la operación del sistema. No tener los planos del sistema es como manejar un camión sin volante o camión a ciegas.

## CAPÍTULO III

### MARCO LEGAL

#### 3.1. Marco legal

Las presentes leyes o reglamentos establecen el régimen general de recursos hídricos y sus servicios, que tiene por objeto establecer las normas que regulan todas las actividades, en el territorio nacional, que hacen uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, sus servicios y el marco institucional la que los rige ; así como las actividades y procesos susceptibles de afectar la calidad y cantidad de los recursos hídricos en cualquiera de sus estados .

En Bolivia no existe una ley específica que regule el tratamiento de aguas residuales sin embargo, las leyes están basadas en la protección del medio ambiente, como se puede apreciar en los siguientes numerales:

#### **Constitución Política del Estado (CPE)**

La Constitución Política del Estado fue promulgada el 7 de febrero de 2009, cuenta con un capítulo sobre recursos hídricos y otro de medio ambiente, entre los que podemos destacar para el presente trabajo:

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

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

La CPE, en el artículo 342, indica que:

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

El Artículo 373 señala lo siguiente:

- I. El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la

base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad.

- II. Los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y están sujetos a un régimen de licencias, registros y autorizaciones conforme a Ley.

El artículo 374 establece que:

- I. El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes. La ley establecerá las condiciones y limitaciones de todos los usos.

### **Ley 1333 de Medio Ambiente**

Promulgada el 27 de abril de 1992, tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población. Mediante Decreto Supremo 24176, del 8 de diciembre de 1995, se aprueba la reglamentación a la Ley 1333, con 6 reglamentos que son:

- » Reglamento General de Gestión Ambiental
- » Reglamento de Prevención y Control Ambiental
- » Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica
- » Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica
- » Reglamento para actividades con Sustancias Peligrosas
- » Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos

De los reglamentos mencionados, dos de ellos tienen que ver directamente con el uso de las ARD tratadas; éstos son:

### **Reglamento de Prevención y Control Ambiental**

Esta disposición legal reglamenta la Ley de Medio Ambiente 1333 en lo referente a Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y Control de Calidad Ambiental (CCA) dentro del marco del desarrollo sustentable. Entre los instrumentos normativos reglamentados en este Reglamento están los siguientes:

- » Ficha Ambiental (FA)
- » Declaratoria de Impacto Ambiental (DIA)
- » Manifiesto Ambiental (MA)
- » Declaratoria de Adecuación Ambiental (DAA)
- » Auditorías Ambientales (AA)
- » Licencias y Permisos

### **Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**

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

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

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

### Límites máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores

#### Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso (4 Clases)

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

**CLASE “A”** Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.

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

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

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

**Tabla 3. Valores máximos admisibles para parámetros en cuerpos receptores**

VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE PARÁMETROS EN CUERPOS RECEPTORES						
Nº	PARAMETROS	UNID	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
1	Ph	.	6,0-8,50	6,0 -9	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
2	Temperatura	°C	+ - 3°C C.Reseptor	+ - 3°C C.Reseptor	+ - 3°C C.Reseptor	+ - 3°C C.Reseptor
3	Solidos Sedimentables	mg/l	< 10	< 30	< 50	< 100
4	Aceites y Grasas	mg/l	Ausentes	Ausentes	0.3	1
5	DBO5	mg/l	< 2	< 5	< 20	< 30
6	DQO	mg/l	< 5	< 10	< 40	< 60

Fuente; Ley 1333 Medio Ambiente.

**Tabla 4. Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l (25 parámetros)**

NORMA PARÁMETROS	PROPUESTA	
	DIARIO	MES
Cobre	1.0	0.5
Zinc	3.0	1.5
Plomo	0.6	0.3
Cadmio	0.3	0.15
Arsénico	1.0	0.5
Cromo + 3	1.0	0.5
Cromo + 6	0.1	0.05
Mercurio	0.002	0.001
Hierro	1.0	0.5
Antimonio(&)	1.0	
Estaño	2.0	1.0
Cianuro libre (a)	0.2	0.10
Cianuro libre (b)	0.5	3.0
PH	6.9	6.9
Temperatura(*)	+5°C	+5°C
Compuestos fenólicos	1.0	0.5
Sólidos Susp. Totales	60	
Colifecales (NMP/100 ml)	1000	
Aceite y Grasas ( c )	10.0	
Aceite y Grasas (d)	20.0	
DB05	80.0	
DQ0( e )	250.0	
DQ0(f)	300.0	
Amonio como N	4.0	2.0
Sulfuros	2.0	1.0

(\*) Rango de viabilidad en relación a la Temperatura Media de cuerpo receptor  
(a), (c), (e) aplicable a descargas de procesos mineros e industriales en general  
(b), (d), y (f) Aplicable a descargas de procesos hidrocarbúricos  
(&) En caso de descargas o derrames de antimonio iguales o mayores a 2500 Kg., se deberá reportar a la autoridad ambiental.

Fuente; Ley 1333 Medio Ambiente

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

### **Ley de la Madre Tierra N° 300**

La ley No. 300 promulgada el 15 de octubre de 2013 tiene por objetivo establecer la visión y fundamentos del desarrollo integral del ser humano en armonía y equilibrio con la Madre Tierra, la misma contiene un artículo específico sobre el aprovechamiento del agua donde se establece, a través del desarrollo integral en agua, y específicamente en el

artículo 27, las bases y orientaciones del “VIVIR BIEN” mediante las siguientes acciones:

- » Garantizar el derecho al agua para la vida, priorizando su uso, acceso y aprovechamiento como recurso estratégico en cantidad y calidad suficiente para satisfacer de forma integral e indistinta la conservación de los sistemas de vida, la satisfacción de las necesidades domésticas de las personas y los procesos productivos para garantizar la soberanía y seguridad alimentaria.
- » Regular, monitorear y fiscalizar los parámetros y niveles de la calidad de agua.

### **Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico**

El Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia y en particular el Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico 2011 – 2015, especifican como objetivo el mejorar y ampliar los servicios de agua potable y de saneamiento básico, cubriendo las necesidades de toda persona, para hacer efectivo el derecho humano al agua segura y a los servicios de saneamiento, dando cumplimiento al compromiso de la Constitución Política del Estado y del Gobierno del Estado Plurinacional dentro del marco del “VIVIR BIEN”.

En el ámbito de los recursos naturales, el agua en particular está considerada como el recurso más importante para la sostenibilidad de los ecosistemas, que a su vez brindan servicios de apoyo a la vida de personas, animales y plantas, además de contribuir al crecimiento y desarrollo del país a través del mejoramiento en salud y educación. Por otra parte, el agua contaminada es la mayor causa de enfermedades y mortalidad; la calidad y cantidad del agua es un factor determinante en el nivel de pobreza, educación y producción, tanto en el área rural y urbana.

### **Ley de Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario N° 2066**

Promulgada el 11 de abril de 2000, tiene por objeto establecer las normas que regulan la prestación y utilización de los servicios que comprenden: agua potable, alcantarillado sanitario, estableciendo que las obras destinadas a la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario son de interés público y tienen carácter de utilidad pública y se hallan bajo la protección del Estado.

En su artículo 23 establece que los prestadores de Servicios de Agua Potable o Servicios de alcantarillado sanitario deben proteger el medio ambiente conforme a las disposiciones de la ley 1333 y su reglamentación, así como promover el uso eficiente y la conservación del agua potable mediante la utilización de equipos, materiales y técnicas constructivas que no deterioren el ambiente y que contribuyan a la conservación del agua, así como el tratamiento y disposición de las Aguas Residuales.

### **3.2. Marco Institucional**

#### **Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)**

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (creado el año 2009 D.S 29894) con sus tres viceministerios: Agua Potable y Saneamiento Básico, Recursos Hídricos y Riego, y Medio Ambiente Biodiversidad Cambio Climático y Gestión Forestal, es la instancia gubernamental encargada de la política, normas y desarrollo del sector agua en Bolivia.

De acuerdo al Plan Estratégico Institucional, la visión del MMAyA es promover, proteger y administrar de manera sustentable los recursos y servicios ambientales, generando condiciones para el desarrollo económico y social del país.

Para cumplir con esta visión, la misión del MMAyA es desarrollar y ejecutar políticas públicas, normas, planes, programas y proyectos para la conservación, adaptación y aprovechamiento sustentable de los recursos ambientales, así como el desarrollo de riego y saneamiento básico con enfoque integral de cuencas, preservando el medio ambiente, garantizando el uso prioritario del agua para la vida, respetando usos y costumbres para “VIVIR BIEN”.

#### **Viceministerio de Recursos Hídricos y de Riego (VRHR)**

Su principal función es la de contribuir al desarrollo y ejecución de planes, políticas y normas de Manejo Integral de Cuencas y de Riego, además del diseño de estrategias para la conservación, uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en todos sus

estados, superficiales y subterráneos con los diferentes actores involucrados en la gestión ambiental de las cuencas hidrográficas, respetando los usos y costumbres.

### **Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB)**

Su principal función es la de formular e implementar políticas, planes y normas para el desarrollo y mejoramiento de los servicios de Agua Potable y Saneamiento Básico, así como la implementación de programas sostenibles de saneamiento básico (agua potable, alcantarillado sanitario, baños ecológicos, residuos sólidos y drenaje pluvial) que permitan el acceso pleno y la expansión de los servicios, en el marco de la gestión integral de recursos hídricos y de residuos sólidos.

### **Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS)**

La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico, es una institución pública técnica y operativa, con personalidad jurídica y patrimonio, independencia administrativa, financiera, legal y técnica, supeditada al Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

Fiscaliza, controla, supervisa y regula los servicios de Agua Potable y Saneamiento Básico, considerando la Ley No. 2066 de Prestación y Utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.

### **Servicio Nacional para la Sostenibilidad de los Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA)**

Institución pública descentralizada, con autonomía de gestión administrativa, financiera, legal y técnica, bajo tuición del Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Esta institución tiene la misión de coadyuvar a los procesos de fortalecimiento y sostenibilidad de las entidades operadoras y prestadoras de servicio de agua potable y saneamiento básico en Bolivia.

En ese sentido, el SENASBA se ocupa de ofrecer Asistencia Técnica a los operadores de agua potable y saneamiento básico; implementar el Desarrollo Comunitario DESCOM;

brindar Fortalecimiento Institucional; difundir experiencias positivas en agua potable y saneamiento básico; ejecutar políticas y estrategias en el sector de agua y saneamiento orientadas a la sostenibilidad.

### **Servicio Nacional de Riego (SENARI)**

Es una entidad pública autárquica bajo la tuición del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, con la responsabilidad de regular, planificar y promover la inversión y gestión pública para el desarrollo del riego y la producción agropecuaria y/o forestal bajo riego.

### **Actores sub nacionales para el tratamiento de agua residuales**

Bolivia se encuentra en proceso de implementación de las autonomías regionales, departamentales municipales y Autonomías Indígenas Originarias Campesinas (AIOC). Este proceso de autonomías se enmarca en dos tipos de competencias que tienen que ver con los recursos hídricos y riego, además del agua potable y servicios básicos; las competencias exclusivas y las concurrentes. Son las responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Departamentales (GAD) y la de los Gobiernos Autónomos Municipales (GAM).

### **Gobiernos Autónomos Departamentales (GAD)**

- ✓ Ejecutar programas y proyectos de los servicios de agua potable y alcantarillado, conforme a la Constitución Política del Estado en el marco del régimen hídrico y de sus servicios y las políticas establecidas por el nivel central del Estado.
- ✓ Proveer los servicios de agua potable y alcantarillado a través de entidades públicas, cooperativas, comunitarias o mixtas sin fines de lucro, conforme a la Constitución Política del Estado y en el marco de las políticas establecidas en el nivel central del Estado.
- ✓ Aprobar las tasas de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado cuando estos presten el servicio de forma directa.
- ✓ Tienen la competencia exclusiva del alcantarillado y establecimiento de las tasas sobre la misma.

## **Gobiernos Autónomos Municipales (GAM)**

El municipio de Uriondo se rige a su carta orgánica

### **CARTA ORGÁNICA DEL GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE URIONDO**

Atraves de la Carta Orgánica del Municipio Autónomo de Uriondo declara su plena sujeción a la Constitución Política del Estado y a la legislación autonómica que rige en el Estado Plurinacional de Bolivia.

#### **Artículo 48. (Empresas municipales)**

- I. El Gobierno Municipal está facultado para crear, constituir, disolver o participar en empresas, para la ejecución de obras, prestación de servicios o explotaciones municipales con recursos públicos o correspondan al Sistema de Regulación Sectorial.
- II. Las Empresas Municipales podrán ser públicas o sociedades anónimas mixtas con personalidad jurídica y patrimonio propio, constituidas y sujetas al régimen del Código de Comercio bajo el control y fiscalización del Gobierno Municipal, debiendo adecuarse a los planes programas y proyectos municipales.

#### **Artículo 57. (Servicios de agua potable y alcantarillado)**

- ✓ I. A través de la gestión integral de los recursos hídricos, el Gobierno Autónomo Municipal implementará el uso sostenible del agua y el acceso irrestricto a los servicios de agua potable y saneamiento básico, desarrollando el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales tratadas urbanas y rurales, debiendo tomar muy en cuenta la contaminación que provocan los municipios vecinos.
- ✓ II. Ejecutar programas y proyectos de los servicios de agua potable y alcantarillado, en el marco de la Constitución Política del Estado, referidos al régimen hídrico y sus servicios Y las políticas establecidas por el nivel central del Estado.
- ✓ III. Elaborar, financiar y ejecutar programas y proyectos de agua potable en el marco de sus competencias y, cuando corresponda, de manera concurrente y coordinada con los otros niveles autonómicos y el nivel central de Estado, así

como coadyuvar en la asistencia técnica y planificación. Concluidos los proyectos, podrán ser transferidos al operador del servicio.

- ✓ IV. Promover los servicios de agua potable y alcantarillado a través de entidades públicas, cooperativas, comunitarias o mixtas sin fines de lucro conforme a la Constitución Política del Estado y en el marco de las políticas establecidas por el nivel central del Estado.
- ✓ V. Aprobar las tasas de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado cuando estos presten el servicio de forma directa.
- ✓ VI. Establecer las tasas de alcantarillado.
- ✓ VIII. Se promoverá e incentivará la participación ciudadana en el control de la prestación del servicio y el uso del agua por la población del Municipio.

#### **Artículo 64. (Recursos hídricos y riego)**

II. Diseñar, ejecutar y administrar proyectos para el aprovechamiento de recursos hídricos.

III. Proteger y conservar recursos hídricos y administrarlos según nuestros usos y costumbres.

#### **Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (EPSA)**

La EPSA es la Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario legalmente regularizada por la AAPS, que cuenta con personería jurídica y debe garantizar la calidad, cantidad y continuidad de los servicios que reciben los usuarios. La CPE y la Ley No. 2066 establecen las siguientes formas de constitución:

Entidades que prestan uno o ambos servicios de agua potable y saneamiento básico. Pueden tener diferentes formas de constitución: Pública Municipal, Cooperativa, Mancomunitaria Social, Comité de Agua y Saneamiento (CAPyS), Asociación Civil, Pueblos Indígenas y Originarios, Comunidades Indígenas y Campesinas, Juntas Vecinales y cualquier otra organización que cuente con una estructura jurídica reconocida por ley.

En uriondo la Empresa Prestadora de Servicio de Agua Potable (EPSA) es la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Uriondo (EMAPAU).

**Figura 14. Marco Institucional**



Fuente: VRHR.

### 3.3. Marco Normativo

La Norma Boliviana NB 688 "Instalaciones Sanitarias - Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales (Segunda revisión)"

El uso de la Norma, tiene como objetivo fundamental regular y ordenar el diseño y consecuentemente la construcción de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario y plantas de tratamientos de aguas residuales, mejorando las condiciones de vida y salud de Bolivia.

Por tanto la Norma establece las condiciones a cumplir en el estudio y concepción de los sistemas de saneamiento básico, con el objeto de guiar a los proyectistas en todo lo referente al diseño, planificación y ejecución de los componentes de los sistemas.

Además el uso de la Norma conlleva a una optimización de los parámetros y demás elementos de diseño, de tal manera que constituye una minimización de costos de construcción, calidad de materiales, etc.

Esta Norma tiene como objetivo fundamental, regir el diseño y consecuentemente la construcción de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales, para mejorar las condiciones de vida del ciudadano boliviano.

La presente Norma se constituye en un instrumento que debe ser conocido y aplicado de forma obligatoria por los responsables de las diferentes etapas de implementación de proyectos de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales.

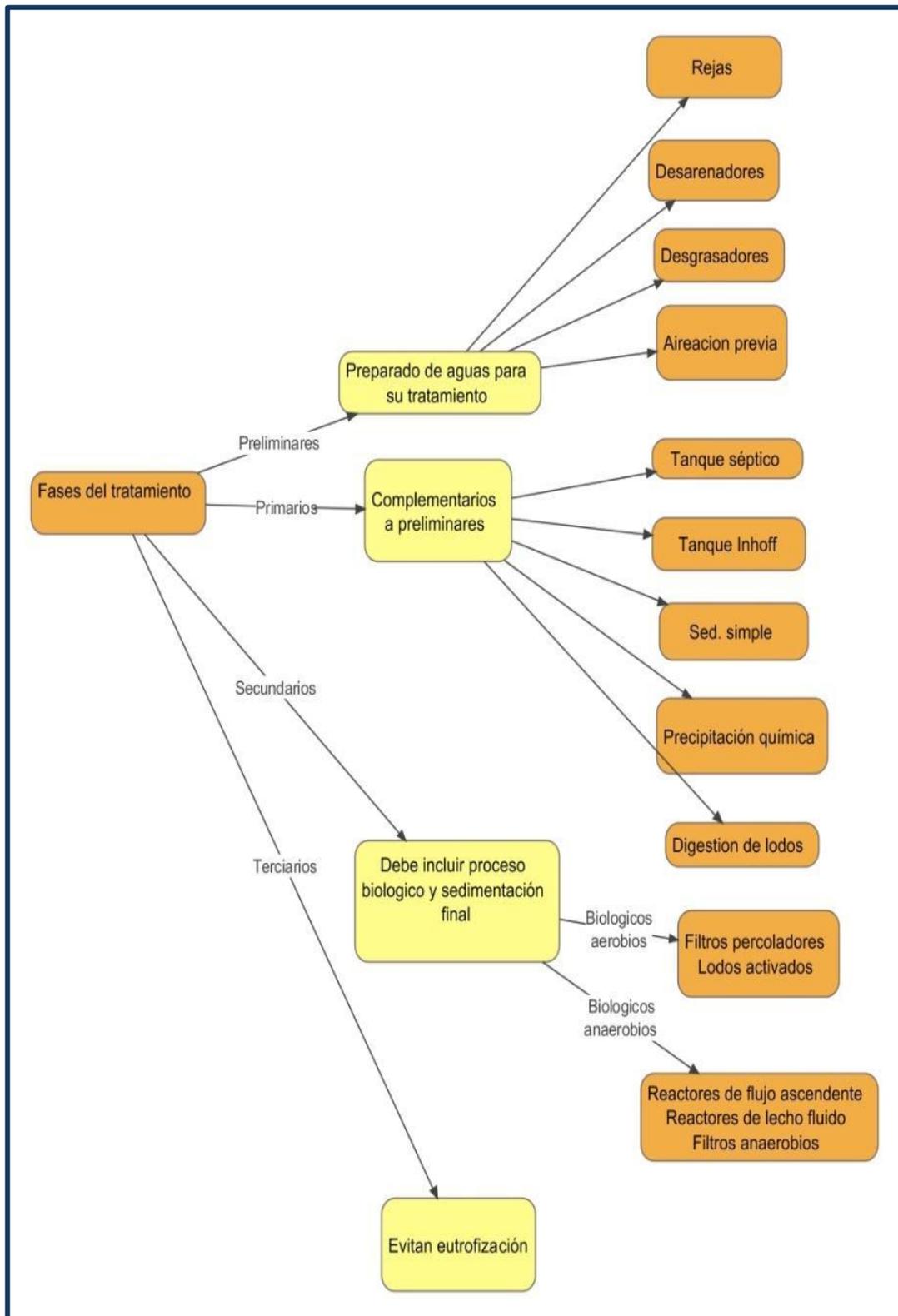
Esta norma establece disposiciones para las etapas de concepción, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y control de todas las obras, de tal manera que se garantice su efectividad, seguridad, estabilidad, durabilidad, adecuabilidad, calidad y sostenibilidad a lo largo de su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

### **Manual de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Poblaciones Rurales (Viceministerio de saneamientos básicos)**

El manual de operación y mantenimiento de sistemas de tratamientos de aguas residuales en poblaciones rurales, presenta los procedimientos esenciales para operar y mantener las diferentes unidades de tratamientos de agua residual y sus obras complementarias, está destinado a los responsables y operadores de los servicios; como documento técnico y como guía para la capacitación en operación y mantenimiento de plantas de tratamiento.

Se espera que constituya un instrumento útil en el desafío de mantener servicios de alcantarillado en buen funcionamiento, que lleguen a satisfacer las expectativas y exigencias de los usuarios

**Figura 15. Según recomendación de la norma la Norma:**



Fuente: Norma Boliviana NB-688

## CAPÍTULO IV

### DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL VALLE DE LA CONCEPCIÓN

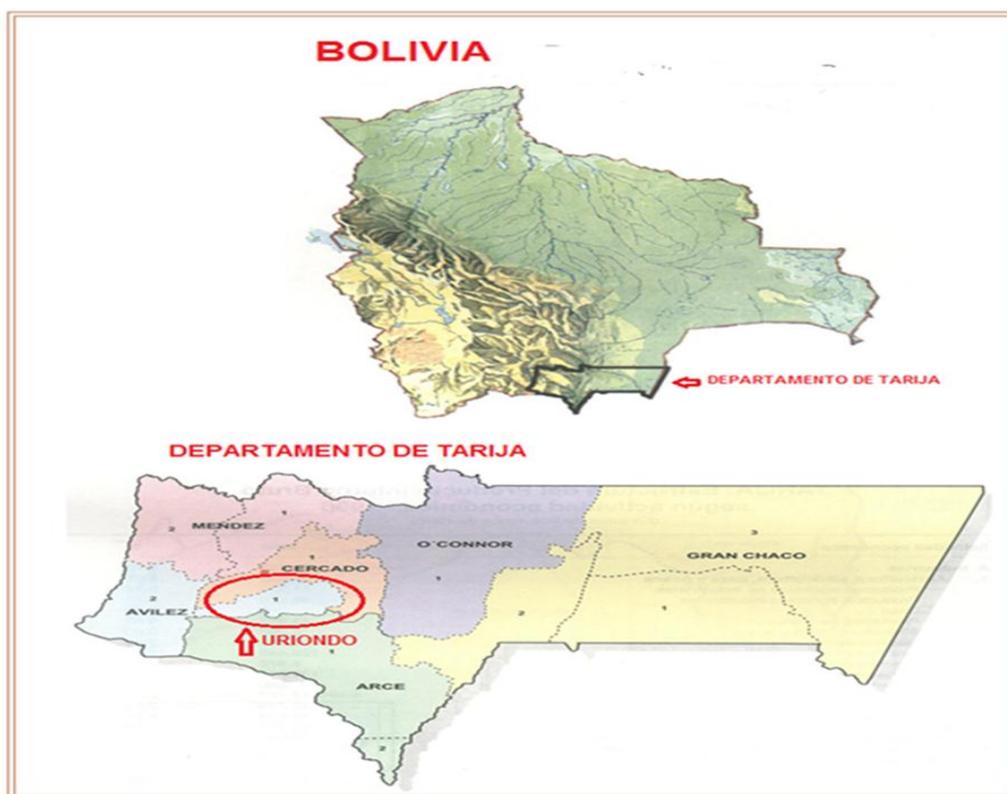
#### 4.1. Ubicación Geográfica del Municipio de Uriondo

EL Valle de Concepción primera sección de la provincia Avilés del departamento de Tarija de la República de Bolivia, limita al norte y al este con la provincia Cercado, al sur con la provincia Arce y al Oeste con el municipio de Yunchará.

Su territorio está constituido por 53 comunidades agrupadas en 9 distritos: Miscas, Juntas, Chochoca, La Compañía, Uriondo, Colon, Calamuchita, La Choza y Laderas.

Su ubicación es:                     $21^{\circ}41'44''$  Latitud Sud  
      $64^{\circ}39'10''$  Longitud Oeste  
     1,800 m.s.n.m. Altitud

**Figura 16. Ubicación del municipio de Uriondo**



**Fuente: Gobierno municipal de uriondo, 2018.**

Se presenta la gráfica de la ubicación del Municipio, respecto del contexto nacional.

**Figura 17. Ubicación geográfica del municipio de Uriondo**



**Fuente: Gobierno municipal de uriondo, 2018.**

#### **4.2. Hidrografía del valle de la Concepción**

“El principal recurso hídrico de la población del valle de la Concepción es el río Alisos, río Camacho y Guadalquivir que abastece en su totalidad el área urbana y rural.

La actividad de consumo intenso del agua es en abastecimiento de sistemas de riego y agua potable.

En cuanto a la disposición de las aguas residuales, que es en lo cual se centra este estudio, las aguas son vertidas al río Camacho.

#### **Clasificación del cuerpo de agua**

La clasificación del río Camacho como cuerpo receptor de las aguas residuales del valle de la Concepción según datos del proyecto inicial es clasificado como de CLASE “B”

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

### 4.3. Descripción Física del Área del Proyecto

#### a) Clima

El Municipio cuenta con cuatro estaciones, una climática (CENAVIT), dos pluviométricas (la ventolera y laderas norte) y una con dos parámetros de temperatura y precipitaciones (Juntas).

**Tabla 5. Resumen climatológico**

Estación: CENTRO VITIVINICOLA		Latitud S.: 21° 42'												
Provincia: AVILEZ		Longitud W.: 64° 37'												
Departamento: TARIJA		Altura: 1.715 m.s.n.m.												
Indice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
Temp. Max. Media	°C	27,8	27,6	27,2	26,8	25,5	24,8	23,7	25,8	26,2	27,0	26,9	28,1	26,4
Temp. Min. Media	°C	15,1	14,6	13,9	11,0	6,3	2,3	1,3	4,6	7,6	11,7	13,2	14,7	9,7
Temp. Media	°C	21,5	21,1	20,5	18,9	15,9	13,6	12,5	15,2	16,9	19,3	20,1	21,4	18,1
Temp.Max.Extr.	°C	36,0	35,5	34,5	37,5	35,5	37,0	39,0	36,5	40,0	40,0	38,0	39,0	40,0
Temp.Min.Extr.	°C	9,0	5,0	6,5	-2,0	-4,0	-9,0	-8,5	-5,5	-3,0	2,0	4,0	4,0	-9,0
Dias con Helada		0	0	0	0	3	9	13	4	1	0	0	0	31
Insolación Media	Hr.	7,0	7,1	6,8	7,0	7,5	8,0	7,8	8,2	9,1	7,0	7,1	7,4	7,5
Humed. Relativa	%	63	62	63	60	55	47	45	42	47	49	54	57	54
Nubosidad Media	octas	4	4	4	3	2	1	2	2	2	3	4	4	3
Evapor. Media	mm/dia	5,89	6,03	5,26	5,09	4,30	4,06	4,24	5,32	6,55	6,82	6,62	6,48	5,55
Precipitación	mm	99,0	76,1	69,8	9,6	1,1	0,3	0,0	1,0	8,6	37,0	44,9	86,7	434,2
Pp. Max. 24 hrs.	mm	71,2	56,5	37,5	43,0	5,0	3,3	0,0	4,5	23,0	92,0	50,2	60,1	92,0
Dias con Lluvia		9	8	7	1	0	0	0	0	2	4	6	8	44
Direc. Del Viento		S	S	S	SE	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Vel. Del Viento	km/hra	9,1	9,0	9,5	10,4	10,5	9,5	9,7	10,3	11,3	9,9	10,2	8,8	9,8

Fuente: Elaboración propia en base a datos de CENAVIT (Centro Nacional Vitivinícola)

La temperatura media anual es de 18,1°C, con una máxima de 26,4°C y mínima de -9,0°C, temperatura extrema 40°C. Los días con helada se registran entre los meses de mayo a septiembre. La humedad relativa promedio es de 47%. La dirección del viento predominante es el Sud con una velocidad promedio de 9,8 Km/hr. La precipitación media es de 434,2 mm/año.

Las heladas generalmente se presentan en los meses de junio – agosto, ocurriendo las tempranas en los meses de abril – mayo y las tardías en septiembre – octubre.

#### **4.4. Estudios básicos**

##### **4.4.1. Estudios socioeconómicos**

###### **a) Características Socio Culturales de la Población**

Entre las costumbres que prevalecen en el área de influencia del proyecto y se manifiestan en las diferentes fiestas regionales, religiosas y costumbres propias de la provincia Avilés.

También cabe resaltar las fiestas más grandes que aglutinan mayor cantidad de población son: la Vendimia Chapaca, fiestas patrias y las fiestas de fin de año.

###### **b) Actividad Económica de la Zona**

La principal actividad económica del Municipio de Uriondo es el agropecuario, con cultivos de vid, maíz, durazno, tomate, papa, cebolla, arveja, hortalizas, en menor grado la ganadería y la producción lechera.

La producción agrícola está basada principalmente en la viticultura la misma que es comercializada a nivel local, nacional e internacional.

Los pobladores del valle de Concepción se caracterizan por la actividad viticultura y en industria vitivinícola con la principal producción de vinos y singanis.

El rubro vitivinícola ha contribuido en el pueblo de Concepción al desarrollo y consolidación de la “Ruta del vino” un atractivo turístico que aporta a la economía de la población y que repercute en la generación de empleo especialmente en la gastronomía y turismo.

