

## **Capítulo I**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

#### **1.1. Antecedentes**

En Bolivia 5 Millones de habitantes no cuentan con sistemas de alcantarillado, la disposición final de las aguas residuales recolectadas sin tratamiento constituye en una fuente importante de contaminación de los cursos de agua, suelos y acuíferos. Un estudio en 111 centros poblados a nivel nacional donde realizan el re uso de agua para riego en 5000 ha, 84 cuentan con Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con problemas de funcionamiento, el restante no tiene ningún tipo de tratamiento.

Sin embargo, muy poco se ha trabajado en la solución a los problemas de contaminación y de salud que podría estar generando. Si bien existe un marco normativo se requiere vencer varios obstáculos a decir: mayor cantidad y calidad de información, además de su sistematización, articulación entre los sectores en función a los roles (además del reconocimiento de los mismos) para una mayor efectividad.

Se ha estimado que el 60% de la población de Bolivia cuentan con sistemas de alcantarillado. En cuanto a las coberturas de tratamiento de aguas residuales, se estima que solo un 30% de las aguas servidas, recolectadas en los sistemas de alcantarillado sanitario, recibe algún tipo de tratamiento antes de su disposición final.

En el Valle Central de Tarija, el tratamiento de agua servida doméstica e industrial son deficientes, por lo que la Prefectura y la Cooperativa de servicio de agua potable y alcantarillado de Tarija Ltda (COSAALT) iniciaron el Proyecto de Saneamiento del río Guadalquivir, como un proyecto integral de recuperación ambiental del río.

La cantidad de agua residual que se generan en Tarija en la zona urbana, tiene un aporte de 287 l/s.

El saneamiento del río Guadalquivir beneficiará a todo el Valle Central de 3.060 km<sup>2</sup>, que comprende gran parte de los municipios de Cercado, Avilés y Méndez con una población total de 250.000 habitantes : 175.000 habitantes urbanos y 75.000 habitantes en las áreas rurales.

El río Guadalquivir es el eje fundamental y principal elemento del sistema hídrico de la ciudad de Tarija y de varios municipios aledaños, por lo que es de gran importancia la implementación de

medidas de descontaminación de sus aguas, lo que ayudará a evitar daños al medio ambiente y a la salud humana.

Desde los noventa en Tarija las aguas residuales son tratadas con la planta de tratamiento de San Luis, mediante las lagunas de oxidación encargadas de disminuir la carga orgánica e inorgánica aportada por la población, cuyas aguas desembocan en la quebrada de Torrecillas, las cuales llegan al río Guadalquivir desembocando posteriormente en el río Bermejo. Por ello es muy importante no desestimar todas aquellas variables que puedan llegar a afectar de manera significativa estos parámetros con el fin de garantizar la óptima operación de la planta.

El desarrollo y crecimiento de las poblaciones humanas ha estado ligado a la generación de residuos líquidos, por consecuencia la gran mayoría de recursos naturales se han visto afectados, como un caso específico, las fuentes hídricas que son utilizadas para drenar referidos líquidos entre otros, generando así problemas ambientales y sociales, por lo tanto su preservación y su cuidado son relevantes.

El ser humano ha realizado estructuras para el tratamiento de aguas residuales (PTAR), para transformar y reducir la materia orgánica contenida en las aguas residuales, a través de procesos físico-químicos y biológicos basados en pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario según sea la necesidad, logrando la remoción de los agentes contaminantes presentes en las aguas residuales.

## **1.2. Problema de investigación**

### **1.2.1. Planteamiento del problema**

Parte de las aguas servidas de la ciudad de Tarija es tratada por las lagunas de oxidación ubicadas en la zona de San Luis. En las partes urbanas sin alcantarillado, las aguas servidas son tratadas en tanques sépticos, generalmente mal manejados, o son botadas a las numerosas quebradas sin tratamiento adecuado. Se estima que aproximadamente 35% de las aguas servidas son botadas sin ningún tratamiento.

Las lagunas de oxidación descargan el efluente al río Guadalquivir, pero las lagunas son insuficientes para tratar las aguas servidas de la ciudad debido a que son sobre-cargadas ocasionando malos olores que llegan hasta la zona céntrica de la ciudad, situación que empeora

durante los períodos con cambios bruscos de la presión atmosférica y temperaturas diarias y más aún con la expansión de la red de alcantarillado, resultando en mayores volúmenes de aguas servidas. Además, con la expansión espontánea de la ciudad, las lagunas ya se encuentran dentro de los límites de las urbanizaciones de la ciudad.

Al momento de realizar el tratamiento de aguas residuales, juega un papel muy importante la parte social ya que hay muchos inconvenientes por parte de la población en el momento de elegir el lugar más apropiado para el tratamiento de dichas aguas residuales.

El aporte industrial a la carga de las aguas servidas de la ciudad es poco conocido, las cuales llegan a las lagunas de oxidación siendo aportes industriales. Se cree que gran parte de las aguas servidas industriales no entran en la red cloacal, contaminando los suelos y subsuelos en forma alarmante. Las aguas servidas no tratadas y mal tratadas de la ciudad, de los centros rurales y de las comunidades contaminan fuertemente el río Guadalquivir.

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

Como disponer de información técnica actual suficiente para generar parámetros de diseño que nos permite seleccionar el tratamiento más adecuado del agua residual que se ajuste a nuestra realidad y será esta información fiable que garantice la obtención de resultados aceptables.

### **1.2.3. Sistematización del problema**

Cuánto es el ingreso de caudal residual a la PTAR, y si la capacidad de las lagunas será la suficiente para tratar esta agua.

Contará el laboratorio de las lagunas de oxidación con equipos calibrados, para la obtención de sus parámetros de calidad.

Cómo afecta los aportes industriales en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Cómo afecta el tratamiento de aguas residuales en el medio ambiente y en la calidad de vida de los habitantes.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Ajustar los parámetros de diseño actuales, para la cuantificación y caracterización de las aguas residuales en el ingreso de la planta de tratamiento de la ciudad de Tarija, en función de los datos de operación administrados por COSAALT, en la gestión 2012 – 2016.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Procesar la información de mediciones realizadas en el canal Parshall, para la generación y cuantificación del caudal en la entrada de la PTAR.
- Determinar las pérdidas del sistema, a partir de datos de producción y facturación.
- Determinar la dotación de agua potable de consumo por habitante al día.
- Estimar el coeficiente de retorno o vuelco del agua servida.
- Caracterizar el agua residual en función a los parámetros químicos medidos en el ingreso de la PTAR, en función a la información de los últimos 5 años.
- Estimar la carga orgánica del agua residual en la ciudad de Tarija.
- Validar a través de muestreos puntuales la información de COSAALT con ensayos realizados por laboratorio externo con personal capacitado.
- Analizar el resultado obtenido y compararlo con otros valores recomendables.

## **1.4. Justificación de la investigación**

### **1.4.1. Justificación teórica**

El agua de suministro doméstico e industrial, una vez utilizada contiene una gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, metales pesados, sólidos en suspensión; los cuales pasan por tratamientos de forma natural. Estas aguas al ser liberadas sin un tratamiento adecuado conducen un deterioro ambiental; por lo que es necesario tomar en cuenta los usos y costumbres de la población en el momento de generar los parámetros de diseño de una PTAR.

A causa de la falta de una PTAR adecuada, la población de Tarija absorbe gases nauseabundos y tiene que soportar a los mosquitos y zancudos en la época de calor, causando diferentes enfermedades; representando una amenaza a la salud de Tarija.

Las aguas servidas no tratadas y mal tratadas de la ciudad, de los centros rurales y de las comunidades contaminan fuertemente el río Guadalquivir, el cual ya está clasificado en la categoría “D”. Esto significa que son aguas que ya no sirven, ni para agricultura ni para alimentar a los animales y mucho menos para la gente.

En nuestro medio no existe una cultura o educación de investigación a los temas de contaminación a pesar de existir marcos normativos como la ley 1333 del medio ambiente que en la realidad son de difícil aplicación.

#### **1.4.2. Justificación metodológica**

Para evitar una situación peor y potencialmente catastrófica, es fundamental expandir las redes de agua potable y alcantarillado de la ciudad y construir una nueva planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con tecnología adecuada y una capacidad suficiente para tratar el total de las aguas servidas domésticas e industriales, en la actualidad y a futuro, por lo cual es indispensable la generación de estos parámetros mediante la sistematización de la información actual administrada por COSAALT las cuales se ajusten a nuestra realidad.

La ciencia y tecnología en el campo de la ingeniería sanitaria en los últimos años ha crecido notablemente, con el descubrimiento de nuevas técnicas haciéndolas más eficientes.

#### **1.4.3. Justificación práctica**

Con el procesamiento y sistematización de los datos registrado por COSAALT, se tendrá un mejor análisis de la información existente de la planta de tratamiento de aguas residuales; mediante gráficas poder ver las picos que se presenten durante el día y la variación de los parámetros de calidad los cuales estarán validados por estudios realizados por laboratorio externo, los mismos se analizarán con valores recomendables especificados en la norma.

Mediante el presente trabajo se pretende concientizar a profesionales dedicados a la materia, en la importancia de utilizar la información generada, corregirla oportunamente y aprovecharla de la mejor manera en trabajos posteriores relacionados con el tema.

## **1.5. Marco de referencia**

### **1.5.1. Marco teórico**

#### **1.5.1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales**

Es el conjunto de elementos – infraestructura con un objetivo genérico, de tratar las aguas residuales para obtener mejores características de calidad en base a parámetros normalizados a través de operaciones físicas, procesos biológicos y químicos. De tal forma que produzcan en los cuerpos receptores, efectos compatibles con las exigencias legales y/o con la utilización aguas abajo de la población

#### **1.5.1.2. Agua residual**

Las aguas residuales se pueden definir como una combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes de residencias, instituciones públicas, así como de centros comerciales e industrias, a las que, eventualmente, pueden agregarse aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

#### **1.5.1.3. Clasificación del agua residual**

##### **a) Drenaje**

Que afloran a la superficie y pueden arrastrar una serie de sustancias químicas en solución. También comprende aguas que fluyen en la superficie que son provocadas por las precipitaciones atmosféricas. Esta agua en su trayectoria arrastra elementos de la contaminación atmosférica, restos de actividad humana, residuos de vehículos, arenas, residuos vegetales, biocidas formando las llamadas “aguas blancas”.

##### **b) Domésticas**

También llamadas aguas negras o urbanas; proceden de aglomeraciones urbanas mediante los vertidos de la actividad humana doméstica, también lo constituye la mezcla de estas con las precedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias dentro del casco urbano.

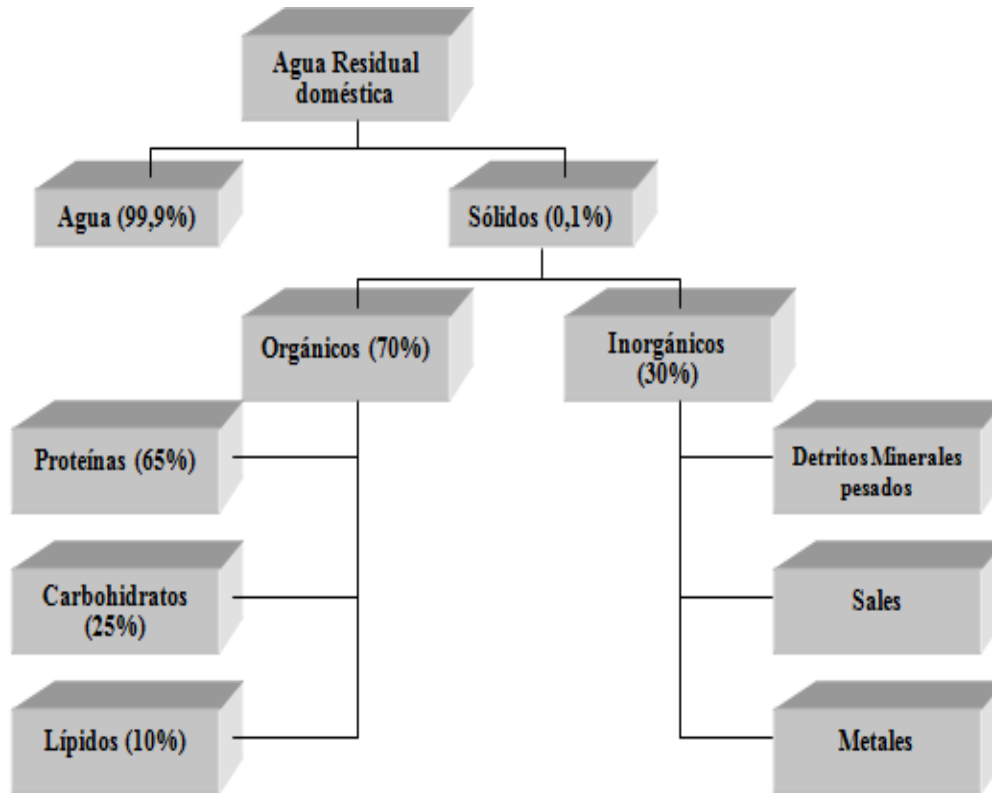
#### c) **Industriales**

Aguas procedentes de actividades industriales, con independencia del posible contenido de sustancias similares a las de origen doméstico, pueden aparecer elementos propios de cada actividad industrial como tóxicos, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, etc.

#### **1.5.1.4. Contribuyentes del agua residual**

Están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9% y apenas el 0,1% de sólidos suspendidos coloidales y disueltos. Sin embargo esa pequeña fracción de sólidos es la que presenta mayores problemas en el tratamiento y su disposición.

#### **Figura 1.1. Contribuyentes del agua residual**



*Fuente:  
adaptado de  
Metcalf &  
Eddy vol. 1,  
1996*

#### 1.5.1.5.

#### Depuración del agua residual

La  
eliminación  
de los

contaminantes se realiza de forma ordenada y secuencial a través de diferentes etapas, que aplicadas de forma sucesiva proporcionan un grado de tratamiento creciente de las aguas.

### 1.5.2. Marco conceptual.

#### 1.5.2.1. Parámetros de control del agua residual

Para medir la contaminación se usan una serie de parámetros. Los más habituales son:

- **DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días):** cuantifican la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, medida en forma de mg O<sub>2</sub>/l. Estos parámetros suponen una medida del impacto que tendría el vertido sobre los niveles de oxígeno del cauce receptor.
- **Sólidos en Suspensión (SS):** cuantifica el impacto de los sólidos en el cauce receptor, cuya acumulación da lugar a la turbidez y a la formación de fangos.



- **Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT):** medida de nutrientes responsables de la eutrofización (crecimiento excesivo de algas y otras plantas) del cauce receptor.

### 1.5.2.2. Contaminantes de importancia presentes en las Aguas Residuales

Contaminante:

- Materia orgánica biodegradable
- Materia suspendida
- Sustancias corrosivas, cianuros, metales, fenoles.
- Microorganismos patógenos.
- Sustancias que causen turbiedad, temperatura, color, olor.
- Sustancias o factores que transforman el equilibrio biológico.
- Constituyentes minerales

### 1.5.2.3. Etapas de depuración

- **Pretratamiento:** separación previa de la mayor cantidad posible de contaminantes que por naturaleza o tamaño puedan dar problemas posteriormente (sólidos gruesos, arenas y flotantes principalmente).
- **Tratamiento primario:** el principal objetivo es la eliminación de sólidos sedimentables y flotantes.
- **Tratamiento secundario:** en este caso el objetivo es la eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta o en forma coloidal, así como el resto de sólidos y parte de los nutrientes presentes en el agua.
- **Tratamiento terciario:** permite obtener efluentes de mayor calidad, para ser vertidos en zonas con requisitos más exigentes. Generalmente se busca la eliminación de nutrientes y patógenos.

#### **1.5.2.4. Características principales de tecnologías de tratamiento de aguas residuales**

##### ***Lagunas de oxidación***

Principales ventajas:

- Alto rendimiento de DBO/DQO
- Alto rendimiento remoción de patógenos
- Operación simple
- Bajo costo de construcción y operación.

Principales desventajas:

- Requiere una superficie grande: 135 ha para el caso de Tarija (2030)
- Bajo rendimiento en remoción de nutrientes (N & P);
- Malos olores, difícilmente de controlar por las características climáticas de Tarija con cambios bruscos de la presión atmosférica y temperatura.

##### ***Lodos activados (Carrusel)***

Principales ventajas:

- Sistema relativamente compacto;
- Alto rendimiento (DBO/DQO)
- Alto rendimiento remoción de nutrientes (N & P)
- Amplia experiencia a nivel mundial.

Principales desventajas:

- Requiere una superficie plana de 10-12 ha en el caso de Tarija (2030)
- Moderado a bajo rendimiento en remoción de patógenos
- Ocasionalmente malos olores (manejable)
- Operación requiere de un equipo técnico experimentado
- Requiere suministro continuo de mucha electricidad
- El manejo de los lodos residuales no es simple
- Altos costos de operación (energía y procesamiento de lodos).

##### ***Bio-filtración en dos pasos: tanques de alto y bajo carga***

Principales ventajas:

- Sistema compacto y modular
- Buen rendimiento (BOD/DQO); dentro de las normas
- Operación relativamente simple
- Energía neutral y bajo costo de operación
- Manejo simple de los lodos residuales
- Efluente apto para riego: contiene N & P.

Principales desventajas:

- Moderado a bajo rendimiento remoción de patógenos
- Ocasionalmente malos olores (manejable).

### ***Combinación UASB y bio-filtración***

Principales ventajas:

- Sistema compacto y modular; requiere 5-7 ha en el caso de Tarija (2030)
- Buen rendimiento (DBO/DQO) que depende de la temperatura ambiental
- Operación relativamente simple
- Energía neutral y bajo costo de operación
- Manejo simple de los lodos residuales
- Efluente apto para riego: contiene N & P.

Principales desventajas:

- Moderado a bajo rendimiento remoción de patógenos
- Ocasionalmente malos olores (manejable).

### **1.5.3. Marco espacial**

El proyecto está localizado en la provincia Cercado del departamento de Tarija ubicado al sur de Bolivia, la cual cuenta con una extensión de 2.074 Km<sup>2</sup> de superficie. Según el CENSO realizado en 2012, la Provincia Cercado tiene 205.346 habitantes.

La laguna de oxidación está a una altura de 1.847 m.s.n.m. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 21°33'44,93" de Latitud Sur y los meridianos 64°41'52,47" de Longitud Oeste. Coordenadas X: 20K 324174 E, Y: 7614641 S.

La PTAR se encuentra ubicado en el barrio San Luis que está a 20 minutos del centro de la ciudad.

#### **1.5.4. Marco temporal**

En el presente trabajo se contará con información del área de influencia de conexiones de agua potable y alcantarillado sanitario que llega a la PTAR de Tarija en la gestión 2016.

Datos de parámetros químicos en la entrada de la PTAR, registrados por COSAALT durante la gestión 2012 – 2016.

Mediciones y características realizadas en el canal Parshall, para la generación y cuantificación de caudales en el ingreso de la PTAR durante la gestión 2014 - 2016.

Producción y facturación del agua potable de la población abastecida, del agua residual que llega a la PTAR.

#### **1.6. Alcance**

- En el desarrollo del presente estudio se cuenta con datos de laboratorio, en base a mediciones realizadas en el canal Parshall al ingreso de la PTAR. Dicha información recopilada, se sistematizará y evaluará, en base en datos de los últimos 5 años.
- Se estimará la población del área de influencia del proyecto que vierten sus efluentes a la planta de tratamiento de agua residual de la gestión 2016.
- Se estimará las pérdidas del sistema de agua potable, con datos de producción y facturación.
- Se obtendrá la dotación de agua potable, referida al consumo anual total de agua de un centro urbano dividido por la población abastecida, que vendría a ser el volumen de agua utilizado por persona en un día.
- Se determinará el coeficiente de vuelco o de retorno, para determinar qué porcentaje del agua de abastecimiento que ingresa a la ciudad, retorna como agua residual a la planta de tratamiento
- Se ajustará la información de mediciones realizadas el canal Parshall, para la generación y cuantificación del caudal de agua residual en el ingreso a la PTAR.
- Mediante un análisis de la información proporcionada por COSAALT, se determinará la calidad del agua residual en función a sus parámetros químicos en el ingreso de la PTAR.

- Se validará la información proporcionada, en base a ensayos de muestreos puntuales en las cámaras sépticas; realizado por personal capacitado de laboratorio externo. Para la determinación de los parámetros de diseño a recomendar.

### **1.7. Limitaciones**

En el presente informe se contará sólo con información de mediciones realizadas al ingreso de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tarija, como datos de producción y facturación durante la gestión 2012 - 2016. La cual es generada y administrada por COSAALT.

Se validará la información de COSAALT con ensayos de laboratorio de muestras puntuales en la cámaras sépticas debido al costo para realizar un muestreo continuo, dichos ensayos se harán en laboratorio externo realizado por personal capacitado, con el que se hará el análisis de calidad del agua residual y comparación con la información proporcionada por COSAALT.