- **Matadero municipal de Uriondo.**

El matadero municipal se encuentra ubicado en la población, se fainea aproximadamente unas 15 cabezas por semana de ganado vacuno.

Los servicios básicos como evacuación de las aguas servidas y tratamiento de las mismas son manejadas por el propio matadero municipal, que tienen su propia fosas de

tratamiento y es controlado y fiscalizado por (SENASAG) Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria.

### c) Ocupación de la población de la zona

Por otro lado las actividades de ocupación de la población son diversas, algunas con mayor intensidad otras con menor grado, dependiendo en su mayor parte de las características culturales de la zona. El 25.4% de la población de estas comunidades está en edad escolar, 25.4 agricultores, 32.3% labores de casa o domésticas, y el restante de la población tiene actividades tales como ser carpintería y mecánica, empleado (a), obrero y otras actividades con menor significancia. El siguiente cuadro, muestra la ocupación y actividades en la zona del proyecto.

**Tabla 6. Ocupación y actividad en la zona del proyecto**

<b>OCUPACIÓN</b>	<b>Porcentaje</b>
Agricultor	25,4
Empleado / albañil / Chofer / Comerciante	6,9
Estudiante	25,4
Labores de Casa	32,3
Profesional	9,2
Otros (Jubilado)	0,8
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Fuente: Gobierno municipal de uriondo, 2012.

- **En el municipio se cuenta con las siguientes asociaciones económicas:**
  - Centro Vitivinícola Tarija (CEVITA)
  - Caja los Andes
  - Cooperativa el Churqui
  - Banco Fíes
  - Banco Eco futuro
  - Idepro Desarrollo Empresarial
  - Banco PRODEM

- **Entre las Instituciones Públicas y Sociales tenemos las siguientes:**

- Gobierno Municipal de Uriondo.
- Sub Gobernación de Uriondo.
- Policía Boliviana de la provincia Avilés.
- Hospital de primer nivel “Fanor Romero”
- ENTAGAS Uriondo.
- SETAR Uriondo.
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Uriondo (EMAPAU).

- **Lugares turísticos tenemos:**

- Casa Vieja
- Bodega del Abuelo
- Hostería “Valle D`Vino”

#### **4.4.2. Aspectos Demográficos**

##### **a) Población actual**

De acuerdo a la información obtenida población del valle de la concepción tiene una población estable de acuerdo al CENSO 2012 y una población inestable o flotante según sus actividades socioeconómicas diarias y una población adicional de un internado para educación “Nuestra Señora del Rosario”

La población del municipio de Uriondo cuenta con los datos del CENSO general INE 2012, considerando que el presente trabajo se realiza en la zona de la población del Valle de la Concepción, los datos más recientes por viviendas y personas se encuentran en la tabla.

**DATOS DEL CENSO INE 2012**  
**POBLACIÓN DEL VALLE DE CONCEPCIÓN**

**Tabla 7. Población estable de la zona urbana del Valle de Concepción**

DESCRIPCIÓN	CENSO INE 2012
Población total	1722
Hombres	786
Mujeres	936
No. De Familias	492
Tamaño promedio familia	3,5
No. De viviendas	585
Tasa anual de crecimiento inter censal 2001-2012 (%)	1.62 %

Fuente: Censo INE 2012

Para obtener una aproximación de datos actuales de la población urbana, se proyecta para cualquier año a partir de los datos de registro del censo INE 2012.

**b) Estabilidad poblacional y población flotante**

La población migratoria que se encuentra en la zona del proyecto para desarrollo de diferentes actividades se toma el 10 % de la población total.

Por otro lado población del valle de la concepción se desarrollan cotidianamente números actividades, donde concurren una cantidad considerable de personas por motivos de trabajo, educación, económica, salud, y otros.

Las personas que desarrollan estas actividades son provenientes aproximadamente el 60% del are rural o de la ciudad de Tarija y el 40% son de la población del valle de la concepción.

La cantidad población estable que desarrolla estas actividades diarias, los datos se elaboraron a través de encuestas a las mismas y es como se muestra en el cuadro.

**Tabla 8. Población flotante diaria**

DESCRIPCIÓN	TOTAL	DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN	
		40% POBLACIÓN INTERNA	60% POBLACIÓN EXTERNA
Gobierno Municipal de Uriondo.	55	22	33
Sub Gobernación de Uriondo.	50	20	30
Policía Boliviana de la prov. Avilés.	8	3	5
Hospital de primer nivel "Fanor Romero"	20	8	12
ENTAGAS Uriondo.	4	2	2
SETAR Uriondo.	4	2	2
EMAPAU	4	2	2
Centro Vitivinícola Tarija (CEVITA)	30	12	18
Caja los Andes	8	3	5
Profesores de educación	60	24	36
Cooperativa el Churqui	12	5	7
Banco Fíes	12	5	7
Banco Eco futuro	10	4	6
Idepro Desarrollo Empresarial	7	3	4
Banco PRODEM	10	4	6
Casa Vieja	12	5	7
Bodega del Abuelo	5	2	3
Hostería "Vall D'Vino"	6	2	4
<b>TOTAL</b>	<b>327</b>	<b>131</b>	<b>196</b>

Fuente: Elaboración propia

- **Población del internado “Nuestra Señora del Rosario”**

En la población se cuenta con internado Nuestra Señora del Rosario que alberga estudiantes de zonas alejadas o de otras ciudades.

**Tabla 9. Personas en el internado**

Descripción	Cantidad de personas
Admirativo mas internas	90

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4.3. Aspectos Socioeconómicos**

##### **a) Educación**

La educación formal y no formal está a la cabeza de la Dirección Distrital de Educación Uriondo cuyas funciones son promover y garantizar el buen desarrollo de las actividades administrativas y técnico pedagógicas en todo el ámbito de su jurisdicción, de acuerdo a las políticas y objetivos nacionales y sectoriales. Otra función específica de la dirección Distrital, es cumplir y hacer cumplir la Ley de La Reforma Educativa y sus derechos reglamentarios, a través de un continuo seguimiento al proceso administrativo y técnico pedagógico.

La Dirección Distrital de Educación de Uriondo en educación regular brinda asistencia a Educación Inicial, Primaria y Secundaria al colegio Delfín Pino Ichazo y Unidad Educativa Nuestra Señora del Rosario en el área urbana.

Existe una unidad Educativa que funciona con la modalidad de convenio que es la Unidad Educativa Nuestra Señora del Rosario en Educación Inicial. A la vez, como colegio Santa Cecilia a nivel primario y secundario.

**Tabla 10. Población estudiantil**

Unidad Educativa	Número de estudiantes a nivel			Total
	Inicial	Primario	Secundario	
Delfín Pino Ichazo	338		470	808
Nuestra Señora del Rosario + colegio Santa Cecilia	145	250		395
Total de estudiantes				1203

Fuente: Elaboración propia

### b) Salud

En el Valle de la Concepción (Uriondo) se encuentra el Hospital “Fanor Romero”, entidad de salud de segundo nivel; tiene como funciones, la atención de partos y la prestación de servicios de internación hospitalaria básica. Esta entidad de salud forma parte del Sistema boliviano de salud que a su vez depende del Ministerio de Salud y Deportes.

En cuanto a los recursos humanos el centro hospitalario se tiene un aproximado de 20 personas activas que conforman el siguiente personal: Médico general, Licenciadas en Enfermería, Auxiliar de Enfermería, Secretaria, Choferes, Portero, etc...

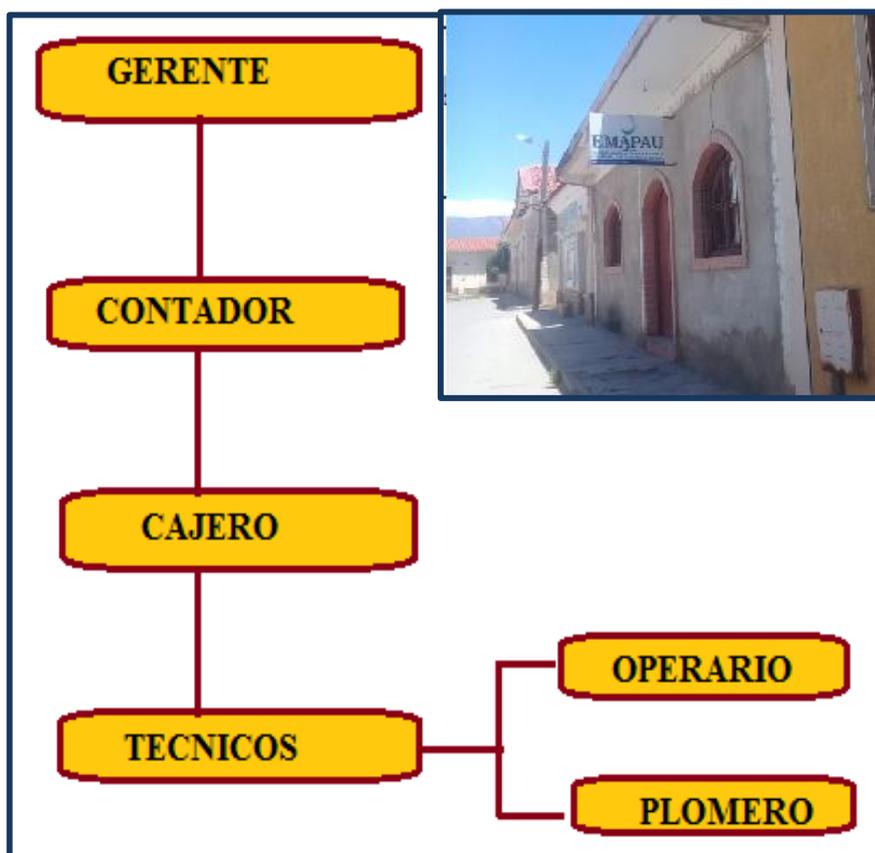
#### 4.4.4. Agua Potable

El servicio de agua potable del pueblo de concepción es proveniente del rio de Alisos, que cuenta con su obra de toma de captación en la comunidad de juntas, este sistema de agua potable beneficia a 7 zonas o comunidades del municipio de Uriondo que son: comunidad Nueva esperanza, Almendros, comunidad de saladillo, compañía, valle de la concepción y Pampa la villa chica haciendo un total de 890 usuarios conectados a este sistema y el uso que se le da al agua es tradicional destinado principalmente al consumo humano, preparación de alimentos, higiene personal, etc.

Este sistema de agua potable actualmente se encuentra administrado por una Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Uriondo (EMAPAU), es una empresa municipal descentralizada, con autonomía de gestión técnica, operativa,

financiera y económica, patrimonio independiente y personal jurídica de derecho público.

### Organigrama de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Uriondo (EMAPAU)



Fuente: Elaboración propia

La población de Valle de la concepción actualmente cuenta con 550 usuarios que están conectados al sistema de agua potable, con una tarifa básica mensual de 15 bs. La dotación de agua potable es aproximadamente de 90 l/hab.día. Con un número promedio de 4 habitantes por cada conexión, un gasto máxima mensual de  $10m^3$  por usuario.

Se pudo constatar que en las conexiones, no se cuentan con la cobertura total de medidores en las acometidas, lo que dificulta un control adecuado del gasto de consumo de agua potable por los usuarios.

Un caso particular es el control de dotación de agua potable, al Centro Vitivinícola Tarija (CEVITA), a través de una micro medición, que varía entre 600 a 1200m<sup>3</sup> de agua por mes, este consumo es variable por las diferentes actividades que se desarrollan según épocas del año, con una tarifa de (1 Bs/m<sup>3</sup>) un bolivianos por un metro cubico de consumo.

#### **4.4.5. Alcantarillado Sanitario**

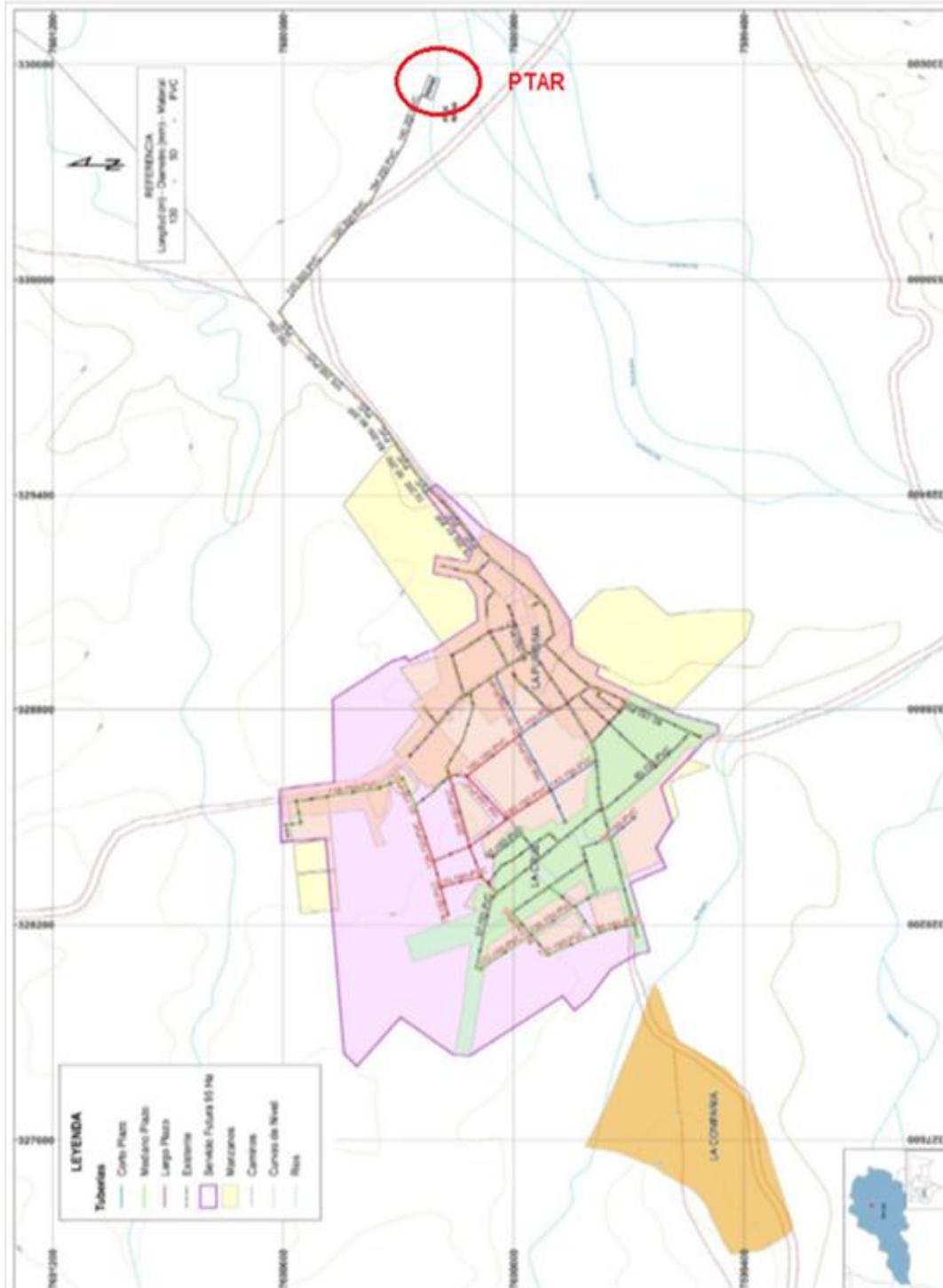
El sistema de alcantarillado sanitario de la población del Valle de la Concepción, se encuentra administración por separado con el sistema de agua potable.

La actual administración, operación y mantenimiento del sistema está a cargo del Gobierno Autónomo Municipal de Uriondo a través de la oficialía mayor técnica de este municipio que tiene la unidad de servicios básicos y específicamente a un encargado del sistema que realiza el mantenimiento preventivo del sistema, de manera limitada.

La población del Valle de la Concepción cuenta con un número aproximado de 445 usuarios conectados a la red de alcantarillado sanitario, donde los usuarios que tiene acceso a este servicio no cancelan ninguna tarifa por el servicio prestado.

Estas conexiones están conectadas principalmente a los siguientes inmuebles: viviendas familiares, industrias vinícolas, restaurantes, hospital, unidades educativas, instituciones públicas y privadas.

**Figura 18. Vista en planta de la red de alcantarillado sanitario**



**Fuente:** Plan de saneamiento Gobierno municipal de uriondo, 2009.

### Calidad de las Aguas

Se efectuó análisis de aguas residuales de la PTAR y en el cuerpo receptor río Camacho, para determinar los parámetros físicos, químicos, los mismos se adjuntan en el Anexo 1.

**Tabla 11. Cobertura de sistema de agua potable y alcantarillado sanitario**

COBERTURA DE:	NÚMERO DE CONEXIONES
Agua potable	550
Alcantarillado	445

Fuente: Elaboración propia

La población cuenta con una cobertura del sistema de alcantarillado sanitario del 80.91%

#### 4.5. Descripción de la planta de tratamiento de aguas Residuales del valle de la concepción

##### Generalidades:

La Planta de Tratamiento denominada Valle de la Concepción, fue construida en el año 2006 y puesta en funcionamiento a principios del año 2007, la encargada de la operación y mantenimiento es el Gobierno Municipal de Uriondo.

En esta institución encargada de la planta de tratamiento de aguas residuales no se obtuvo datos de diseño de la planta de tratamiento, como memoria de cálculo, planos, calidad del agua, caudal, operación y manteniendo por razones que la empresa constructora de la misma en esos tiempos, no dejó ningún archivo por desacuerdos institucionales.

Se recurrió en busca de información en la empresa Constructora “PROCON” donde se consiguió, los siguientes parámetros de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

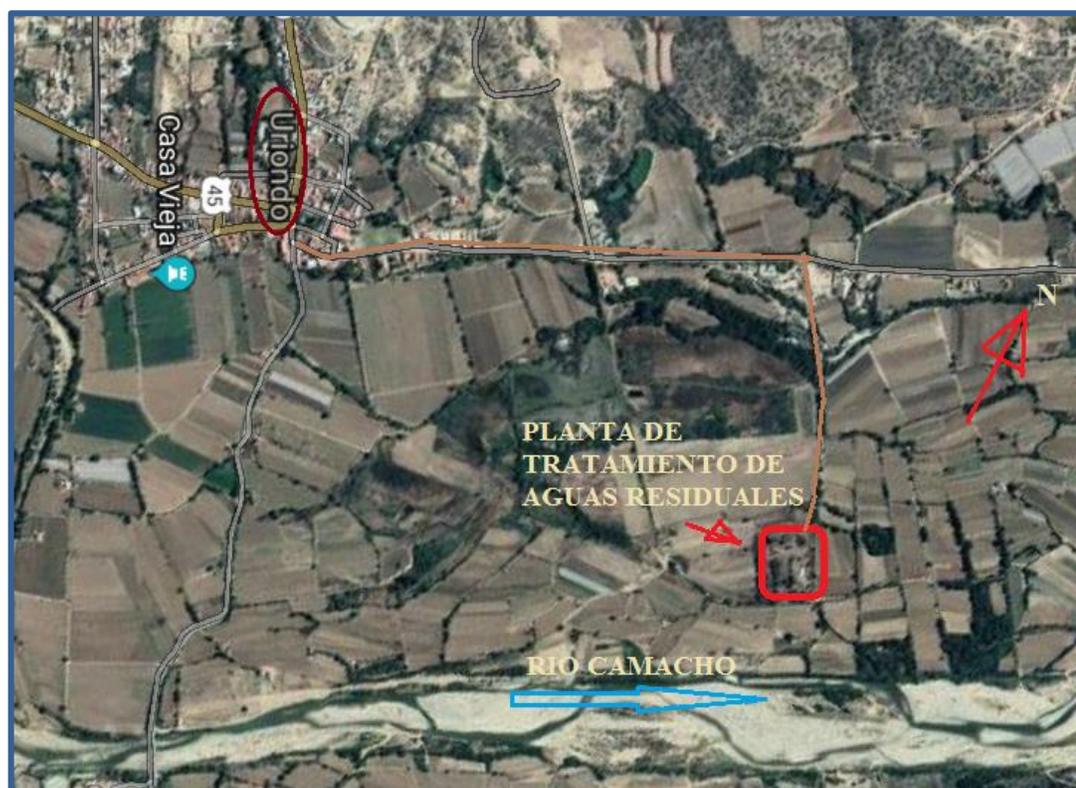




#### 4.6. Ubicación de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del valle de la concepción del municipio de Uriondo

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada en la comunidad de pampa la villa chica en el distrito 7 del municipio de Uriondo del departamento de Tarija.

**Figura 19. Localización satelital del proyecto**



Fuente: Elaboración propia, Google Earth, 2018

#### 4.7. Acceso a la Zona del Proyecto

El proyecto se localiza a una distancia de 27 Km distante de la ciudad de Tarija y se recorre en un tiempo aproximado a 40 minutos en vehículo.

La accesibilidad es mediante una carretera asfaltada hasta la población del valle de la Concepción distante a 25 km de la ciudad de Tarija y un segundo tramo es de camino de ripiado de 2 km aproximadamente desde la población del valle de concepción hasta el lugar donde se encuentra la planta de tratamientos de aguas residuales comunidad de pampa la villa.

#### **4.8. Descripción del tratamiento**

Esta planta de tratamiento opera por gravedad, cuenta con cerca perimetral de alambre púas, no cuenta con un manual de operación y mantenimiento de ésta, no se observaron depósitos para basura, caseta, los elementos no están identificados con rótulo, aunque se percibían malos olores en el ambiente, éstos no eran fuertes, en el momento de la visita se realizaba el chequeo de las instalaciones.

La planta de tratamiento de agua residual del Valle de la Concepción consiste en desarenador y rejilla como tratamiento preliminar, seguido de un Reactor anaerobio flujo a pistón como tratamiento primario, seguido de un filtro anaeróbico de flujo ascendente como tratamiento secundario y completando el proceso como tratamiento terciario se diseña un humedal artificial de flujo superficial de totora. Podemos describir de la siguiente manera:

El tratamiento preliminar de las aguas residuales se inicia a la entrada a la planta, y se realiza mediante una reja metálica inclinada donde quedan retenidos los sólidos gruesos que son retirados por el operador y descargados inadecuadamente hacia las gradas laterales de acceso. Seguidamente está una cámara desarenadora, donde el material granular sedimenta y es retirado periódicamente.

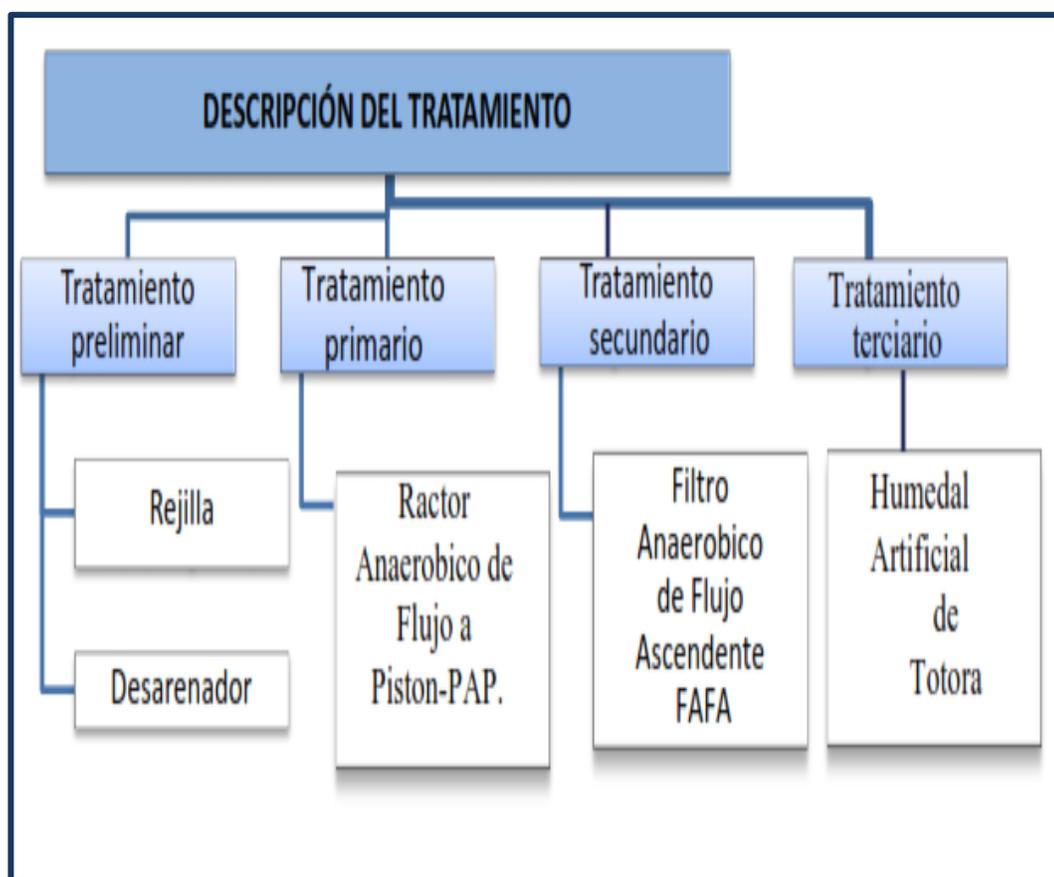
Como tratamiento primario consta de un reactor cerrado tipo RAP (Reactor Anaeróbico Pistón), consistente en una estructura de hormigón armado construida con una profundidad de 2,75 m, en cuyo interior se tiene una serie de 8 compartimientos materializados por baffles de hormigón en los cuales se tiene instalado un conjunto de tuberías de PVC de 4" de diámetro que posibilita el flujo en un movimiento verticalmente de arriba hacia abajo y viceversa, atraviere el total de compartimientos.

Las dimensiones del RAP son de 15 m x 6,6 m x 2,75 m, la estructura se halla cubierta por una losa de hormigón de la que emergen 16 bocas de registro con cubierta metálica y 6 tuberías de PVC Ø 8" para ventilación.

Como tratamiento secundario el efluente del RAP alimenta dos filtros anaeróbicos de flujo ascendente que están en serie, el material filtrante son piedras (gravas), esta unidad tiene dimensiones de 6,6 m x 4,0 m x 3,50 m. las tuberías colectoras se hallan quebradas y esparcidas en el lugar.

Como tratamiento terciario la planta tiene un humedal artificial de flujo sub superficial de totora con material gravoso, de sección cuadrada de 18 m x 20 m y profundidad de 1,45 m, con una cámara de descarga final.

**Figura 20. Descripción del tratamiento de la PTAR.**



Fuente: Elaboración propia

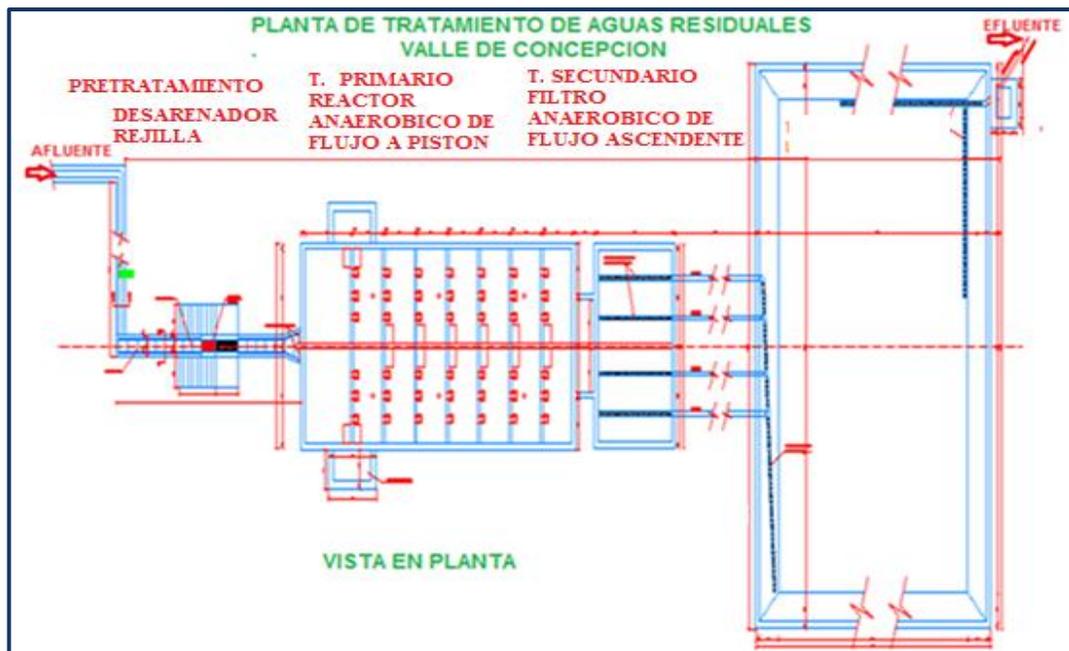
**Fotografía 1. Imagen satelital descriptiva de la PTAR.**



fuelle: Elaboracion propia, Google Earth, 2018.

Se puede evidenciar en la imagen que a poca distancia de la planta de tratamiento de aguas residuales, se encuentran terrenos de actividad agrícolas.

**Figura 21. Vista en planta de la PTAR.**



Fuente: Constructora "PROCON".

#### **4.9. Producción y Sistema de manejo de aguas residuales de la planta de tratamientos de agua residuales de la población del valle de concepción.**

Los residuos líquidos que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales del valle de la concepción son procedentes de actividades domésticas, instituciones públicas o privadas, Instalaciones sanitarias de industria, locales comerciales y en caso de las aguas procedentes del matero municipal son tratadas en fosas sépticas en sus propios previos.

El drenaje de las aguas residuales de Concepción es colectado por la red de alcantarillado sanitario y posteriormente conducido a la planta de tratamiento.

Disposición final de las aguas residuales luego de haber pasado por los tratamientos de la planta, las aguas tratadas son conducidas a través de un tubo de PVC hasta desembocar en río Camacho, para garantizar nuevamente que vuelvan a su ciclo natural.