## **Capítulo II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1. Marco teórico**

##### **2.1.1. Historia del agua residual**

La contaminación ambiental ha existido a lo largo de la historia de la humanidad, en donde en un principio la propia naturaleza se encargaba de depurar los residuos de las actividades de las sociedades humanas. A medida que el hombre empezó a formar comunidades y fundar ciudades, surgieron necesidades como el consumo de agua, de alimentos, de servicios, de energía y de manufactura de productos textiles que con el tiempo fueron originando corrientes de aguas residuales o de desechos, cuya cantidad y calidad, la naturaleza ya no fue capaz de asimilar, debido a la rapidez con que la humanidad generaba los contaminantes.

El tratamiento de las aguas residuales se empieza a desarrollar a finales del siglo XIX a causa de la aparición de enfermedades, lo que llevó a buscar soluciones y métodos que pudieran dar un tratamiento a las aguas residuales antes de su descarga a un cuerpo receptor, y con ello, surgieron los métodos físicos, químicos y biológicos.

El manejo inadecuado de las aguas residuales tiene consecuencias graves para la salud pública y los ecosistemas, la colección y el tratamiento de las aguas residuales antes de su descarga en un cuerpo receptor es relativamente reciente. Se han encontrado restos de sistemas de alcantarillado de la época prehistórica en Creta y en las antiguas ciudades Sirias. Aun en nuestros días se pueden encontrar las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos, su principal función era el drenaje, los romanos tenían la costumbre de verter sus residuos a las calles lo que significaba que junto con los escurrimientos fluían grandes cantidades de materia orgánica. En Europa a finales de la edad media, se empezaron a usar excavaciones subterráneas privadas y más tarde letrinas, pero cuando se llenaban eran vaciados y utilizados como fertilizantes o se descargaban en terrenos naturales o cursos de agua natural.

A mediados del siglo XIX en Europa, principalmente en Londres Inglaterra y después en París se presentaron epidemias de cólera, lo cual obligó al diseño y construcción de un sistema adecuado de alcantarillado.

La construcción de alcantarillados combinados fue común en las grandes ciudades durante la segunda mitad del siglo XIX, y dado que los sistemas pluviales terminaban naturalmente en los

cursos de agua, los desechos humanos eran descargados directamente en corrientes, lagos y estuarios sin tratamiento, ocasionando contaminación severa y problemas de salud pública que se transferían, de la comunidad servida con alcantarillado, a los usuarios del agua localizados corriente abajo.

A inicios del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en ríos, lagos y estuarios, provocaba problemas sanitarios severos a la salud, lo cual llevó a la construcción de instalaciones de depuración de los desechos. Aproximadamente en aquellos mismos años se implementaba el tanque séptico como método de tratamiento de aguas residuales domésticas y durante la segunda década del siglo en la Gran Bretaña se desarrolló el proceso de lodos activados el cual mejoró significativamente el tratamiento de aguas residuales y se construyó primero en sus ciudades y posteriormente en el mundo.

A partir de la necesidad de controlar los efectos que acompañan los diversos tipos de descargas del agua residual en corrientes tanto superficiales como subterráneas se ha puesto de manifiesto, desde ya hace algunas décadas, la obligación de controlar la contaminación indiscriminada producida por las actividades domésticas e industriales que realizamos los seres humanos. En este sentido, el desarrollo industrial junto con el crecimiento demográfico se cuenta como dos de los factores principales que inciden en la necesidad de manejar de manera adecuada los recursos hídricos en sus diversos usos y reúsos.

El tratamiento de las aguas residuales ha venido en crecimiento a causa de las altas cargas de contaminantes que son vertidos a cuerpos receptores y que han ocasionado daños a los ecosistemas. Podemos decir que no hay algún río que no esté contaminado o que no presente algún contaminante como grasas, detergentes,

pesticidas o desechos que puedan dañar la calidad del agua, si bien es cierto, la mayoría de estos ríos son utilizados para el abastecimiento, el riego agrícola o para la producción de energía eléctrica, es por ello, que se requiere de plantas de tratamiento de aguas residuales que controlen la contaminación de los acuíferos.

Es por ello, que el tema de la contaminación del agua sea prioridad para buscar un equilibrio, donde el impacto causado por el hombre se ajuste a los lineamientos de una legislación adecuada y emergente en el tema de la protección al ambiente, de la salud y de los recursos naturales.

## 2.1.2. Características del agua residual

Debido a la gran diversidad de elementos y compuestos que pueden estar presentes en las aguas residuales, no es factible dar detalles de los componentes presentes en una muestra para especificar su condición, sin embargo, se puede considerar que existe un conjunto de ellos que tienen importancia por la influencia que ejercen sobre la elección de una tecnología de tratamiento del agua; así como el diseño y operación de la planta de tratamiento, los cuales se dividen en características: físicas, químicas y biológicas.

### 2.1.2.1. Características físicas

Las características físicas están representadas por el material flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución, color y temperatura. Las propiedades físicas más comúnmente empleadas para determinar las impurezas en el agua y en el agua residual se muestran en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Principales características físicas del agua residual**

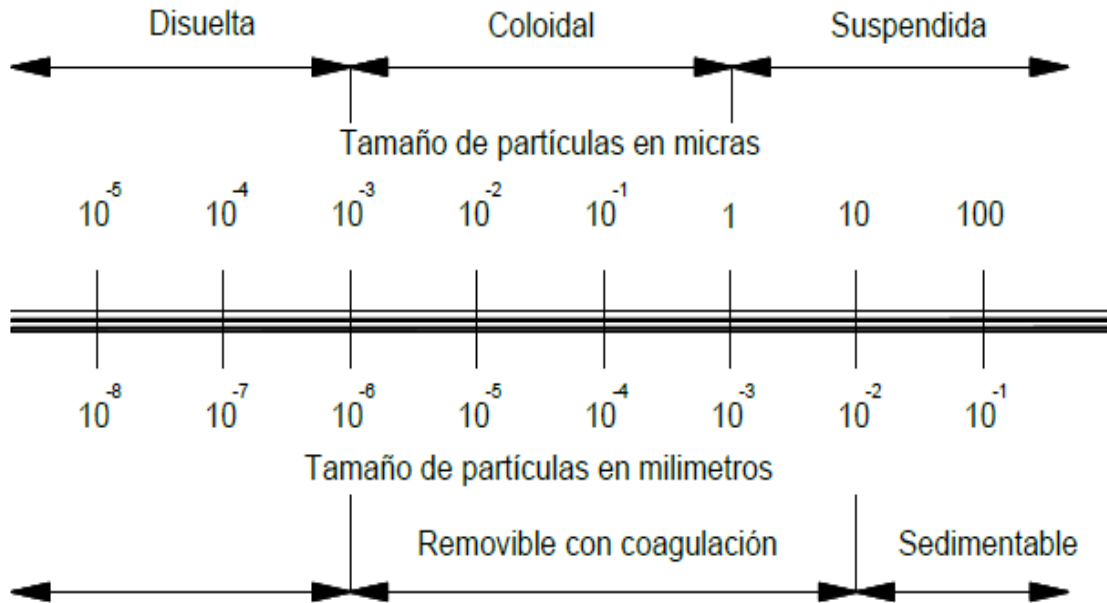
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Sólidos Totales (ST) (mg/l)	Contenido de sólidos totales que queda como residuo en la evaporación del agua entre 103 y 105 ° C.
Sólidos Disueltos (SDT) (mg/l)	Es el residuo que queda después de filtrar el agua residual en membranas de 1.2 µm de poro y evaporada a 103°C.



Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/l)	Son componentes de los sólidos totales. Son partículas mayores de 1 micra e incluye a los sólidos sedimentables.
Sólidos Sedimentables Totales (ml/l)	Son sólidos en suspensión que pueden llegar a sedimentarse en condiciones de reposo debido a la influencia de la gravedad. Son removidos por sedimentación en un cono Imhoff en 60 minutos a temperatura ambiente.
Los SDT y SST se pueden subdividir en: Volátiles (SSV y SDV)(mg/l) Fijos (SSF y SDF)(mg/l)	Sólidos orgánicos que se oxidan y se volatizan a $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ . Sólidos inorgánicos que quedan como cenizas al calentarlos a $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ .
Olor	Es causado por los gases desprendidos de la descomposición de la materia orgánica y/o sustancias adicionales al agua residual.
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	En general, la temperatura del agua residual es mayor que la fuente y mayor a la temperatura del medio ambiente esto debido a la adición de calor que ejercen los usos domésticos e industriales (excepción de climas muy cálidos).
Color	El agua residual doméstica presenta un color gris a café claro cuando se acaba de generar, posteriormente el agua residual séptica: presenta un color de gris a gris oscuro/negro. Las aguas residuales industriales pueden tener un color en algunos casos, tales como la industria textil, papel, petrolera y petroquímica.

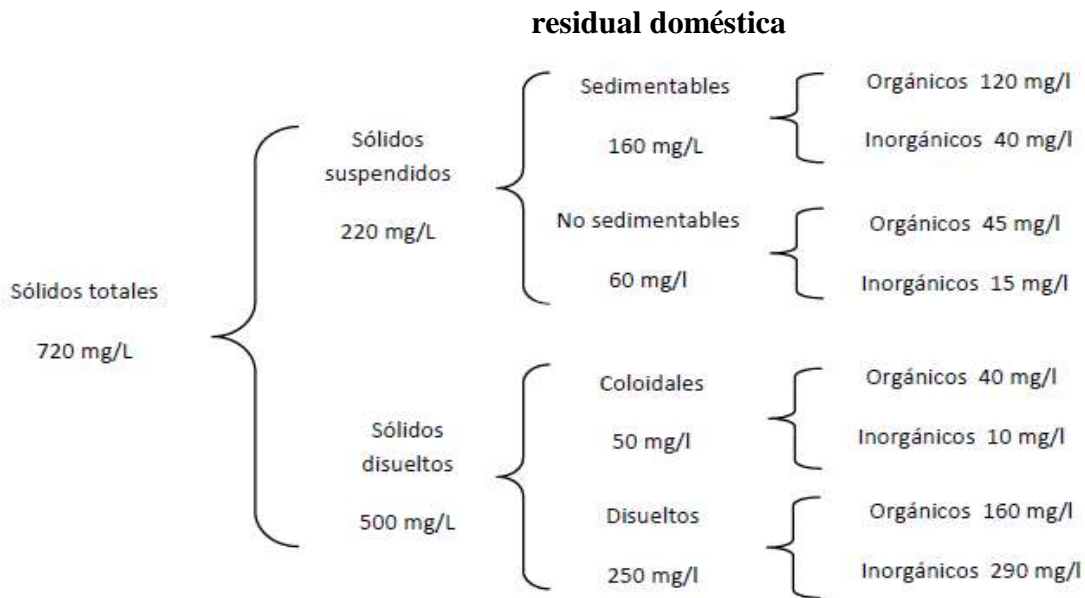
*Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy vol. 1, 1996*

**Figura 2.1. Clasificación y tamaño de partículas encontradas en el agua**



Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy vol. 1, 1996

Figura 2.2. Condiciones físicas y composición de los sólidos contenidos en el agua



Fuente: Metcalf & Eddy vol. 1, 1996.

### 2.1.2.2. Características químicas

Las características químicas son más específicas en su naturaleza que algunos parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar de inmediato, las propiedades de una muestra de agua residual se dividen en orgánicas, inorgánicas y gases. En seguida se describen algunas características químicas:

**El pH.** El potencial de hidrogeno es el logaritmo negativo de base 10 de la concentración de ión  $H^+$ , Mide el grado de acidez o de alcalinidad del agua. Es muy importante en los tratamientos biológicos, ya que los microorganismos se desarrollan en un intervalo de pH entre 6.0 y 8.0.

**Alcalinidad.** Es la capacidad del agua para poder neutralizar ácidos. Se debe a la presencia principalmente de bicarbonato  $[HCO_3^-]$ , carbonato  $[CO_3^{2-}]$  e hidróxido  $[OH^-]$ . Se expresa en términos de  $CaCO_3$

**Acidez.** Es la capacidad del agua para neutralizar compuestos básicos. La mayoría de las aguas naturales y residuales domesticas son amortiguadas por un sistema  $CO_2-HCO_3^-$ . La acidez se expresa en términos de  $CaCO_3$ .

**Oxígeno Disuelto (OD).** El oxígeno es un elemento muy importante en la calidad del agua, su presencia es esencial para mantener la vida biológica. La solubilidad del oxígeno depende de la temperatura, la presión atmosférica y el contenido de sólidos disueltos en el agua.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Mide la cantidad de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para oxidar bioquímicamente la materia orgánica disuelta.

La DBO es un parámetro útil para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica del agua residual, seleccionar el método de tratamiento, dimensionar las instalaciones de tratamiento y evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento.

Las muestras se incuban por cinco días a temperatura de  $20^\circ C$  para determinar el  $O_2$  consumido durante este periodo por los microorganismos inoculados.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Se entiende por demanda química de oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

La DQO Es el parámetro que permite medir indirectamente el contenido de materia orgánica del agua residual que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan en su totalidad con excepción de compuestos como la piridina, el benceno, o el tolueno. La magnitud de los resultados obtenidos normalmente es mayor que la DBO.

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

- **Nitrógeno inorgánico.** En la forma de proteínas, aminoácidos y urea.
- **Nitrógeno amoniacal.** Como sales de amoníaco o como amoníaco libre.
- **Nitrógeno de nitritos.** Una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades.
- **Nitrógeno de nitratos.** Producto final de la oxidación del nitrógeno.

**Fósforo.** Se requiere para la reproducción y síntesis de nuevos tejidos celulares y su presencia es necesaria para el tratamiento biológico. El agua residual doméstica es relativamente rica en fósforo (como fosfatos), debido a su alto contenido de desechos humanos y detergentes sintéticos (estos pueden ser medidos como sustancias activas al azul de metileno).

**Cloruros.** Son responsables del sabor salobre del agua y es un indicador de posible contaminación del agua residual.

**Grasas y aceites.** Estas sustancias representan un problema en el tratamiento del agua residual, ya que tienden a flotar y a formar una capa en la superficie del agua, la cual impide la transferencia de los gases entre el aire y el agua.

**Metales pesados y cianuros.** Son aquellos que, en concentraciones por arriba de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna.

### **2.1.2.3. Características biológicas**

Las aguas naturales contienen una amplia variedad de microorganismos los cuales forman un sistema ecológico balanceado. Las características biológicas se relacionan principalmente con la población residente de microorganismos presentes en el agua.

Su impacto en el agua es la transmisión de enfermedades por organismos patógenos, además del desarrollo del sabor y olor de las aguas superficiales y subterráneas.

Todos los microorganismos requieren para su crecimiento un ambiente húmedo para garantizar su crecimiento, así como una fuente de carbono y de energía (nutrientes). De esta forma, elementos como el nitrógeno, fósforo y elementos traza como sulfuros, potasio, calcio, y magnesio, deben de estar disponibles en el agua. Las dos fuentes de carbono para la síntesis de tejido celular son el dióxido de carbono y el carbono presente en la materia orgánica.

**Fotosíntesis.** Las plantas utilizan el carbono inorgánico y la radiación ultravioleta para producir materia orgánica y oxígeno.

**Quimiosíntesis.** La quimiosíntesis es un tipo de nutrición autótrofa. Consiste en la producción de materia orgánica a partir de inorgánica, utilizando como fuente de energía la liberada en reacciones químicas redox exógenas o exotérmicas.

En la siguiente tabla 2.2. se mencionan algunos organismos que utilizan a la fotosíntesis y quimiosíntesis para generar energía.

***Tabla 2.2. Grupos de microorganismos presentes en el agua residual***

Clasificación	Fuente de energía	Fuente de carbono	Organismos representativos
Fotoautótrofos	Luz	CO <sub>2</sub>	Algas, bacterias fotosintéticas,
Fotoheterótrofos	Luz	Materia orgánica	Bacterias fotosintéticas.
Quimioautótrofos	Materia orgánica	CO <sub>2</sub>	Bacterias.
Quimioheterótrofos	Materia orgánica	Materia orgánica	Bacterias, hongos, protozoarios, animales.

*Fuente: Tchobanoglous y Schroeder.*

Los principales grupos de microorganismos presentes en el agua se clasifican como protistas, plantas y animales.

**Procariotes.** Son estructuras celulares simples y pequeñas ( $\varnothing < 5\mu\text{m}$ ) con núcleo primitivo de un solo cromosoma circular, sin membrana nuclear. Su reproducción normalmente es por fisión binaria. Se incluyen en este grupo de bacterias, los actinomicetos y algas verde-azules.

**Virus.** Son parásitos obligados ya que no tienen la habilidad de sintetizar nuevos compuestos, son partículas submicroscópicas que varían de tamaño de  $0.02\mu\text{m}$  a  $0.3\mu\text{m}$ , compuestas de ácido nucleico y una cubierta de proteína, y que contiene todo el material hereditario necesario para la reproducción; dependen de un huésped para obtener la proteína y la energía necesaria para producirse.

Por su incapacidad para crecer fuera de un huésped adecuado, los virus se encuentran en la frontera entre la materia viviente y las sustancias inanimadas. Para identificación y enumeración de los virus se requieren aparatos y técnicas especiales. Las aguas residuales contienen grandes cantidades de virus, que también están presentes en el agua superficial contaminada.

**Bacterias.** Son organismos protistas unicelulares; de  $0.1$  a  $10\mu\text{m}$  de tamaño, pueden vivir como autótrofos o como heterótrofos y aprovechar el alimento soluble. Su reproducción es por fisión binaria y el tiempo de generación en algunas especies puede tomar sólo 20 min en condiciones favorables.

Algunas bacterias forman esporas resistentes que pueden permanecer latentes por periodos prolongados en condiciones ambientales adversas, pero que pueden reactivarse al retornar las

condiciones favorables. La mayoría de las bacterias se desarrollan en condiciones de pH neutro, aunque algunas especies pueden existir en un ambiente altamente ácido. Las bacterias desempeñan una función vital en los procesos naturales de estabilización y se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas residuales. Se clasifican en relación con criterios tales como: tamaño, forma y agrupamiento de células; características de la colonia; reacción a la tinción; requerimientos de crecimiento; movilidad y reacciones químicas específicas. Las bacterias pueden ser aerobias, anaerobias y facultativas.

**Hongos.** Son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos. Algunos son saprofitos, obtienen su alimento de la materia orgánica muerta. Junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición de los compuestos carbonaceos en la biosfera. Son capaces de degradar compuestos orgánicos altamente complejos. Crecen en áreas reducidas y a bajos valores de pH. Aprovechan casi las mismas fuentes de alimento que las bacterias en las reacciones quimiosintéticas pero, como su contenido de proteína es inferior, sus requerimientos de nitrógeno son menores formando menos materia celular.

Existen más de 100,000 especies de hongos y su estructura es una compleja masa ramificada de hifas que parecen hilos. Tienen cuatro o cinco fases de vida distintas con reproducción por esporas asexuales o semillas. Los hongos existen en las aguas contaminadas y en las plantas de tratamiento biológico, especialmente cuando hay altas relaciones de C:N, pueden ser responsables de ciertos sabores y olores en los abastecimientos de agua.

**Algas.** Son microorganismos eucariotas, autótrofos, fotosintéticos, contienen clorofila y actúan como principales productoras de materia orgánica en un ambiente acuático.

Los compuestos inorgánicos tales como el bióxido de carbono, el amoníaco, el nitrato y el fosfato proporcionan la fuente de alimento para sintetizar nuevas células de algas y para producir oxígeno. En ausencia de la luz solar, las algas viven en forma quimiosintética y consumen oxígeno de modo que, en el agua que tiene algas, hay una variación diurna de los niveles de OD, teniendo lugar una sobresaturación de oxígeno durante el día y una reducción en la noche.

**Protozoarios.** Son microorganismos eucariotas unicelulares de 10 a 100  $\mu\text{m}$  de longitud, que se reproducen por fisión binaria. Algunos se encuentran libres en la naturaleza, mientras que otros son parásitos, viviendo dentro o fuera de un organismo. Los huéspedes varían de organismos primitivos como algas a organismos complejos, incluyendo al ser humano. La mayoría son heterótrofos aerobios o facultativos. Su fuente principal de alimento son las bacterias que además de alimento les suministran otros factores necesarios para su crecimiento que ellos mismos no pueden sintetizar.

Estos organismos son importantes en los procesos de descomposición del tratamiento de aguas residuales y en los lagos, ya que solubilizan la materia orgánica particulada para crear los sustratos disueltos que requieren las bacterias y los hongos.

**Rotíferos.** Animales microscópicos de 100 a 1000  $\mu\text{m}$  de tamaño, su alimentación es similar a la de los protozoarios, y consiste en ingerir partículas vivas y muertas, y excrementar materia orgánica soluble útil para bacterias y hongos. Son importantes para reciclar energía y material en las plantas de tratamiento de las aguas residuales y en los sistemas naturales.

**Microcrustáceos.** Son animales microscópicos de 1 a 10 mm. Se alimentan de bacterias algas y otras partículas en los lagos. Los microcrustáceos son importantes en la transferencia de energía y materiales en los sistemas acuáticos.

**Macroinvertebrados.** Animales superiores sin espina dorsal o columna vertebral, por lo común habitan en el lodo del fondo de lagos y ríos. Los macroinvertebrados incluyen gusanos, almejas, caracoles y la primera etapa de insectos. Son importantes en el tratamiento de materia orgánica muerta en los ecosistemas acuáticos y son una fuente importante de alimento para los peces. A causa de su falta relativa de movilidad, los macroinvertebrados acumulan compuestos tóxicos, y de este modo funcionan como indicadores de la salud del ecosistema.