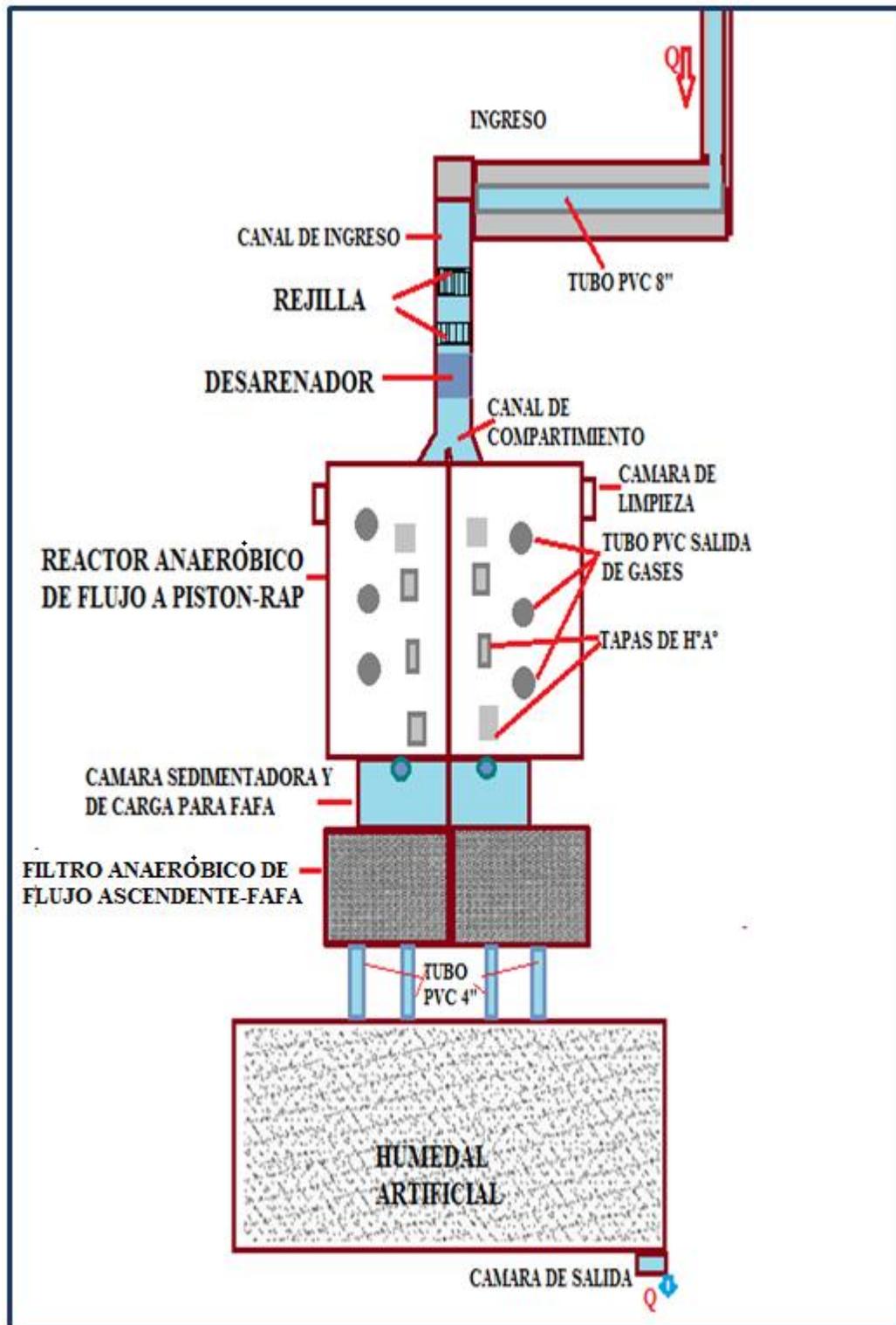
**Fotografía 2. Cuerpo receptor río Camacho**



**Fuente:** Elaboración propia

Lugar donde desemboca las aguas provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de la población del valle de concepción al río Camacho.

Figura 22. Croquis de la planta de la PTAR.



Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V

### DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### 5.1. Estructura de entrada a la planta de tratamiento de agua residual

Consiste en tubería de PVC de 8" protegida de hormigón armado que tiene como base muros de hormigón ciclópeo (piedra vista) y desemboca a un canal de aproximación para que siga su conducción al tratamiento preliminar, la estructura presenta fisuras y una pequeña filtración antes de llegar a la PTAR.

#### Fotografía 3. Estructura de ingreso



Fuente: Elaboración propia.

#### Fotografía 4. Fisuras en la estructura de ingreso



Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Tratamiento preliminar

Los elementos que brindan el tratamiento preliminar son rejillas de cribado y una cámara desarenadora, no cuenta con medidor Parsahall, desgrasadora, ni bypass, La estructura de este tratamiento es una longitud 10 m, de canal de hormigón armado con ancho de solera de  $b=0,40$  m y con una altura de  $h=0,50$  m.

### Rejillas de cribado

Se encuentran dos rejillas de cribado distante 2 m de una de la otra, están localizadas en un canal rectangular de 0.40 m de ancho y 0.50 m de altura, diámetro de barras de  $\frac{1}{4}$ " , separación entre barras de 2 cm y tienen una inclinación de  $30^\circ$  con la horizontal. Los sólidos recogidos se depositan en un costado de la estructura, posterior son enterrados o quemados pero antes se deja un tiempo para que pierda su humedad. Las rejas de cribado son para limpieza manual que dan acceso hacia el desarenador.

**Fotografía 5. Rejillas de cribado**



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la fotografías a pesar de la instalación de ambas rejillas se permite circulación de sólidos al reactor, los cuales se representan en plásticos tales

como tapas de esferos y envolturas de alimentos lo cual puede llegar a ocasionar el taponamiento en el reactor.

Este paso de sólidos se debe a las situaciones: La primera, es que la limpieza de las rejillas no es continua lo cual ocasiona la acumulación y paso de sólidos desde la rejilla hacia las siguientes unidades .y segundo el deterioro de las mismas que se encuentran oxidadas y presenta roturas en sus barras.

### **Desarenador**

Consiste en una cámara desarenadora que se encuentra ubicada en el mismo canal de hormigón armado posterior a las rejillas con base  $b= 0,40$  m, con una profundidad de 5 cm respecto a la solera del canal, tiene una longitud de 2,20 m. Se midió a través de una barra al realizar la visita.

El cual tiene como función separar las arenas, las cenizas y cualquier otro material pesado que tenga velocidad de sedimentación o peso específico a la de los sólidos orgánicos putrescibles del agua residual. Los sólidos son retirados a un costado y luego son enterrados.

**Fotografía 6. Ubicación del desarenador**



**Fuente:** Elaboración propia.

El material retenido en los desarenadores corresponde a sólidos gruesos con predominancia de material inorgánico. En las estructuras posteriores se observan depósitos de arenas lo cual implica que los desarenadores no retienen de manera efectiva. De forma visual se evidencia que agua pasa en forma uniforme con turbidez y se puede notar que la cámara es pequeña.

El material retenido en el desarenador se extrae aun costado y se dispone en mismo sitio de disposición de los residuos de cribado.

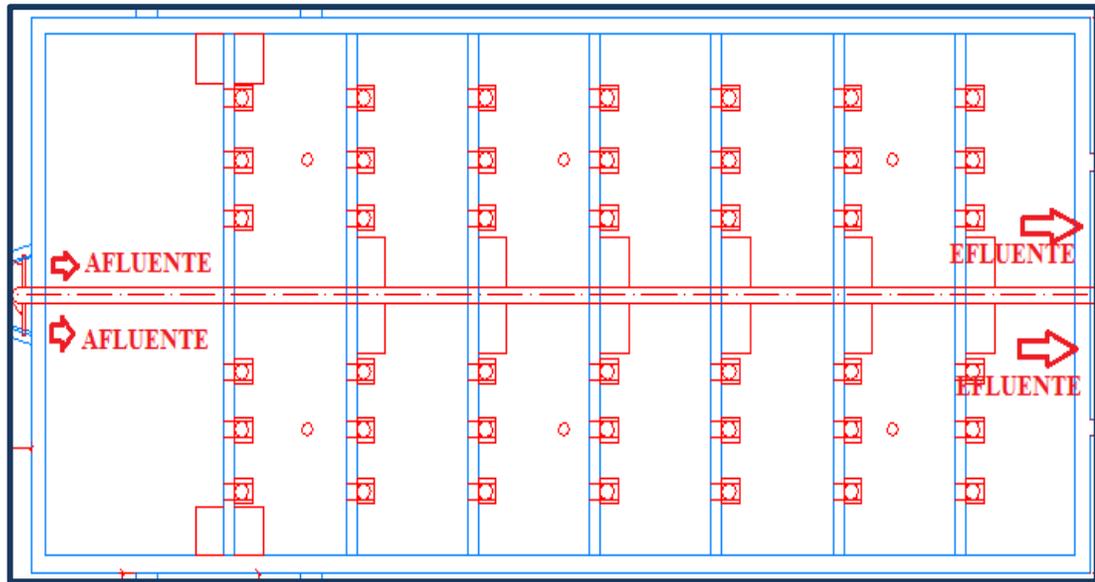
El dimensionamiento del desarenador tiene una profundidad de 5 cm lo cual comprando con el valor recomendado por la norma NB 688 la profundidad mínima es de 20 cm esto no cumple. De igual manera el diseño es inadecuado debido a que no se tienen compuertas que desvíen el caudal o un desarenador en paralelo para poder cerrar cualquiera de los desarenadores y realizar una limpieza idónea, esto genera dificultades para su mantenimiento y permite gran acumulación de sedimentos.

### **5.3. Tratamiento primario**

Posterior al desarenador se encuentra como tratamiento primario un Reactor Anaeróbico de Flujo a Pistón-RAP, construido de hormigón armado, el cual está dividido en 8 cámaras paralelas entre sí, separadas en series por baffles de hormigón armado, las primeras dos cámaras en paralelo tienen una altura  $h= 2.75\text{m}$ , largo  $L= 2.50\text{ m}$ , ancho  $b= 3\text{ m}$  cada una y las demás cámaras tienen dimensiones de  $h=2.75\text{m}$ ,  $L=1.56\text{ m}$ ,  $B= 3\text{m}$  menor que las dos primeras.

Cuenta con 6 tubos de PVC de 8" para la evacuación de gases, con tapas de hormigón armado para la inspección de las cámaras y con dos tapas metálicas ubicadas en las dos primeras cámaras para la extracción de natas, solidos suspendidos, grasas y otros.

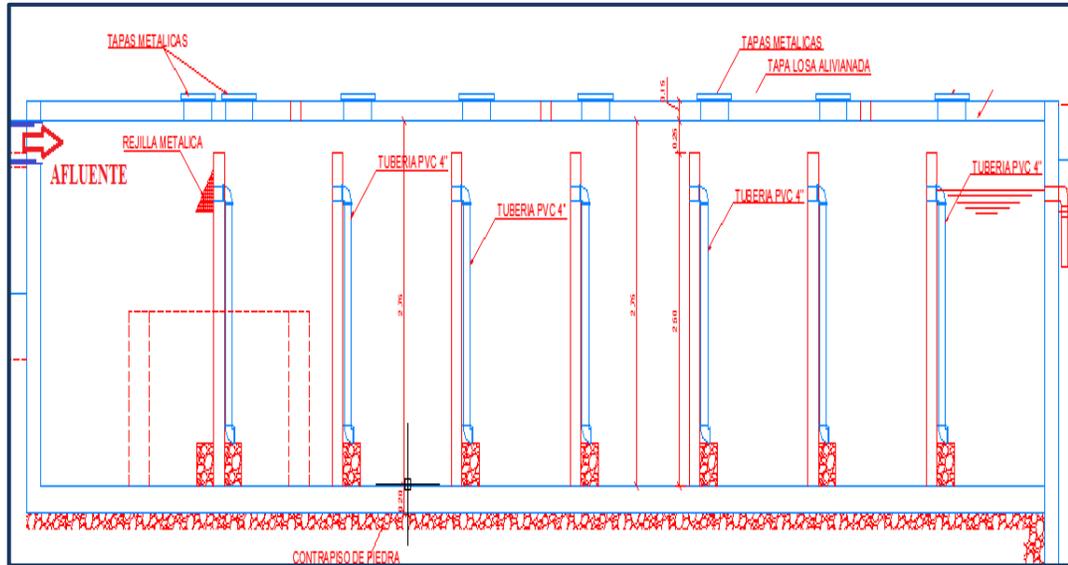
**Figura 23. Vista en planta del interior del RAP.**



Fuente: Elaboración propia.

El caudal antes del ingreso al Reactor Anaeróbico de Flujo a Pistón, está distribuido con el 50% para cada serie de cámaras en paralelo.

**Figura 24. Vista de perfil del RAP.**



Fuente: Elaboración propia.

El flujo líquido ingresa en las dos primeras cámaras por la parte superior, este primer compartimento se utiliza para la sedimentación, digestión del fango y almacenamiento de éste. Extracción de los mismos a través de las compuertas metálicas.

El caudal de agua residual ingresa al RAP por la parte superior en las dos primeras cámaras paralelas y desde la parte superior de la primeras cámaras desciende hasta el fondo de la segundas cámaras por tubos de pvc de 4", siendo este distribuido uniformemente, con movimientos 100% ascensional hasta la parte superior de la cámara y así sucesivamente en las siguientes, lo que facilita la formación de un colchón o manto de lodos suspendido.

La degradación anaerobia de la materia orgánica ocurre en este lecho de lodo, el cual, descompone la materia orgánica por la acción de microorganismos ante la ausencia de oxígeno.

Después de pasar por este colchón de lodos el agua residual, junto con el gas que se produce de la descomposición anaerobia y algunas partículas de lodo ascienden hacia la superficie del reactor. Para evitar que las partículas de lodo escapen junto con el agua, se ubica una pantalla o baffle, donde estas quedan atrapadas en rejillas (en las primeras cámaras), el gas es recolectado en un tubo de pvc de 8" y sigue su proceso hasta el final del RAP.

#### **Fotografía 7. Reactor Anaeróbico de Flujo a Pistón-RAP.**



Fuente: Elaboración propia.

Podemos apreciar una vista de la estructura del reactor anaeróbico de flujo a pistón instalado en la planta de tratamiento de aguas residuales.

**Fotografía 8. Estructura del RAP.**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía 9. Rejillas desgrasadoras en las primeras cámaras**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía 10. Tratamiento al interior del RAP.**



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se aprecia en las imágenes las compuertas del reactor anaeróbico de flujo a pistón se encuentran deterioradas, el tratamiento al interior del mismo se puede observar que existen sólidos en suspensión, plásticos, envolturas de alimentos y otros.

Esto evidencia el mal funcionamiento del tratamiento preliminar y de las primeras cámaras del RAP que tienen rejillas desgrasadoras las cuales se encuentran totalmente en mal estado oxidadas y destruidas faltando la totalidad de sus varillas esto permite el paso de lo que muestra en la figura, es una clara muestra de mal mantenimiento y una falta total de operación.

**Fotografía 11. Últimas cámaras del RAP.**



Fuente: Elaboración propia.

En las últimas cámaras del RAP se encuentran totalmente colmatadas, se nota una capa sólida dura, las aguas salen al efluente con una gran cantidad de sólidos suspendidos.

**Fotografía 12. Cámara de purga de lodos**



Fuente: Elaboración propia.

La cámaras de purga de lodos están totalmente colmatadas y llena de diferentes materiales sólidos, no se realiza ninguna purga de lodos, el operador no tiene conocimiento alguno de este proceso, es uno de los grandes problemas por el cual las cámaras se encuentran totalmente saturadas, llenas de sólidos es evidente que no se realiza la evacuación de lodos.

**Fotografía 13. Efluente del RAP.**



Fuente: Elaboración propia.

El efluente del RAP se aprecia una cantidad de natas y sólidos suspendido producto del tratamiento anaeróbico y el mal funcionamiento del reactor.

Las dimensiones de las cámaras son de una longitud  $L= 0.95$  m, ancho  $B= 1.40$  m y una profundidad de 3.30 m. cada una y reciben las aguas residuales a través de tubos de pvc de 4", donde se acumulan los sólidos flotantes y son extraídos regularmente a través del operador para ser enterrados.

Los canales de entrada están vertiendo las aguas de manera no uniforme, lo que ha generado que el sector izquierdo del reactor presente mayor cantidad de agua saliente y mezcle las aguas crudas con las tratadas, además el sector derecho parece estar estancado.

Estas cámaras sedimentadoras, a su vez se convierten en una cámara de carga para el tratamiento secundario, filtro anaeróbico de flujo ascendente.

#### 5.4. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consiste en un filtro anaeróbico de flujo ascendente FAFA.

La estructura son dos cámaras en paralelo construidas de hormigón armado tiene las siguientes dimensiones una profundidad de 3.30 m, de ancho 3m y una largo de 4 m.

En su parte inferior tiene una cámara falsa de hormigón armado con una altura de 0.30 m. por encima de la cámara falsa es compuesto por un material filtrante grava de canto redondo

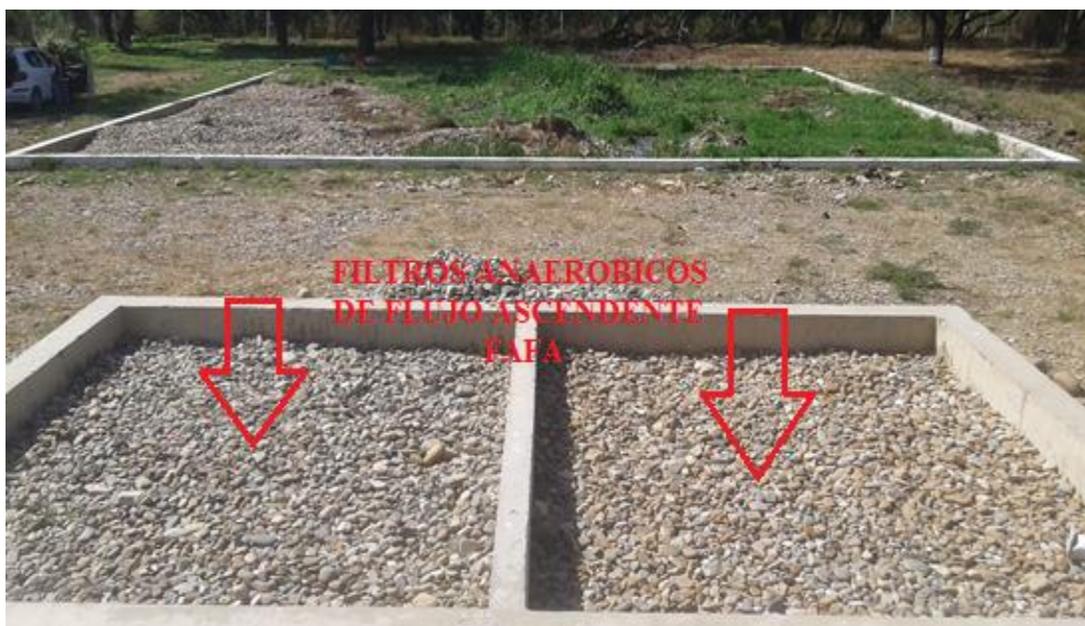
**Fotografía 14. Afluente del filtro anaeróbico de flujo ascendente**



Fuente: Elaboración propia.

El lecho o medio filtrante se considera el dispositivo más importante en el tratamiento biológico. Y la materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población bacteriana que se encuentra en los medios de contacto

**Fotografía 15. Vista en planta del filtro anaeróbico de flujo ascendente-FAFA**



Fuente: Elaboración propia.

El caudal de agua residual ingresa por el fondo del filtro que son cargadas por la cámara carga de ingreso, siendo este distribuido uniformemente, la cual comienza ascendente hasta unos 30 cm antes de la superficie, donde se encuentran 2 tubos perforados de pvc de 4" en cada cámara para su evacuación al siguiente tratamiento. Aparentemente este FAFA se encuentre en buen estado por lo hace aproximadamente 10 meses fue colocado el material filtrante (grava) y que antes de eso se encontraba sin material filtrante.

### **5.5. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario está compuesto por humedal artificial de flujo superficial de totora, la estructura está construida de hormigón ciclópeo en forma rectangular con un ancho  $b=18$  m, con longitud de 20m y con una profundidad 1,45 m compuesto por un material granular grava.

**Fotografía 16. Humedal artificial de flujo superficial de totora.**



Fuente: Elaboración propia.

EL humedal artificial de flujo superficial de totora está funcionando colmatado a simple vista se puede apreciar, que el agua residual que sale del anterior tratamiento llega al humedal y fluye superficialmente canalizada por un solo sector, hasta llegar a la cámara de efluente para su disposición final río Camacho.

**Fotografía 17. Cuerpo del humedal artificial de flujo superficial de totora**



Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía 18. Distribución del material de relleno del humedal artificial**

Fuente: Elaboración propia.

Se observaron varias partes en las que se ocasionaban estancamientos de las aguas y se generaban daños en ellas causando putrefacción y por ende mal funcionamiento.

**5.6. Cámara del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales**

Esta cámara recibe las aguas que salen del humedal artificial a través de tubos de pvc, la cual está construida de hormigón ciclópeo con una profundidad de 1.40m y base de 1m por 0.80m y de esta cámara se conecta una tubería de pvc de 8plg para conducir el agua tratada de la planta hasta el cuerpo receptor (rio Camacho) que se encuentra distante aproximadamente a unos 200 m.

**Fotografía 19. Cámara del efluente de la PTAR.**



Fuente: Elaboración propia.

La cámara se encuentra fisurada, con rupturas en sus costados.

### **5.7. Cerco perimetral**

El cerramiento perimetral está construido de postes de madera y alambre de púas y tiene daños en algunas partes o tramos del mismo

**Fotografía 20. Cerco perimetral de alambre púas**



Fuente: Elaboración propia

## 5.8.-Personal operador

### Fotografía 21. Seguridad industrial del personal de operación



Según se muestra en el registro fotográfico el operador se encuentra operando los sistemas, sin los mínimos elementos de seguridad industrial requerida para la operación de una PTAR. Se recomienda que la entidad encargada dote al personal con los elementos de protección para evitar riesgo de contaminación y accidente laboral

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DEL CAUDAL DE DISEÑO DE LA PTAR ACTUAL

#### 6.1. Proyección de la población urbana del municipio de uriondo

La planta de tratamiento de agua residual fue diseñada y puesta en funcionamiento en el año 2006, Se realizará entonces la proyección de población hasta el año actual 2018, con el fin de realizar un análisis comparativo.

Con base en Datos del CENSO 2012, se presenta una tasa de crecimiento considerando que el casco urbano se encuentra con vías de comunicación, planes de desarrollo urbanos, aumentos graduales de la población y el asentamiento de nuevas viviendas en la zona, de modo que atienda las necesidades de la población durante un determinado período de diseño, en el cual el sistema sea eficiente el 100%, esta proyección es de 1.62% de crecimiento anual según datos (2001-2012).

**Tabla 13. Datos de censo 2012 de la población del valle de concepción**

DESCRIPCIÓN	CENSO INE 2012
Población total	1722
Tasa anual de crecimiento inter censal 2001-2012 (%)	1,62 %

Fuente: INE (censo 2012)

La población migratoria que se encuentra en la zona del proyecto para desarrollo de diferentes actividades se toma el 10 % de la población total:

$$P_{flotante} = 0,10 * 1722$$

**Población flotante = 173 habitantes**

## 6.2. Cálculo de caudales

Se realiza el cálculo de caudales con diferentes situaciones para un análisis comparativo de los mismos.

- ✓ Cálculo de caudales de acuerdo a la Norma Boliviana NB-688 diseño para sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial.
- ✓ Caudal según el número de conexiones instaladas al sistema de alcantarillado sanitario.
- ✓ Caudales aforados en la planta de tratamiento de aguas residuales.

### 6.2.1. Cálculo de caudales de acuerdo a la Norma Boliviana NB-688 diseño para sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial

La población del valle presenta un sistema de alcantarillado residual unitario, en este caso, el caudal de aguas residuales se establece con las contribuciones domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de infiltración, y conexiones erradas.

#### a). Cálculo de caudales

El caudal de diseño es la suma de caudales: Caudal máximo, caudal de infiltración, caudal de conexiones erradas y caudales de instituciones públicas.

$$Q_{max} = Q_{maxh} + Q_{inf} + Q_e + Q_{IPp+c}$$

$$Q_{diseño} = Q_{md} + Q_{inf} + Q_e + Q_{IPp+c}$$

Dónde:

$Q_{diseño}$  = Caudal de diseño (l/s).

$Q_{max}$  = Caudal máximo horario o de punta (l/s).

$Q_{inf}$  = Caudal de infiltración (l/s).

$Q_e$  = Caudal de conexiones erradas (l/s).

$Q_{IPp+c}$  = Caudales de instituciones públicas, privadas y comerciales (l/s).

#### Cálculo del caudal máximo horario o de punta ( $Q_{maxh}$ ).

Donde:

M: Coeficiente de punta adimensional.

$Q_{md}$ : Caudal medio diario doméstico, en L/s.

$$Q_{maxh} = M \cdot Q_{md}$$

### b) Coeficientes de punta (M)

La NB 688 señala los métodos para calcular este coeficiente mencionando los métodos de: Harmon, Babbit, Flores, Popel y coeficientes K1 y K2.

El coeficiente de punta está dado por los coeficientes de variación de caudal k1 y k2

$$M = K_1 \cdot K_2$$

Para el Valle de Concepción (Uriondo) se adoptó los valores de K1 = 1,5 y K2 = 2; entonces M = 3 adoptado.

### C) Caudales medio diario domésticas (Q<sub>md</sub>)

El caudal medio diario doméstico (Q<sub>md</sub>), debe ser calculado utilizando una de la siguiente expresión.

$$Q_{md} = \frac{\text{Dotación} \cdot \text{Población}}{86400} \cdot C$$

#### Donde:

Q<sub>md</sub>=Caudal medio diario doméstico, en L/s

C = Coeficiente de retorno, adimensional

Población = Población, en habitantes.

Dotación = Consumo de agua per cápita, en L/hab.dia

### Cálculo de la población futura

Los métodos a emplearse deben ser aplicados en función del tamaño de la población, de acuerdo a lo especificado en la NB-688 en la tabla 2.3. Aplicaremos el método geométrico.

**Método geométrico.** Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante. El crecimiento geométrico es geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de la misma;

#### **d) Dotación media diaria**

La dotación media diaria se refiere al consumo anual total previsto en un centro poblado dividido por la población abastecida y el número de días del año. Es el volumen equivalente de agua utilizado por una persona en un día para el caso de sistemas nuevos de alcantarillado sanitario, la dotación media diaria de agua debe ser obtenido sobre la base de la población y zona geográfica dada, según lo especificado en la tabla 2.4 de la NB-688.

Según la tabla 2.4 de la NB.688 para zona los valles con poblaciones de 2001-5001 hab. Se asume 90 l/hab.dia. Y según la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Uriondo (EMAPAU) la dotación actual de agua potable para el valle de concepción de aproximadamente de 90 l/hab.dia.

#### **e) Coeficiente de retorno**

El coeficiente de retorno (C) según la NB688 en el capítulo 2.3.4; es la relación que existe entre el caudal medio de aguas residuales domésticas y el caudal medio de agua que consume la población. Del total de agua consumida, solo una parte contribuye al alcantarillado, pues el saldo es utilizado para lavado de vehículos, lavado de aceras y calles, riego de jardines y huertas y otros.

Se deben utilizar valores entre el 60 % al 80 % de la dotación de agua potable. Se asume  $C=80\%$  para condiciones de seguridad de mayo ración.

#### **Caudal de Infiltración lineal ( $Q_{inf}$ )**

De acuerdo a la Tabla 2.5 de la NB 688 en el capítulo 2.3.5.5 se adopta el caudal de infiltración lineal es igual a 0,50 l/s/km en tuberías de hormigón y de 0,05 l/s/km en tuberías de PVC.

#### **Caudal de conexiones erradas**

De acuerdo a la NB-688 en el capítulo 2.3.5.6; el caudal por conexiones erradas se debe ser de 5% al 10% del caudal máximo horario de aguas residuales domésticas.

Se asumirá el promedio el 7.5%.

## CÁLCULO DE POBLACIÓN FUTURA

### Método de Crecimiento Geométrico

Dónde:

$P_f$ : Población futura.

$P_i$ : Población inicial = 1895 hab.

$i$ : Tasa de crecimiento poblacional = 1,62%

$t$ : Periodo de diseño = 6 años (2012-2018)

$$P_f = P_i * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

$$P_f = 1895 * \left(1 + \frac{1.62}{100}\right)^6$$

Poblacion futura = 2087 habitantes

### Caudal medio diario ( $Q_m$ )

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86400} * C$$

Donde:

$Q_{md}$ : Caudal medio diario (l/seg)

$P_f$ : Población futura = 2087 hab (año 2018).

$D_f$ : Dotación futura = 90 l/hab.día.

$C$ : Coeficiente de retorno=0,80

$$Q_m = \frac{2087 * 90}{86400} * 0.80$$

$Q_m = 1.739 \text{ l/s}$

### Caudal máximo horario

Calculo del caudal máximo diario y máximo horario:

$$Q_{\text{maxdiario}} = Q_m * K_1 * K_2$$

$$Q_{\text{maxhorario}} = 1,739 * 1,5 * 2$$

$$Q_{\text{maxhorario}} = 5,217 \text{ l/seg}$$

### Caudal de infiltración

De acuerdo al proyecto:

- Tipo de tubería y uniones PVC, uniones con goma y pegamento
- Nivel freático: bajo en la parte de la red de colectores
- De la tabla Se toma valor de infiltración 0,00005 (l/s/ m)

**Donde:**

$Q_{\text{inf}}$ : Caudal de infiltración (l/seg)

Longitud = 11426 m.

$$Q_{\text{infiltracion}} = L_{\text{acum}} \cdot \text{Coef}$$

$$Q_{\text{infiltracion}} = 0,571 \text{ l/s}$$

### Caudal de conexiones erradas ( $Q_e$ )

Se asume 7.5% del caudal máximo horario.

$$Q_{\text{erradas}} = 0,075 \cdot Q_{\text{max}}$$

$$Q_{\text{erradas}} = 0,391 \text{ l/s}$$

**Tabla 14. Caudal de instituciones públicas y privadas**

Descripción	Número de personas	Datación (litros/persona-día)	Caudal medio (l/s)
Sub Gobernación de Uriondo.	50	50	0,029
Policía Boliviana de la prov. Avilés.	8	50	0,005
Hospital de primer nivel "Fanor Romero"	20	50	0,012
ENTAGAS Uriondo.	4	50	0,002
SETAR Uriondo.	4	50	0,002
EMAPAU	4	50	0,002
Caja los Andes	8	50	0,005
Profesores de educación	60	50	0,035
Cooperativa el Churqui	12	50	0,007
Banco Fíes	12	50	0,007
Banco Eco futuro	10	50	0,006
Idepro Desarrollo Empresarial	7	50	0,004
Banco PRODEM	10	50	0,006
Casa Vieja	12	50	0,007
Bodega del Abuelo	5	50	0,003
Hostería "Valle D`Vino"	6	50	0,003
Unidad Educativas o colegios	1203	50	0,696
Internado Nuestra Señora del Rosario	90	90	0,094
Visitantes turistas a la zona	150	20	0,035
Total			0,959

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15. Caudal de Centro Vitivinícola Tarija "CEVITA"**

Descripción	Datación media (m3/mes)	dotación media (litros/mes)	Caudal medio (l/s)
Centro Vitivinícola Tarija "CEVITA"	900	90.0000	0,347

Fuente: Elaboración propia.

Caudal de instituciones públicas y privadas (Q<sub>IPp</sub>)

$$Q_{IPp} = 1,306 \text{ l/s}$$

**Caudal máximo ( $Q_{maximo}$ )**

$$Q_{maximo} = Q_{maxh} + Q_{inf} + Q_e + Q_{IPp}$$

$$Q_{maximo} = 7,485 \text{ l/s}$$

**Caudal de diseño**

$$Q_{diseño} = Q_{md} + Q_{inf} + Q_e + Q_{IPp}$$

$$Q_{diseño} = 4,007 \text{ l/s}$$

**6.2.2. Caudal según el número de conexiones instaladas al sistema de alcantarillado sanitario**

La población del Valle de la concepción actualmente cuenta con aproximadamente 445 usuarios que están conectados al sistema de alcantarillado sanitario.

La dotación de agua potable es aproximadamente de 90 l/había. Según datos de la Empresa Prestadora de servicio de Agua Potable (EMAPAU), Con un número promedio de 4 habitantes por cada conexión, un gasto máxima mensual de  $10m^3$  por usuario.

**Tabla 16. Cálculo de caudal según número de conexiones al sistema de alcantarillado**

DESCRIPCIÓN	Numero de conexiones	Numero de habitantes por conexión	Total habitantes	Dotacion (litros /hab-día)	Coficiente de retomo	caudal medio (l / s)
Sistema de alcantarillado sanitario	445	4	1780	90	0,8	1,483

Fuente: Elaboración propia.

**Caudal de diseño**

$$Q_{diseño} = Q_{medio} + Q_{inf} + Q_e + Q_{IP}$$

$$Q_{diseño} = 3,751 \text{ l/s}$$

### **6.2.3. Caudales aforados en la planta de tratamiento de aguas residuales**

#### **6.2.3.1. Caudales aforados**

Para realizar el aforo de caudales se escogió 4 días de la semana viernes, sábado, domingo y miércoles, para verificar la cantidad de caudal con el que está funcionando la planta de tratamiento de aguas residuales y para identificar el comportamiento de la variación del caudal según costumbre de la población del valle de la concepción.

Para aforar se escogió en la cámara de salida del efluente de la PTAR. Se tomaron datos horarios para el día viernes se realizó la aforación de las 24 horas y los días sábado, domingo y miércoles de 7:00 am a 18:00 pm en cada hora se aforo 5 veces para promediar.

A continuación se muestran los caudales obtenidos y se presentan las gráficas por día de la variación del comportamiento del caudal por horas.

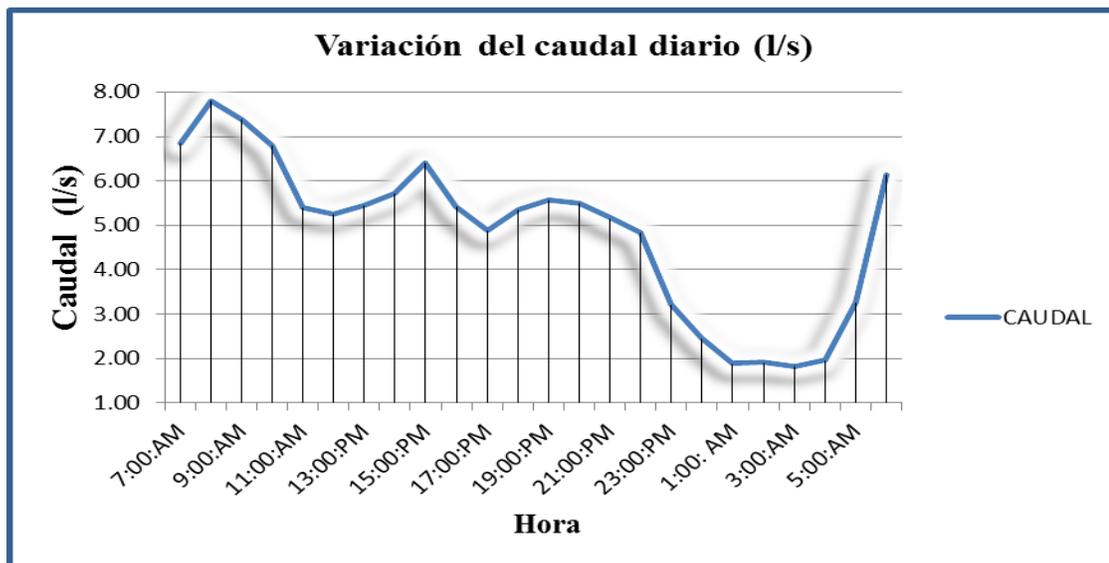
Tabla 17. Aforo de caudal de día viernes

Lugar:	Efluente	
Metodo de aforo	Volumetrico	
Materiales utilizados	Tacho 50 Lts y balde 20 Lts	
	Cronometro	
Dia	Viernes	
Fecha:	12/10/2018	

HORA DE MEDICIÓN	VOLUMEN (lt)	TIEMPO (seg)	CAUDAL (lt/seg)	CAUDAL MAX. (lt/seg)	CAUDAL MIN. (lt/seg)
7:00:AM	50	7.32	6.83		
8:00:AM	50	6.40	7.81		
9:00:AM	50	6.77	7.39		
10:00:AM	50	7.35	6.80		
11:00:AM	20	3.71	5.39		
12:00:AM	20	3.81	5.25		
13:00:PM	20	3.67	5.45		
14:00:PM	20	3.51	5.70		
15:00:PM	20	3.13	6.39		
16:00:PM	20	3.70	5.41		
17:00:PM	20	4.11	4.87		
18:00:PM	20	3.75	5.33		
19:00:PM	20	3.60	5.56	<b>7.81</b>	<b>1.82</b>
20:00:PM	20	3.65	5.48		
21:00:PM	20	3.88	5.15		
22:00:PM	20	4.14	4.83		
23:00:PM	20	6.24	3.21		
24:00:PM	20	8.20	2.44		
1:00: AM	20	10.68	1.87		
2:00:AM	20	10.50	1.90		
3:00:AM	20	11.01	1.82		
4:00:AM	20	10.27	1.95		
5:00:AM	20	6.15	3.25		
6:00:AM	20	3.27	6.12		
Caudal medio diario = 4.85 (l/s)					

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 1. Variación del caudal diario en 24 horas de un día viernes de las aguas residuales**



Fuente: Elaboración propia.

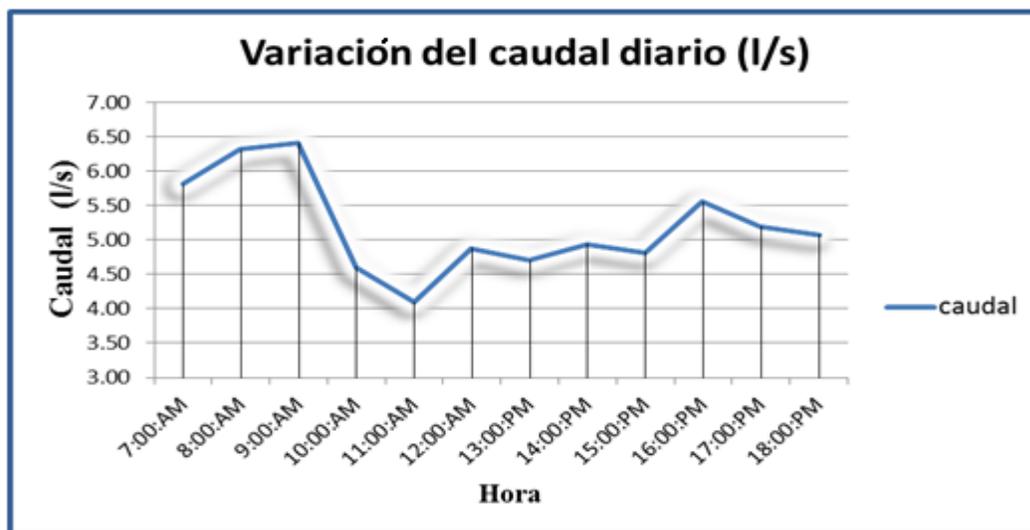
**Tabla 18 Aforo de caudal día sábado**

Dia		Sabado			
Fecha:		13/10/2018			
HORA DE MEDICIÓN	VOLUMEN (lt)	TIEMPO (seg)	CAUDAL (lt/seg)	CAUDAL MAX. (lt/seg)	CAUDAL MIN. (lt/seg)
7:00:AM	50	8.61	5.81	6,41	4,10
8:00:AM	50	7.93	6.31		
9:00:AM	50	7.80	6.41		
10:00:AM	50	10.85	4.61		
11:00:AM	20	4.88	4.10		
12:00:AM	20	4.10	4.88		
13:00:PM	20	4.25	4.71		
14:00:PM	20	4.05	4.94		
15:00:PM	20	4.15	4.82		
16:00:PM	20	3.60	5.56		
17:00:PM	20	3.85	5.19		
18:00:PM	20	3.94	5.08		

Fuente: Elaboración propia.

<b>Caudal medio (l/s)</b>	<b>5.20</b>
---------------------------	-------------

**Grafica 2. Variación del caudal diario de 7:00 am a 18:00 pm de un día sábado de aguas residuales**



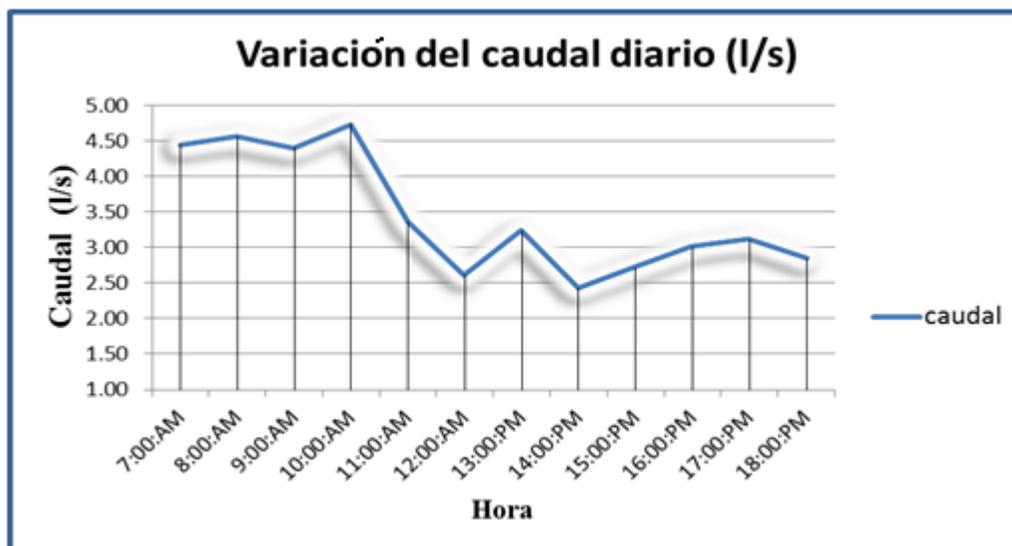
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19 Aforo de caudal día domingo**

Día		Domingo			
Fecha:		14/10/2018			
HORA DE MEDICIÓN	VOLUMEN (lt)	TIEMPO (seg)	CAUDAL (lt/seg)	CAUDAL MAX. (lt/seg)	CAUDAL MIN. (lt/seg)
7:00:AM	50	11.25	4.44	4.74	2.43
8:00:AM	50	10.97	4.56		
9:00:AM	50	11.35	4.41		
10:00:AM	50	10.55	4.74		
11:00:AM	20	5.95	3.36		
12:00:AM	20	7.68	2.60		
13:00:PM	20	6.18	3.24		
14:00:PM	20	8.24	2.43		
15:00:PM	20	7.36	2.72		
16:00:PM	20	6.66	3.00		
17:00:PM	20	6.43	3.11		
18:00:PM	20	7.04	2.84		
<b>Caudal medio (l/s)</b>				<b>3,45</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 3. Variación del caudal diario de 7:00 am a 18:00 pm de un día domingo de aguas residuales**



Fuente: Elaboración propia.

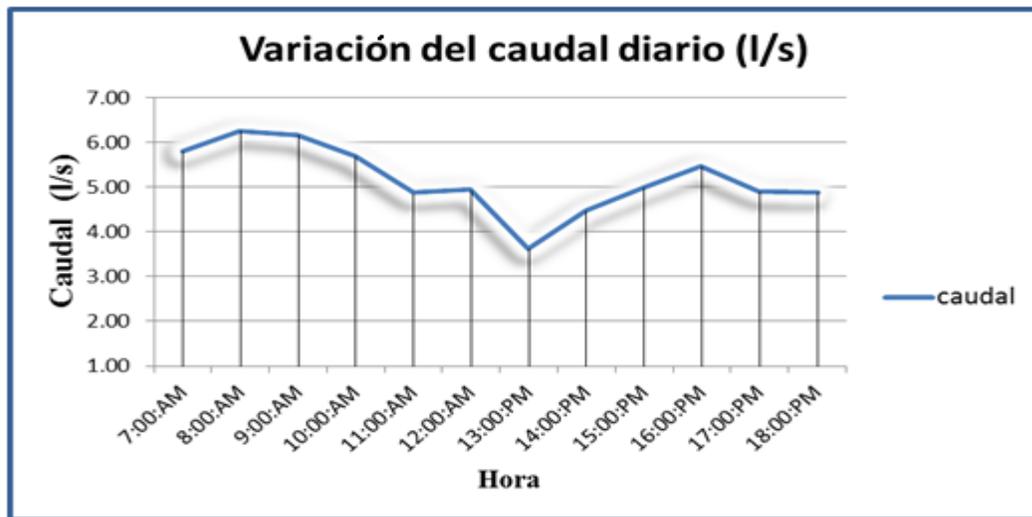
**Tabla 20. Aforo de caudal día miércoles**

Dia		Miercoles			
Fecha:		17/10/2018			
HORA DE MEDICIÓN	VOLUMEN (lt)	TIEMPO (seg)	CAUDAL (lt/seg)	CAUDAL MAX. (lt/seg)	CAUDAL MIN. (lt/seg)
7:00:AM	50	8.62	5.80	6.26	3.62
8:00:AM	50	7.99	6.26		
9:00:AM	50	8.12	6.16		
10:00:AM	50	8.80	5.68		
11:00:AM	20	4.12	4.85		
12:00:AM	20	4.06	4.93		
13:00:PM	20	5.53	3.62		
14:00:PM	20	4.49	4.45		
15:00:PM	20	4.02	4.98		
16:00:PM	20	3.67	5.45		
17:00:PM	20	4.09	4.89		
18:00:PM	20	4.11	4.87		

<b>Caudal medio (l/s)</b>	<b>5,16</b>
---------------------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 4. Variación del caudal diario de 7:00 am a 18:00 pm de un día miércoles de aguas residuales**



Fuente: Elaboración propia.

En la representación graficas se muestra la variación de caudales horarios durante los cuatro días que se realizó las mediciones de caudales por el método volumétrico. Donde se identifica las horas picos de consumo durante el día.

De acuerdo a los datos obtenidos de los cuatro días, se tabularon estos datos como se puede evidenciar en los cuadros, hay un caudal máximo y mínimo, según los usos de la población.

Con los caudales encontrados podemos comparar con el caudal de diseño inicialmente calculado para la vida útil del proyecto. A continuación se muestra un resumen de los caudales medidos:

**Tabla 21. Resumen de caudales mínimo, medios y máximos**

Descripción	Día aforado viernes	Día aforado sábado	D. aforado domingo	D. aforado miércoles
<b>Caudal máximo (l/s)</b>	7,81	6,41	4,74	6,26
<b>Caudal medio (l/s)</b>	4,85	5,20	3,45	5,16
<b>Caudal mínimo (l/s)</b>	1,82	4,10	2,73	3,62
<b>Caudal promedio (l/s)</b>	4,85	4,60		

Fuente: Elaboración propia.

Se puede llegar a la conclusión que el caudal máximo se presenta los días viernes a horas 8:00am aproximadamente con un caudal de 7,81 l/s y un caudal promedio de 4,85 l/s de las 24 horas aforadas que es la media aritmética de los caudales horarias.

Se asume como referencia los valores del día viernes para el caudal medio diario 4,85 l/s ya que es el único día que se aforo durante las 24 horas y los valores de los días sábado, domingo y miércoles como referencia para corroborar las variaciones y comportamientos de caudales durante las horas del día de 7:00 am a 18:00 pm.

### 6.3. Comparación de caudales obtenidos por diferentes metodologías

**Tabla 22. Análisis de caudales obtenidos por diferentes métodos**

Descripción	Caudal según NB-688	Caudal según número conexiones instaladas al sist.alcantarillado	Caudal según aforacion de caudal en la PTAR.	Caudal de diseño de la PTAR
Caudal de diseño (l/s)	4,007	3,751	4,85	4,53

Fuente: Elaboración propia.

Analizando los valores de los caudales obtenidos por diferente métodos de cálculo y comparando con el caudal de diseño, con el que se diseñó la planta de tratamiento de aguas residuales, el caudal medio aforado que es el más real tiene un valor 4.85 l/s, frente al caudal de diseño que es 4.53 l/s. se demuestra que las proyecciones establecidas, fueron superadas, por lo tanto el periodo de diseño de la planta se ha sobrepasado. Según lo anterior, se establecen a continuación una serie de causas como las más probables y que sean las responsables directamente del mal funcionamiento de la planta:

- Posible aumento de la población a mayor tasa que la prevista en el periodo de diseño.
- Una dotación mayor ala establecidas anteriormente.

- Falta de una buena estructura de bypass, evitando que a la planta entren caudales excesivos, especialmente aquellos que se presentan en la temporada de lluvias.
- Deficiente sistema de operación y mantenimiento por parte de la entidad encargada de la planta.
- Conexiones clandestinas sin la autorización de la entidad encargada y falta de control de micro medición, macro medición ocasionando mal uso del agua.

## **CAPÍTULO VII**

### **ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL DE LA PTAR**

#### **7.1. Los estudios de caracterización del agua residual**

Los estudios de caracterización del agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales fueron realizados en dos los laboratorios CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO “CEANID”, ubicado en el Campos Universitario Facultad de Ciencias y Tecnología Zona “El Tejar”. En fecha 12 de julio del año 2018, los ensayos solicitados fueron los parámetros fisicoquímicos (DBO, DBQ, Grasas y Aceites, PH y solidos suspendidos totales) y EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS “COSSALT-LTDA” en fecha 6 de marzo de 2019, se solicitó los ensayos de los parámetros de coliformes fecales que son los más básicos e importantes.

Se analizó 7 muestras con un volumen de 2 litros cada una de ellas, tres muestras tomadas en el afluente de la PTAR, tres muestras tomadas en el efluente de la PTAR a diferentes horas del día y una muestra en las aguas del cuerpo receptor Rio (Camacho) para los parámetros solicitados en el laboratorios de “CEANID” y se analizó 4 muestras de agua residual de la PTAR en el afluente y efluente de cada componente de la planta, para el estudio de coliformes fecales en los laboratorios de “COSSALT-LTDA” .

Para el muestreo se siguió la metodología y recomendaciones brindada por el Ing. Fredy López encargado del laboratorio (CEANID) y por el ing. Enrique Ayarde encargado de los laboratorios de “COSSALT-LTDA” .

### Instrucción para toma de muestras

Aspectos que se llevó acabo para la obtención de toma de muestras en “CEANID”.

A HORAS	LUGAR DE MUESTRO		
	AFLUENTE PTAR	EFLUENTE PTAR	CUERPO RECEPTOR RÍO CAMACHO
<b>8:00 am</b>	1	1	
<b>11:00 am</b>	1	1	1
<b>13:00 pm</b>	1	1	

En el cuadro se indica lugar y hora que fueron tomadas las muestras.

Aspectos que se llevó acabo para la obtención de toma de muestras en “COSSALT-LTDA”.

A HORAS	LUGAR DE MUESTRO			
	AFLUENTE PTAR	EFLUENTE RAP	EFLUENTE FAFA	EFLUENTE PTAR
<b>14:00 pm</b>	1			
<b>14:05 pm</b>		1		
<b>14:10 pm</b>			1	
<b>14:15 pm</b>				1

En el cuadro se indica lugar y hora que fueron tomadas las muestras.

- Para el muestro del afluente se realiza la toma de muestra en la entrada a la planta de tratamiento, cerca de las rejillas y para el muestro del efluente, se toma las muestras en las aguas que salen del ultimo componente de tratamiento de la planta, que es después del humedal artificial que caen a una cámara de desagua atreves de un tuvo.
- Muestro del cuerpo receptor, se toma una muestra de agua del rio Camacho.
- Se tomó las muestras en una posición donde el agua estaba bien mezclada, dónde el agua fluye con rapidez para el afluente o donde cae par el efluente.

- Siempre se toma la muestra en el centro del agua corriente. Nunca toque el fondo de la tubería o paredes de un canal para que los sedimentos no puedan entrar a la muestra.
- Las diferentes muestras que se realizaron tienen un volumen de 2 litros (2000 ml) para que sean representativas y en botellas de plástico de envase de agua mineral nuevas.
- Se rellenó las etiquetas de las botellas. antes de la toma de las muestras para no tener confusiones
- Se abre el recipiente y llenar el recipiente con agua, Inmediatamente cierre el recipiente y seque el exterior.

**Fotografía 22. Toma de muestras del afluente**



Fuente: Elaboración propio

**Fotografía 23. Toma de muestras del efluente**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía 24. Toma de muestra cuerpo receptor río Camacho**



Fuente: Elaboración propia

### **Transportación de las muestras**

Se transportó las muestras con cuidado, prestando atención que no se caigan o derramen y se usó una conservadora con hielo, para transportar las muestras que son las más adecuadas para mantener oscuridad y una temperatura entre 1 – 5 °C. Y son estables.

### **7.2. Caracterización del agua residual**

#### **7.2.1. Descripción física de las aguas residuales del afluente y efluente de la PTAR.**

En la siguiente figura se puede observar el resultado cualitativo del funcionamiento de la PTAR, comparando visualmente las muestras de afluente y efluente de la planta, evidenciándose una remoción de los parámetros evaluados y además de parámetros como color y turbiedad.

**Fotografía 25. Comparación visual entre el afluente y efluente de la PTAR**



Fuente: Elaboración propia

### 7.2.2. Caracterización fisicoquímicos del afluente.

De acuerdo a los informes de laboratorio realizados y suministrados por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y laboratorios de “COSSALT-LTDA”, se realizó un análisis con los valores que están por fuera y dentro de los valores máximos aceptados de acuerdo a la Ley Medio Ambiente N° 1333.

**Tabla 23. Resultados fisicoquímicos del afluente**

Descripción	Unidad	Resultado según la Hora			Valores Prom.	Valor máximo Aceptable	Cumple
		8:00 am	11:00 am	13:00 pm			
DBO5 total	Mg/L	206	90	87	127,67	< 80	NO
DQO total	Mg/L	603	250	278	377	< 250	NO
Solidos totales suspendidos	Mg/L	500	216	148	288	< 60	NO
pH		8,99	7,68	7,45	8,04	6,5 - 8,5	NO
Grasas y aceites	Mg/L	< 0,01	0,04	0,04	0,03	< 10	Si

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los análisis fisicoquímicos realizados al caudal de ingreso de la planta de tratamiento de aguas residuales del Valle de la concepción, el día 12 de julio de 2018, se observa que:

En el horario 8:00 am, 11:00 am, 13:pm, los parámetros de DQO, DBO y SST exceden lo establecido en la resolución de la ley N.º 1333 de Medio Ambiente, presentándose los mayores nivel de DBO, DBQ,SST y PH, registrado en las tres muestras en el horario de 8:00am; esta características se deben al tipo de descargar realizado al alcantarillado, debido a que en la fracción horaria evaluada, se incrementa las descargas correspondientes domesticas según las costumbres de la población.

Estos valores fisicoquímicos obtenidos del afluente de la planta de tratamiento, nos dan un claro indicio que estas aguas están fuera de rango y que necesitan un tratamiento para que cumplan con los valores permisibles de acuerdo a la normativa.

### 7.2.3. Características fisicoquímicas del efluente

De acuerdo a los informes de laboratorio realizados y suministrados por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), se realizó un análisis con los valores máximos aceptables de acuerdo a la Ley Medio Ambiente N° 1333.

**Tabla 24. Características fisicoquímicas del efluente**

Descripción	Unidad	Resultados según la hora			Valor Prom.	Valor máximo Aceptable	Cumple
		8:00 am	11:00 am	13:00 pm			
DBO5 total	Mg/L	109	61	12	60,67	< 80	Si
DQO total	Mg/L	226	214	146	195,33	< 250	Si
Solidos totales suspendidos	Mg/L	232	120	138	163,33	< 60	No
pH		7,31	7,36	7,33	7,33	6,5 - 8,5	Si
Grasas y aceites	Mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 10	Si

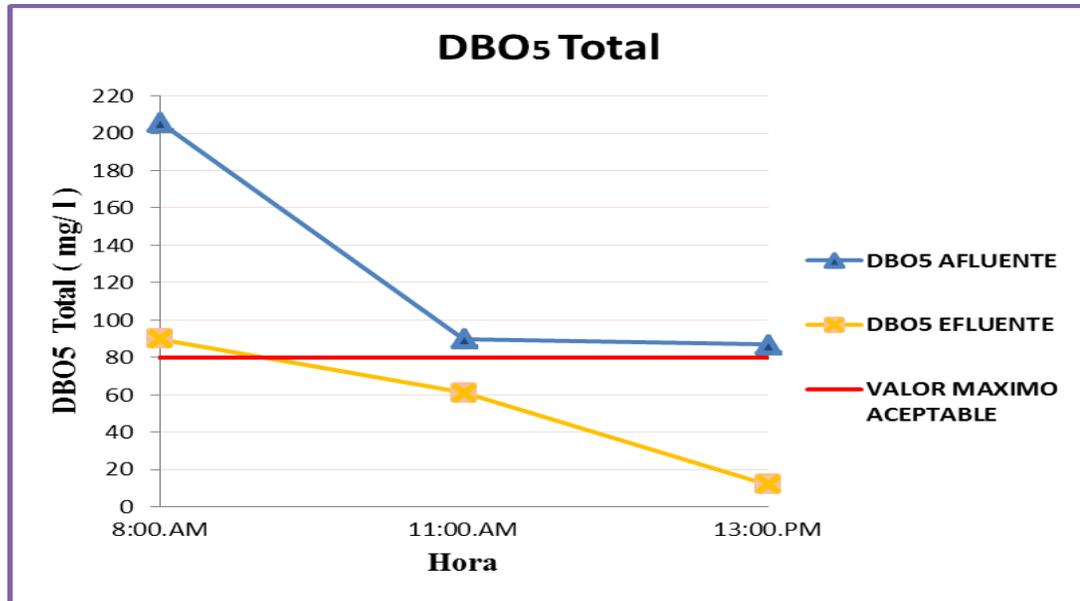
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos obtenidos del efluente y comparándolos con los valores máximos aceptables de los parámetros de DQO, DBO y grasas y aceites de la ley N° 1333 Medio Ambiente se puede afirmar que los valores se encuentran dentro del rango admisible. A excepto de SST que se encuentran fuera del rango de acuerdo a normativa.

Sin embargo, se considera que las condiciones del agua de salida pueden mejorar implementando un sistema de tratamiento que cumpla con la operación y mantenimiento correcto y conseguí un mayor grado de depuración.