**Organismos patógenos.** Se conoce como organismos patógenos, a los organismos que al ingresar al cuerpo humano pueden causar enfermedades o daños a la biología de un huésped. Se identifican a través de indicadores, en este caso, se le llama así a los organismos que con su presencia indican



que ha ocurrido contaminación con excreta humana, los indicadores más utilizados son dos grupos de bacterias que siempre se encuentran en el intestino de los seres humanos: el grupo de coliformes fecales y el grupo de estreptococos fecales.

Los coliformes incluyen a todas las bacterias aerobias, anaerobias y facultativas, no esporuladas, en forma de bacilo corto, que fermentan las lactosas con producción de gas en 24 horas a 35 °C. Este grupo heterogéneo no sólo está presente en las heces humanas, sino que se encuentra en otros ambientes como son: aguas residuales, aguas dulces superficiales, suelo y vegetación. Los estreptococos fecales su presencia indica una contaminación peligrosa y demuestran que ha ocurrido recientemente, ya que en aguas no contaminadas nunca se encuentran. Son característicos de la contaminación fecal y están presentes en las heces humanas y en las de animales de sangre caliente.

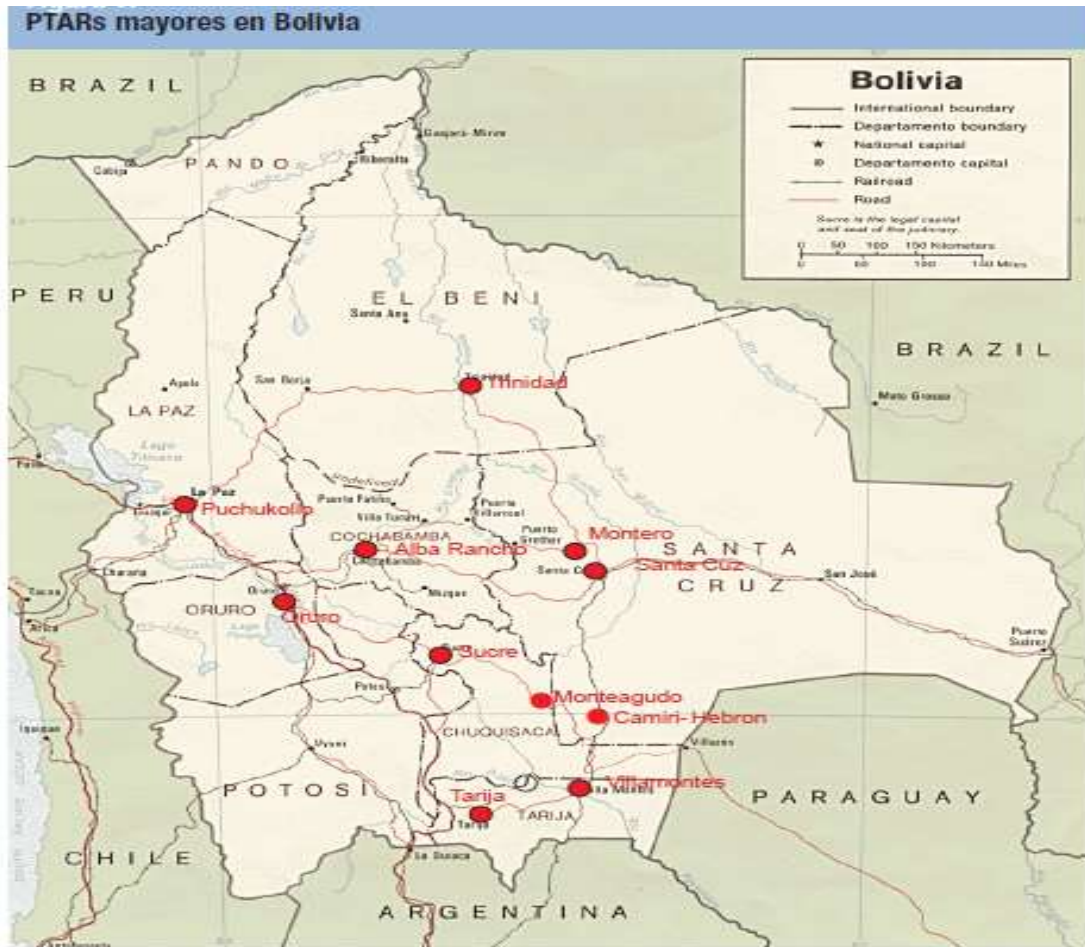
**Helmintos.** Los helmintos o gusanos, son animales invertebrados de tamaño variable que van de milímetros a metros. Se reproducen sexualmente formando huevos fértiles que dan lugar a larvas de diversa morfología.

Los huevos y larvas de los parásitos intestinales pueden llegar a los cursos de agua transportados por humanos y animales, ya sea directamente o en el lavado del suelo.

### **2.1.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales**

#### **2.1.3.1. Presencia de PTAR**

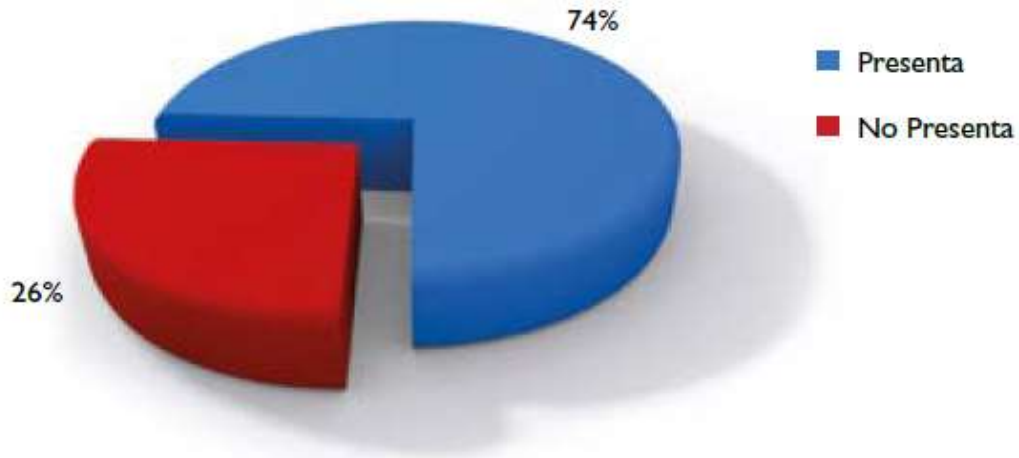
**Figura 2.3. PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) mayores en Bolivia**



Fuente: <http://www.anesapa.org>

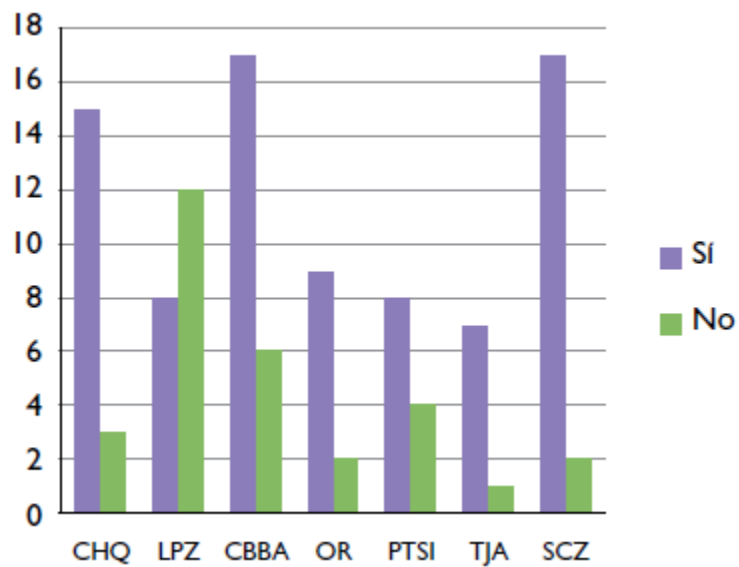
En los estudios realizados se encontró una presencia de PTAR en un 74%. Sin embargo, el 26% restante, si bien no existe una PTAR, se refiere a poblaciones donde existe el aprovechamiento de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento. En el siguiente gráfico se puede observar la presencia de PTAR en Bolivia.

**Gráfica 2.1. Presencia de PTAR en estudios realizados en Bolivia**



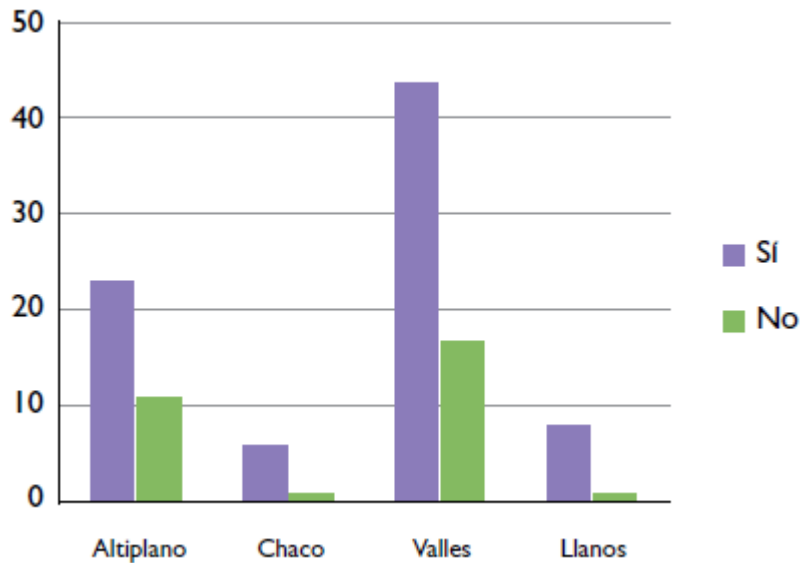
Fuente: <http://www.riegobolivia.org>.

**Gráfica 2.2. Presencia de PTAR en estudios realizados por departamento**



Fuente: <http://www.riegobolivia.org>.

**Gráfica 2.3 Presencia de PTAR en estudios realizados por región**



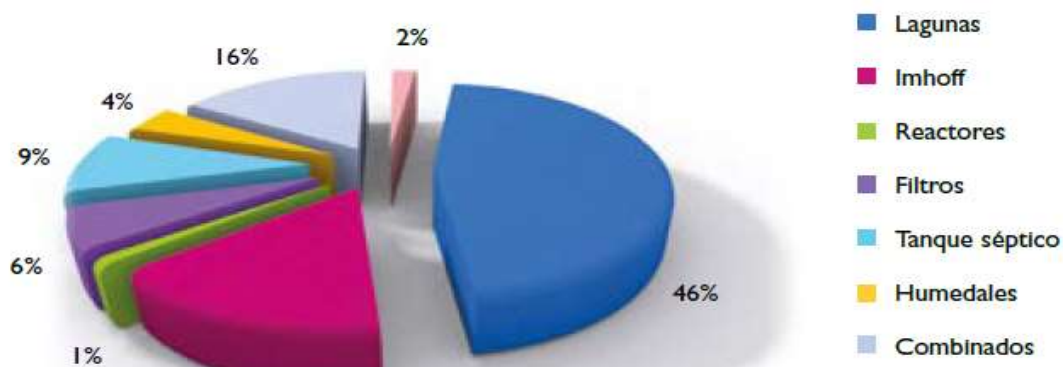
Fuente: <http://www.riegobolivia.org>.

Los Gráficos 2.2 y 2.3, muestran los resultados encontrados por departamento y por región. Se identificó que los departamentos de Chuquisaca, Cochabamba y Santa Cruz son los que tienen mayor presencia de PTAR, y el departamento de La Paz es el departamento con mayor falta de PTAR. En la región de Valles se observa que la presencia de PTAR es mayor, pero también se puede apreciar que es la región con mayor cantidad de centros poblados sin PTAR.

### 2.1.3.2. Tipos de PTAR

Del 74% del total de PTAR identificado en el estudio, se encontró que existen diversas tecnologías de tratamiento como ser: Lagunas de Estabilización, Tanques Imhoff, Reactores Anaeróbicos, Filtros, Tanques Sépticos, Humedales, además de sistemas mixtos como tanques o reactores con lagunas, así como también fosas, como se observa en el Gráfico 2.4.

**Gráfica 2.4. Tecnologías identificadas en las PTAR estudiadas**



Fuente: <http://www.riegobolivia.org>.

La tecnología de tratamiento de aguas residuales identificada en la mayoría de los estudios, se refiere a lagunas de estabilización debido a que es un sistema convencional, económico, de fácil construcción, operación y mantenimiento. Por otra parte, los Tanques Imhoff se encuentran principalmente en poblaciones pequeñas (16%); igualmente, resaltan los sistemas combinados (16%), que son principalmente reactores, tanques o filtros, acompañados de sistemas de lagunas, siendo los de mayor eficiencia ya que al combinar tecnologías logran una mayor remoción de los contaminantes.

De acuerdo al tipo de tratamiento existente en cada uno de los departamentos donde se ha llevado a cabo el levantamiento de datos, se tiene la siguiente información:

**Tabla 2.3. Niveles de tratamiento por departamento**

Tipo de tratamiento	DPTO													
	CBB		CH		LP		OR		PTY		SC		TAR	
	Conteo	Column Total N%	Conteo	Column Total N%	Conteo	Column Total N%	Conteo	Column Total N%	Conteo	Column Total N%	Conteo	Column Total N%	Conteo	Column Total N%
No tiene PTAR	6	33.3%	2	10.5%	12	63.2%	2	18.2%	4	33.3%	3	15.8%	0	0.0%
primario	6	33.3%	1	5.3%	2	10.5%	2	18.32%	5	41.7%	1	5.3%	0	0.0%
secundario	1	5.6%	13	68.4%	4	21.1%	6	54.5%	1	8.3%	5	26.3%	7	77.8%
terciario	5	27.8%	3	15.8%	1	5.3%	1	9.1%	2	16.7%	10	52.6%	2	22.2%
Total	18	100.0%	19	100.0%	19	100.0%	11	100.0%	12	100.0%	19	100.0%	9	100.2%

Fuente: <http://www.riegobolivia.org>.

Como se observa en la Tabla anterior, son muy pocas las plantas de tratamiento que tienen un tratamiento terciario, es decir, que en teoría podrían resolver el problema de tratamiento incluyendo la remoción de patógenos a niveles aceptables para riego, por ejemplo de hortalizas. Sin embargo, son ya un número apreciable las que cuentan con tratamientos secundarios en los diferentes

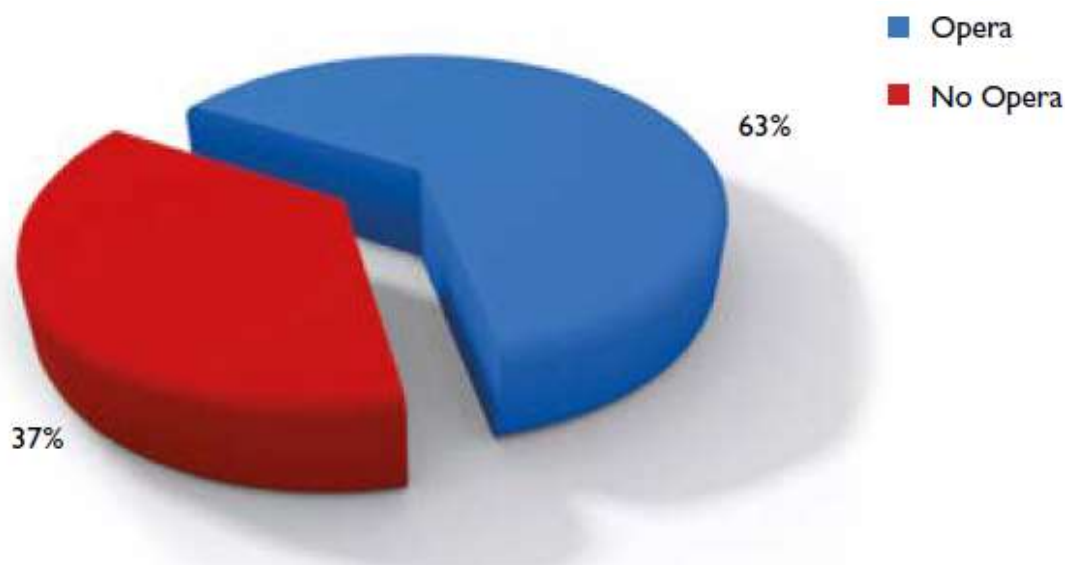
departamentos, esto podría ser compatible con algunas medidas adicionales como la espera entre el último riego y la cosecha y el lavado de los alimentos para la reducción de patógenos.

Una nueva tabla extractada de los datos levantados es la que sigue y muestra el porcentaje de las plantas de tratamiento que tienen medidas de acondicionamiento de las aguas antes de pasar a los reactores.

### 2.1.3.3. Funcionamiento y eficiencia

Del 63% de las PTAR estudiadas, se identificó que el 37% no funciona, es decir, el agua residual no ingresa a la PTAR y es desviada para otros fines, o el agua residual que entra a la PTAR se infiltra en el suelo y no existe un efluente.

**Gráfica 2.5. Operación de PTAR en estudios realizados en Bolivia**



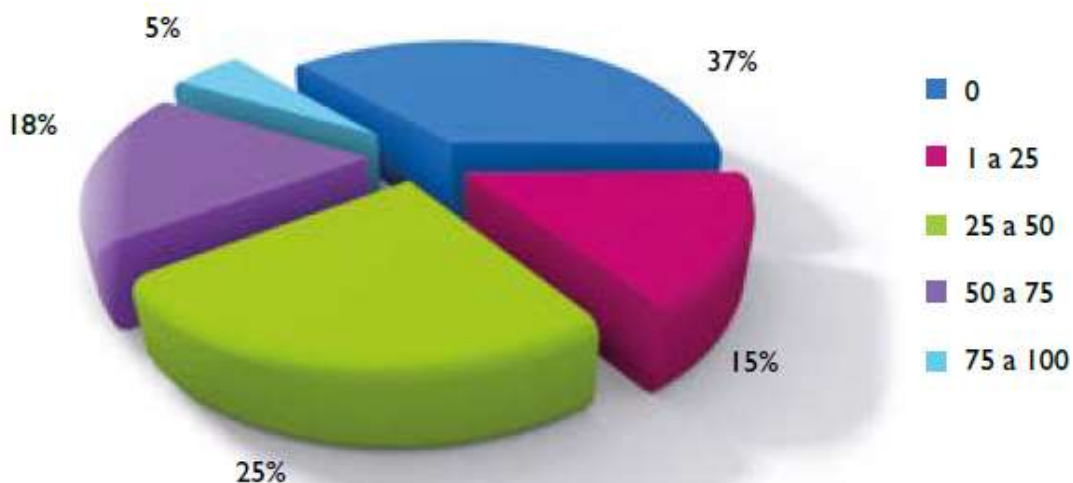
*Fuente: <http://www.riegobolivia.org>.*

En el Gráfico 2.5 se puede observar que, en el 63% de los estudios realizados, las PTAR funcionan; es decir, existe un afluente y un efluente, lo que significa que existen diversos problemas que generarían riesgos de salubridad.

Para un mejor detalle del funcionamiento de las PTAR se identificó el porcentaje de efectividad en la remoción de contaminantes; en este relevamiento en particular, se realizó el cálculo de la efectividad con base en la DQO.

Como se puede observar en el gráfico 2.6, solamente el 5% de las PTAR en Bolivia presenta una remoción mayor al 75%, identificando insuficiencias y problemas en las diferentes PTAR existentes en Bolivia.

**Gráfica 2.6. Efectividad en PTAR con base en DQO en estudios realizados en Bolivia**



*Fuente: <http://www.riegobolivia.org>.*

En las regiones de Llanos y Chaco, las PTAR tienen mayor efectividad, probablemente debido a las condiciones climáticas favorables como la elevada temperatura, ya que aumenta la actividad de los microorganismos. En la región de los Valles existe una menor eficiencia, debido a que las PTAR no abastecen a la creciente población y cada vez son más sobrecargadas. En la región altiplánica, un factor importante está relacionado con las bajas temperaturas que no favorecen la actividad de los microorganismos. En estas cuatro regiones, la principal causa que repercute en la baja efectividad del tratamiento es la deficiencia en la operación y mantenimiento.

#### **2.1.4. Factores que afectan la calidad del agua residual**

##### **2.1.4.1. Factores climáticos**

## ***Temperatura***

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son muy influenciadas por la temperatura (Rolim, 2000). Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades.

En general y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas, se puede decir que la velocidad de degradación aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias. Estos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas. Por eso, el proyecto de las lagunas debe tener en cuenta siempre las condiciones de temperaturas mas adversas.

Una caída de 10°C en la temperatura reducirá la actividad microbiológica aproximadamente 50%. La actividad de fermentación del lodo no ocurre significativamente en temperaturas por debajo de 17° C (Rolim, 2000).

## **Radiación solar**

La luz es fundamental para la actividad fotosintética, ésta depende no solo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad. Como la intensidad de la luz varía a lo largo del año, la velocidad de crecimiento de las algas cambia de misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media tarde.