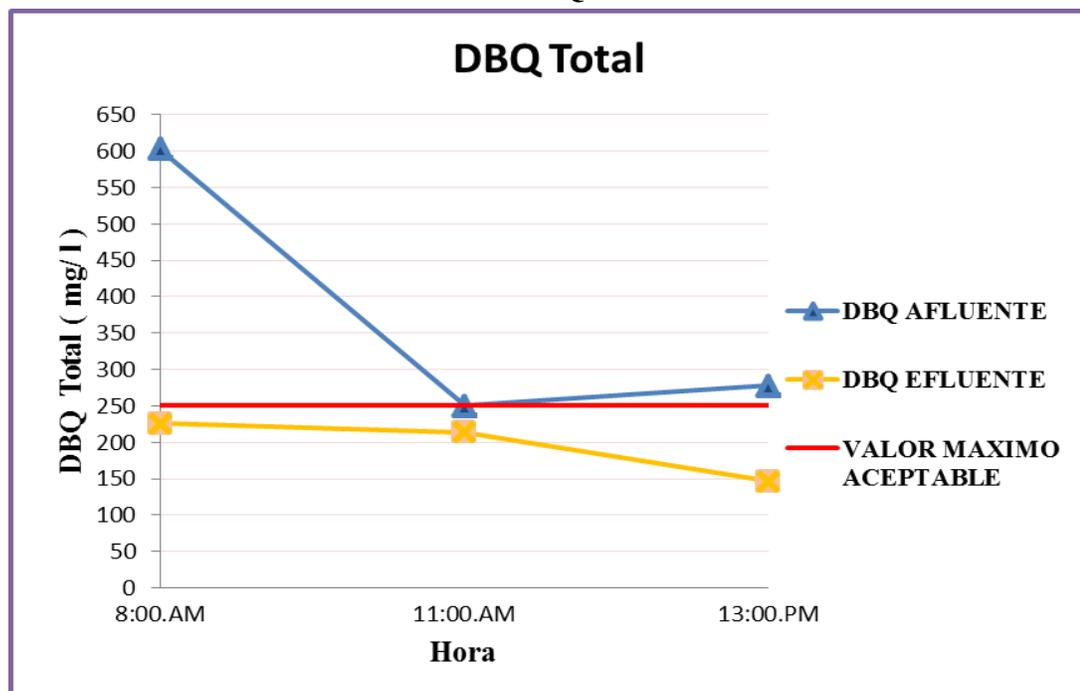
## Grafica de los resultados de la caracterización del agua residual

Grafica 5. DBO5 TOTAL



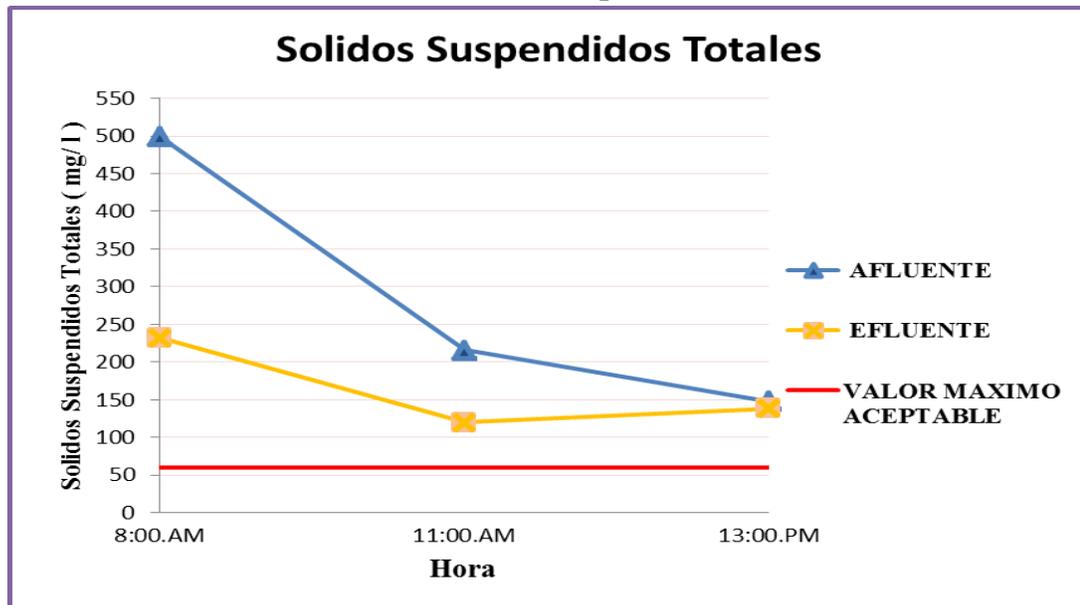
Fuente: Elaboración propia.

Grafica 6. DQO TOTAL



Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 7. Solidos Suspendidos Totales**



Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas se representan los valores física-químicas de DBO, DQO, y SST del afluente y efluente y valores máximos aceptables según la ley de medio ambiente N° 1333.

La variación de DBO y DQO durante las horas del día son afectados en función del caudal ya que se define como la cantidad de contaminación que se genera en un determinado volumen de agua residual, esta carga orgánica se da en el producto de la cantidad de concentración de caudal.

Los valores de los sólidos total suspendidos (SST) se evidencia que la cantidad que ingreso a la planta de tratamiento fue mayor que la que salió, lo cual nos indica la acumulación de lodos en las unidades de tratamiento y alta concentración de los sólidos suspendidos en el efluente de la PTAR indica la presencia de biomasa algal en el líquido tratado.

### 7.3. Característica de microbiología del afluente y efluente de los componentes de la PTAR

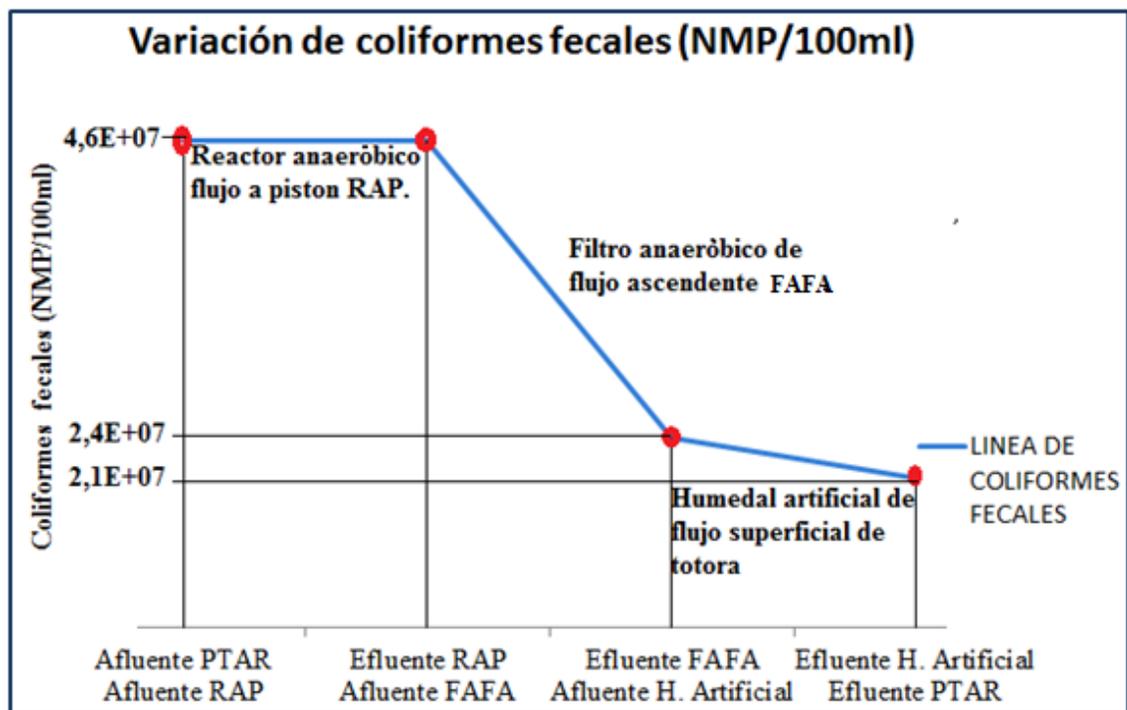
De acuerdo a los informes suministrados por el laboratorio de “COSSALT-LTDA”, del parámetro de coliformes fecales en el afluente y efluente de los componentes de la PTAR, se realiza a continuación un análisis de los resultados obtenidos, en comparación con los valores máximos aceptados de acuerdo a la Ley Medio Ambiente N° 1333.

**Tabla 25. Resultados del laboratorio de coliformes fecales**

Descripción	Unidad	Afluente PTAR	Efluente RAP	Efluente FAFA	Efluente PTAR
Coliformes fecales	NMP/100	4,6E+07	4,6E+07	2,4E+07	2,1E+07

Fuente: Elaboración propia

**Grafica 8. Coliformes fecales**



Analizando los resultados de la tabla y la gráfica de coliformes fecales, se verifica que los valores arrojados del efluente de la PTAR, son mayores a los que nos indica la Ley de medio ambiente N° 1333.

Se puede visualizar en la gráfica la variación de los valores de coliformes fecales en los componentes de la PTAR, En el filtro anaeróbico de flujo ascendente FAFA se verifica que es el único componente que está tratando el agua residual en 54,35%, y los demás componentes no están funcionando adecuadamente como se mostró en las ilustraciones del capítulo del diagnóstico de cada componente.

#### 7.4. Análisis comparativos de los resultados obtenidos con los valores máximos aceptables de acuerdo a normativa .ley 1333 de medio ambiente.

**Tabla 26. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de las aguas residuales**

Descripción	Unidad	Afluente	Efluente	% De remoción	Valores máximos aceptables	Cumple
DBO5 total	Mg/L	127,67	60,67	52,47 %	80	Si
DQO total	Mg/L	377	195,33	48,19 %	250	Si
Solidos totales suspendidos	Mg/L	288	163,33	43,29 %	60	NO
pH		8,04	7,33	-	6,50- 8,50	Si
Grasas y aceites	Mg/L	0,03	< 0,01	-	< 10	Si
Coliformes fecales	NMP/ 100 ml	4,6E+07	2,1E+7	54,35%	< 1000	NO

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede identificar en la tabla 26, el sistema de tratamiento no se encuentra funcionando adecuadamente ya que los porcentajes de remoción están por debajo de los valores esperados, según el tratamiento de un conjunto de componentes que debería alcanzar un valor en porcentaje de remoción mayor al 80%.

De acuerdo a los datos obtenidos del efluente promediando los mismos y comparándolos con los valores máximos aceptables de los parámetros de DQO, DBO y grasas y aceites de la ley N° 1333 Medio Ambiente se puede afirmar que los valores se encuentran dentro del rango admisible. A excepto de SST, que se encuentran fuera del rango de acuerdo a normativa.

Se identificó que la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento no es el correcto, no se realiza medidas correctivas o no se dio parte a la entidad a cargo de manera oportuna para atender las fallas que se identifican, constancia de ello es el resultado que se obtiene de cómo está operando algunos componentes como se puede evidenciar en las anteriores ilustraciones del diagnóstico de la planta de tratamiento actual.

### 7.5. La relación DBO5/DQO

La relación DBO5/DQO indica la biodegradabilidad de la materia contaminante de las aguas residuales y sirve para definir el tipo de tratamiento que se le puede dar a las aguas residuales.

Estas relaciones actúan como indicadores en el proceso de tratamiento, permiten identificar la capacidad de degradación biológica que tiene las aguas residuales en la planta de tratamiento.

De acuerdo a los valores medios de los parámetros analizados, puede deducirse lo siguiente

DBO <sub>5</sub> Mes	60,67	mg/L
DQO Mes	195,33	mg/L
DBO <sub>5</sub> /DBQ	0,31	

De acuerdo a la recomendación de la bibliografía en cuanto al tratamiento de aguas residuales que dice: si la relación DQO/DBO  $0.2 < 0.31 < 0.4$  se corresponden aguas que provienen de uso doméstico e industrial. Y son aguas Biodegradables.

### 7.6. Análisis del cuerpo receptor

Con los resultados del informe de laboratorio realizado y suministrados por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), se realizó un análisis con los valores máximos aceptables de acuerdo a la Ley Medio Ambiente N° 1333. Clasificación de los cuerpos de aguas según su aptitud.

**Tabla 27. Características fisicoquímicas del cuerpo receptor río Camacho**

Descripción	Unidad	Resultado de laboratorio	Clase "B" Cuerpo receptor	Cumple
DBO5 total	Mg/L	4	< 5	Si
DQO total	Mg/L	9	< 10	Si
Solidos totales suspendidos	Mg/L	8	< 30	Si
pH		9,18	6,0 a 9.,0	Si
Grasas y aceites	Mg/L	< 0,01	Ausente	Si

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de laboratorio de las muestras de agua del cuerpo receptor río Camacho y comparándolos con los valores de clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso, establecidos según la ley N° 1333 Medio Ambiente se puede afirmar que los valores se encuentran dentro del rango admisibles establecidos por la normativa para una un cuerpo receptor de clase B.

**Tabla 28. Análisis característico fisicoquímica del efluente y cuerpo receptor**

Descripción	Unidad	Resultado de laboratorio efluente	Clase "B" Cuerpo receptor	Cumple
DBO5 total	Mg/L	60,67	< 5	NO
DQO total	Mg/L	195,33	< 10	NO
Solidos totales suspendidos	Mg/L	163,33	< 30	NO
pH		7,33	6,0 a 9.,0	Si
Grasas y aceites	Mg/L	< 0,01	Ausente	NO
Coliformes fecales	NMP/100ml	2,1E+07	< 1000	NO

Fuente: Elaboración propia.

Ya verificado que el cuerpo receptor río Camacho corresponde a un cuerpo receptor de clase B, comparando con los valores físico-químicas del efluente de la planta de tratamiento se llega a la conclusión que los valores del efluente son mucho mayores, lo cual hay evidencia que se está contaminando las aguas del río Camacho.

## **CAPÍTULO XIII**

### **IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS EN PTAR**

#### **8.1. Descripción de los problemas identificado**

Se describen a continuación los problemas encontrados en la PTAR actual:

##### **8.1.1. Institución administradora de la PTAR**

El Gobierno Autónomo Municipal de Uriondo es la institución encargada de administrar la PTAR. A la fecha, no existe registros documentarios en referencia a su funcionamiento, calidad, cantidad de aguas residuales tratadas en la PTAR, no cuenta con una manual de descripción de funciones administrativas, solo cuenta con la contratación de una persona para operación del sistema, Existe una falta de presupuestó de recursos económicos y a esto se suma que los usuarios no cancelan una tarifa por el servicio de alcantarillado sanitario para poder cubrir el 100% de la operación y mantenimiento de la PTAR.

Las operación y mantenimiento es uno de los principales problemas identificados básicamente están asociadas a la experiencia empírica de un operador que realiza trabajos operativos de manera eventual, que es el responsable directo de la gestión operacional. En ese contexto, no se cuenta con un manual de operación y mantenimiento, equipo de protección personal, existen limitaciones en la disponibilidad de maquinaria y/o equipo de trabajo, por este conjunto de aspectos, la capacidad de gestión operativa y mantenimiento es irregular.

La falta de mantenimiento correctivo y preventivo es evidente por la presencia de fisuras, oxidación, colmatación y otros.

##### **8.1.2 Estructura de la PTAR**

Las más notorias evidencias encontradas en la parte estructural son pequeñas filtraciones en la tubería de llegada al canal de aproximación.

No cuenta con una caseta de operación y tampoco se tiene un laboratorio para hacer ensayos y análisis físicas químicos, y biológicas de las de aguas residuales.

El pretratamiento no cuenta con vertedero de excedencias (bypass general), ni con un medidor de caudal (canal parshall), las rejillas se encuentran oxidadas y fisuradas, el desarenador no tiene las mínimas dimensiones según la NB-688, le falta este una canal de desarenador paralelo para facilitar su operación.

El tratamiento primario es el RAP, no tiene válvulas de purga de lodos, sus tanques sedimentadores no cuenta con rejillas para retención de sedimentos flotantes, en la parte de los baffles los tubos de pvc de descenso de caudal de agua, se encuentran fisurados y presentan rupturas, las compuertas de inspecciones están rotas y en los últimos tanques están colmatados de sedimentos.

El tratamiento terciario es el humedal artificial de flujo superficial, el cuerpo de material filtrante grava no tiene una distribución uniforme en toda su área, se encuentra saturado funcionando como un canal de conducción.

### **8.1.3. Caudal de diseño de la PTAR**

El caudal medio actual que ingresa a la PATR es de 4,85 l/s y el caudal de diseño para el que fue proyectado hasta el año 2027 es de 4,53 l/s. es una apreciación clara que ya sobre paso el caudal de diseño. Esta situación puede generar que las estructuras presenten fallas y deterioros en tiempos considerablemente menores a los deseados.

### **8.1.4. Calidad de agua**

Las características físicas, químicas y microbiológicas de calidad del agua, del efluente son; (DBO= 60,67 mg/l, DQO=195,33mg/l, SST=163,33mg/l y coliformes fecales  $2,1E+07$  NMP/100ml) los valores que cumplen según la ley de medio ambiente 1333, son; DBO y DQO, los SST y coliformes fecales que no cumple, y los valores del efluente son mayores a los que presentan el cuerpo receptor, rio Camacho de clase "B"( DBO= 4 mg/l, DQO= 9 mg/l y SST= 8mg/l), significando que existe una contaminación al cuerpo del agua del rio.

### **8.1.5. Eficiencia de tratamiento**

Los porcentajes de remoción de manera general de la planta de tratamiento estudiada esta entre 43,29 y 54,35 % y comparando con los parámetros teóricos de diseño, y establecido por diversos autores los valores de porcentajes de remoción esperados son superiores al 80%.

### **8.1.6. Medio ambiente**

El mayor impacto al medio ambiente que se identificó es la contaminación principalmente al río Camacho, las aguas contaminadas y lodos expuestos al medio ambiente generan malos olores, crías de insectos ocasionando molestias para la población y afectando el desarrollo de la zona.

## **8.2. Descripción del sitio de operación y del operador**

### **a) Descripción del sitio de operación**

La planta de tratamiento no cuenta con una caseta de operación y tampoco el municipio cuenta con un laboratorio para hacer ensayos y análisis de las muestras de agua. Los estudios y resultados que se han obtenido han sido solicitados al Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

El operador de la planta no tiene una capacitación mínima para este tipo de trabajo, simplemente hace limpieza a las rejillas de forma irregular y al terreno en general, y se encarga de enterrar a los lodos en ocasiones, y a cortar las plantas de los humedales. Esto se puede verificar por las condiciones en que se encuentra la PTAR estando en malas condiciones por la falta de mantenimiento y operación que es el problema principal de la colmatación, obstrucciones, deterioro de la estructura y un deficiente funcionamiento que presenta.

### **b) Operación y monitoreo**

No se tiene un manual de operación de la planta que estipule la frecuencia con la que se deben hacer los mantenimientos, operación y monitoreo de cada estructura.

También se pudo evidenciar que no existen controles o formularios de datos de información de la planta, esto porque no se lleva un registro de cómo funciona la planta, y es claro que la operación de los sistemas de tratamiento no están en óptimas condiciones.

## CAPÍTULO IX

### ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En la elaboración del presente trabajo se identificó que la planta de tratamiento de aguas residuales existente tiene daños en sus componentes, elementos faltantes, fallencias en operación y mantenimiento, falta de control de calidad y otros aspectos administrativos, que hacen, que la planta no funcione correctamente.

Se proponen alternativas de soluciones para garantizar la calidad del efluente, caudales proyectados y un alto porcentaje de remoción como indica la normativa ambiental.

#### **9.1. Análisis de planta de tratamiento de aguas residuales**

Se plantean 3 alternativas que serán evaluadas y se presentaran para poder elegir la más adecuada.

#### **Análisis óptimo para la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales**

El año 2007 entro en operación la actual planta de tratamiento de aguas residuales y se encuentra a unos 30 m de áreas de cultivos agrícolas, aproximadamente a 300 m de la vivienda más próxima; además a 100 m del río Camacho curso receptor natural del agua tratada que sale de la PTAR.

El terreno es una donación por parte de Caritas al Gobierno Autónomo Municipal de Uriondo, un área de 0.44 ha (largo 85.50m y ancho de 50.50 m). Con la condicionante de la donación fue; que no se generen malos olores, ni proliferación de cría de mosquitos, ocasionando molestias para la población cercana al área y afectando al equilibrio del desarrollo natural. En lo posible la infraestructura está cubierta, no abierta a la superficie por lo cual el proyecto inicial antes de su construcción fue modificado el RAP con una losa alivianada para cumplir con las exigencias de la zona.

## 9.2. Desarrollo y descripción de alternativas de PTAR

Debido a que la PTAR proyectada para el Valle de Concepción (Uriondo) es pequeña ya sobre paso el caudal de diseño, para el dimensionamiento se ha definido una sola fase de construcción de alternativa de solución, dependiendo del caudal de proyecto hasta el horizonte de 20 años (año 2038). A continuación se describen los parámetros de diseño.

### 9.2.1. Memoria de cálculo del caudal de diseño

#### Parámetros Básicos de Diseño

Población inicial (2018)	2087 habitantes
Caudal inicial (2018)	4,85 l/s
Índice de crecimiento población anual(censo 2001-2012)	1,62 %
Longitud de red de alcantarillado	11426 m

#### Calculo de la dotación inicial (Do)

Al tener como dato el caudal inicial podemos calcular la dotación inicial.

$$Q_{medio} = Q_{caudal\ inicial} - Q_{inf} - Q_e - Q_{IPp}$$

$$Q_{medio} = 2,58\ l/s$$

$$Q_{medio} = \frac{\text{Dotación inicial} * \text{Población inicial}}{86400} * C$$

**Donde:**

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

$C$  = Coeficiente de retorno (0.80), adimensional

Población inicial =2087 habitantes.

$Do$  = Dotación inicial, en l/hab.día

$$Do = 134 \frac{l}{hab.\ día}$$

#### a) Periodo de diseño

Los periodos de diseños adoptados están basados en la Tabla 2.1 de la NB 688 de acuerdo a la Tabla

**Tabla 29. Periodos de diseño considerados**

Componentes del sistema de saneamiento	Periodo de diseño considerado en el PM (años)
Interceptores y emisarios	20
Colectores	20
PTAR	20
Equipos eléctricos	5 – 10
Equipos de combustión interna	5
Estación de bombeo	20
Edificios, laboratorios, etc.	20

Fuente: Elaboración en base a la Tabla 2.1 de la NB 688

Periodos de diseño considerado para PTAR es de 20 años.

### **b) Población del Proyecto**

#### **Método de proyección de la población**

La NB 688 y sus reglamentos indican en el capítulo 2 inciso 2.3.2, usar los métodos para poblaciones menores a 10.000 habitantes (aritmético, geométrico, exponencial y logístico ver tabla 2.2 de la NB 688).

El Método geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades.

#### **Aplicamos el método geométrico**

Donde:

P<sub>f</sub>: Población futura, en hab

$$P_f = P_0 \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

P<sub>0</sub>: Población inicial, en hab.

I: Índice de crecimiento poblacional anual, en porcentaje

t Número de años de estudio o período de diseño, en años

**Tabla 30. Población de futura**

Año(2018-2038)	Población inicial (hab.)	Índice de crecimiento poblacional( % )	Población futura (hab.)
2018-2023	2087	1,62	2261
2023-2028	2261	1,62	2450
2028-2033	2450	1,62	2655
2033-2038	2655	1,62	2879

Fuente: Elaboración propia

**c) Consumo de agua****Dotación futura de agua**

La dotación futura se debe estimar con un incremento anual entre el 0,5 % y el 2,0 % de la dotación media diaria, aplicando la fórmula del método geométrico:

Donde:

$$D_f = D_0 \left(1 + \frac{d}{100}\right)^t$$

Df: Dotación futura, en L/hab.día.

Do: Dotación inicial, en L/hab.día.

d: Variación anual de la dotación, en porcentaje

t :Número de años de estudio, en años

**Tabla 31. Dotacion futura**

Año (2018-2038)	Variación anual de dotación (%)	Dotación inicial (L/hab.dia)	Dotación futura (L/hab.dia)
2018-2023	1.5	134	144
2023-2028	1.5	144	155
2028-2033	1.5	155	167
2033-2038	1.5	167	180

Fuente: Elaboración propia.

**d) Coeficiente de retorno**

El coeficiente de retorno (C) según la NB688 en el capítulo 2.3.4; se deben utilizar valores entre el 60 % al 80 % de la dotación de agua potable.

. Se asume C=80% para condiciones de seguridad de mayo ración.

### e) Contribución de aguas residuales

**El caudal medio diario doméstico (Q<sub>med</sub>):** debe ser calculado utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{med} = \frac{Df \cdot Pf}{86400} * C$$

Donde:

Q<sub>med</sub>: Caudal medio diario doméstico, en L/s

C: Coeficiente de retorno, adimensional

Pf: Población futura, en hab.

Df: Consumo futuro de agua per cápita, en L/hab.día

### Caudales Industriales (Q<sub>i</sub>)

En la población del Valle de Concepción (Uriondo) no existen industrias registradas que aportan aguas residuales a la PTAR.

### Caudal de instituciones públicas y privadas, y comerciales (Q<sub>ipp+c</sub>).

El caudal de instituciones públicas y privadas, y comerciales (Q<sub>ipp+c</sub>) para la población del Valle de Concepción (Uriondo), se adopta como se muestra en la tabla 14 y 15 del capítulo VI

### Caudal de Infiltración (Q<sub>inf.</sub>)

De acuerdo a la Tabla 2.5 de la NB 688 en el capítulo 2.3.5.5 se adopta el caudal de infiltración lineal es igual a 0,50 l/s/km en tuberías de hormigón y de 0.05 lps/km en tuberías de PVC.

### Conexiones erradas (Q<sub>ce</sub>)

De acuerdo a la NB-688 en el capítulo 2.3.5.6; el caudal por conexiones erradas se debe ser de 5% al 10% del caudal máximo horario de aguas residuales domésticas.

Se asumirá el 5% del caudal máximo horario.

### f) Coeficiente de punta (M)

La NB 688 señala los métodos para calcular este coeficiente mencionando los métodos de: Harmon, Babbit, Flores, Popel y coeficientes K1 y K2.

Para el Valle de Concepción (Uriondo) se adoptó los valores de K1 = 1,5 y K2 = 2; entonces M = 3 adoptado.

### g) Caudales: medió diario (Qmd), máximo diario (Qmaxd) y máximo horario (Qmaxh.).

Aplicando la población, los coeficientes de retorno, de punta, etc., se calculó los caudales medio, máximo diario y máximo horario que se indica en la Tabla 4.11.

Año	Poblacion (hab.)	Dotacion (L/hab,día)	C	Qmed (l/s)	K1	Qmaxd. (l/s)	K2	Qmaxh (l/s)
2018	2087	134	0.80	2.58	1.50	3.87	2	7.74
2023	2261	144	0.80	3.01	1.50	4.52	2	9.03
2028	2450	155	0.80	3.52	1.50	5.28	2	10.56
2033	2655	167	0.80	4.11	1.50	6.17	2	12.33
2038	2879	180	0.80	4.72	1.50	7.07	2	14,15

### h) Cálculo de los caudales de diseño

El caudal de diseño (Qdiseño) y el caudal máximo (Qmax) están dado por:

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{md}} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ce}} + Q_{\text{ipp+c}}$$

**Donde:**

Qdiseño: Caudal de diseño, en L/s

Qmd: Caudal medio diario doméstico, en L/s

Qmaxh: Caudal máximo horario doméstico, en L/s

Qinf: Caudal por infiltración, en L/s

Qce: Caudal por conexiones erradas, en L/s

Qipp+c: Caudal de instituciones públicas, privadas y comerciales, en L/s.

Tabla 32. Caudales de diseño

Año	Caudales(l /s)					Caudal de diseño(L/s)
	Qmd	Qmaxh	Qinf	Qce	Qipp+c	
2018	2.58	7,74	0,57	0.38	1,31	4,85
2023	3.01	9,03	0,57	0.45	1,31	5,34
2028	3.52	10,56	0,57	0.52	1,31	5,92
2033	4.11	12,33	0,57	0.59	1,31	6,58
2038	4.72	14,15	0,57	0.63	1,31	7,23

Fuente: Elaboración propia

### 9.2.2.-Parámetros de diseño de alternativas de solución

En la siguiente tabla se presenta datos básicos necesarios para poder realizar el cálculo de dimensionamiento de una PTAR.

Tabla 33. Parámetros de diseño de alternativa de solución

Población proyecto (2038)	2879 habitantes
Periodo de proyecto	20 años(2018-2038)
Dotación futura	180 l/hab/día
Tipo de sistema	Gravedad
Cuerpo receptor	Rio Camacho
Clasificación del cuerpo receptor	clase "B"
Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente	127,67 mg/l
Demanda Química de Oxígeno del afluente	377 mg/l
Sólidos suspendidos totales del afluente	288 mg/l
Velocidad mínima	0.30 m/s
Velocidad máxima	3 m/s
Caudal medio de diseño	7,23 l/s
Caudal máximo	14,15 l/s
Temperatura media del mes más frío	12,50 °C

Fuente: Elaboración propia.

### 9.3. Descripción de los criterios para elegir las alternativas de solución

Para determinar el sistema más apto, se tomó como base principalmente la bibliografía (sistematización de PTAR en Bolivia (2010-2013) y la de recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia (Dr.-Ing. Wolfgang Wagner)).

#### Criterios técnicos

- **Espacio disponible:** La PTAR se encontraría ubicada en la misma parcela donde se encuentra la actual, en un área de 0,44 ha.
- **Operación y mantenimiento:** De acuerdo a su grado de complejidad.
- **Calidad de efluente:** Mayor porcentajes de remoción de parámetros de calidad físicos, química y biológica, de cada componente de la PTAR.

#### Criterios ambientales

- ✚ **Condiciones climáticas:** Adecuadas para los tipos de PTAR. Clima templado, con una temperatura promedio de 18,1 °C y mínima de 9 °C. Precipitación promedio 434.2 mm, por año. Altitud: 1750 m.
- ✚ **Efectos ambientales:** Mínimos efectos ambientales, principalmente el olor, cría de insectos, contaminación de calidad de las aguas del Río Camacho. (con preferencia se optara a elegir componentes que no tengan expuestas, las aguas residuales al medio ambiente).