## **Viento**

El viento tiene un efecto importante en el comportamiento de las lagunas, ya que induce a la mezcla vertical del líquido de la laguna, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto (importante para lagunas aerobias y facultativas), bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual. En ausencia de mezcla inducida por el viento, la población de algas tiende a estratificarse en banda estrecha, de unos 20 cm de ancho, durante las horas de luz del día. Esta banda concentrada de algas se mueve hacia arriba o hacia abajo en la capa superior, de 50 cm de espesor (Romero, 1999). Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades.



## **Evaporación**

La repercusión principal de la evaporación es la concentración de los sólidos que contiene el agua almacenada. El consiguiente aumento de la salinidad puede resultar perjudicial si el efluente se va a emplear en riego.

## **Precipitación**

El oxígeno disuelto suele bajar después de tormentas debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia y los sedimentos de las lagunas que se mezclan con la columna de agua. Otro efecto de la lluvia es una cierta oxigenación en la zona superficial de las lagunas, debido tanto al propio contenido en oxígeno de la lluvia como a la turbulencia que provoca con su caída.

### **2.1.4.2. Factores físicos**

#### **Estratificación**

La densidad del agua cambia con la temperatura, es mínima a 4 °C y aumenta para temperaturas mayores o menores, el agua más cálida es más ligera y tiende a flotar sobre las capas más frías. Durante los meses de primavera y verano el calentamiento tiene lugar desde la superficie, la capas superiores están más calientes que las inferiores, son menos densas y flotan sobre ellas sin que se produzca la mezcla entre unas y otras.

Durante la primavera, la mayoría de las lagunas tienen una temperatura casi uniforme, por lo tanto se mezclan con facilidad gracias a las corrientes inducidas por los vientos. Cuando se aproxima el verano, las aguas de las capas superiores se calientan y su densidad disminuye produciéndose una estratificación estable. Tratamiento de Aguas Residuales.

#### **Flujo a través de las lagunas**

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro de la misma. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan

en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos periodos de tiempo.

### **Profundidad**

La profundidad de las lagunas es normalmente 1.5, aunque se pueden usar profundidades entre 1 y 2 m. El límite inferior viene condicionado a la posibilidad de crecimiento de vegetación emergente para profundidades menores, lo cual se desaconseja normalmente para evitar el desarrollo de mosquitos (Romero, 1999).

Existen varias razones por las que en estos sistemas profundos se obtiene mayor eficacia de tratamiento como es la mayor productividad de las algas en un medio en el que tienden a sedimentar en la zona profunda y morir. La zona profunda tiende a estar en condiciones anaerobias, y en ella se produce la degradación lenta de compuestos orgánicos y microorganismos sedimentados desde la superficie. De esta forma se generan nutrientes solubles que se reincorporan a la capa superficial y contribuyen a la actividad biológica.

En las zonas climas cálidos la mayor profundidad repercute en una disminución de la evaporación relativa, lo que es beneficioso desde el punto de vista del almacenamiento para riegos como para evitar aumentos de salinidad en el efluente. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades.

#### **2.1.4.3. Factores químicos y bioquímicos**

### **PH**

El valor de pH en las lagunas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de dióxido de carbono como producto final, lo que causa una disminución de pH.

Como la fotosíntesis depende de la radiación solar, el pH de las lagunas presenta variaciones durante el día y el año. Cuanto mayor es la intensidad luminosa, los valores del pH son más altos. Estas variaciones diarias son muy marcadas en verano, cuando pueden alcanzarse valores de pH en torno a 9 o mayores, partiendo de valores de 7-7.5, al final de la noche (Rolim, 2000)

## **Oxígeno disuelto**

El contenido en oxígeno disuelto es uno de los mejores indicadores sobre el funcionamiento de las lagunas. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación senoidal a lo largo del día. El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación. Durante el verano es posible encontrar que las capas superficiales de las lagunas están sobresaturadas de oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto presenta variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse. La profundidad a la que se Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades, anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias y el grado de mezcla inducido por el viento. En invierno la capa oxigenada tiende a ser mucho más reducida que en verano.

## **Nutrientes**

Los nutrientes son fundamentales para la buena marcha del tratamiento en lagunas. A medida que progresa la depuración se va produciendo una eliminación de nutrientes que puede dar lugar a que uno o varios alcancen concentraciones limitantes para el desarrollo subsiguiente de algas o bacterias. En lagunas de estabilización el agotamiento de nutrientes solo ocurre en pocas de intensa actividad biológica, y suelen venir de la eliminación de materia orgánica hasta los niveles máximos en este tipo de tratamiento.

### **2.1.5. Tratamiento del agua residual**

Esta sección está orientada a la comprensión teórica de los tipos de tratamiento de aguas residuales reportados en Bolivia. Existen muchas otras tecnologías obtenidas a nivel mundial.

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.

Los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden ser eliminados o ser disminuidos a valores aceptables con procesos físicos, químicos y/o biológicos. Los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias. Estos procesos incluyen sedimentación, mezclado, floculación, sedimentación, filtración y tamizado.

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos y/o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios. Fenómenos como la precipitación, adsorción y la desinfección son ejemplos de los procesos químicos de aplicación más común en el tratamiento de las aguas residuales.

Por último, existen los procesos biológicos unitarios en los cuales la estabilización de la materia orgánica es llevada a cabo por microorganismos. Los microorganismos pueden trabajar en ausencia de oxígeno (procesos anaerobios), así como existen microorganismos que desarrollan su actividad en presencia de oxígeno (procesos aerobios). Los microorganismos que tienen la capacidad de desarrollarse en ambos ambientes se denominan facultativos.

### 2.1.5.1. Esquema conceptual de los tipos de tratamiento

El relevamiento de datos realizado muestra que en Bolivia se emplean diferentes esquemas de tratamiento que de manera general obedecen al proceso mostrado en el siguiente gráfico:

**Figura 2.4. Tratamiento convencional de ARD**



*Fuente: PROAGRO, 2013*

### 2.1.6. Descripción de tecnologías

#### 2.1.6.1. Pre - tratamiento

Tienen como objetivo eliminar de las aguas residuales todos aquellos elementos que por su naturaleza o tamaño pueden afectar el correcto funcionamiento de los tratamientos posteriores, principalmente por su acción mecánica, formación de sedimentos, abrasión o atascos. Entre las técnicas más usadas en las plantas de Bolivia están el desarenador y la rejilla, ya sea de limpieza manual o de limpieza mecanizada en las plantas grandes. Principales elementos usados en pre-tratamientos

**Figura 2.5. Tratamiento preliminar**



*Fuente: Terán, 2004*

**Tabla 2.4. Principales elementos y procesos del pre tratamiento**

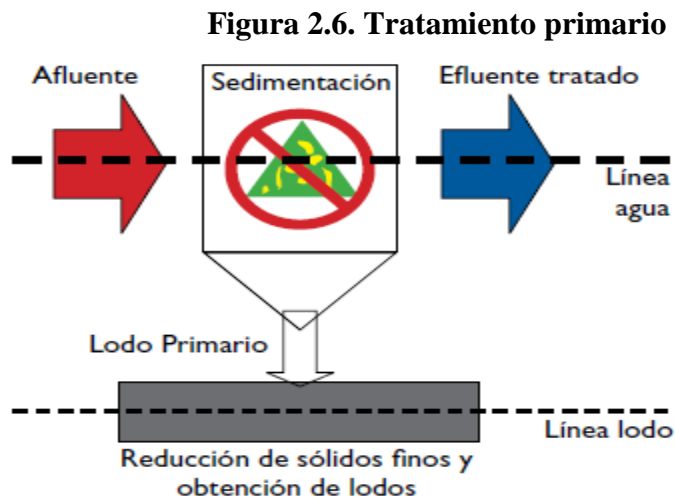
Elemento	Función
Rejas, tamices y trituradores	El primer paso para el tratamiento preliminar es la retención de sólidos de gran tamaño. El proceso más utilizado es pasar el agua residual a través de rejas o tamices, pero también se puede utilizar trituradores que desmenuzan sólidos gruesos sin separarlos del agua.
Desarenadores	Separan arena, grava, ceniza y otros materiales pesados mediante la sedimentación.

*Fuente: Wagner, 2010*

### 2.1.6.2. Tratamiento primario

Principalmente es una separación sólido-líquido por medios físicos (por acción de la gravedad) de los sólidos en suspensión. La mayor parte de las plantas en Bolivia utilizan reactores anaerobios y

entre ellos se tienen las cámaras sépticas, las cámaras de sedimentación, los tanques Imhoff, los reactores y las lagunas anaerobias. En todo este grupo de reactores se logra una reducción variable en la carga de DBO que alcanza, en la mayoría de los casos, hasta un 50%. Esta separación de sólidos puede ser mejorada con la adición de productos químicos, que como consecuencia generan la mayor producción de lodos que deben ser tratados en una fase posterior.



La digestión anaerobia es la conversión de la materia orgánica básicamente en metano y anhídrido carbónico, proceso que se realiza con la acción bacteriana y en ausencia de oxígeno. Se pueden distinguir cuatro fases que son la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Si además se tiene presencia de sulfatos se produce una fase adicional que es la sulfurogénesis cuyo principal problema es la generación de ácido sulfhídrico que produce un intenso mal olor.

Para que un reactor anaerobio funcione adecuadamente, se tiene que conseguir un equilibrio entre las comunidades de bacterias, tomando en cuenta que el crecimiento de las metanogénicas es mucho menor que el crecimiento de las acidogénicas. Si por algún motivo disminuye el tamaño de la comunidad de bacterias metanogénicas, se producirán los malos olores por la abundancia de otras bacterias y la consecuente acidificación del reactor.

Para que ello no ocurra, se requiere de una adecuada operación y mantenimiento de los reactores, cuidando en todo momento sobre todo que el pH esté en el rango adecuado; si falta alcalinidad se

pueda suplir la misma con el añadido de cal y cuidar la temperatura, entre otros aspectos de menor importancia.

Un reactor anaerobio, debe instalarse inmediatamente después de los procesos de pre-tratamiento y desarenado, mientras que el agua tratada requiere un post-tratamiento adecuado. Todos los elementos anaerobios deberían tener un sistema de manejo del biogás, porque los gases producidos son explosivos (metano) y producen malos olores, principalmente por derivados de Azufre (S). El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, es disminuir suficientemente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos, debido a la diversidad de diseños y operación.

En alguna región del país, también se han utilizado lagunas facultativas como tratamiento primario. Éstas tienen la particularidad de hacer un tratamiento biológico con bacterias aeróbicas en la parte superior, el cual permite penetración solar y anaerobia en la parte inferior. En este tipo de tratamiento se tiene reducciones, tanto en la carga de DBO, como en bacterias coliformes.

En Bolivia se pueden distinguir entre los más usados los siguientes tratamientos primarios:

➤ **Sedimentadores primarios**

El objeto de este tratamiento es principalmente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento. Los tanques o lagunas de sedimentación pueden utilizarse como el primer paso para el tratamiento en función de la calidad del agua en el afluente. Otra función que podrían tener los sedimentadores primarios es la retención del agua pluvial, con un corto tiempo de retención de los caudales máximos en el afluente.

➤ **Tanques sépticos**

Son tanques generalmente subterráneos, diseñados y construidos para el saneamiento rural, deben llevar un sistema de post-tratamiento. Estos sistemas son recomendados en zonas lejanas de redes públicas de alcantarillados o como alternativas de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales.

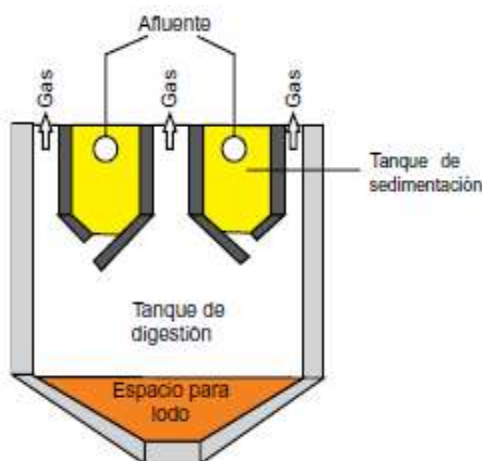
### ➤ **Tanques Imhoff**

La eliminación de sólidos sedimentables y la digestión anaerobia es tarea principal de los tanques Imhoff y fosas sépticas. Se dividen en tres cámaras que son:

1. La sección superior, que se conoce como cámara de sedimentación.
2. La sección inferior, que se conoce como cámara de digestión de lodos.
3. El respiradero y cámara de natas o área de ventilación del gas.

La remoción de la DBO en Tanques Imhoff es normalmente entre 30 hasta 40% (los valores obedecen a la temperatura y el tiempo de retención)<sup>1</sup> (Wagner, 2010)

**Figura 2.7. Tanque Imhoff**



*Fuente: Wagner, 2010*

### ➤ **RAFA (UASB)**

(RAFA) o UASB son los reactores anaerobios de flujo ascendente (por sus siglas en inglés). En este tipo de reactor, el agua es introducida por el fondo y sube por una lámina de lodos sedimentados. En este tipo de reactor, los microorganismos y bacterias se agrupan formando biogránulos y/o flóculos. Estos agregados densos poseen buenas cualidades de sedimentación. La turbulencia natural causada por el propio caudal del afluente y la producción de biogás, provoca el buen contacto entre agua residual y fango biológico en el sistema RAFA. El efluente de los

---

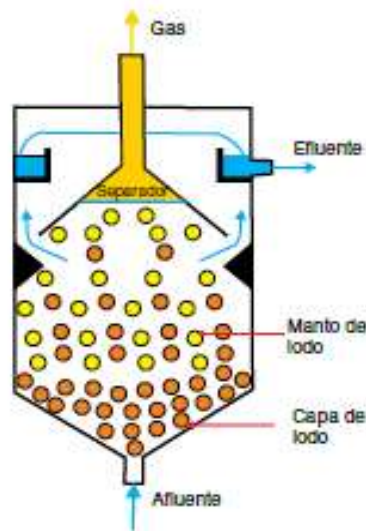
<sup>1</sup> Wagner Wolfgang, *Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia*, 2010



reactores necesita un tratamiento posterior para lograr degradar la materia orgánica remanente, nutrientes y patógenos.

Este post tratamiento puede ser a través de sistemas convencionales aeróbicos, como lagunas de estabilización. Igual que en otros tipos de tratamiento de aguas residuales, en los RAFA también son necesarias etapas previas de adecuación del afluente antes de ingresarlas al reactor, como por ejemplo, eliminación de aceites, grasas y arena.

**Figura 2.8. Reactor RAFA**



*Fuente: Wagner, 2010*

### ➤ RALF

El reactor RALF (Reactor Anaeróbico de Lodo Fluidizado) es una modificación del reactor RAFA. La diferencia entre un reactor RAFA y un RALF es la forma del sedimentador. Para aguas residuales domésticas, un criterio principal para el diseño de reactores (RAFA y RALF) es el tiempo de retención que depende de la temperatura (Wagner, 2010).

**Figura 2.9. RALF**



*Fuente: Wagner, 2010*

### ➤ **Filtros anaerobios**

Los reactores biológicos con relleno son unidades que disponen de medio soporte constituido por materiales, piezas o accesorios, generalmente inertes, en cuya superficie ocurren la fijación y desarrollo de biopelícula, y en cuyos intersticios proliferan microorganismos que pueden agruparse de diferente manera. 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 material sintético, piezas en madera, módulos tubulares, etc., e inclusive, en casos especiales, se puede pensar en usar materiales flotantes<sup>2</sup> (Terán, 2004).

**Figura 2.10. Filtro anaerobio**

---

<sup>2</sup> Terán Cuba, F. *Lodos y Aguas Servidas Tratadas*, 2004



*Fuente: Terán, 2004*

### ➤ **Lagunas anaerobias**

Usualmente, las lagunas anaeróbicas son usadas en una primera etapa (en una serie de lagunas) como tratamiento de aguas residuales y tienen la función de remoción, principalmente de la DBO. No contienen oxígeno disuelto ni algas.

Las tasas de remoción alcanzan, en caso de un diseño apropiado, como máximo hasta un 60% de DBO dadas las condiciones climáticas apropiadas, pero en Bolivia en la mayor parte de los casos, sólo remueven hasta máximo 50% de la carga de DBO.

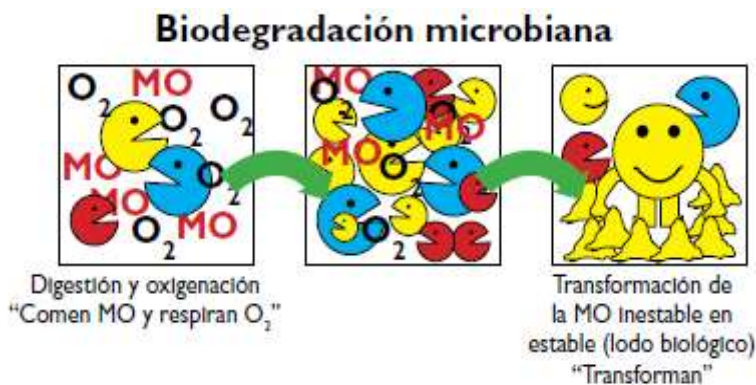
La remoción de DBO se logra con la sedimentación de los sólidos en el agua y la digestión anaeróbica en la zona de los lodos. Las bacterias involucradas en los procesos anaeróbicos son sensibles a los tóxicos.

#### **2.1.6.3. Tratamiento secundario**

Corresponde a una eliminación mayor de los contaminantes, generalmente por procesos biológicos. En estos casos la reducción en DBO corresponde a la parte soluble de la misma y, dependiendo de la tecnología empleada, se presentan reducciones de coliformes fecales. El lugar donde se pone en contacto la biomasa con el agua residual para llevar a cabo el tratamiento, puede ser un reactor biológico o una laguna de estabilización entre otros tipos. En la mayoría de los casos, la biomasa se genera espontáneamente durante el tratamiento biológico y a partir de pequeñas concentraciones de microorganismos presentes en el agua residual o en el aire (ilustración 3). Consecuentemente, el conocimiento de las actividades bioquímicas de los microorganismos importantes es básico para

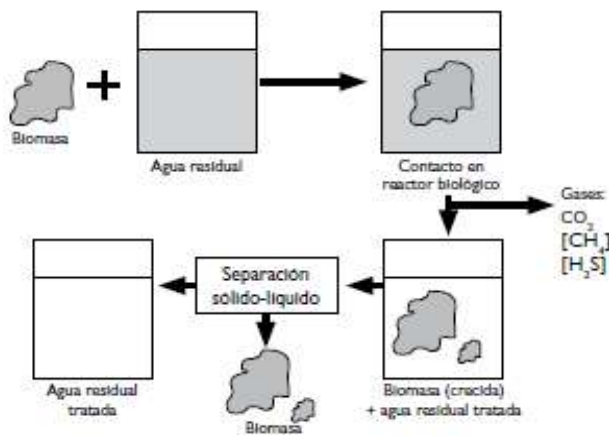
el diseño de un proceso de tratamiento biológico o en la selección del tipo de proceso que se quiere utilizar.

**Figura 2.11. Biodegradación microbiana**



*Fuente: Terán, 2004*

**Figura 2.12. Proceso biológico de tratamiento**



*Fuente: Terán, 2004*

Además, los procesos de eliminación de nutrientes son más complejos que los de la eliminación de materia orgánica. Por lo menos una combinación de dos etapas es necesaria para la eliminación de nitrógeno y fósforo; los procesos de eliminación simultánea de ambos nutrientes comprenden tres etapas: anaerobia, aerobia y anóxica<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Francisco Terán Cuba, *Lodos y Aguas Servidas Tratadas*, 2004

En Bolivia se cuenta con diferentes tipos de reactores. Normalmente en plantas de pequeño a mediano porte se tienen filtros anaerobios, filtros percoladores, y en plantas grandes se ha optado por lagunas de estabilización.

A continuación se presentan los tipos de tratamiento secundarios correspondientes:

#### ➤ **Lagunas de estabilización**

Las lagunas de estabilización representan un sistema natural de tratamiento de aguas residuales, con costos mínimos de operación y reconocidos a nivel mundial. La construcción de lagunas de estabilización para resolver el problema del tratamiento de aguas residuales, es aplicable tanto para las industrias pequeñas como para las domésticas y ciudades grandes. Sin embargo, existen localidades en las que el costo y la falta de disponibilidad de terreno no permiten este tipo de tratamiento.

En las lagunas de estabilización, la remoción de la materia orgánica (expresada como DBO<sub>5</sub>) es realizada mediante procesos biológicos aerobios y anaerobios. Dependiendo del proceso predominante, las lagunas son aerobias (de maduración o de pulimento), anaerobias o facultativas. Las lagunas facultativas son diseñadas para la remoción de la DBO y patógenos.

**Figura 2.13. Serie de lagunas de estabilización**



*Fuente: Wagner, 2010*

#### ➤ **Lagunas facultativas**

Existen dos tipos de lagunas facultativas: Las primarias, que reciben agua cruda después de un pre-tratamiento y las secundarias, en las cuales entran aguas sedimentadas (efluente de lagunas anaeróbicas). 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.

➤ **Lagunas aireadas**

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

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

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

*Figura 2.14. Sistema de aireación superficial*



*Fuente: saguapac.com.bo*

➤ **Filtros biológicos/ filtros percoladores**

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

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

El relleno de los filtros puede estar compuesto por rocas (diámetros entre 2,5 a 10 cm) y se han realizado pruebas con relleno plástico. La profundidad varía de acuerdo al diseño particular, generalmente entre 3 a 6 m (Wagner, 2010).

#### **2.1.6.4. Tecnologías de tratamiento terciario**

El propósito del tratamiento terciario es reducir el número de organismos vivos a niveles aceptables que permitan el posterior reúso de las aguas en riego, 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.

En el país se emplean lagunas de maduración, humedales con flujo superficial y subsuperficial. En un caso se tiene desinfección con radiación UV.

#### **Figura 2.14. Tratamiento terciario**



*Fuente: Terán, 2004*

### ➤ **Lagunas de maduración**

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

La gran ventaja de las lagunas de maduración es que se 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.

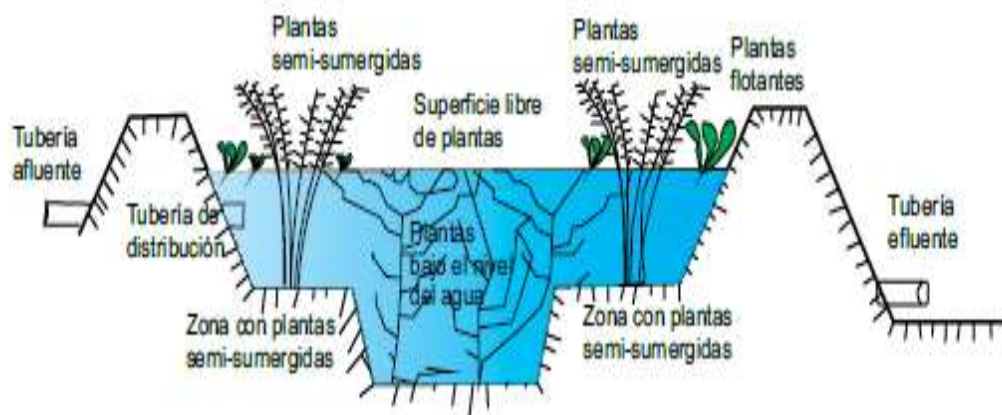
La remoción de los contaminantes en los humedales ocurre a través de las especies vegetales presentes.

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.



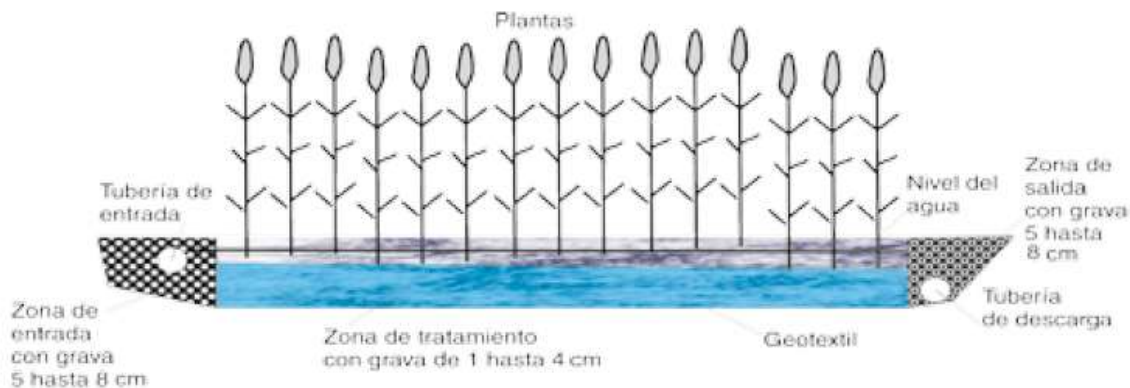
Los humedales de flujo subsuperficial necesitan un pre-tratamiento con eliminación de los sólidos y están diseñados específicamente para el tratamiento de agua residual o para la fase final de tratamiento. Las principales ventajas de un sistema con nivel del agua subsuperficial son la prevención de mosquitos y olores.

**Figura 2.15. Humedal artificial del flujo superficial**



*Fuente: Wagner, 2010*

**Figura 2.16. Humedal artificial del flujo sub superficial**



*Fuente:  
Wagner,  
2010*

➤ **Desinfección - luz ultravioleta (UV)**

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% <sup>4</sup>(Mendonca 2000). La efectividad de la desinfección depende de la

<sup>4</sup> Sergio Rolim Mendonca Sistemas de lagunas de estabilización, 2000

calidad del agua tratada, el tipo de desinfección utilizado, la dosis de desinfectante (concentración y tiempo) y de otras variables ambientales<sup>5</sup> (Wagner, 2010).

La desinfección se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Se utiliza, por lo general, debido a las preocupaciones por la generación de subproductos que produce la desinfección con cloro. De todos los tipos de tratamiento de aguas residuales anteriormente mencionados, se infiere que existen variaciones en su eficiencia debido a factores como su ubicación, altitud, latitud, temperatura, diseño, operación y mantenimiento.

## **2.2. Marco normativo.**

Existen leyes sectoriales que determinan reglas de uso del agua. De igual manera, en Bolivia las leyes están basadas en la protección del medio ambiente, como se puede apreciar en los siguientes numerales:

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

La Constitución Política del Estado fue promulgada el 7 de febrero de 2009, en la que respecto a temas de reúso expresamente, no tiene ningún artículo específico, aunque 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.

---

<sup>5</sup> *Wagner Wolfgang, Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia, 2010*

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.

II. El Estado reconocerá, respetará y protegerá los usos y costumbres de las comunidades, de sus autoridades locales y de las organizaciones indígena originaria campesinas sobre el derecho, el manejo y la gestión sustentable del agua.

### **2.2.2. 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:

### **Clase “A”**

Agua natural de máxima calidad, habilitada como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en casos necesarios verificados por laboratorio.

### **Clase “B”**

Aguas de utilidad, para consumo humano requiere tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

### **Clase “C”**

Aguas de utilidad general, para consumo humano requiere tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.

### **Clase “D”**

Aguas de utilidad general, solo habilitada para consumo humano en casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de presedimentación, por tener elevada turbiedad o elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico –químico completo y desinfección bacteriológica.

» Valores máximos admisibles para parámetros en cuerpos receptores (80 parámetros)

**Tabla 2.5. Clasificación de cuerpos de agua.**

parámetro	unidad	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
PH		6.0 a 8.5	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
Sol. Disueltos	Mg/l	1000	1000	1500	1500
Aceites	Mg/l	ausentes	ausente	0.3	1
DBO5	Mg/l	<2	<5	<20	<30
DQO	Mg/l	<5	<10	<40	<60
Colifecales	Nº/ 100 ml.	<50y<5	<1000<200	<5000<1000	<50000y<5000
Parasitos	<1	<1	<1	<1	<1
Color	Mg/l	<10	<100	<100	<200
Oxigeno	Mg/l	>80% saturado	> 70% saturado	>60% saturado	> 50% saturado
Otros....					

Fuente: Ley 1333 de Medio Ambiente

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

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

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

### **Sistemas de tratamiento**

ARTICULO 54° Todo sistema de tratamiento de aguas residuales estará bajo la total responsabilidad y vigilancia de su REPRESENTANTE LEGAL.

ARTICULO 55° Si la Instancia Ambiental Dependiente de la Prefectura detecta que en el funcionamiento de un sistema o planta de tratamiento se están incumpliendo las condiciones inicialmente aceptadas para dicho funcionamiento, conminará al REPRESENTANTE LEGAL a modificar, ampliar y/o tomar cualquier medida, sea en la estructura de la planta de tratamiento o en los procedimientos de operación y mantenimiento, para subsanar las deficiencias.

ARTICULO 56° Las ampliaciones en más del treinta y tres por ciento de la capacidad instalada de una planta de tratamiento de aguas residuales que hubiera sido aprobada, y que impliquen impactos negativos significativos al medio ambiente, deberán contar nuevamente con su correspondiente Ficha Ambiental y el correspondiente proceso de EIA. ARTICULO 57° Para evitar el riesgo de contaminación, queda prohibido el acceso de personas no autorizadas a las instalaciones de las plantas de tratamiento debiéndose también tomar las medidas que el caso aconseje a fin de evitar que animales pueda llegar hasta dichas instalaciones.

ARTICULO 58° Los REPRESENTANTES LEGALES de distintos establecimientos podrán construir y/o utilizar obras externas y/o sistemas de tratamiento de forma individual y/o colectiva cuando las necesidades así lo requieran. Cada REPRESENTANTE LEGAL será responsable por

sus instalaciones en particular, y proporcionalmente, con sus otros asociados, en lo que respecta a sus obligaciones y derechos en plantas de tratamiento colectivas sujetas a contrato entre partes.

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

ARTICULO 60° En caso de que se interrumpa temporalmente la operación total o parcial del sistema o planta de tratamiento, se deberá dar aviso inmediato a la correspondiente Prefectura, especificando las causas y solicitando autorización para descargar el agua residual cruda o parcialmente tratada, por un tiempo definido. Además, se deberá presentar un cronograma de reparaciones o cambios para que la planta vuelva a su funcionamiento normal en el plazo más breve posible.

ARTICULO 61° Para efectos del artículo precedente, en lo referente a aguas parcialmente tratadas, el Prefecto autorizará el funcionamiento condicionado del Sistema o Planta siempre y cuando se garantice que la descarga, una vez diluida, no exceda los límites máximos permisibles correspondientes a la clase del cuerpo receptor o no interfiera con los procesos de tratamiento cuando se descargue a un colector sanitario.

Con este fin, se establece:

- a) en forma previa a la autorización del MDSMA, el tiempo de duración de la descarga será revisado por la Instancia Ambiental Dependiente de la Prefectura, el Servicio de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado o la administración del parque industrial, según corresponda, luego de inspeccionar la planta de tratamiento y los procesos que producen las condiciones anormales así como el cronograma propuesto;
- b) si al exceder los límites máximos permisibles existe peligro inminente para la salud pública y el medio ambiente el Prefecto rechazará la solicitud de descarga y ordenará de inmediato las medidas de seguridad que correspondan.

ARTICULO 62° La desinfección de las aguas residuales crudas o tratadas es imprescindible cuando la calidad bacteriológica de esas aguas rebasa los límites establecidos y constituye riesgo de daño a la salud humana o contaminación ambiental.

### 2.2.3. Norma Boliviana NB 688

#### 2.2.3.1. Cargas orgánicas

El parámetro de carga orgánica a ser asumido tiene un valor de DBO igual a 54 gr/hab/día. Pudiendo ser admitido valores diferentes en casos en que haya determinación directa.

La carga orgánica volumétrica como cantidad de (masa) de materia orgánica aplicada diariamente al reactor por unidad de volumen para efluentes domésticos deberá estar entre 2,5 y 3,5 kg DQO/m<sup>3</sup>/día.

La carga biológica (carga de lodo) referida a la cantidad (masa) de materia orgánica aplicada diariamente al reactor por unidad de biomasa, deberá ser del orden de:

- 0,05 a 0,15 kg DQO/kg SVT en fase inicial o partida del reactor
- ≤ 2,0 kg DQO/kg SVT en régimen permanente o de operación

#### 2.2.3.2. Carga orgánica máxima aplicable

Según el tipo de laguna y la altura sobre el nivel del mar, en el cuadro N° 1 se presentan los valores recomendados para la carga orgánica máxima aplicable y otros parámetros de diseño que deberán ser utilizados.

**Tabla 3.1. Carga orgánica máxima.**

Zona	Altura (msnm)	Carga máxima aplicable		Temperatura promedio del agua (°C)	Saturación de oxígeno disuelto (mg/l)	Radiación solar (Cal/cm <sup>2</sup> /día)
		Anaeróbica (g DBO/m <sup>3</sup> /día)	Facultativa (kg/DBO/Ha/día)			
Altiplánica	4000	100	100	9	6,8	550
Valles	2500	200	200	21	7,0	300
Llanos	400	400	250	24	8,4	200

Fuente: NB 689 Instalaciones sanitarias - alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales



En caso de temperaturas promedio del agua menores a 8 ° C, no se recomienda el diseño de lagunas anaeróbicas.

Los valores indicados son referenciales y deben ajustarse a las características de la zona mediante estudios correspondientes.

### 2.2.3.3. Dotación de agua potable

Para los efectos de aplicación del inciso anterior, las dotaciones deberán ser obtenidas sobre la base de registros históricos medidos en la localidad; en caso de no contar con los registros indicados, se adoptarán valores de localidades similares.

**Tabla 3.1. Dotación media (l/hab/día) - Población.**

ZONA	Hasta 500 hab.	De 500 a 2 000	De 2 000 a 5 000	De 5 000 a 20 000	De 20 000 a 100 000	Más de 100 000 habitantes
Altiplánica	30-50	30-70	50-80	80-100	100-150	150-200
Valles	50-70	50-90	70-100	100-140	150-200	200-250
Llanos	70-90	70-110	90-120	120-180	200-250	250-350

*Fuente: NB 689 Instalaciones sanitarias - alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales*

Las dotaciones indicadas son referenciales y deben ajustarse sobre la base de estudios que identifiquen la demanda de agua, capacidad de la fuente de abastecimiento y las condiciones socioeconómicas de la localidad.

### 2.2.3.4. Coeficiente de retorno o aporte "C"

Según estudios estadísticos se adoptará un coeficiente de retorno o aporte del 60% al 80% de la dotación de agua potable.

## **Capítulo III**

### **REVISIÓN DE LITERATURA TÉCNICA**

#### **3.1. Pérdidas del sistema**

##### **3.1.1. Pérdidas de agua**

Las pérdidas de agua se pueden expresar como la diferencia entre el volumen de agua que ingresa al sistema y el consumo autorizado y consiste en pérdidas comerciales y físicas. Un factor agravante es la gran cantidad de agua perdida a través de fugas en las redes de distribución de agua. Otras pérdidas importantes son los volúmenes de agua distribuidos sin ser facturados, conocidos como pérdidas comerciales de agua. Los recursos económicos se gastan en aumentar la producción de agua para compensar las pérdidas, cuando podrían invertirse en mantener o ampliar la infraestructura existente. Así cada empresa de agua debería contribuir a la gestión eficiente y

sostenible del agua. Una reducción de pérdidas de agua aseguraría agua para más personas sin aumentar el caudal de la fuente.

Para el análisis de las pérdidas del sistema se debe tomar en cuenta que una parte de ella se convierte en consumo real como ser la precisión del medidor, conexiones clandestinas, las cuales son de consumo de la población, mientras que las demás partes se producen por fugas en la red y en el proceso. Por lo que se debe hacer un análisis desglosándolas como sigue a continuación:

**Tabla 3.1. Pérdidas en el sistema de agua potable**

CONCEPTO	% de Pérd.
Pérdidas en el Proceso	18,00%
Fugas en la Red Maestra y Distribuidora	65,00%
Diferencia en el Micromedidor	8,00%
Conexiones Clandestinas	9,00%
<b>TOTALES</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente:*  
COSAALT

**3.1.2.**

#### **Clasificación y origen de las pérdidas**

Un Sistema de Agua Potable (SAP) es un conjunto de instalaciones destinadas a la captación, aducción, tratamiento, regulación, distribución y comercialización de agua potable en calidad y cantidad demandada por los diversos tipos de consumidores.

Comprende la etapa de producción, que incluye las unidades desde la captación hasta la entrega en los estanques de regulación, y la etapa de distribución, que incluye desde los estanques hasta las instalaciones domiciliarias.

En un SAP se registran pérdidas de agua en cada una de las unidades que lo componen y además consumos propios para el adecuado funcionamiento de las unidades del sistema, llamados consumos operacionales. Por lo tanto, el volumen de agua disponible en un SAP debe atender los requerimientos de los consumidores más las pérdidas y consumos operacionales previstos.

Para los efectos de este trabajo, se considera que la pérdida total en un sistema de agua potable corresponde a la diferencia entre el volumen captado en la fuente y el volumen facturado (medido más el estimado) a los diversos clientes. Normalmente se expresa como un porcentaje del volumen captado. Esta definición de pérdida incluye los consumos operacionales, que son pérdidas intrínsecas de cada SAP, y los consumos de utilidad pública (riego de jardines, agua para la

extinción de incendios y otros). Sin embargo, éstos volúmenes se pueden descontar del agua que es captada en la fuente y, por lo tanto, no ser consideradas como pérdidas.

Para facilitar el análisis de las pérdidas en las diversas etapas de un SAP conviene clasificarlas según las características que las distinguen. Para efectos del presente trabajo las pérdidas serán clasificadas según su naturaleza en dos grupos: técnicas y comerciales.

### **3.1.2.1. Pérdidas técnicas**

Corresponden a los volúmenes de agua que se pierden en las unidades del sistema como consecuencia de sus condiciones físicas u operacionales. Estas pérdidas se producen principalmente en la planta de tratamiento y en la red de distribución. Estas pérdidas pueden ser subdivididas en: físicas y operacionales.

#### **➤ Pérdidas físicas**

Son los volúmenes de agua que se pierden en una etapa cualquiera del SAP como consecuencia de fallas en la infraestructura física instalada o por evaporación.

Se manifiestan como fugas en las juntas de interconexión entre tuberías y elementos accesorios (piezas especiales, válvulas, ventosas, medidores, grifos), y fugas por fisuras, roturas, filtraciones y goteos en las diversas unidades del sistema. Las pérdidas por evaporación más comunes ocurren en los canales abiertos de aducción, en los estanques de almacenamiento y plantas de tratamiento.

#### **➤ Pérdidas operacionales**

Las pérdidas operacionales son los volúmenes de agua que se pierden por rebalse o desagües en una etapa cualquiera del sistema, como consecuencia de fallas en su control operacional y, por lo tanto, pueden ser evitadas.

#### **➤ Consumos operacionales**

Corresponden a aquellos volúmenes que son desechados después de ser utilizados en el cumplimiento de una función operacional: lavado de unidades, desagüe o expulsión del aire atrapado en las tuberías. A pesar de corresponder a una parte del agua que no es comercializada,

representa una pérdida inevitable para el eficiente funcionamiento del sistema y, por lo tanto, podrá ser excluida del volumen de pérdida total del SAP.

### **3.1.2.2. Pérdidas comerciales**

Son los volúmenes de agua consumidos por los usuarios pero que no son registrados o estimados por la empresa y, por lo tanto, no son facturados y constituyen una pérdida de ingreso para la empresa.

#### **➤ Pérdidas por errores de medición**

Los medidores de agua potable presentan errores asociados al registro de volúmenes, los cuales son función, principalmente, de la estructura de consumo, del tipo de medidor utilizado, calidad del agua y volumen acumulado en el transcurso del tiempo.

#### **➤ Pérdidas por ausencia de medición**

Corresponde a la diferencia entre los volúmenes que son efectivamente consumidos y aquellos estimados por la empresa para efectos de facturación, en caso de ausencia de micromedidores, o cuando estos se encuentran detenidos.

#### **➤ Pérdidas por consumo fraudulento**

Corresponde a los consumos de agua a través de conexiones clandestinas y que no son medidos o estimados por la empresa. Pueden ocurrir a lo largo de las tuberías y de los elementos accesorios (piezas especiales, válvulas, ventosas o grifos) de las etapas de producción y distribución. Los más comunes se producen en esta última etapa, donde se caracterizan como: medidor invertido, arranques conectados clandestinamente y by-pass del medidor.

#### **➤ Pérdidas por consumo de utilidad pública**

Ocurre cuando la empresa permite la extracción gratuita de agua desde los grifos para: extinción de incendios, regadío de áreas verdes, lavado de calles y entretenimiento. Estos volúmenes también podrán ser excluidos del volumen de pérdida total del SAP.

## **3.2. Dotación de agua potable**

### **3.2.1. Agua potable**

El agua apta para consumo humano, que deberá estar libre de la presencia de organismos y sustancias que puedan atentar la salud de los consumidores.

Para que el agua potable sea distribuida a una comunidad, debe cumplir con algunos parámetros sanitarios basándose en: inspecciones, monitoreo, muestreo y evaluaciones continuas. En el cumplimiento de estos requisitos de calidad del agua se fundamenta en estándares de calidad normalizados de acuerdo a límites de seguridad

### **3.2.2. Consumo de agua**

La dotación mínima a adoptarse debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de consumo doméstico, comercial, industrial y público, considerando las pérdidas en la red de distribución.

La dotación de agua depende de los siguientes factores:

- Oferta de agua (capacidad de la fuente).
- Clima.
- Aspectos económicos y socio-culturales.
- Opción técnica y nivel de servicio (piletas públicas, conexiones domiciliarias y uso de bombas manuales).
- Tipo de consumo (medido, irrestricto y uso de limitadores de caudal).
- Servicio de alcantarillado.
- Condiciones de operación y mantenimiento.

### **3.2.3. Fuentes de agua**

#### **3.2.3.1. Río La Victoria**

La principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Tarija, es actualmente el río de La Victoria con un caudal máximo de 334l/s, el caudal mínimo de 90 l/s, con un caudal promedio de 230 l/s.