### 9.4. Análisis de factibilidad técnica de los sistemas de tratamiento propuestos.

#### 9.4.1.-Alternativas para la selección del sistema de tratamiento

Para realizar el análisis de alternativas de solución y seleccionar el sistema de tratamiento de aguas residuales más adecuado para la población del valle de concepción, se procedió a trabajar con la siguiente metodología:

- 1.- Describir los sistemas de tratamiento disponibles y destacar sus ventajas y desventajas.
- 2.-Evaluar el porcentaje de eficiencia de remoción de cada componente.
- 3.-La disposición de terreno.

4.- Definir los criterios que deben considerarse para la selección del sistema más adecuado.

5.- Seleccionar la alternativa más viable.

Como se mencionó anteriormente, se presentan alternativas de solución para los siguientes parámetros de diseño como se muestra en la tabla 29, a continuación se describen las alternativas de tratamiento, para el caudal de diseño, indicando los procesos unitarios que integran el líneas de tratamiento de cada una de éstas.

### **9.5. Descripción de las 3 alternativas propuestas.**

Se analizan 3 alternativas de tratamiento para la PTAR, considerando que se plantea la alternativa de mejorar, ampliar la PTAR existente, y la de construir una nueva PTAR.

En todas las alternativas de tratamiento para las PTAR se consideró la inclusión de sistemas de pre-tratamiento con el propósito de garantizar la eliminación de sustancias contaminantes gruesas como basuras y arenas. La eliminación de estos materiales es necesaria para garantizar la operación adecuada de los equipos mecánicos e hidráulicos (conducciones y vertedores) en unidades de tratamiento posteriores.

Los porcentajes de eficiencia de remoción de los componentes de las 3 alternativas propuestas fueron recopilados de las diferentes bibliografías que se indican en la tabla 2.

#### **El pre tratamiento consistiría en los siguientes componentes:**

- ✓ Canal de entrada a la PTAR y bypass general,
- ✓ Desbaste de rejillas.
- ✓ Desarenador-desengrasador.
- ✓ Medición de caudal mediante un canal parshall

Las alternativas de tratamiento estudiadas para la PTAR del Valle de Concepción (Uriondo), son las siguientes:

### **Alternativa 1**

La primera alternativa de solución será ampliar la PTAR, existente con la construcción de un segundo módulo paralela a la misma.

**Línea de Agua:** con el siguiente:

- ✓ Pre tratamiento: Canal de entrada + rejas + desarenador + canal parshall.
- ✓ Tratamiento Primario (Biológico): Reactor RAP (reactor anaeróbico flujo a pistón).
- ✓ Tratamiento Secundario: Filtro FAFA (filtro anaerobio de flujo ascendente).
- ✓ Tratamiento Terciario: Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora.

**Línea de Fangos:** consistente en los siguientes tratamientos obteniendo un fango estabilizado y con un mínimo de 30% de sólidos secos.

- Tratamiento de lodos (lechos de secado estabilizados con cal).

### **Alternativa 2**

**Línea de Agua:** con el siguiente

- Pre tratamiento: Canal de entrada + rejas + desarenador + canal parshall.
- Tratamiento Primario: Tanques Imhoff.
- Tratamiento Secundario: Filtro Percolador (soporte: piedra)
- Tratamiento Terciario: Desinfección (cloración)

**Línea de Fangos,** consistente en los siguientes tratamientos obteniendo un fango estabilizado y con un mínimo de 30% de sólidos secos.

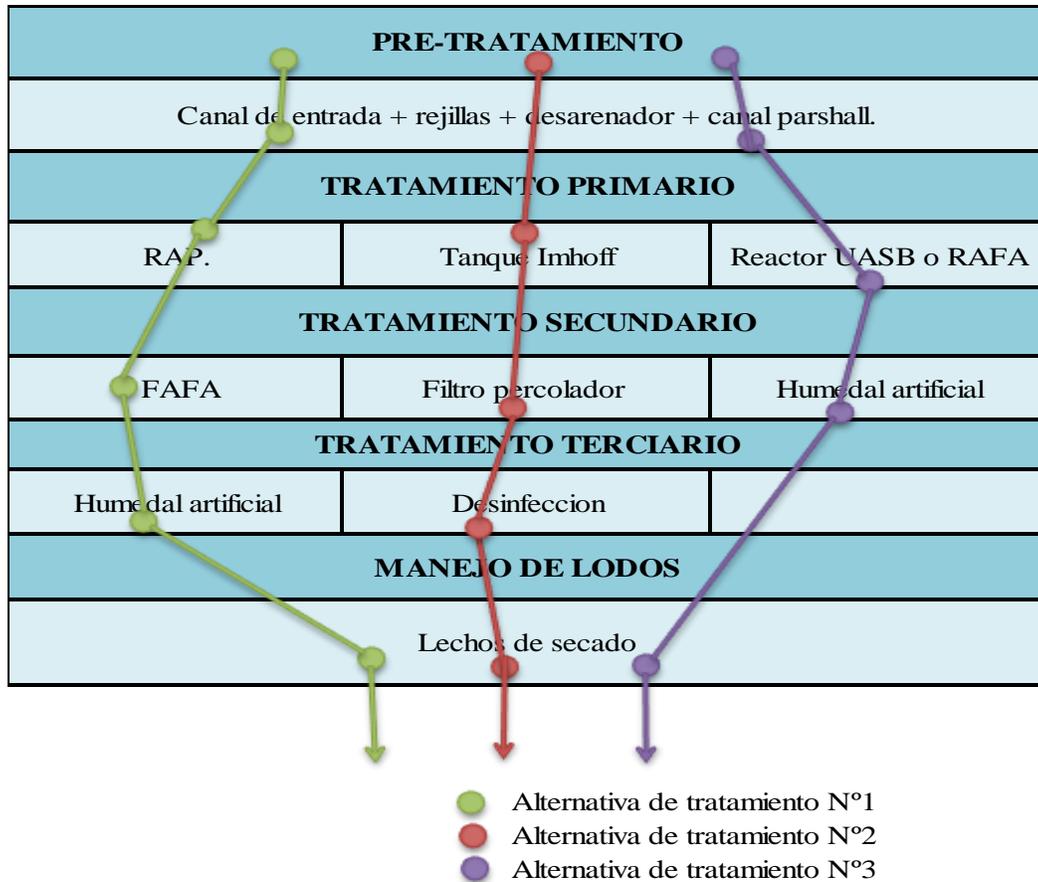
- Tratamiento de lodos (lechos de secado estabilizados con cal).

**Alternativa 3**

**Línea de Agua:** Con el siguiente:

- Pre tratamiento: Canal de entrada + rejillas + desarenador + canal parshall.
- Tratamiento Biológico: reactor UASB o RAFA
- Tratamiento Secundario: Humedal artificial de flujo horizontal sub superficial de totora.
- Línea de Fangos, consistente en los siguientes tratamientos obteniendo un fango estabilizado y con un mínimo de 30% de sólidos secos.
- Tratamiento de lodos (lechos de secado estabilizados con cal).

**Figura 25. Diagrama de flujo de Alternativas PTAR.**



Fuente: Elaboración propia.

Las alternativas identificadas obedecen al tratamiento con sistemas para obtener un efluente con calidad que cumpla con la ley de medio ambiente N°1333: para un cuerpo receptor de clase “B” (DBO5 < 5 mg/l, DQO < 10 mg/l, SST < 30 mg/l.).

### ALTERNATIVA 1

El porcentaje de eficiencia de remoción de las líneas de tratamiento de las aguas residuales propuesta para la alternativa 1.

**Tabla 34. Porcentaje de remoción de la alternativa 1**

Unidad de tratamiento	Parámetro	% Remoción	Parámetro de afluente (mg/l)	Parámetro de efluente (mg/l)
Reactor anaeróbico de flujo a pistón (RAP)	DBO5	65	127,67	44,68
	DQO	60	377	150,80
	SST	60	288	115,20
Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)	DBO5	63	44.68	16,53
	DQO	62	150.80	57,30
	SST	74	115.20	29,95
Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora	DBO5	85	16.53	2,50
	DQO	80	57.30	11,50
	SST	80	29.95	6,00
Parámetros teóricos del efluente de la PTAR para la alternativa 1			DBO5	2,50
			DQO	11,50
			SST	6,00

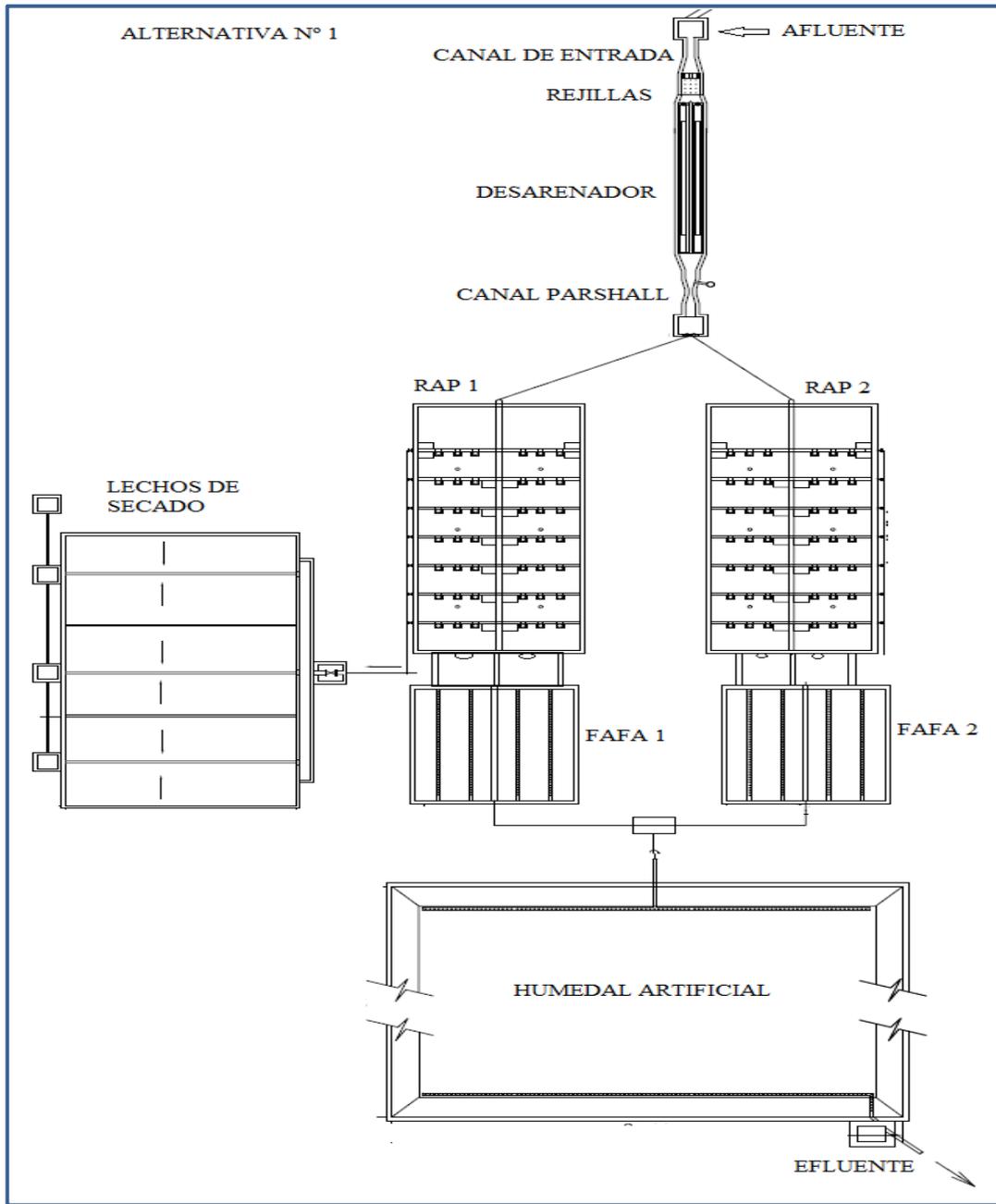
Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes de remoción que se puede alcanzar con la implementación de este sistema de tratamiento, es como se muestra al final de la tabla, sus valores son aproximadamente iguales a los valores propuestos por la ley de medio ambiente N°

1333, para un efluente que tenga como cuerpo receptor de clase “B” como es en nuestro caso.

Al implementar este sistema según la teoría los porcentajes de remoción pueden ser mejorados con una buena operación y mantenimiento del sistema.

**Figura 26. Alternativa 1 para la PTAR.**



Fuente: Elaboración propia.

### Ventajas y desventajas de la PTAR de la alternativa 1

Para poder realizar un mejor análisis de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en la tabla se muestra las ventajas y desventajas de los procesos unitarios de tratamiento detallados.

Reactor anaeróbico de flujo a pistón (RAP)	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe problemas de olores ni vectores.</li> <li>- Su puesta en marcha es muy fácil y rápida.</li> <li>-Alto porcentaje de eficiencia de remoción.</li> <li>- Costes de operación menores.</li> </ul>
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Puede colmatarse sin un mantenimiento adecuado.</li> <li>- Riesgo de taponamiento en los pistones.</li> <li>-Necesita una carga orgánica mínima para evitar que la biomasa muera.</li> </ul>
Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta eficiencia en remoción de materia orgánica.</li> <li>- Fácil de instalar y bajo consumo de energía.</li> <li>- Poca producción de lodos.</li> <li>- Utilización del biogás para energía.</li> </ul>
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pueden desestabilizarse y se requiere personal especializado para reanudar el proceso.</li> <li>-Puede requerir de otros procesos para pulir el efluente.</li> </ul>
Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bajo costo de operación y mantenimiento.</li> <li>-No requiere de energía.</li> <li>-No requieren de personal altamente calificado para su operación.</li> <li>-Proporcionan un tratamiento efectivo y confiable.</li> </ul>
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja eficiencia en su funcionamiento durante invierno.</li> <li>-Requiere de plantas que se adapten-al líquido.</li> <li>-La operación puede requerir dos a tres periodos de crecimientos de totora para</li> </ul>

		eficiencias óptimas. -Requiere superficie extensa, buena operación previa para evitar saturar el lecho filtrante (grava).
--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

## ALTERNATIVA 2

El porcentaje de eficiencia de remoción de las líneas de tratamiento de las aguas residuales propuesta para la alternativa 2.

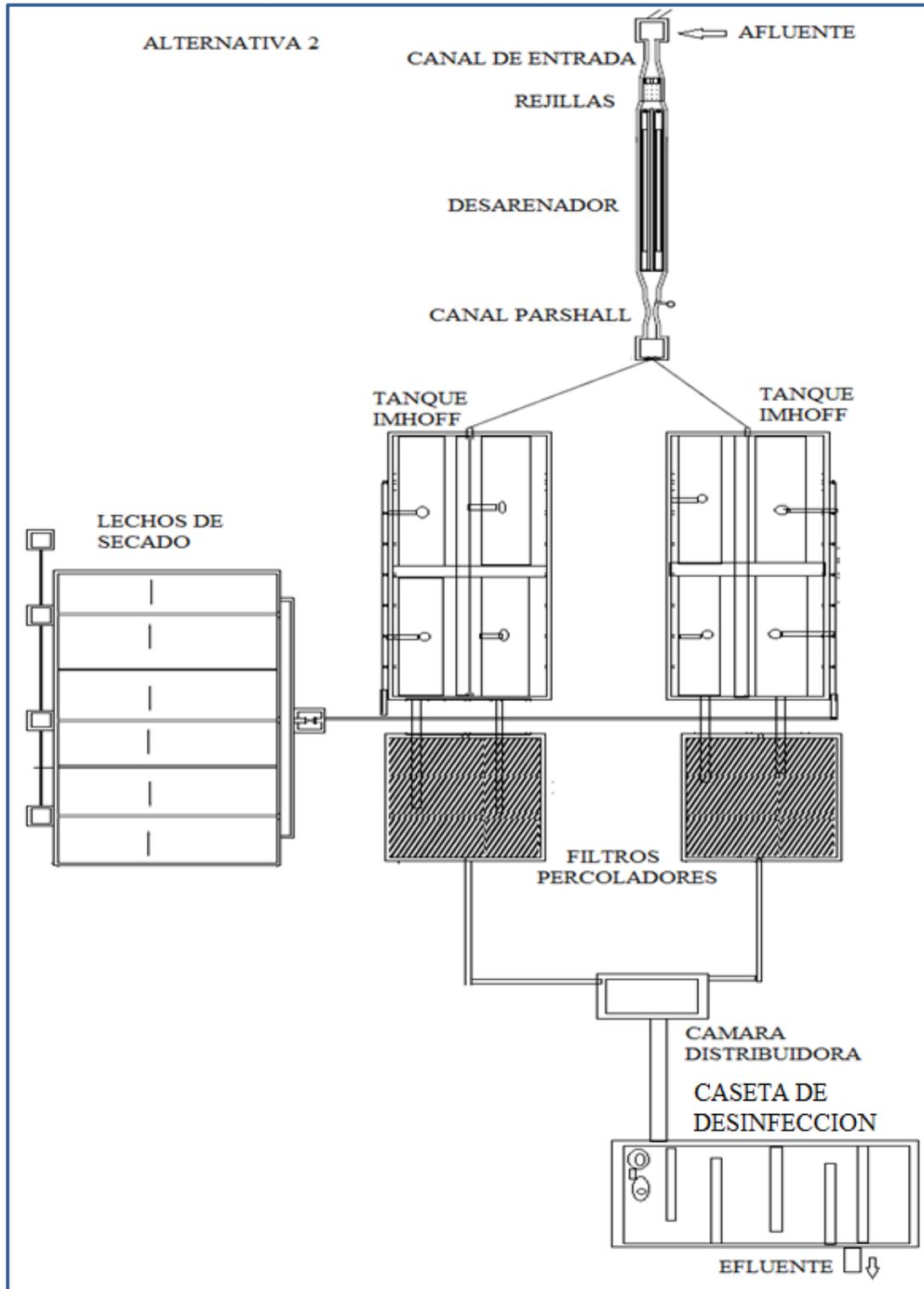
**Tabla 35. Porcentaje de remoción de la alternativa 2**

Unidad de tratamiento	Parametro	% Remocion	Parametro de afluente (mg/l)	Parametro de efluente (mg/l)
Rejillas	-	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	-	Desp.	Desp.	Desp.
Tanques Imhoff	DBO5	35	127,67	82.98
	DQO	50	377	188.50
	SST	60	288	115.20
Filtro Percolador (soporte: piedra)	DBO5	65	82.98	29.04
	DQO	60	188.50	75.40
	SST	60	115.20	46.08
Desinfeccion de cloración	-	Desp.	Desp.	Desp.
Parametros teóricos del efluente de la PTAR para la alternativa 2			DBO5	29.04
			DQO	75.40
			SST	46.08

Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes teóricos de remoción que se puede alcanzar con el planteamiento de este sistema, son los valores que se presentan al final de la tabla, se puede evidenciar que son mayores a los que, recomienda la ley de medio ambiente N°1333, para descarga de efluente de PTAR a cuerpo receptores de clase "B". Se puede concluir que este sistema no será acto para su implementación.

Figura 27. Alternativa 2 para la PTAR.



Fuente: Elaboración propia.

### Ventajas y desventajas de la PTAR de la alternativa 2

Para poder realizar un mejor análisis de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en la tabla se muestra las ventajas y desventajas de los procesos unitarios de tratamiento detallados.

Tanques Imhoff	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El lodo generado tiene un menor contenido de humedad y puede ser dispuesto en lechos desecado</li> <li>-El tiempo de retención es relativamente bajo</li> <li>-Bajo costo de construcción y operación</li> <li>-Su operación y mantenimiento son sencillos</li> </ul>
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grandes profundidades.</li> <li>- Difícil construcción en suelos fluidos o roca</li> <li>- Puede presentar olores ofensivos.</li> <li>- El efluente líquido requiere de pos-tratamiento.</li> <li>-La cámara de sedimentación tiende a obstruirse fácilmente.</li> <li>-Muy poca o ninguna remoción de patógenos.</li> </ul>
Filtro Percolador (soporte: piedra)	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Proceso biológico sencillo y confiable</li> <li>-Eficaz para el tratamiento de alta concentraciones de sustancias orgánicas.</li> <li>-Reduce rápidamente la DBO soluble.</li> </ul>
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Problema de vectores y olores.</li> <li>-Requiere constante atención del operador.</li> <li>-Requiere tiempo para generar bacterias acostumbradas al medio.</li> <li>-El mantenimiento es dificultoso.</li> <li>-Poca reducción de patógenos.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

## ALTERNATIVA 3

El porcentaje de eficiencia de remoción de las líneas de tratamiento de las aguas residuales propuesta para la alternativa 3.

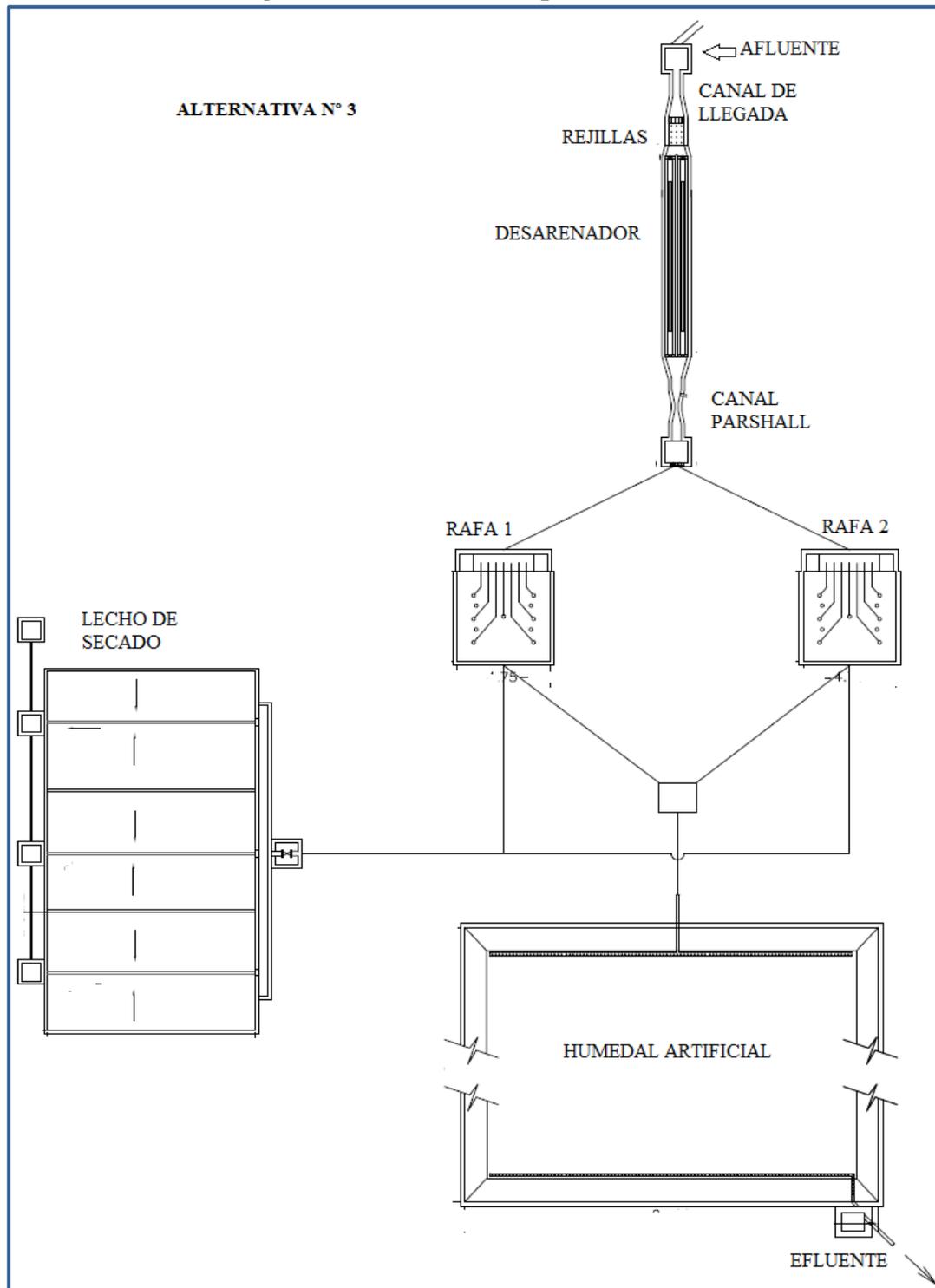
**Tabla 36. Porcentaje de remoción de la alternativa 3**

Unidad de tratamiento	Parametro	% Remocion	Parametro de afluente (mg/l)	Parametro de efluente (mg/l)
Rejillas	-	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	-	Desp.	Desp.	Desp.
Reactor UASB o RAFA	DBO5	65	127,67	44.68
	DQO	60	377	150.80
	SST	60	288	115.20
Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora	DBO5	85	44.68	6.70
	DQO	80	150.80	30.16
	SST	80	115.20	23.04
Parametros teóricos del efluente de la PTAR para la alternativa 3			DBO5	6.70
			DQO	30.16
			SST	23.04

Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes teóricos de remoción que se puede alcanzar con el planteamiento de este sistema como alternativa 3, son los valores que se presentan al final de la tabla, se puede evidenciar que son mayores a los que, recomienda la ley de medio ambiente N°1333, para descarga de efluente de PTAR a cuerpo receptores de clase “B”. Se puede concluir que este sistema no cumple con los valores recomendables para su implementación.

**Figura 28. Alternativa 3 para la PTAR.**



Fuente: Elaboración propia.

**Ventajas y desventajas de la PTAR de la alternativa 3**

Para poder realizar un mejor análisis de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en la tabla se muestra las ventajas y desventajas de los procesos unitarios de tratamiento detallados.

Reactor UASB o RAFA	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bajos requerimientos energéticos.</li> <li>-Simple y económico.</li> <li>-Producción de biogás que puede ser utilizado como Energía.</li> <li>-Menor producción de lodo por la baja tasa de crecimiento de microorganismos.</li> <li>-No requiere superficies extensas, se pueden construir bajo tierra.</li> </ul>
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La etapa inicial puede ser crítica durante la granulación de la biomasa.</li> <li>- Requiere personal capacitado para la construcción, operación y mantenimiento.</li> <li>- Posibilidad de olores ofensivos.</li> <li>-Necesita una carga orgánica mínima para evitar que la biomasa muera.</li> </ul>
Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bajo costo de operación y mantenimiento.</li> <li>-No requiere de energía.</li> <li>-No requieren de personal altamente calificado para su operación.</li> <li>-Proporcionan un tratamiento efectivo y confiable.</li> </ul>
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja eficiencia en su funcionamiento durante invierno.</li> <li>-La operación puede requerir dos a tres periodos de crecimientos de totora para eficiencias óptimas.</li> <li>-Requiere superficie extensa, buena operación previa para evitar saturar el lecho filtrante (grava).</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### 9.6. Selección y justificación de la alternativa seleccionada para el diseño.

Como resultado del análisis de alternativas de tratamiento de las aguas residuales propuestas para su implementación, podemos elegir en base a los siguientes factores:

- La confiabilidad en cuanto al cumplimiento de la normatividad vigente es factor importante en la toma de decisiones de la alternativa más favorable que cumpla con los componentes recomendables.
- Las ventajas y desventajas de la alternativa más favorables es la que presenta la alternativa 1. En cuanto en su construcción, puesta en marcha y su funcionamiento todo por gravedad.
- La disposición de terreno con la que se cuenta en la zona del proyecto, es para implantar componentes de menor área de acuerdo a bibliografía los componentes son de la alternativa 1.
- La facilidad de operación y mantenimiento más favorables es la alternativa 1, no necesita energía eléctrica, no necesita personal capacitado para garantizar su funcionamiento.
- Características de la zona del proyecto es una zona agropecuaria, la alternativa 1 es la más adecuada por que no se generaría olores y ni tampoco a la cría a mosquitos y otros.

Las alternativas identificadas con mayor porcentaje de remoción y que más se acerca para un efluente con parámetros de calidad que cumpla con la ley de medio ambiente N°1333: para un cuerpo receptor de clase “B” ( $DBO_5 < 5 \text{ mg/l}$ ,  $DQO < 10 \text{ mg/l}$ ,  $SST < 30 \text{ mg/l}$ ). Es la alternativa 1. Como se muestra en la siguiente tabla que tiene el mayor porcentaje de eficiencia de remoción.

**Tabla 37. Resumen de porcentaje de remoción de las 3 alternativas propuestas**

PARAMETROS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
DBO5 (mg/l)	2,50	29,04	6,70
DQO (mg/l)	11,50	75,40	30,16
SST (mg/l)	6,00	46,08	23,04

Fuente: Elaboración propia

Los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento de las alternativas propuestas son similares ver ANEXO 1, Según la bibliografía; Dr.-Ing. Wolfgang Wagner “Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia” (2008).

El factor costos de las alternativas propuestas no se analizan, porque se llega a evidenciar que con la primera alternativa, se cumple con los valores de calidad del agua tratada recomendables por las normativas vigentes, para descargas de efluentes de PTAR a cuerpos receptores de clase “B”

Por lo anterior, se concluye que la alternativa más adecuada para implementarse, en el diseño de la planta de tratamiento es la ampliación de la misma, con la construcción de un segundo módulo paralela igual al ya existente: La alternativa elegida es la Alternativa 1.