### **3.2.3.2. Río Guadalquivir**

El sistema de captación Las Tipas se ubica en la zona de Obrajes en el río Guadalquivir. El agua de este sistema es transportado mediante bombeo y tuberías de aducción hasta la planta de tratamiento de tabladita. Las características técnicas del sistema de bombeo Las Tipas son:

- Caudal de bombeo 80l/s
- Potencia de 2 bombas centrifugas de 100 HP c/u
- Diámetro de tubería de impulsión de 300mm
- Longitud hasta la planta de tratamiento de 1670
- Desnivel de 98m

### **3.2.3.3. Río Erquis**

La obra de captación de agua es el río Erquis, que consiste en un sistema de bombeo superficial hasta un tanque apoyado cercano del cual se distribuye agua potable a la zona urbana de Tomatitas.

### **3.2.3.4. Lago San Jacinto**

La fuente de captación del Lago San Jacinto se encuentra fuera de funcionamiento, consta de 500 ha. De espejo de agua con un volumen de embalse de 56 Hm<sup>3</sup>, ha sido construido para dotar de agua para riego a 3000 ha en el valle central de Tarija, también consta de un sistema de generación hidroeléctrica de 8 megavatios. En el año 1994 se ha adicionado un volumen de 6 Hm<sup>3</sup> para agua potable. También se ha construido un sistema de aducción de bombeo con una planta de tratamiento de 160 l/s de capacidad llamada la Tabladita o San Jacinto, de características similares a la planta de Tabladita. Este sistema solo entra en funcionamiento en el periodo de estiaje a partir del mes de Junio, que es cuando baja el caudal del río de la Victoria.

El lago San Jacinto ha sido clausurado como fuente de agua potable a raíz de un estudio de la UNAM, porque se ha encontrado pesticidas, como Lindado, Heptacloro y Metoxicloro, en concentraciones mayores a las permitidas en la Norma Boliviana NB 512.

### **3.2.3.5. Pozos (Sistemas independientes)**

En las zonas donde el agua del Rincón de la Victoria no puede llegar, se ha perforado numerosos que abastecen a la población de su influencia con un periodo de continuidad de 6 horas como

promedio. Esta última zona comprende principalmente los barrios ubicados en las zonas norte y este de la ciudad, donde el agua de la red de distribución no llega por gravedad.

Los sistemas independientes se dividen en dos grupos aquellos que funcionan todo el año y aquellos que funcionan sólo en época de estiaje, en los cuales se extrae el agua del interior de la tierra con distintas profundidades que varían de 80 a 280 m. En algunos pozos cuentan con depósitos de almacenamiento como tanques elevados o apoyados mediante bombas eléctricas de alta potencia, mientras el agua de otros pozos entra directamente a la red de distribución.

#### **3.2.4. Consumo total por persona**

Es el volumen total de agua consumido en un día normalizado a un habitante de una población determinada. Se encuentra expresado en litros por persona al día (L/ hab. día).

El consumo total resulta de la relación del volumen facturado de agua potable relacionándolos con las diferentes pérdidas que existen entre los mismo y el número de habitantes.

$$Dotación = \frac{Volumen\ facturado}{N^o\ de\ habitantes}$$

#### **3.2.5. 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 agua potable, con conexiones domiciliarias, la dotación media diaria puede ser obtenida sobre la base de la población y la zona geográfica dada, según lo especificado en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Dotación media diaria (l / hab -día)**



Zona	Población (habitantes)					
	Hasta 500	De 501 a 2 000	De 2 001 a 5 000	De 5 001 a 20 000	De 20 001 a 100 000	Más de 100 000
Del Altiplano	30 - 50	30 - 70	50 - 80	80 - 100	100 - 150	150 - 200
De los Valles	50 - 70	50 - 90	70 - 100	100 - 140	150 - 200	200 - 250
De los Llanos	70 - 90	70 - 110	90 - 120	120 - 180	200 - 250	250 - 350
Notas:	(1)			(2)		

*Fuente: NB 689 de instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable*

(1) Justificar a través de un estudio social.

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

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

Para sistemas nuevos de agua potable, en zonas rurales, como caso excepcional, donde la disponibilidad de agua no llegue a cubrir la demanda de la población (consumo restringido) se debe calcular la dotación en base al caudal mínimo de la fuente y la población futura.

En caso de establecer una dotación menor a 30 l/hab-d, no se deben considerar conexiones domiciliarias, solamente piletas públicas.

Para el caso de ampliación, incorporación o cambio de los componentes de un sistema existente, la dotación media diaria debe ser obtenida en base al análisis y resultados de los datos de producción y consumo del sistema. En forma previa al uso de los valores de consumo deberá efectuarse la verificación del equilibrio de caudales del sistema a fin de determinar los componentes debidos a pérdidas en cada uno de los componentes del sistema.

### **3.3. Caudal**

#### **3.3.1. Características del canal Parshall**

El canal Parshall o también llamado medidor Parshall, es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado. Es un medidor de

régimen crítico, siendo idealizado por Ralph L. Parshall, ingeniero del servicio de irrigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Para su fabricación, en los medidores Parshall se han utilizado muy diversos materiales, pudiéndose fabricar de láminas de metal o madera y recientemente de fibra de vidrio. También se pueden construir directamente sobre el terreno con el uso de elementos de mampostería como ladrillos y bloques de concreto y en algunos casos fundidos con concreto reforzado para mayor durabilidad.

### **3.3.2. Partes del medidor Parshall**

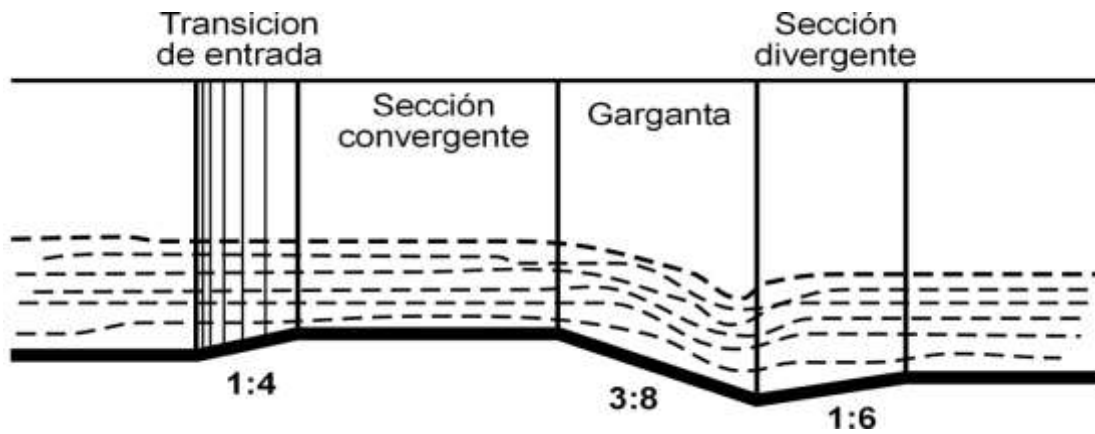
Consta de cuatro partes principales:

1. Transición de entrada
2. Sección convergente
3. Garganta
4. Sección divergente

En la transición de entrada es conveniente elevar el piso sobre el fondo original del canal, con una pendiente ascendente de 1:4 (1 vertical y 4 horizontal), hasta comenzar la sección convergente, con paredes que se van cerrando en línea recta o circular de radio (R), debido a que el aforador Parshall es una reducción de la sección del canal, que obliga al agua a elevarse o a remansarse para luego volver a descender hasta el nivel inicial sin el aforador.

En este proceso se presenta una aceleración del flujo que permite establecer una relación matemática entre la altura de carga o elevación que alcanza el agua y el caudal que circula a través del dispositivo.

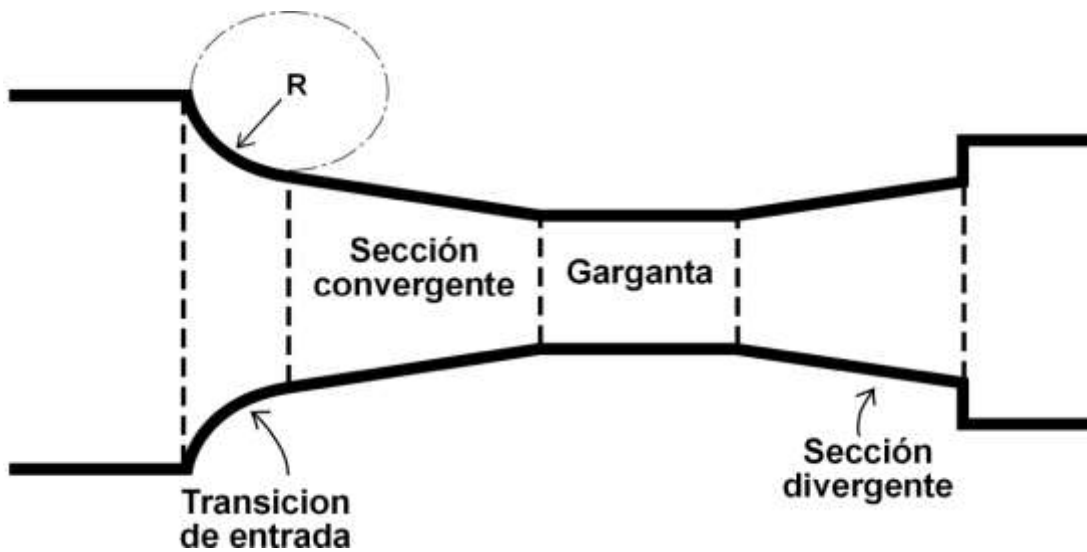
**Figura 3.1. Partes del medidor Parshall (perfil)**



Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, *Manual de Hidráulica* pág. 477

En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo.

**Figura 3.2. Partes del medidor Parshall (planta)**



Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, *Manual de Hidráulica* pág. 477

En cualquier parte del medidor Parshall, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el medidor tiene una sección rectangular.

### 3.3.3. Usos del medidor Parshall

El medidor Parshall fue creado teniendo como objetivo principal la irrigación. Los de menor tamaño se usan para regular la descarga de agua distribuida a propiedades agrícolas y los de mayor tamaño se utilizan en grandes canales de riego.

Los medidores Parshall también se utilizan en estaciones de tratamiento para la inyección de sustancias químicas, aprovechando el resalto hidráulico.

La medición del caudal, tan necesaria en servicios de abastecimiento de agua, puede ser realizada fácilmente y con pequeño gasto económico si se utilizan los medidores de forma conveniente. Su uso es recomendado en canales principales, estaciones de tratamiento, entradas en depósitos, etc.

#### **3.3.4. Puntos de medición**

La única medida de carga  $H$  necesaria para conocer el caudal, se hace en la sección convergente, en un punto que se localiza a  $2/3$  de la dimensión  $B$  o a  $2/3$  de  $A$ .

En este punto se mide el tirante de agua con una regla o se instala junto a la pared una escala para lecturas. También se puede colocar un tubo o manguera comunicando el nivel del agua a un pozo lateral de medición, en donde se puede colocar una boya adherida a una varilla metálica que indique la altura o sirva como transmisión de un sistema eléctrico a distancia.

#### **3.3.5. Fórmulas y tablas para el cálculo del caudal en un medidor Parshall**

Según experimentos y ensayos realizados utilizando canales Parshall se han obtenido ecuaciones para calcular el caudal de tipo potencial:

$$Q = K H^n$$

Y siendo el valor de " $n$ " según ensayos, muy cercano a  $3/2$ .

En la Tabla III se presentan los valores del coeficiente " $K$ " para los sistemas métrico e inglés, así como los del exponente " $n$ ".

**Tabla 3.3. Valores de exponente " $n$ " y coeficiente " $K$ "**

W		n	K	
S.I.	m.		unidades métricas	unidades inglesas
3"	0.076	1.547	0.176	0.992
6"	0.152	1.580	0.381	2.06
9"	0.229	1.530	0.535	3.07
1'	0.305	1.522	0.690	4.00
1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> '	0.457	1.538	1.054	6.00
2'	0.610	1.550	1.426	8.00
3'	0.915	1.566	2.182	12.00
4'	1.220	1.578	2.935	16.00
5'	1.525	1.587	3.728	20.00
6'	1.830	1.595	4.515	24.00
7'	2.135	1.601	5.306	28.00
8'	2.440	1.606	6.101	32.00

Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, *Manual de Hidráulica* pág. 476

Para la generación de los caudales, la PTAR de San Luis cuenta con una ecuación calibrada a las características del canal, la cual es la siguiente:

$$Q = 0,968 * H^{3/2}$$

### 3.4. Coeficiente de vuelco o retorno

El coeficiente de retorno es la relación entre el total del volumen de agua potable consumida y el agua que regresa al sistema de alcantarillado por los diferentes usos otorgados. El coeficiente de retorno como una fracción de la cantidad de agua empleada para fines domésticos que culmina en la red de colectores.

Este coeficiente permite considerar que no toda el agua potable consumida en los domicilios ingresa al sistema de alcantarillado. Este coeficiente, expresado en porcentaje fluctúa entre 60 y 80% establecido en la norma de alcantarillado sanitario NB688.

Para un diseño de alcantarillado, el coeficiente de retorno se obtendrá a partir de la información disponible por la empresa de agua pública y saneamiento, pero en el caso de no disponerla será necesario utilizar los datos referentes a libros o normas.

La expresión para el cálculo del caudal medio de aguas residuales está en función de la dotación neta de agua potable (L/hab\*día), el número de habitantes de la zona (hab. /Ha), el coeficiente de retorno (adimensional) y se realiza la respectiva transformación de unidades para que el caudal quede expresado en litros por segundo, L/s

El coeficiente de retorno podrá ser obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de retorno} = \frac{Q \text{ medio muestras compuestas}}{Q \text{ medio diario}}$$

### 3.4.1. Coeficiente máximo y mínimo horario

La relación entre el caudal medio diario y el caudal máximo horario se denomina “coeficiente de flujo máximo”. Este coeficiente varía de acuerdo a los mismos factores que influye en la variación de los caudales de abastecimiento de agua (clima, patrón de vida, hábitos, etc.), pero es afectado en menor intensidad, en función al porcentaje de agua suministrada que retorna a las alcantarillas y al efecto regulador del flujo a lo largo de los conductos de alcantarillado, que tiende a disminuir los caudales máximos y a elevar los mínimos.

El coeficiente de flujo máximo y mínimo podrá ser obtenido mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Coef. max. horario} = \frac{Q \text{ max horario}}{Q \text{ medio diario}}$$

$$\text{Coef. min. horario} = \frac{Q \text{ min horario}}{Q \text{ medio diario}}$$

### 3.4.2. Coeficiente máximo y mínimo diario

Para la estimación del coeficiente máximo y mínimo diario se utilizarán los volúmenes producidos de agua. Siendo estos la relación entre el promedio de cada mes entre el promedio total anual.

$$\text{Coef. diario} = \frac{\text{Vol. medio mes}}{\text{Vol. medio anual}}$$

### 3.5. Parámetros de calidad

#### 3.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de dioxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción ( $DBO_5$ ) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/l).

El método de ensayo se basa en medir el dioxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de dioxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. La curva de consumo de dioxígeno suele ser al principio débil y después se eleva rápidamente hasta un máximo sostenido, bajo la acción de la fase logarítmica de crecimiento de los microorganismos.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras.

No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato de potasio.

El método pretende medir, en principio, exclusivamente la concentración de contaminantes orgánicos. Sin embargo, la oxidación de la materia orgánica no es la única causa del fenómeno, sino que también intervienen la oxidación de los nitritos y de las sales amoniacales, susceptibles de ser también oxidadas por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-alitiourea como inhibidor. Además, influyen las necesidades de dioxígeno originadas por los fenómenos de asimilación y de formación de nuevas células.

También se producen variaciones significativas según las especies de gérmenes, la concentración de estos y su edad, y la presencia de bacterias nitrificantes y de protozoos consumidores propios de dioxígeno que se nutren de las bacterias, entre otras causas. Por todo ello este test ha sido constantemente objeto de discusión: sus dificultades de aplicación, interpretación de los resultados y reproductibilidad se deben al carácter biológico del método.

**Figura 3.3. Botellas para el ensayo de DBO con sensores digitales**



*Fuente: <https://www.ensayo.DBO.com>*

### **3.5.1.1. Procedimiento**

La técnica utilizada de medición es la siguiente: Se introduce un volumen definido de la muestra líquida en un recipiente opaco que evite que la luz pueda introducirse en su interior (se eliminarán de esta forma las posibles reacciones fotosintéticas generadoras de gases), se introduce un agitador magnético en su interior, y se tapa la boca de la botella con un capuchón de goma en el que se



introducen algunas lentejas de sosa. Se cierra la botella con un sensor piezoeléctrico, y se introduce en una estufa refrigerada a 20 °C.

Las bacterias irán oxidando la materia orgánica del interior de la disolución, con el consecuente gasto de oxígeno del interior de la botella. Estas bacterias, debido al proceso de respiración, emitirán dióxido de carbono que será absorbido por las lentejas de sosa. Este proceso provoca una disminución interior de la presión atmosférica, que será medida con el sensor piezoeléctrico.

En detalle:

1. Introducir un volumen conocido de agua a analizar en un matraz aforado y completar con el agua de dilución.
2. Verificar que el pH se encuentra entre 6-8. ( En caso contrario, preparar una nueva dilución llevando el pH a un valor próximo a 7 y después ajustar el volumen)
3. Llenar completamente un frasco con esta solución y taponarlo sin que entren burbujas de aire.
4. Preparar una serie de diluciones sucesivas.
5. Conservar los frascos a 20 °C ± 1 °C y en la oscuridad.
6. Medir el oxígeno disuelto subsistente al cabo de 5 días.
7. Practicar un ensayo testigo determinando el oxígeno disuelto en el agua de dilución y tratar dos matraces llenos de esta agua como se indicó anteriormente.
8. Determinar el oxígeno disuelto.

En el curso del ensayo testigo, el consumo de oxígeno debe situarse entre 0,5 y 1,5 g/l. En el caso contrario, la inoculación con el agua destilada no es conveniente y se necesitará modificar la preparación. Para la determinación de oxígeno disuelto (OD) se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos.

### **3.5.1.2. Expresión de los resultados**

$$DBO_5 = F (T_0 - T_5) - (F - 1) (D_0 - D_5)$$

Donde:

D0 = Contenido de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al principio del ensayo.

D5 = Contenido medio de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al cabo de 5 días de incubación.

T0 = Contenido de oxígeno (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al principio del ensayo.

T5 = Contenido de oxígeno (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al cabo de 5 días de incubación.

F = Factor de dilución.

Valores por encima de 30 mgO<sub>2</sub>/litro pueden ser indicativos de contaminación en aguas continentales, aunque las aguas residuales pueden alcanzar una DBO de miles de mgO<sub>2</sub>/litro.

### **3.5.2. Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/l). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros...), que también se reflejan en la medida.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que puedan contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras. No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato potásico.

La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables. Por esto la reproductividad de

los resultados y su interpretación no pueden ser satisfechas más que en condiciones de metodología de ensayo bien definidas y estrictamente respetadas.

### **3.5.2.1. Toma de muestras**

Es preferible realizar la toma de muestras en recipientes de vidrio, puesto que los de plástico pueden contaminar la muestra con materiales orgánicos. Se debe proceder a analizar la DQO rápidamente tras la toma de la muestra, que además deberá ser representativa y estar bien homogeneizada. Antes del análisis el agua tamizada se decanta en un cono especial durante dos horas, tomándose entonces el agua residual por sifonación en la zona central de la probeta.

### **3.5.2.2. Procedimiento**

1. Introducir 50 ml de agua a analizar en un matraz de 500 ml.
2. Añadir 1 g de sulfato de mercurio cristalizado y 5 ml de solución sulfúrica de sulfato de plata.
3. Calentar, si es necesario, hasta disolución completa.
4. Añadir 25 ml de disolución de dicromato de potasio 0,25 N y después 70 ml de solución sulfúrica de sulfato de plata.
5. Llevar a ebullición durante 2 horas bajo refrigerante a reflujo adaptado al matraz.
6. Dejar que se enfríe.
7. Diluir a 350 ml con agua destilada.
8. Añadir algunas gotas de disolución de ferroína.
9. Determinar la cantidad necesaria de disolución de sulfato de hierro(II) y amonio para obtener el viraje al rojo violáceo.
10. Proceder a las mismas operaciones con 50 ml de agua destilada.

### **3.5.2.3. Expresión de los resultados**

$$DQO \text{ (mg/l)} = 8000 (V1 - V0)T/V$$

Donde

- $V0$  es el volumen de disolución de sulfato de hierro(II) y amonio necesario para la determinación (ml)
- $V1$  es el volumen de disolución de sulfato de hierro(II) y amonio necesarios para el ensayo en blanco (ml)
- $T$  es el valor de la concentración de la disolución de sulfato de hierro(II) y amonio
- $V$  es el volumen de la muestra tomada para la determinación.

#### Capítulo IV

### ASPECTOS DEMOGRÁFICOS DE LA CIUDAD DE TARIJA

## 4.1. Localización

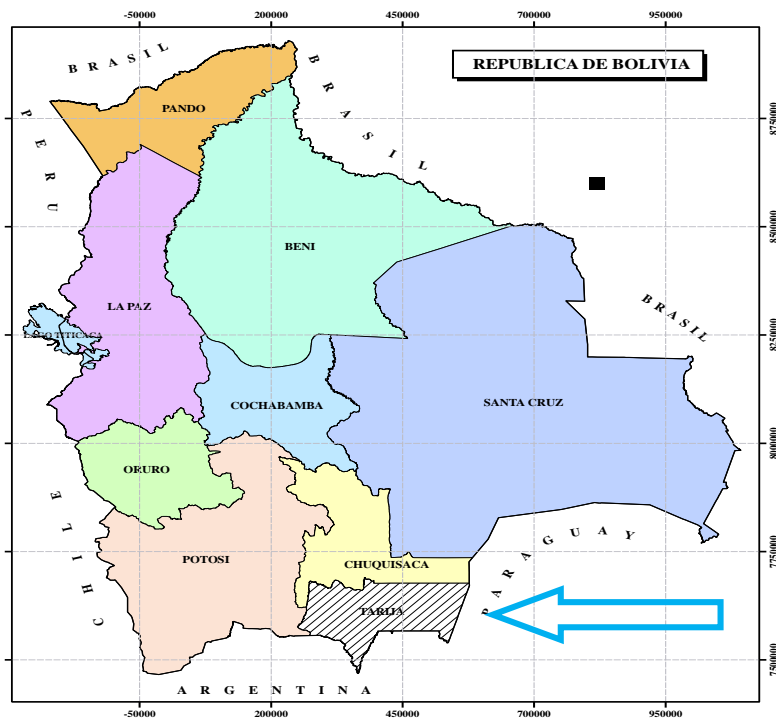
### 4.1.1. Macro localización

Definiendo la macro localización del proyecto, podemos decir que el proyecto está localizado en el departamento de Tarija ubicado al sur de Bolivia, limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con la República Argentina, al este con la República del Paraguay y al oeste con los departamentos de Chuquisaca y Potosí.

Geográficamente se encuentra entre los paralelos  $20^{\circ} 53'00''$  y  $22^{\circ} 52'30''$  de Latitud Sur y los meridianos  $65^{\circ}25'48''$  y  $62^{\circ} 15'34''$  de Longitud Oeste

Tiene una extensión territorial de 37.623 km<sup>2</sup> que representa el 3,42% del territorio nacional, con características geográficas variadas, con todo tipo de relieves que van desde los 4.000m.s.n.m. hasta 300 m.s.n.m.

**Figura 4.1. Plano de ubicación departamental**



Fuente: [www.boliviaweb.com/mapa/bolivia.aspx](http://www.boliviaweb.com/mapa/bolivia.aspx)

#### 4.1.2. Micro localización

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia Cercado, tiene una extensión de 2.074 Km<sup>2</sup> de superficie. Según el CENSO realizado en 2012, la Provincia Cercado tiene 205.346 habitantes.

La provincia de Cercado está ubicada en el centro-oeste del departamento. Limita al noroeste con [Méndez](#), al este con [Burdet O'Connor](#), al sur con [Arce](#) y al suroeste con [Avilez](#). Su capital es [Tarija](#).

Figura 4.2. Plano de ubicación regional



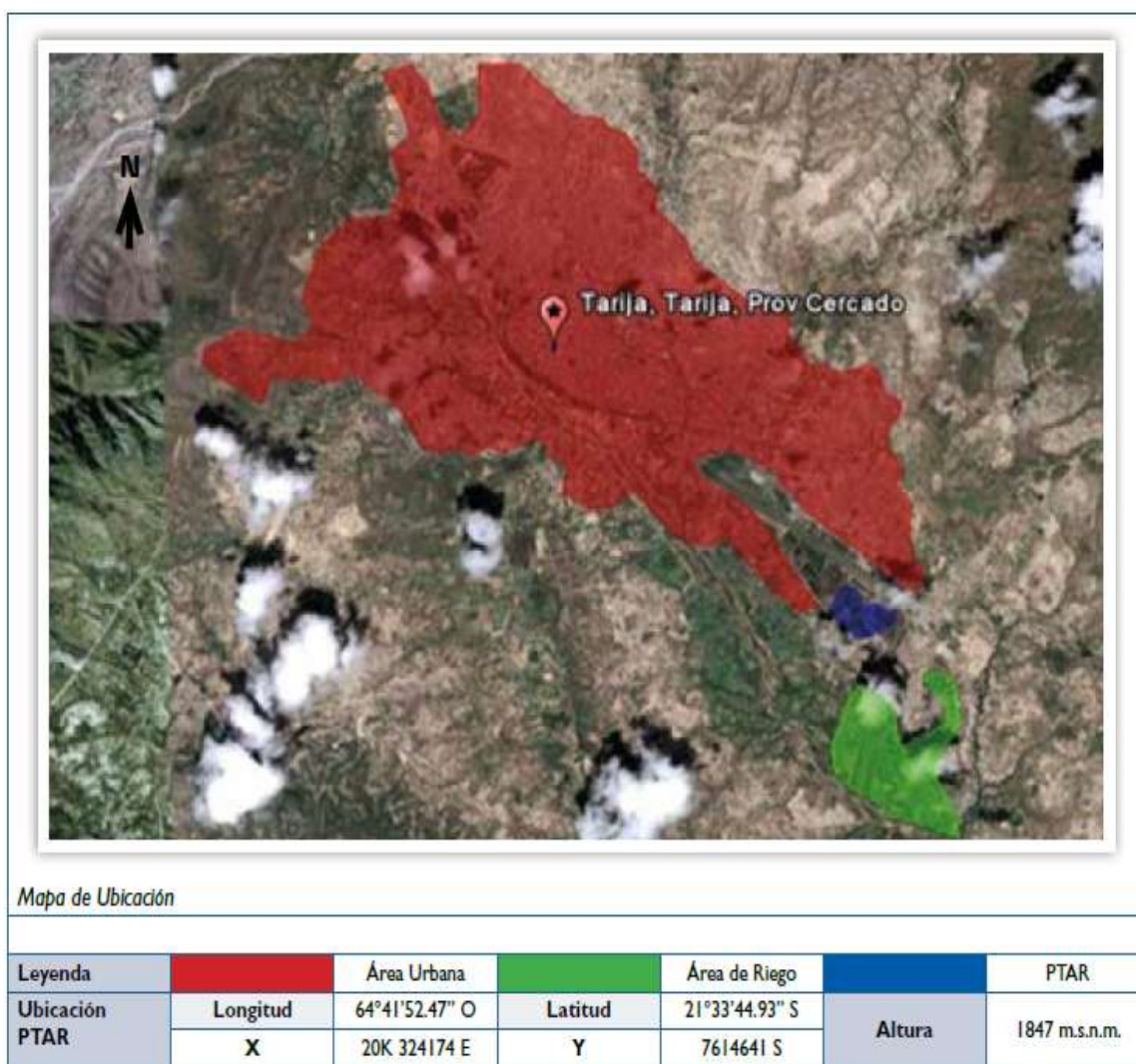
Fuente: <https://www.boliviaweb.com/mapa/tarija>

#### 4.2. Ubicación del proyecto

La laguna de oxidación está ubicada en la zona San Luis; a una altura de 1.847 m.s.n.m.

La ruta para llegar a la PTAR desde el centro, es por la avenida las Américas, entrando por el barrio San Gerónimo hasta llegar al barrio San Luis todo camino asfaltado; del cual se entra 4 cuadras de camino de tierra hasta la PTAR; llegando en un tiempo de 20 min desde el centro de la ciudad.

**Figura 4.3. Mapa de ubicación**



Fuente: [www.mmaya.gob.bo](http://www.mmaya.gob.bo)

La capital del departamento de Tarija, desarrollada a orillas del Guadalquivir, “Río Grande”, se encuentra emplazada en la parte central del departamento, la que mediante red fundamental, conecta al departamento con el sector norte del país, mientras que por el sur mediante la carretera recientemente asfaltada a la población de Bermejo, permite al país establecer la conexión con la República Argentina, en tanto que por el este, la conexión con dos ciudades importantes del

departamento como Yacuiba y Villamontes, se dificulta debido a la precariedad de la ruta a la provincia chaqueña del departamento.

### 4.3. Población

De acuerdo al Censo Nacional y Vivienda el 2012, Bolivia cuenta con una población de 10.059.856 habitantes, El departamento de Tarija con una población de 482.196 habitantes, representa alrededor del 4,79% del total nacional. Lo que ubica al departamento en el séptimo puesto en cuanto a población nacional.

Con relación al total de la población departamental, la provincia Cercado contiene el 28% de habitantes los cuales el 25% se radican en el área urbana o ciudad Tarija y el restante 3% en las diferentes comunidades rurales de la provincia con 17.674 habitantes en el área dispersa y el 86,23 % cuenta con alcantarillado.

#### 4.3.1. Población del área de influencia del proyecto

La población de influencia del proyecto se encuentra limitada por todos los habitantes y familiares de los diferentes barrios o zonas de la ciudad de que tienen como efluente de sus aguas residuales las lagunas de oxidación de San Luis. La demás población de la ciudad tiene como efluente de sus aguas residuales cámaras sépticas, etc.

La ciudad de Tarija en la actualidad se encuentra dividida en 31 zonas según COSAALT que incluye a diferentes barrios las cuales se encuentran a continuación.

**Tabla 4.1. Zonas de la ciudad de Tarija**

Zona	Barrio
1	Villa Abaroa , San Jose , San Marcos , 12 de octubre
2	Zona cementerio , Parte San Roque , 14 Viviendas , La pampa
3	San Roque , zona central , parte de la Pampa
4	La Barraca-Pert, Francisco de Uriondo , mercado Campesino, La Loma de San Juan , El Carmen , 4 de Julio , Bien te Fue, Defensores del Chaco IV Centenario
5	El Molino , Parte zona central



6	Zona Central , Las Panosas
7	Villa Fátima , barrio Minero
8	La terminal, El Tejar.
9	San Martín , Mendez Arcos , Aranjuez sud, San Antonio, Tabladita , Magisterio , zona el Mesón , Carmen de Aranjuez
10	San Gerónimo , Los cuarteles , Petrolero, San Luis
11	Juan XXIII , Plan Aleman
12	Fabril , San Pedro, El Rosedal , 15 de Abril , Juan Nicolai, Bartolomé Attard ,Moto Méndez , 7 de septiembre , Luis Espinal
13	Palmarcito, Narciso Campero, Urb. 6 de Agosto
14	Pedro Antonio Flores , El constructor , Parte 1° de Mayo
15	Barrio 6 de Agosto, La Salamanca , San Bernardo, Andaluz , 1° de mayo , 2 de Mayo
16	La florida , Lourdes, 24 de junio
17	Aranjuez Norte , Panamericano, Los mecánicos , Carlos Wagner , Los Álamos , Los Olivos , El Paraíso , Obrajes
18	Guadalquivir , Luis Pizarro , 15 de Noviembre , Juan Pablo II Libertad , Virgen de Chaguaya
19	Luis de fuentes , Urb. Trabajadores de COSAALT , Senac , Andalucía , Tabladita
20	German Buch , Mira Flores ,San Jorge I , San Jorge II
21	Aereopuerto , Urb. Aclo , San Jorge I , San Jorge II
22	Simón Bolivar , Morros Blancos ,Anaspujio
23	Zona Industrial, Parte Morros Blancos
24	Zona Cadepia, 3 de Mayo , Las Pascuas , 101 Familias , Los Chapacos, 19 de Marzo, Oscar Zamora, 15 de Junio , Urb. Municipal , Las Barracas
25	Viv. Universitarias , Tabladita, Magisterio rural , Alto Senac
26	Barrio Catedral
27	Tomatitas
28	Tabladita sud , Las Palmas , Virgen de Guadalupe
29	Comunidad Obrajes , zona bosquecillo de Tomatitas
30	Urb. Vela , Barrio Tomatitas
31	Barrio San Salvador

*Fuente: COSAALT*

En la siguiente figura se puede apreciar la red de alcantarillado sanitario de las zonas que sus efluentes llegan y también las zonas que no llegan a la planta de tratamiento de San Luis. Las zonas (9,19,20,25,26,27,30,31 ) no vierten sus efluentes de aguas residuales a las lagunas de oxidación de San Luis , Luis Espinal, El constructor, 1° de Mayo, 2 de Mayo, San Jorge II , Simón Bolívar , Morros Blancos , Anaspujio . Se las puede observar con color verde.

Mientras que las zonas (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,21,22,23,24, 28,29) vierten sus efluentes de aguas residuales y se las puede observar de color rojo y a la planta de tratamiento de color azul.

**Figura 4.4. Red de alcantarillado de la ciudad de Tarija**

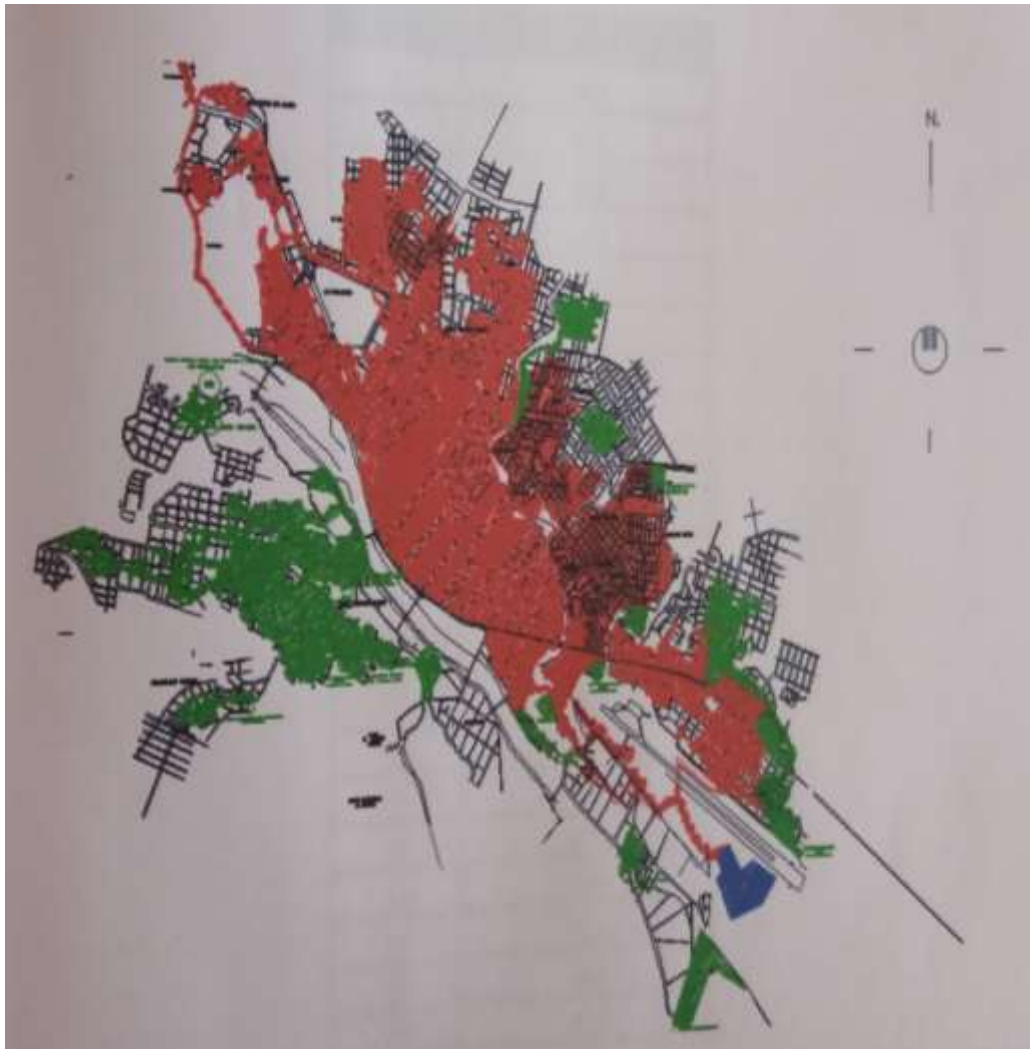


*Fuente:*

*COSAALT*

En la siguiente figura se puede apreciar la ciudad de Tarija donde la mancha azul cubre la planta de tratamiento de la zona de San Luis y la mancha roja cubre todas las zonas que vierten sus efluentes de agua residual a dicha planta, mientras que la mancha verde cubre las zonas que los efluentes de agua residual se dirigen a cámaras sépticas, sobre todo la parte del margen derecho del río Guadalquivir y algunos barrios periféricos.

**Figura 4.5. Cobertura del alcantarillado sanitario de la ciudad de Tarija con origen a la planta de tratamiento y a cámaras sépticas**



*Fuente: COSAALT*

#### **4.3.1.1. Estimación de la población del área de influencia del proyecto**

Según datos de COSAALT, el informe del número de conexiones de agua potable al inicio y al final de cada año efectuado durante la gestión 2012 hasta la 2016, es el siguiente:

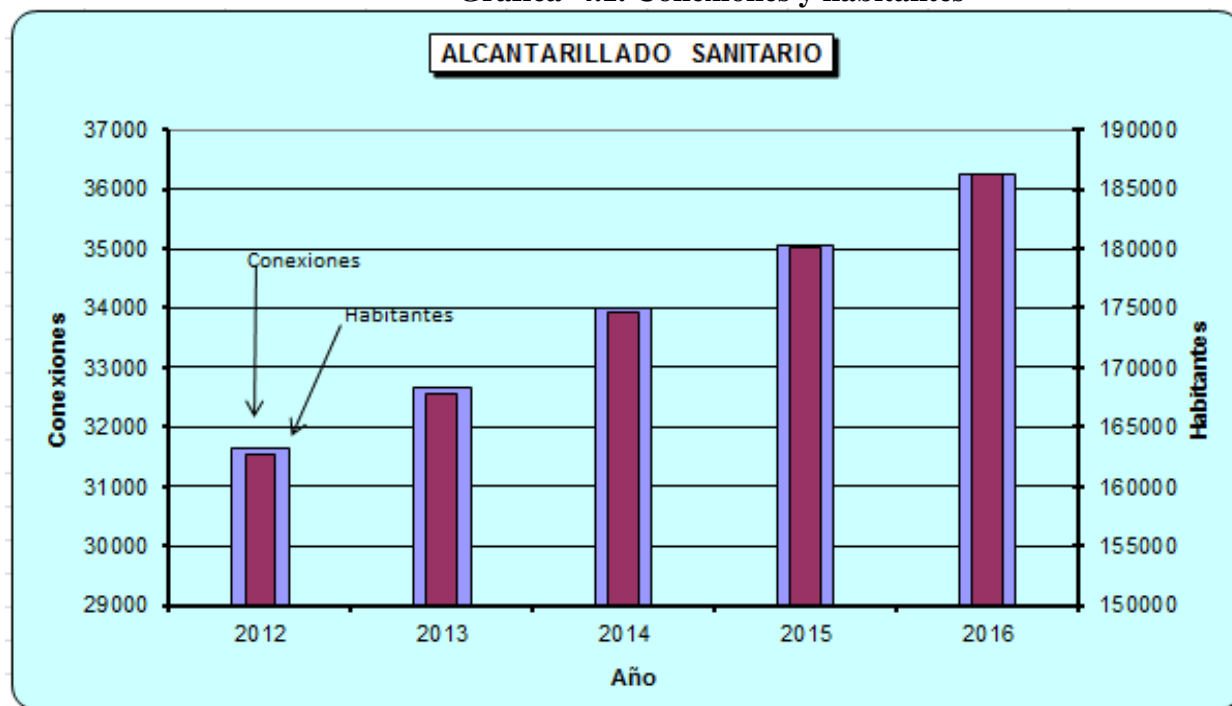
***Tabla 4.2. Conexiones y habitantes promedio***

Fuente:

Año	Nº conex. Inicio	Nº conex. Final	Nº conex. Promedio	Nº de habitantes
2012	31.300	31.974	31.637	162.614
2013	31.974	33.320	32.647	167.806
2014	33.320	34.647	33.984	174.675
2015	34.647	35.462	35.055	180.180
2016	35.462	37.023	36.243	186.286

Elaboración propia

Gráfica 4.1. Conexiones y habitantes



Fuente: Elaboración propia

Para la estimación del área de influencia del proyecto se utilizarán los datos de conexiones totales hasta la gestión 2016 y multiplicarlas por el modulo habitacional por conexión de COSAALT (5,14 hab. /conexión) y así conocer la población aproximada que vierte sus efluentes de agua residual a la planta de tratamiento de San Luis.

Entonces la población del área de influencia del proyecto será:

$$\text{Población} = 37.023 * 5,14$$

$$\text{Población} = 194.352 \text{ habitantes}$$

Se puede decir que aproximadamente 194.352 habitantes vierten sus efluentes de agua residual a la planta de tratamiento de agua residual hasta la gestión 2016, valor que servirá como dato para cálculos posteriores.

## **Capítulo V**

### **PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA PTAR**

#### **5.1. Parámetros hidráulicos**

##### **5.1.1. Pérdidas del sistema de agua potable**

Los volúmenes producción presentados en la siguiente tabla son los obtenidos de la suma de las diferentes fuentes de agua ya descritas anteriormente, los cuales tienen como destino la ciudad de Tarija, por lo que vienen a ser volúmenes en m<sup>3</sup> totales de agua para las gestiones 2012, 2013, 2014, 2015, 2016

Datos extraídos de la tabla que proporcionó COSAALT de caudales medios mensuales y producción anual.