## 9.7. Diseño de la alternativa seleccionada

### 9.7.1 Pretratamiento

Gasto Medio: 7,23 l/s

Gasto Máximo: 14,15 l/s

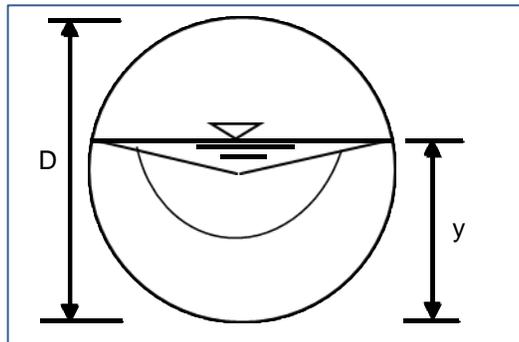
### CONDUCTO TRIBUTARIO (Tubo de PVC)

$S_o = 0,010$  m/m pendiente del conducto de llegada a la PTAR.

$n = 0,013$  (PVC alcantarillado)

$D = 200$  mm

$$Q_{\max .inst.} = \frac{1}{n} A * Rh^{2/3} S_o^{1/2}$$



Según Norma NB-688 el funcionamiento para los tubos en alcantarillado no debe ser mayor al 75% del diámetro del tubo, pero en este caso se asumirá como más desfavorable calcular a tubo lleno.

$$Q_{\max.\text{instantaneo}} = 0.0328 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$V = 1.04 \text{ m/s}$$

### **CANAL DE APROXIMACIÓN**

Base asumida = 40 cm

$$Q_{\max} = 0.01415 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$Q_{\max} = \frac{1}{n} (b * Y) \left( \frac{b * Y}{2 * Y + b} \right)^{2/3} S_o^{1/2}$$

$S_o = 0.003 \text{ m/m}$  pendiente del canal

$n = 0.018$  [Hormigón]

$$y = 0.089 \text{ m}$$

$$V = 0.45 \text{ m/s}$$

### **VERTEDERO EXCEDENCIAS (BY-PASS)**

El diseño hidráulico del vertedero de excedencias:

$$Q_{\max.\text{instantaneo}} = 0.0328 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$Q_{\max} = 0.01415 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$Q_v = 0.01865 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

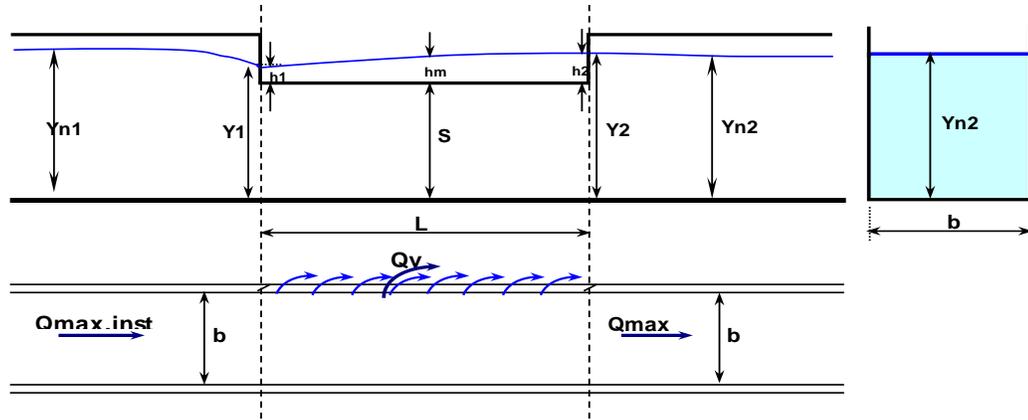
$S_o = 0.003 \text{ m/m}$  pendiente del canal

$n = 0.018$  [Hormigón]

$C_d =$  coeficiente de descarga de la cresta;  $C = 1.9$  para cresta de borde rectangular (S.pronar)

$L =$  Longitud de la cresta del vertedero. Asumido  $L = 1. \text{ m}$

$S =$  altura de la cresta [m]



1. Se determina el tirante normal aguas arriba y abajo del vertedero  $Y_{n1}$  y  $Y_{n2}$ .

$$Q_{max.instantaneo} = 0,0328 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$b = 0,40 \text{ m.}$$

$$Y_{n1} = 0,142 \text{ m}$$

$$V_{n1} = 0,579 \text{ m/s}$$

$$Q_{max} = 0,01415 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$b = 0,40 \text{ m.}$$

$$Y_{n2} = 0,079 \text{ m}$$

$$V_{n2} = 0,45 \text{ m/s}$$

2. Se verifica el estado del flujo antes del vertedero debe cumplir.

$$y_{n1} > \sqrt[3]{\frac{Q_{max.inst.}^2}{b^2 \cdot g}}$$

$$0,142 \text{ m} > 0,088 \text{ m} \text{ ok cumple.}$$

3. Se verifica el régimen después del vertedero debe cumplir.

$$y_{n2} > \sqrt[3]{\frac{(Q_{max.})^2}{b^2 \cdot g}}$$

$$0,079 \text{ m} > 0,0503 \text{ m} \text{ ok cumple.}$$

4. Se calcula el tirante.  $Y_1$  = tirante abatido al inicio del vertedero [m]

$$\frac{Vn1^2}{2g} + Y1 = \frac{Vn2^2}{2g} + Yn2$$

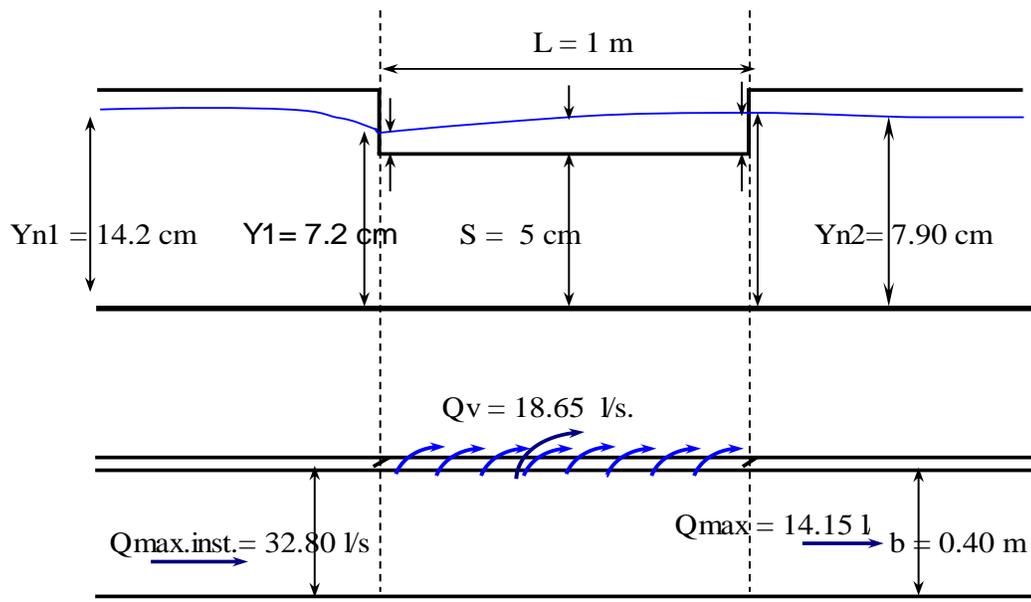
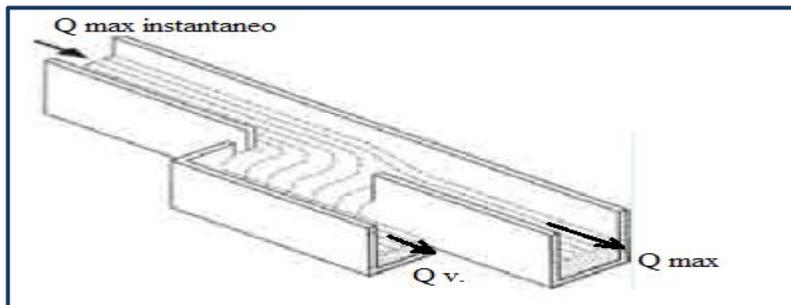
$$Y1 = 0,072 \text{ m}$$

5. Se calcula la altura de la cresta del vertedero S.

$$y_1 - s = \left[ \frac{5}{2} \cdot \frac{Q_v}{c_d \cdot L} \cdot \frac{1 - \frac{y_1 - s}{y_{n2} - s}}{1 - \left( \frac{y_1 - s}{y_{n2} - s} \right)^{5/2}} \right]^{2/3}$$

$$S = 0.05 \text{ m}$$

Vista del vertedero de excedencias



Fuente: Elaboración propia.

## CÁLCULO DE REJILLAS

Datos iniciales

Base de canal	B=	40	cm
Separación entre barras:	s =	2	cm
Espesor barrotos redondos:	e =	10	mm
Ángulo que forma la reja con la horizontal:	$\alpha =$	45	°

$b$  = área neta

$B = b + N^{\circ} \text{ barrotos} * \text{Espesor barrotos}$

$N^{\circ} \text{ barrotos} = N^{\circ} \text{ espacios} - 1$

$$N^{\circ} \text{ espacios} = \frac{b}{s}$$

Asumo  $b = 27 \text{ cm}$

$N^{\circ} \text{ espacios} = 13,5$  se asume  $N^{\circ} \text{ espacios} = 14$

$N^{\circ} \text{ barrotos} = 13$

$B = b + N^{\circ} \text{ barrotos} * \text{Espesor barrotos} = 27 \text{ cm} + 13 * 1 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$

$B = 40 \text{ cm}$  ok cumple

### Cálculo de las pérdidas de carga en la reja

$$h_r = \beta \cdot \left( \frac{s}{e} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2g} \text{Sen } \theta$$

Donde:

K: Factor que considera atascamiento

$\beta$ : Factor en función de la sección transversal de las barras (1.79 de tabla)

e: Espesor en la dirección del flujo de las barras (10 mm)

S: Separación entre las barras (2cm).

V: velocidad a través de la reja

$\theta$ : Ángulo de inclinación de la reja con respecto a la horizontal (45°)

Los valores más comunes que adopta el coeficiente ( $\beta$ ) que depende de la sección transversal de las barras, se reporta en la tabla.

Sección transversal de las barras	Valores de $\beta$
Rectangular y afiladas	2,48
Semicirculares aguas arriba	1,83
Circulares	1,79
Rectangulares con semicírculo delante y atrás	1,67
Aerodinámicas	0,76

Si  $b=0,27$  m,  $Y=0,11$  m,  $V = 0,47$  m/s

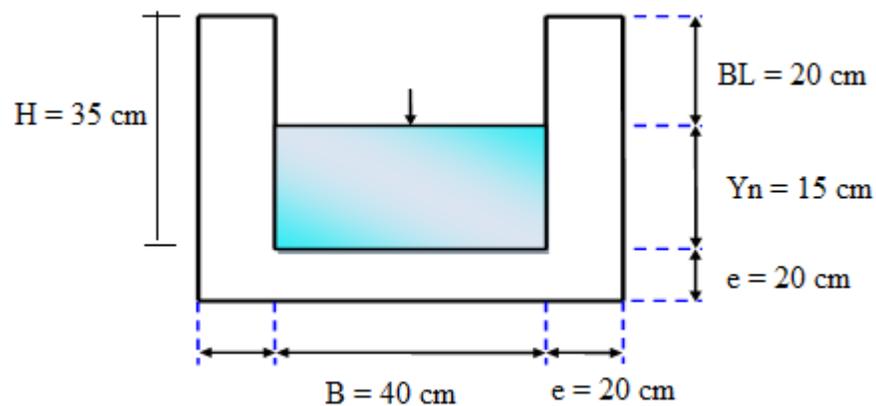
$$hr = 1.79 \cdot \left( \frac{0.02}{0.01} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{0.47^2}{2 * 9.81} \text{ Sen}45$$

$Hr = 0,036$  m

$Y_n = Y + hr$

$Y_n = 0,146$  m

Borde libre asumido = 20 cm



**Longitud de las rejillas ( $L_r$ )**

$L_r = (BL + Y_n) / \text{sen } 45^\circ$

**$L_r = 0,50$  m**

## Resumen

Base de canal	B	40	cm
Tirante	Yn	15	cm
Altura de canal	H	35	cm
Longitud de rejilla	Lr	50	cm
Ancho de rejilla	B	40	cm
Ángulo que forma la reja con la horizontal:	$\alpha$	45	°
Número de barrotes		13	
Número de espacios		14	

## CÁLCULO DE DESARENADOR

### DATOS:

Por factores operativos y de mantenimiento se dimensionara dos canales paralelos cada canal con el caudal máximo:

D= 0,2 mm Diámetro de la Partícula para arena

Q= 14,15 l/s Caudal maximo

n= 0,018 Rugosidad de Manning H°C°

So= 3 %o pendiente Entrada y Salida del canal

### CÁLCULO DE VELOCIDAD DE FLUJO

La velocidad en un desarenador se considera lenta cuando está comprendida entre 0,10 a 0,60 m/s

Esta velocidad considerada como valor límite puede ser comparada con la 'velocidad crítica' conocida en las teorías del acarreo o sea del flujo de sólidos en suspensión.

Según Camp, esta velocidad crítica es:

$$V_d = a\sqrt{d}$$

Donde:

Vd= velocidad de escurrimiento cm/s

d = 0.2 diámetro mm.

a= 36 constante en función al diámetro.

Diámetro D (mm)	a
$D < 0,1\text{mm}$	51
$0.1\text{mm} < D < 1\text{mm}$	44
$D > 1\text{mm}$	36

$$Vd = 36\sqrt{0.20}$$

$$Vd = 16,10 \text{ cm/s}$$

$$Vd = 0,161 \text{ m/s} \quad \text{velocidad de escurrimiento}$$

ANCHO DE CÁMARA (asumido)

$$B = 0.4 \text{ m}$$

Tomando en cuenta que:  $0.8 \leq \frac{H}{B} \leq 1$  relación  $H/B = 0,88$  OK!!! Cumple condición

ALTURA DE LA CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

$$H = \frac{Q}{v * B}$$

$$\text{Caudal de diseño: } Q = 0,01415 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Por lo tanto: } H = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Por lo que asumimos: } H = 0,35 \text{ m}$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

Velocidad de Sedimentación según Diámetro de la Partícula

D (mm)	Vs (cm/s)
0.05	0.178
0.1	0.692
0.15	1.56
0.2	2.16

Para:

$D = 0.2 \text{ mm}$  diámetro de la partícula

$$V_s = 2,160 \text{ cm/s}$$

$$V_s = 0,0216 \text{ m/s}$$

TIEMPO DE RETENCIÓN

$$T_s = \frac{H}{V_s}$$

$$H = 0,35 \text{ m}$$

$$T_s = 16,20 \text{ seg.}$$

#### LONGITUD DE LA CÁMARA

$$L = k * V_d * t_s$$

Donde:

L= Longitud de cámara (m)

k= Coeficiente de seguridad

k= es un coeficiente de seguridad usado en desarenadores de bajas velocidades para tomar en cuenta los efectos de la turbulencia y depende de la velocidad de escurrimiento de acuerdo a la siguiente tabla:

Velocidad de escurrimiento (m/s)	K
0,2	1,25
0,3	1,5
0,5	2

K= 1.25 (valor asumido de tabla)

$$L = 1.25 * 0,161 \text{ m/s} * 16.21 \text{ s}$$

$$L = 3,27 \text{ m}$$

Se asume constructivamente: L = 3,30 m

#### TRANSICIÓN DE ENTRADA Y SALIDA

$$L_T = \frac{B - b}{2 * \tan(12.5^\circ)}$$

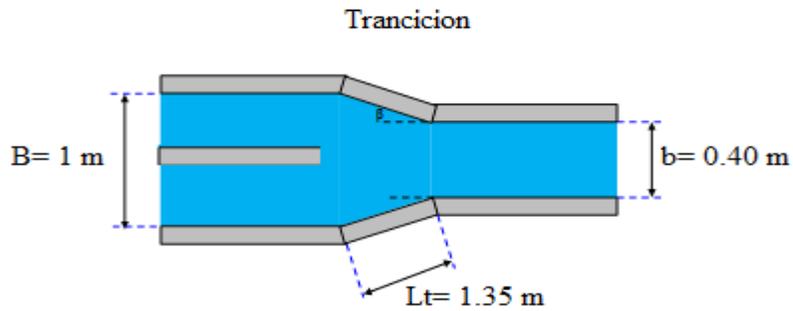
Donde:

LT: longitud de la transición m

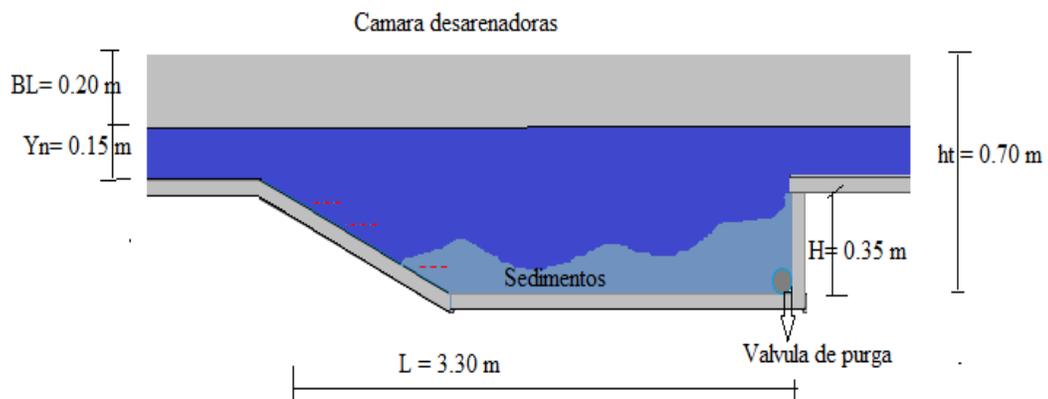
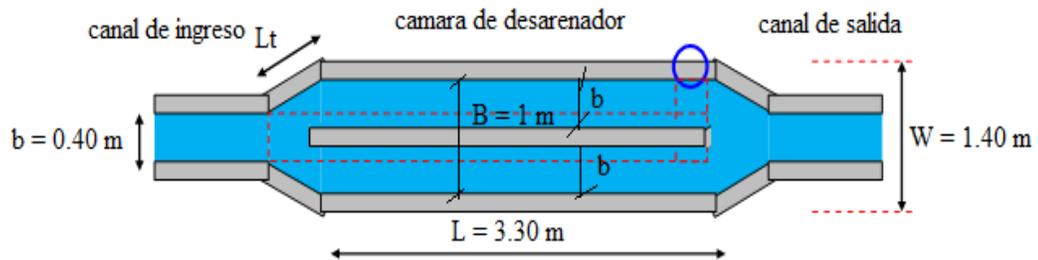
B: 1. m Espejo de agua en la cámara de sedimentación mas muro central (m)

b: 0,4 m Espejo de agua en el canal de entrada (m)

LT = 1,35 m



DIMENSIONAMIENTO FINAL:



Fuente: Elaboración propia.

**RESUMEN**

Largo de cámara:	<b>L =</b>	<b>3,30</b>	<b>m</b>
Números de cámaras		<b>2</b>	
Ancho de cámara:	<b>b =</b>	<b>0,40</b>	<b>m</b>
Ancho de cada canal:	<b>b =</b>	<b>0,40</b>	<b>m</b>
Muro central:	<b>mc =</b>	<b>0,20</b>	<b>m</b>
Ancho de las camaras+muro central:	<b>B=</b>	<b>1,00</b>	<b>m</b>
Ancho total	<b>W=</b>	<b>1,40</b>	<b>m</b>
Altura útil:	<b>H =</b>	<b>0,35</b>	<b>m</b>
Altura total:	<b>ht =</b>	<b>0,70</b>	<b>m</b>
Longitud de transición de entrada:	<b>L1 =</b>	<b>1,35</b>	<b>m</b>
Longitud de transición de salida:	<b>L2 =</b>	<b>1,35</b>	<b>m</b>

**DISEÑO DE MEDIDOR PARSHALL:**

Se plantea dimensionar y calcular un medidor Parshall en el tramo después del desarenador de un canal rectangular revestido en concreto ancho de la base B= 0.40 m, pendiente S=0.003 m/m y altura total del canal de 0.35 m, se desea saber las dimensiones de la garganta “W” y a que elevación “x” de la base se colocara la cresta.

DATOS		
b=	0,40	m
s=	0,0030	m/m
H=	0,35	m
n=	0,013	concreto liso

$$Q_{\max} = \frac{1}{n} (b * Y) \left( \frac{b * Y}{2 * Y + b} \right)^{2/3} S_o^{1/2}$$

Para un Y= 0,065 m      Qmax= 0,0147 m<sup>3</sup>/seg

Se asume un W = 6 plg = 0.1524 m según nuestro caso y entremos a tablas 3.9 y 3.10 (texto guía de obras hidráulicas 1, de la Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología).

La ecuación para el cual bajo condiciones de flujo libre (no sumergido) es de forma:

$$Q=m*Ha^n$$

Donde:

Ha= Tirante de agua en m.

Q= Caudal en m<sup>3</sup>/s.

m= Carga medida aguas arriba de la garganta en m. y que depende de la garganta.

n= Exponente que varía de 1.52 a 1.60.

Dimensiones del aforador pashall en (mm) según valores de la tabla 3.9.

Capacidad (flujo libre) (L/seg)		Dimensiones (mm)						
max	min	W	A	B	C	D	E	F
82.0	1.0	152.0	414	610	394	397	610	305

Continuación de la tabla

Dimensiones(mm)				
G	N	K	X	Y
610	114.0	76.0	51.0	76.0

Valores de los parámetros del aforador parshal propuesto de la tabla 3.10.

W(m)	m	n	St	P(m)
0,152	0,381	1,580	0,550	0,23

Con los valores de m, n, St y del caudal máximo, se aplica la ecuación:

$$Q=m*Ha^n, \text{ y } Hb =St *Ha$$

Se obtiene los valores de  $H_a$  y  $H_b$ , que se resume en el siguiente cuadro:

W	$H_a$	$H_b$
0,152	0,13	0,07

Si  $(H_b/H_a) > 0,6$  se corrige.  $(0,07/0,13) = 0,54 < 0,60$  no corrijo.

Para el aforador de  $W = 0.152$  m , se tiene:

El valor de  $X_1$ , se calcula aplicando la siguiente relación:

$$X_1 = Y - H_b$$

$$X_1 = 0,065 - 0,07 = -0,01 \text{ m}$$

Para el cálculo del tirante aguas arriba del medidor, se aplica la siguiente relación:

$$Y \text{ Aguas Arriba} = Y + p$$

$$Y \text{ Aguas Arriba} = 0,065 + 0,23 = 0,30 \text{ m}$$

Cálculo del borde libre aguas arriba:

$$\text{Borde Libre} = H - Y \text{ agua arriba}$$

$$\text{Borde Libre} = 0,35 - 0,295 = 0,05 \text{ m}$$

#### CÁLCULO DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

Con los valores de  $m$  y  $n$ , se tabulan los valores de  $H_a$ , para cada caudal.

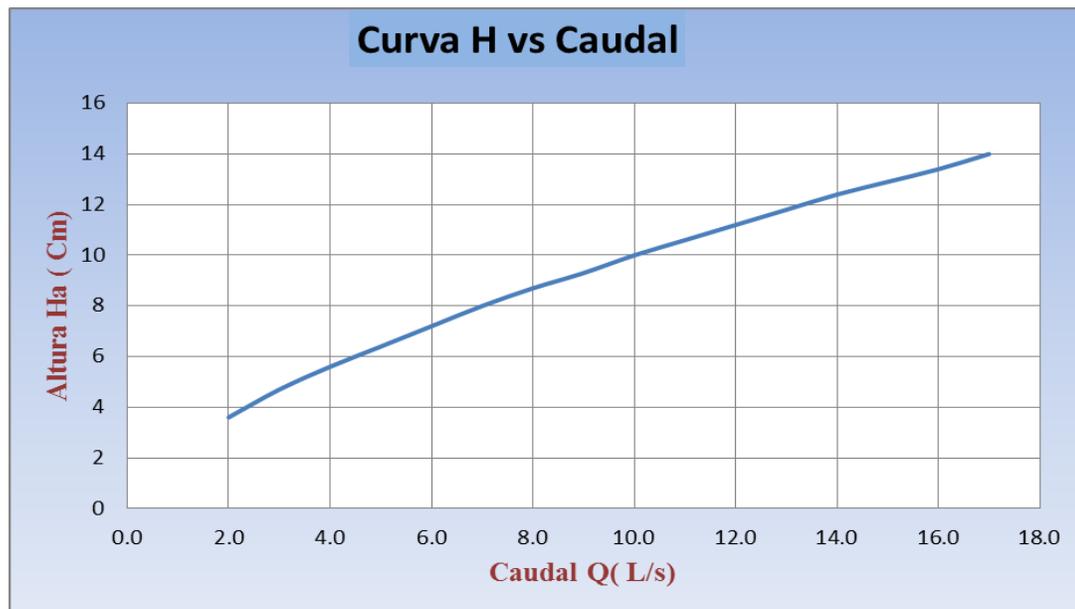
$$H = \left( \left( \frac{Q}{m} \right)^{1/n} \right)$$

## DISEÑO DE LA REGLA

Q(l/s)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	h(m)	h(cm)
2.0	0,0020	0,036	3,6
3.0	0,0030	0,047	4,7
4.0	0,0040	0,056	5,6
5.0	0,0050	0,064	6,4
6.0	0,0060	0,072	7,2
7.0	0,0070	0,080	8
8.0	0,0080	0,087	8,7
9.0	0,0090	0,093	9,3
10.0	0,0100	0,100	10
11.0	0,0110	0,106	10,6
12.0	0,0120	0,112	11,2
13.0	0,0130	0,118	11,8
14.0	0,0140	0,124	12,4
15.0	0,0150	0,129	12,9
16.0	0,0160	0,134	13,4
17.0	0,0170	0,140	14

Fuente: Elaboración propia.

## Curva de calibración



Fuente: Elaboración propia.



### 9.7.2. Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón-RAP

El diseño se efectúa de acuerdo a las experiencias del Dr. Ivan Medina, obtenidas en la planta piloto del Tejar

Gasto medio de diseño 4,53 l/s (Caudal de diseño del RAP. Ya existente)

Gasto medio de diseño 391,39 m<sup>3</sup>/día

Tiempo de retención hidráulico 10.00 horas 8 a 12 horas

Velocidad ascensional 0,30 m/h 0,30 a 1.00 m/h

#### Carga de diseño

DBO5 Demanda biológica de oxígeno en afluente = 127,67 (mg/l)

Lard: Cantidad de DBO5 por unidad de tiempo, en gasto de agua residual

Lard = (DBO5 mg/ l) \* Qd (l/s) = 578,35 mg/seg = 0.578 gr/seg= 2.08kg/hr =49,97 Kg/ día.

#### DIMENSIONES DEL REACTOR

a) Volumen

$$V_r = Q_d \cdot TRH$$

$V_r$  = Volumen del reactor

$Q_d$  = Caudal de diseño

TRH = Tiempo de retención hidráulica

$$V_r = Q_d \times TRH = 163 \text{ m}^3$$

b) Relación Largo / ancho/ alto

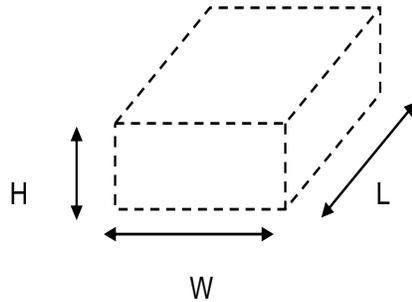
Modelo piloto:

L = Longitud del reactor

W = Ancho del reactor

H = alto del reactor

$$L/W=2,24 \quad W/H= 2,60$$



Dimensiones adoptadas:

Ancho  $w = 6,00$  m.

Altura  $H = 2,30$  m.

Longitud  $L = 13,42$  m.

$$V = W * H * L = 185 \text{ m}^3 > 163 \text{ m}^3 \text{ ok}$$

**DIMENSIONES NECESARIAS PARA DOS REACTORES EN PARALELO:**

Adoptar:  $H = 2,30$  (m)

$W = 3.0$  (m)

$L = 13,42$  (m)

**NÚMERO DE CÁMARAS**

Se recomienda el uso de difusores entre cámara y cámara que no impidan el flujo libre de lodo se construye dos reactores en paralelo

Las longitudes de cámaras deben ser mayor a  $L > 1.20$  m para facilitar la operación y mantenimiento

La longitud de la primera cámara debe ser mayor que las demás cámaras por que esta funcionara como cámara sedimentadora y desgranadora.

a) Separacion entre camaras

Para separacion uniforme entre camaras:

$L = N * a$	L = Longitud a tomar:	13.42
	N = Numero de camaras paralelas a adoptar	7.00
	a = Separacion entre camaras	
	Total de camaras 8 paralelas	

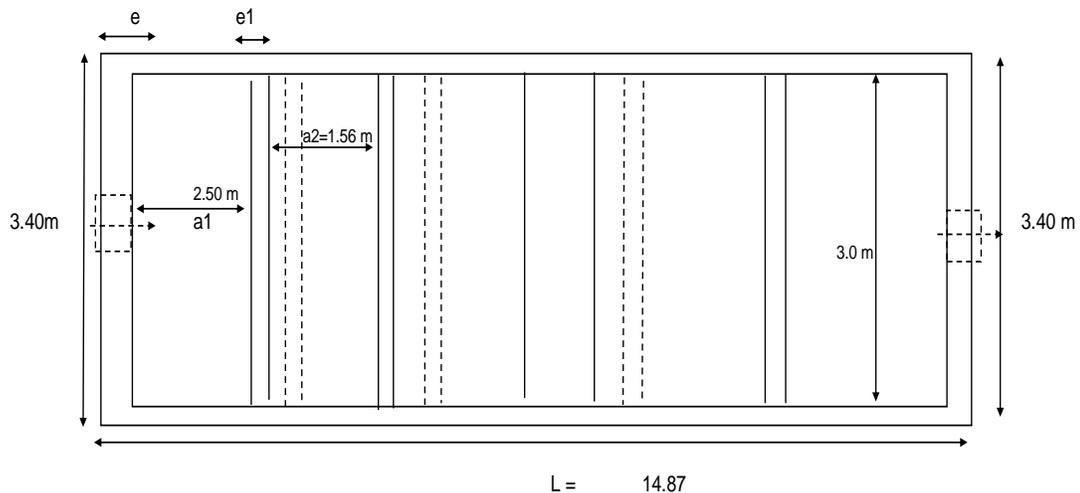
b) Longitud del reactor

	Tomar:	
a1 = Longitud de la primera camara		2.50
a2 = Longitud del resto de las 7 camaras		1.56
e = Espesor de las paredes exteriores		0.20
e1 = Espesor de las paredes divisorias de las camaras		0.15

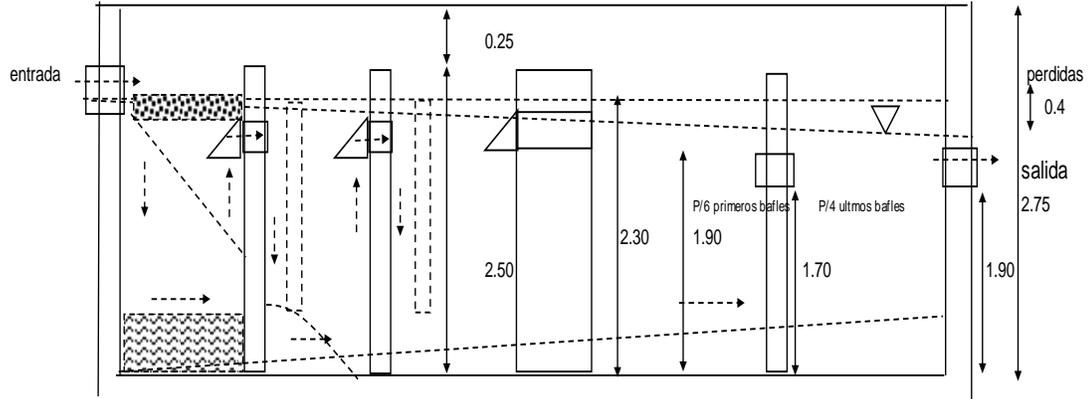
Long. Tot. = 14.87 (m)

Número de cámaras: 8.0 paralelas

Vista en planta del reactor:



## Vista longitudinal



El fluido contiene material en suspensión que obstruye la corriente normal entre cámara y cámara por ello se asume:

$$h_f = 0,05 \quad (\text{m})$$

Perdida de carga total en el reactor:

$$HF = \text{Perdida de carga total (m)}$$

$$f_h = \text{Perdida de carga en una cámara}$$

$$N^{\circ}C = \text{Número de cámaras en el reactor}$$

$$HF = 0,4 \text{ m}$$

### 9.7.3. Cálculo del filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA

El agua residual tiene un flujo vertical ascendente a través de la cámara. En el fondo del FAFA se instalarán un falso fondo para una distribución homogénea del agua, y sobre estese colocará el medio filtrante compuesto por grava. El agua filtrada, se recoge uniformemente mediante tubos perforados así el siguiente tratamiento.

#### Parámetros de diseño.

Gasto medio de diseño 4,53 l/s (Caudal de diseño del RAP. Ya existente)

Gasto medio de diseño 391,39 m<sup>3</sup>/día

Concentración inicial de DBO = 44,68 mg/l

Área superficial libre del medio filtrante =  $24 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Porcentaje de huecos en el medio filtrante = 0,95 %

Profundidad del lecho filtrante (grava) 2,70 m

Borde libre 0,30 m

Altura falso fondo 0,30 m

Altura total = 3.30m

Ancho del filtro= 6,0 m

Largo filtro = 4,0 m

Área del filtro =  $24,0 \text{ m}^2$

Volumen del lecho filtrante (gravas) =  $64,8 \text{ m}^3$

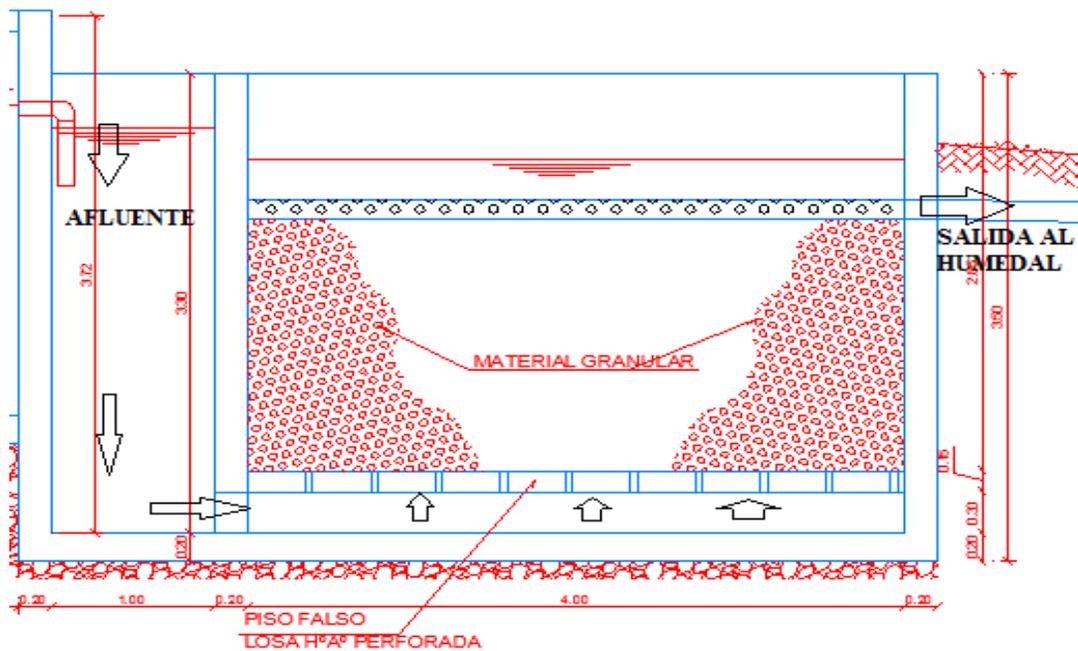
Tiempo de retención hidráulico = 4 horas

Tiempo de retención celular = 0,17 días

Eficiencia en remoción DBO = 63 %

Concentración efluente = 16,53 mg/l

Vista en perfil del filtro anaeróbico de flujo ascendente-FAFA



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.7.4. Humedal artificial de flujo de horizontal subsuperficial de totora

Un Humedal Artificial de Flujo Horizontal subsuperficial de totora es un canal grande relleno con grava y arena donde se planta vegetación acuática (totora). Al fluir horizontalmente las aguas residuales por el canal, el material filtra las partículas y microorganismos y degrada el material orgánico.

#### Requisitos para su implantación

- Son necesarios del orden de 3 - 5 m<sup>2</sup>/hab-eq de superficie para su implantación
- Es preciso impermeabilizar las balsas para evitar infiltraciones y contaminaciones del terreno

#### Cálculo del área necesaria

El cálculo del área del humedal se realiza en función a: 1) la población equivalente y 2) si el humedal trabajará como tratamiento secundario o terciario.

La población equivalente se puede definir como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5) de 60 g de oxígeno por día (ver ecuación 6). De igual forma, la carga contaminante de las aguas grises, viene determinada por la suma de los habitantes equivalentes de las industrias asentadas en el municipio y que vierten a la red de colectores municipales.

Ecuación 6. Fórmula para el cálculo de la población equivalente

$$\text{Población equivalente (hab)} = \frac{\text{DBO}_5 \text{ (mg/l)} * \text{Caudal (m}^3\text{/d)}}{60 \text{ grDBO}_5\text{/día*hab}}$$

Donde:

DBO5 = 16,53 mg/l Valor afluente

Q= 624,67 m<sup>3</sup>/día Para 20 años

Nº de unidades = 1 unidades

Q d= 625 m<sup>3</sup>/día Caudal de diseño (Qd)

$$\text{Pob. Eq.} = 172 \text{ hab.}$$

$$A_s = S \text{ (m}^2\text{)} \times \text{Poblacion.equivalente.}$$

Para flujo horizontal de 3 a 5 m<sup>2</sup>/hab-eq.

$$S = 3,00 \text{ m}^2/\text{hab-eq.} \quad \text{mas grande mejor}$$

$$A_s = 516 \text{ m}^2 \quad \text{área mínima requerida}$$

$$L = 32.00 \text{ m}$$

$$b = 16,13 \text{ m} \quad \text{Adoptamos: } 16.00 \text{ m}$$

Adoptamos (altura del humedal ya existente);  $h = 1,20 \text{ m}$

$$\text{Area por unidad: } A_s = 512 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total: } A_t = 512 \text{ m}^2$$

### Tiempo de retención (t)

$$Q = V/t \quad \Rightarrow \quad t = V / Q$$

$$V = A * h * P\%$$

V = Volumen de agua descontado el espacio que ocupa material granular (grava-arena)

$$A = 512 \text{ m}^2 \quad \text{área por unidad}$$

$$h = 1,20 \text{ m} \quad \text{altura útil}$$

$$P\% = 35\% \quad \text{Porosidad promedio del sistema grava- arenal: 35\% Tabla 12.}$$

**Tabla 12.** Características del medio para sistemas de flujo subsuperficial <sup>(23)</sup>.

Tipo de Medio	Tamaño del grano, mm	Porosidad ( $\eta$ )	Conductividad Hidráulica ( $K_s$ ), m/d	$K_{20}$
Arena Media	1	0,42	420	1,84
Arena Gruesa	2	0,39	480	1,35
Gravilla Arenosa	8	0,35	500	0,86

$$V = A * h * P\% = 215.0 \text{ m}^3$$

$$Q = 624,7 \text{ m}^3/\text{día}$$

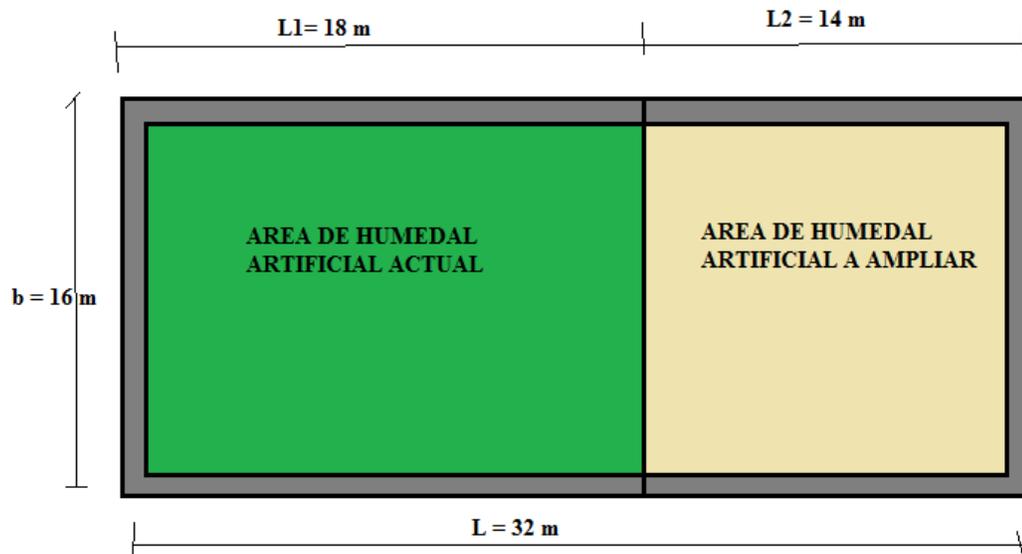
$$t = 0,34 \text{ día}$$

$$t = 8,26 \text{ horas} > 6 \text{ horas} \quad \text{CUMPLE!}$$

Resumen de dimensiones:

Nº de unidades:	1	unidad
Largo :	32.0	m
Ancho:	16.00	m
Altura Útil:	1,20 m	
Altura Borde Libre:	0,25	m
Área por unidad:	512	m <sup>2</sup>
Área total:	512	m <sup>2</sup>

VISTA EN PLANTA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL  
SUBSUPERFICIAL DE TOTORA.



Fuente: Elaboración propia.

## LECHO DE SECADO DE LODOS

El secado puede definirse como la reducción del agua contenida en los sólidos materiales semejantes.

### Criterios de diseño:

Bajo condiciones climáticas favorables, los lodos bien digeridos extendidos a una profundidad de 20 a 30 cm, se secan (evaporación y percolación) en 10 ó 14 días y hay problemas de olor.

- Plantas pequeñas (extracción manual) generalmente ancho: 6,0 m, largo menor de 30,0 m.
- Plantas grandes (extracción mecánica) las dimensiones pueden variar considerablemente, dependiendo del vehículo utilizado para la extracción del fango seco.

Las líneas de conducción de lodo hacia los lechos deberán ser diseñadas para una velocidad de circulación de 0,75 m/s o mayor.

$$v = 0.75 \text{ m/s (mínimo)}$$

El contenido de humedad es aproximadamente de 60%, después de 10 o 15 días en condiciones favorables.

$$Hu = 60 \%$$

$$t = 15 \text{ días (de 10 a 15 días)}$$

Tabla Áreas típicas requeridas para Lecho de secado abierto.

Tipo de Fango	Región	Área (m <sup>2</sup> /persona)
Fango secundario	Holanda	0,16 – 0,33
Fango secundario	Sudáfrica	0,03 – 0,04
Fango secundario	India	0,05 – 0,10
Fango Digerido	India	0,05 – 0,10
Fango Digerido	USA	0,11 – 0,28

**Criterio de area requerida por habitante**

N° habitantes = 

2879
------

 hab  
 area unitaria = 

0.1
-----

 m<sup>2</sup>/hab

Area total = 287.9 m<sup>2</sup>

N° de unidades = 

1
---

 unid

Area por unidad = 

287.9
-------

 m<sup>2</sup>

**Dimensiones**

Ancho = 

12
----

 m  
 Largo = 

16
----

 m  
 Area = 

192
-----

 m<sup>2</sup>

**Criterio de area requerida por produccion de fango según el proceso**

**Datos de caudales y cargas de diseño:**

Caudal Medio =	Qd =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">7.23</td></tr></table>	7.23	l/s
7.23				
Caudal Maximo =	Qd =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">14.15</td></tr></table>	14.15	l/s
14.15				
Sólidos secos del residual (SST) =	SST =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">377.00</td></tr></table>	377.00	mg/L
377.00				
Peso específico del fango (γ) =	γ =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">1.02</td></tr></table>	1.02	
1.02				
Humedad relativa del fango crudo =	Hf =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">0.96</td></tr></table>	0.96	
0.96				

**Aplicando el Método práctico**

**1. Cálculo del fango**

a) En el RAP.

Ef =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">60%</td></tr></table>	60%		
60%				
SST =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">377</td></tr></table>	377	mg/L SST	En la entrada al UASB
377				
Queda en el RAP		226	mg/L SST	
b) Al filtro -FAFA llega =		151	mg/L SST	
Ef. Filtro FAFA =	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td style="text-align: center;">74%</td></tr></table>	74%		
74%				
Queda en el filtro FAFA		112	mg/L SST	
Sale del filtro FAFA		39	mg/L SST	

c) Dependiendo del tipo de tratamiento debido a la biomasa que se extrae del sistema, habrá un crecimiento de volumen de fango. Suponga un 10% adicional.

Crec. Del vol. De fango =

f) En el efluente =  mg/L SST

Al lecho de secado de lodos llega=  mg/L

La eficiencia total del sistema es del:   
 No se elimina:

## 2. Cálculo del peso del fango por día

$Q_d =$   m<sup>3</sup>/día

$DSS =$   mg/L

$DSS =$   kg/m.<sup>3</sup>

$$W_f = Q_d \cdot DSS$$

$$W_f = 211.01 \quad \text{kg/día}$$

## 3. Cálculo del volumen de fango

$\gamma =$

$$PP = W/V$$

$$V = W/PP * 1.1$$

$$V_f = 0.228 \quad \text{m}^3/\text{día}$$

Si en un año se hacen las extracciones de fango del lecho de secado cada:  días  
se tendrá:

$$\text{numero de extracciones por año} = \text{12} \text{ veces}$$

$$\text{Fango acumulado en 15 días: } Vf_{15} = 6.827 \text{ m}^3$$

$$\text{Si este fango se acumulara con un espesor de: } \text{0.20} \text{ m } \quad 20 \text{ a } 30 \text{ cm}$$

$$\text{Area total requerida: } A = 34.13 \text{ m}^2 \quad \text{A mínima requerida}$$

Si se adoptan parcelas de:

Ancho =	<input type="text" value="5"/>	m
Largo =	<input type="text" value="7"/>	m
Area =	<input type="text" value="35"/>	m <sup>2</sup>

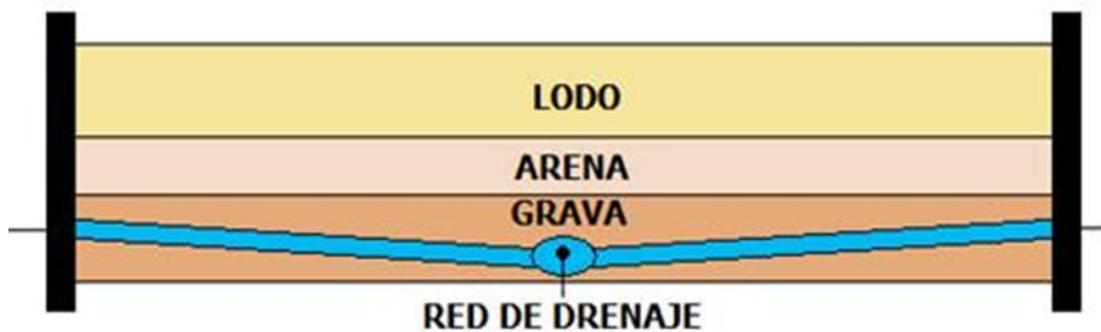
<b>Se adopta =</b>	<b>1</b>	<b>parcelas</b>
--------------------	----------	-----------------

<b>Área total =</b>	<b>35</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>OK</b>
---------------------	-----------	----------------------	-----------

## Resumen

Nº de Unidades	1	parcelas
largo =	7	m
ancho =	5	m
Area =	35	m <sup>2</sup>
altura de grava	0.3	m
altura de arena	0.2	m
ladrillo	0.05	m
altura de lodos	0.2	m
borde libre	0.3	m
Altura total	1.05	m
Pendiente del piso	> 2%	
Diametro del tubo	6	pulg
Pendiente del tubo	2%	

## VISTA EN PERFIL DE LECHO DE SECADO



Fuente: Elaboración propia.

### 9.8. Memoria descriptiva del proceso

El proceso seleccionado para el tratamiento de las aguas residuales es el de un sistema combinado entre reactor RAP, filtro FAFA y humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora, para un período de crecimiento y desarrollo de la población de los próximos 20 años, hasta el año 2038, con un caudal de diseño de 7.23 l/s que nos garantizan una producción total para desinfectar la totalidad de las aguas residuales producidas por la localidad, con lo cual se alcanzará un 100% de cobertura en el servicio de saneamiento.

El terreno donde se proyecta su construcción, es un terreno rectangular de 4317.75 m<sup>2</sup> con longitud de 85.50 metros y un ancho de 50.50 metros.

Para conformar el tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, se consideraron las siguientes operaciones unitarias:

#### 1. Pre-tratamiento.

- a.- Canal de aproximación
- b.- Vertedero de excedencias
- c.- Cribado rejillas manuales
- d.- Desarenadores.

e.- Medidor de caudal (canal parshall)

## 2. Tratamiento primario.

a.- Reactor RAP.

## 3.- Tratamiento Secundario:

a.- Filtro FAFA.

## 4.- Tratamiento terciario.

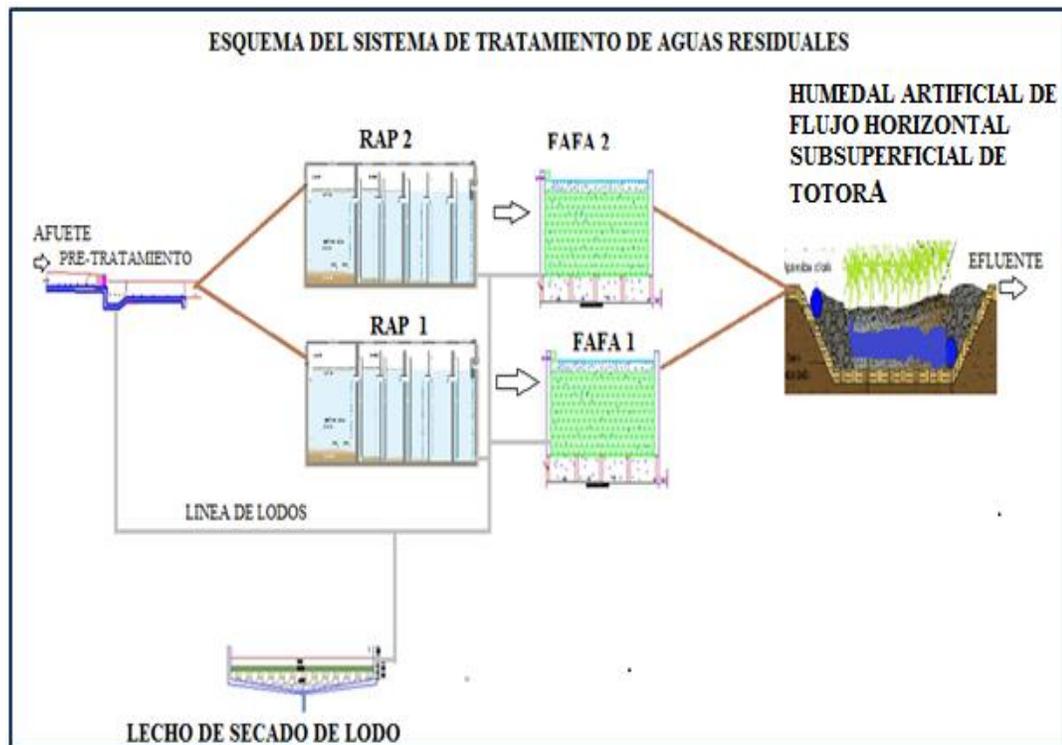
a.- Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora.

## 5.- Tratamiento de lodos

a.- Lechos de secado con estabilización de lodos con cal.

**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO:** Sistema combinado (Reactor RAP + Filtro FAFA + humedales artificial de flujo horizontal subsuperficial de totora)+ Lechos de secado.

**Figura 29. Diagrama de flujo de proceso de la alternativa 1**



Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO X

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 10.1. Conclusiones

Al realizar el presente trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

La planta de tratamiento de aguas residuales fue construida el año 2007, con vida útil a 20 años, con proyección hasta el año 2027, con un caudal de diseño de 4,53 l/s. comparando con el caudal actual que ingresa a la planta de tratamiento es de 4,85 l/s. Se verifica que el caudal actual ha sobrepasado al caudal de diseño.

Al analizar los porcentajes de remoción los resultados arrojan valores entre 43,29% y 54,35 % siendo estos valores inferiores a los rangos teóricos esperados que deberían ser superiores al 80%. Al compararlos con los parámetros teóricos establecido por diversos autores, se concluye que la planta de tratamiento está funcionando inadecuadamente.

La operación y mantenimiento es el principal problema que se presenta en las PTAR estudiada, Esto se debe, principalmente, a la falta de recursos económicos y personal capacitado con los conocimientos necesarios para operar y mantener los diferentes tipos de tratamiento de aguas. Este problema se refleja en las imágenes y los bajos niveles de remoción de la contaminación.

Se comprobó según la ley de medio ambiente N° 1333, que el cuerpo receptor río Camacho según su actitud de uso es de clase “B” comparando con el agua, que se descarga al cuerpo receptor está por encima de los valores físico-químicas lo cual está ocasionando contaminación.

Los resultados de la caracterización físico-química de calidad del agua, del efluente son; (DBO= 60,67 mg/l, DQO=195,33mg/l y SST=163,33mg/l) los valores que cumplen según la ley de medio ambiente 1333, son; DBO y DQO a excepto de SST que no cumple, y los valores del efluente son mayores a los que presentan el cuerpo receptor, río Camacho de clase “B”( DBO= 4 mg/l, DQO= 9 mg/l y SST= 8mg/l), significando que existe una contaminación de sus aguas.

Los valores de coliformes fecales en el efluente de la PTAR es  $2,1E+07$  NMP/100 ml mucho mayor a 1000 NMP/100 ml, lo permitido por la Ley de medio ambiente N° 1333, esto es un indicador de contaminación fecal a la calidad del agua del cuerpo receptor, que se está contaminando con bacterias, patógenos y virus ocasionando un peligro para la salud de la población aguas abajo.

En la parte estructural las rejillas se encuentran deterioradas, oxidadas faltando pedazos de barras, al interior del reactor anaeróbico de flujo a pistón se encuentra colmatadas las ultimas cámaras, los tubos de pvc que hacen que descienda el agua por los baffles se encuentran en mal estado y compuertas de inspección están oxidadas y deterioradas .

Existen una considerable acumulación en las rejillas de materiales como ser trapos, bolsas, plásticos otros, es indica una falta de operación y un mal habito de responsabilidad de los usuarios.

En la parte operativa de operación y mantenimiento lo realiza una persona de forma irregular, por las siguientes causas: no cuenta con un manual de operación y mantenimiento, no cuenta con las herramientas adecuadas para realizar las actividades, no lo dotan de equipo de protección personal, no hay caseta y no cuenta con capacitación para realizar actividades de operación y mantenimiento de PTAR.

Se propuso una alternativa de solución para un periodo de 20 años(2018-2038) con una población inicial de 2087 habitantes, con dotación de 134 l/ hab.día y una población futura de 2879 habitantes, con dotación de 180 l/hab.día y en la elección de los componentes de la estructura se realizó en base a lo siguiente: Facilidad de operación y mantenimiento, área disponible, impacto ambiental, porcentaje de eficiencia de remoción, ventajas y desventajas de cada componente según a la bibliografía consultada.

Al analizar los caudales de ingreso comparando con los caudales de números de conexiones al sistema y número de habitantes se llega a la conclusión que el caudal de ingreso es mayor, puede ser atribuido a conexiones clandestinas o por conexiones industriales no autorizadas, estas variaciones de los caudales de las aguas residuales afectan en gran medida al diseño hidráulico tanto de las redes de alcantarillado, como de las propias instalaciones de tratamiento.

No están realizando los muestreos necesarios para analizar la calidad de agua tratada, además no cuenta con un laboratorio para analizar parámetros básicos, tampoco realizan análisis a los lodos generados y son enviados como residuos para el relleno sanitario.

No se está cumpliendo lo que establece la carta orgánica del Gobierno Autónomo Municipal de Uriondo en los artículos 48 y 57. La población usuaria de este sistema de alcantarillado no paga ninguna tarifa lo que hace más dificultoso contar con suficiente recursos para poder desarrollar un buen manejo de estas aguas.

## **10.2. Recomendaciones**

Considerando los hallazgos, tanto en la infraestructura y la operación así como los resultados de los monitoreo de las aguas tratadas, y en busca que la planta funcione apropiadamente se recomienda:

Con respecto a la infraestructura se recomienda a la entidad a cargo realizar un mantenimiento correctivo inmediato para la reparación de daños que presentan los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En cuanto al personal operador, es preciso que el personal requerido, tenga una adecuada capacitación con los conocimientos amplios y suficientes para cumplir a cabalidad con sus funciones, teniendo en cuenta que gran parte de los daños ocasionados al sistema ha sido por la mala operación.

Es necesario que la entidad encargada de administrar la planta de tratamiento elabore un manual de operación y mantenimiento de ésta, ya que éstos son la base para su buen funcionamiento y cumplir con lo establecido.

Para que una planta de tratamiento de aguas residuales funcione óptimamente y bajo los parámetros de diseño con los que fue construida, es de vital importancia que se opere bajo las especificaciones dadas en el manual de operación y mantenimiento y que se estipulan cuando esta entra en funcionamiento. Allí deben considerarse las diferentes recomendaciones de autores y entidades para las labores de limpieza y mantenimiento

Se recomienda realizar el análisis de la calidad del agua residual periódicamente para llevar un control de su tratamiento.

Los lodos producidos del tratamiento efectuado en la planta deben ser estudiados en profundidad, en busca de lograr su aprovechamiento y uso en actividades agrícolas, y mejoramiento de suelos, evitándose de esta forma la disposición final directa a la cual son sometidos en la actualidad.

Se recomienda elaborar planes de emergencia y contingencia teniendo en cuenta las condiciones de la planta de tratamiento de aguas residuales. Si se presenta un taponamiento o colapso no hay una forma correcta de cómo controlar la situación y tampoco de cómo prevenirla ya que a cercanías se encuentran áreas agrícolas.

Se recomienda que las autoridades municipales, incentive a la creación de una empresa especializada en el tratamiento de aguas residuales y que dentro de sus recursos, cuenten con los operadores adecuados y con los utensilios pertinentes para que puedan llevar a cabo de la manera más correcta, las tareas de operación y mantenimiento.

Se recomienda a la entidad encargada Gobierno Municipal realizar una socialización a la población de la responsabilidad que tienen como usuarios de cancelar una tarifa por el servicio prestado, para garantizar un apropiado tratamiento de las aguas residuales.

Se debe verificar que no existan conexiones clandestinas de mucho aporte de aguas servidas como ser bodegas, y otros, se debe hacer revisiones al alcantarillado. Porque se pudo constatar que existe un caudal excedente al caudal de acuerdo número habitantes de la población.

Se recomienda hacer seguimiento a los Artículos 48 y 57 (Empresa municipales, servicios de agua potable y alcantarillado) de la Carta Orgánica del Gobierno Autónomo Municipal de Uriondo.