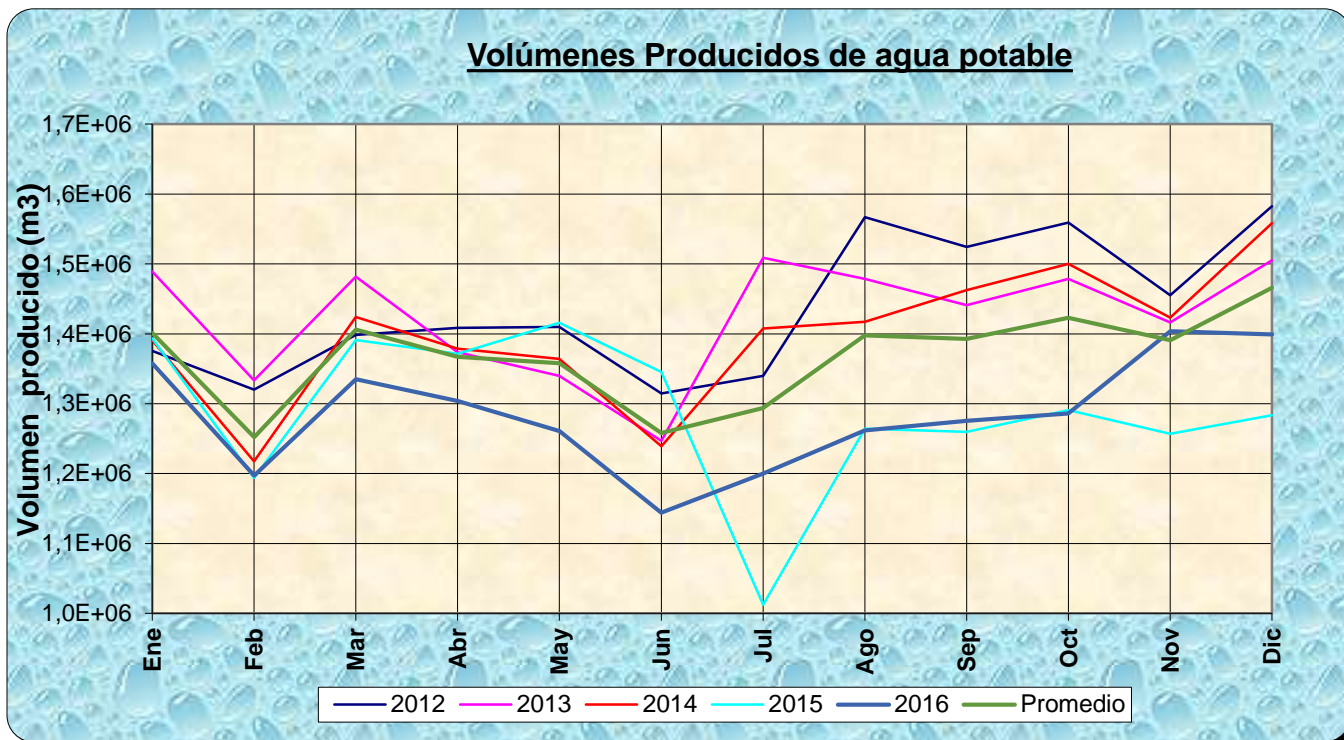
**Tabla 5.1. Volúmenes de producción de agua potable (m<sup>3</sup>)**

Mes	Gestión					Promedio
	2012	2013	2014	2015	2016	
Enero	1.375.321,20	1.488.945,00	1.390.588,10	1.393.399,60	1.357.547,00	1.401.160,18
Febrero	1.320.003,60	1.333.466,50	1.217.454,60	1.193.732,60	1.197.025,30	1.252.336,52
Marzo	1.398.271,70	1.481.699,50	1.424.053,40	1.391.029,60	1.334.887,80	1.405.988,40
Abril	1.408.363,20	1.373.682,20	1.378.801,40	1.371.323,50	1.303.750,10	1.367.184,08
Mayo	1.409.830,30	1.339.837,60	1.364.232,70	1.415.911,10	1.260.803,20	1.358.122,98
Junio	1.314.481,00	1.246.829,80	1.239.014,90	1.345.273,90	1.143.979,20	1.257.915,76
Julio	1.340.014,80	1.508.552,60	1.407.404,20	1.012.594,20	1.199.735,70	1.293.660,30
Agosto	1.566.887,30	1.478.439,60	1.417.239,90	1.264.282,60	1.261.713,90	1.397.712,66
Septiembre	1.524.303,40	1.440.931,70	1.462.406,40	1.259.660,20	1.275.315,80	1.392.523,50
Octubre	1.559.266,00	1.478.469,90	1.499.994,70	1.290.619,90	1.286.087,30	1.422.887,56
Noviembre	1.455.343,20	1.416.204,00	1.423.370,90	1.256.757,10	1.403.671,70	1.391.069,38
Diciembre	1.582.668,30	1.504.988,60	1.558.288,80	1.283.574,80	1.399.330,10	1.465.770,12
Total	17.254.754,00	17.092.047,00	16.782.850,00	15.478.159,10	15.423.847,10	16.406.331,44

*Fuente: COSAALT*

Se puede observar que el año de mayor producción fue el año 2012 , mientras que el año de menor producción fue el año 2016 , para tener una mayor apreciación de la variación de los volúmenes de producción de agua en los diferentes meses del años se presenta la siguiente gráfica.

**Gráfica 5.1. Volúmenes producidos de agua potable**



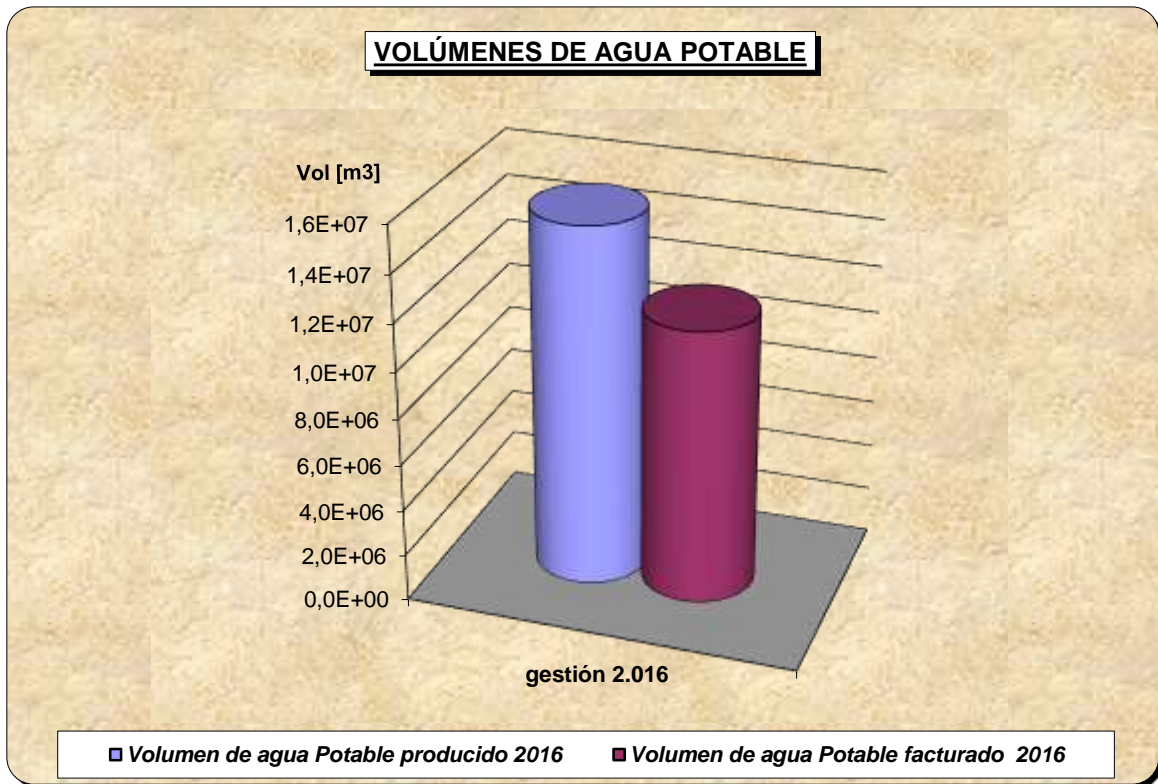
*Fuente: Elaboración propia*

Los datos obtenidos de COSAALT, para la gestión 2016 son los siguientes:

*Volúmenes de agua potable producido = 15.423.847,10 m<sup>3</sup>*

*Volúmenes de agua potable facturado = 11.759.591 m<sup>3</sup>*

**Gráfica 5.2. Volúmenes producidos Vs facturados**



*Fuente: Elaboración propia*

Se puede observar que el volumen de agua producido es mayor que el volumen de agua facturado, esto debido a que existen pérdidas en el sistema por diferentes factores, las cuales se las puede estimar en porcentaje relacionando los dos volúmenes entonces tenemos que:

$$\text{Pérdidas del sistema} = 23,76 \%$$

Se calcula los volúmenes de consumo para cada gestión afectando para esto los volúmenes producidos por el valor de las pérdidas del sistema calculado anteriormente para la gestión 2016, suponiendo que las pérdidas para cada gestión son las mismas.

**Tabla 5.2. Volúmenes de producción y facturación de agua potable (m<sup>3</sup>)**

Año	Vol. Producido m <sup>3</sup> /año	Vol. Consumo m <sup>3</sup> /año
-----	---------------------------------------	-------------------------------------



2012	17.254.754,00	13.155.527,83
2013	17.092.047,00	13.031.475,27
2014	16.782.850,00	12.795.734,46
2015	15.478.159,10	11.801.000,05
2016	15.423.847,10	11.759.591,00

*Fuente: COSAALT*

Para el análisis de las pérdidas del sistema se debe tomar en cuenta que una parte de ella se convierte en consumo real como ser la precisión del medidor, conexiones clandestinas, las cuales son de consumo de la población, mientras que las demás partes se producen por fugas en la red y en el proceso. Por lo que se debe hacer un análisis minucioso de estas desglosándolas como sigue a continuación:

- 1.- Pérdidas en el consumo en la planta de agua potable para el proceso y mantenimiento, lavado de filtros, purgas en la planta de la red. (18%)
- 2.- Pérdidas por fugas en la red de la maestra y en la distribución, regado de jardines (pilas públicas, etc.) (65%)
- 3.- Caudal de arranque del medidor, precisión del medidor que varía normalmente entre 8 y 10 %. Se asume el valor de 10 %, pero como la cobertura de medición es del 78,44%, el valor resulta 7,84% adoptando un 8% como precisión del medidor.
- 4.- Conexiones clandestinas (9%)

**Tabla 5.3. Pérdidas en el sistema de agua potable**

CONCEPTO	% de Pérd.	% Final
Pérdidas en el Proceso	18,00%	4,28%
Fugas en la Red Maestra y Distribuidora	65,00%	15,44%

Diferencia en el Micromedidor	8,00%	1,90%
Conexiones Clandestinas	9,00%	2,14%
<b>TOTALES</b>	<b>100,00%</b>	<b>23,76%</b>

*Fuente: COSAALT*

Entonces las pérdidas efectivas en el sistema serán las que se producen en el proceso y las de fugas en la red maestra y distribuidora.

*Pérdidas efectivas en el sistema = 19,72 %*

### 5.1.2. Dotación de agua potable

La dotación de agua potable hace referencia al consumo anual total de agua de un centro urbano dividido por la población abastecida y el número de días al año, que vendría a ser el volumen de agua utilizado por una persona en un día.

La dotación media diaria puede incrementarse obteniendo la dotación futura de acuerdo a los factores que afectan el consumo y se justifica por el mayor hábito en el uso de agua y por la disponibilidad de la misma.

Para la estimación de la dotación se analizará los datos de volúmenes de producción de agua mensual y anual de las gestiones 2012, 2013, 2014, 2015, 2016. Así también el volumen facturado de agua potable relacionándolos con las diferentes pérdidas que existen entre los mismo, además de contar con el módulo habitacional por conexión y el número de conexiones para las mismas gestiones, todos estos datos fueron extraídos de COSAALT.

**Tabla 5.4. Volúmenes de producción de agua potable (m<sup>3</sup>)**

Mes	Gestión					Promedio
	2012	2013	2014	2015	2016	
Enero	1.375.321,20	1.488.945,00	1.390.588,10	1.393.399,60	1.357.547,00	1.401.160,18
Febrero	1.320.003,60	1.333.466,50	1.217.454,60	1.193.732,60	1.197.025,30	1.252.336,52
Marzo	1.398.271,70	1.481.699,50	1.424.053,40	1.391.029,60	1.334.887,80	1.405.988,40
Abril	1.408.363,20	1.373.682,20	1.378.801,40	1.371.323,50	1.303.750,10	1.367.184,08

Mayo	1.409.830,30	1.339.837,60	1.364.232,70	1.415.911,10	1.260.803,20	1.358.122,98
Junio	1.314.481,00	1.246.829,80	1.239.014,90	1.345.273,90	1.143.979,20	1.257.915,76
Julio	1.340.014,80	1.508.552,60	1.407.404,20	1.012.594,20	1.199.735,70	1.293.660,30
Agosto	1.566.887,30	1.478.439,60	1.417.239,90	1.264.282,60	1.261.713,90	1.397.712,66
Septiembre	1.524.303,40	1.440.931,70	1.462.406,40	1.259.660,20	1.275.315,80	1.392.523,50
Octubre	1.559.266,00	1.478.469,90	1.499.994,70	1.290.619,90	1.286.087,30	1.422.887,56
Noviembre	1.455.343,20	1.416.204,00	1.423.370,90	1.256.757,10	1.403.671,70	1.391.069,38
Diciembre	1.582.668,30	1.504.988,60	1.558.288,80	1.283.574,80	1.399.330,10	1.465.770,12
Total	17.254.754,00	17.092.047,00	16.782.850,00	15.478.159,10	15.423.847,10	16.406.331,44

Fuente: COSAALT (2012-2016)

Teniendo los datos de conexiones de agua potable de las gestiones 2012, 2013, 2014, 2015, 2016. Se determina el número de conexiones al inicio y al final de cada gestión así como los valores promedio y multiplicándolos por el módulo habitacional por conexión (5,14 hab/conex) se obtiene el número de usuarios totales.

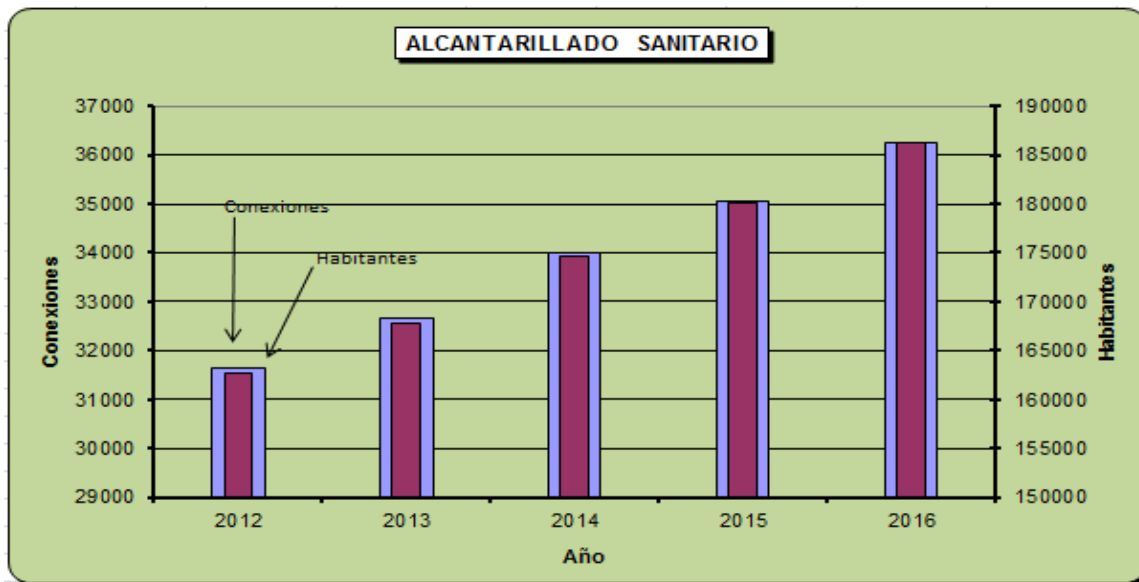
**Tabla 5.5. Conexiones y estimación de usuarios de agua potable**

Año	Nº conex. Inicio	Nº conex. Final	Nº conex. Promedio	Nº de habitantes
2012	31.300	31.974	31.637	162.614
2013	31.974	33.320	32.647	167.806
2014	33.320	34.647	33.984	174.675
2015	34.647	35.462	35.055	180.180
2016	35.462	37.023	36.243	186.286

Fuente: COSAALT (2012-2016)

Para tener una mayor apreciación de la variación de las conexiones y número de habitantes en cada gestión se presentan la siguiente gráfica

**Gráfica 5.3. Conexiones y número de habitantes**



Fuente: Elaboración propia

Como ya se conoce los volúmenes de consumo de agua potable, se los relaciona con el número de usuarios y se obtiene la dotación de agua potable.

**Tabla 5.6. Estimación de la dotación de agua potable (2012 - 2016)**

Año	Vol. Producido m3/año	Vol. Consumo m3/año	Nº de habitantes	Dotación l/hab.día
2012	17.254.754,00	13.155.527,83	162.614	222
2013	17.092.047,00	13.031.475,27	167.806	213
2014	16.782.850,00	12.795.734,46	174.675	201
2015	15.478.159,10	11.801.000,05	180.180	179
2016	15.423.847,10	11.759.591,00	186.286	173

Fuente: Elaboración propia

La dotación promedio de las gestiones analizadas será entonces:

*Dotación promedio = 197 l/hab/día*

La dotación de agua potable se encuentra estimada con las pérdidas de agua potable. La cual ya se determinó anteriormente obteniendo:

$$\text{Pérdidas efectivas en el sistema} = 19,72 \%$$

Entonces tenemos que los volúmenes de producción y facturación serán estimados nuevamente con las pérdidas efectivas en el sistema.

**Tabla 5.7. Estimación de la dotación efectiva de agua potable (2012 – 2016)**

Año	Vol. Producido m3/año	Vol. Consumo m3/año	Nº de habitantes	Dotación l/hab.día
2012	17.254.754,00	13.852.396,28	162.614	233
2013	17.092.047,00	13.721.772,47	167.806	224
2014	16.782.850,00	13.473.544,10	174.675	211
2015	15.478.159,10	12.426.117,09	180.180	189
2016	15.423.847,10	12.382.514,54	186.286	182

*Fuente: Elaboración propia*

Entonces la dotación promedio será:

$$\text{Dotación promedio} = 226 \text{ l/hab/día}$$

El porcentaje de usuarios con medidor es del 78,44 % mientras que el otro 21,56 % no cuentan con medidor, según los datos proporcionados por COSAALT.

$$\text{Número de conexiones con medidor} = 29.041 \text{ conex.}$$

Ahora con el módulo habitacional por conexión 5,14 hab/conex. Se calcula el número de habitantes con medidor.

$$\text{Número de habitantes con medidor} = 149271 \text{ hab.}$$

El 21,56 % de la población no cuenta con medidor y por lo cual COSAALT opta por suponer un consumo promedio normal, pero en la mayoría de los casos, al no haber medición tiende a subir el

consumo normal, por lo cual ese exceso se estima en un 15 % más de consumo en el sector que carece de medidor.

Se realiza el ajuste de la dotación obtenida, afectando su valor con el porcentaje de cobertura de medición 78,44 % y para el porcentaje que carece de medidor se afectará con el 21,56 % restante incrementándolo más el 15 %. Entonces tenemos:

**Tabla 5.8. Estimación de la dotación real de agua potable**

Sector	Cobertura	Incremento	Dotacion en funcion del % de cobertura	
P/ sector con medidor	78,44%		177,42	l/hab.día
P/ sector sin medidor	21,56%	15%	56,08	l/hab.día

Entonces la suma de ambas dotaciones será la dotación final

$$\text{Dotación promedio} = 234 \text{ l/hab/día}$$

Se puede observar que el valor de la dotación se encuentra dentro del rango establecido (200 – 250 l / hab /día) para la zona de valles y una población mayor a 100000 habitantes, según la NB 689 de instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable.

**Tabla 5.9. Dotación media diaria (l / hab / día)**

Zona	Población (habitantes)					
	Hasta 500	De 501 a 2000	De 2001 a 5000	De 5001 a 20000	De 20001 a 100000	Más de 100000
Del Altiplano	30-50	30-70	50-80	80-100	100-150	150-200
De los Valles	50-70	50-90	70-100	100-140	150-200	200-250
De los Llanos	70-90	70-110	90-120	120-180	200-250	250-350

Fuente: NB 689 Instalaciones sanitarias - alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales

### 5.1.3. Generación y cuantificación del caudal residual

Las lecturaciones de tirantes se la realiza con regleta en el canal Parshall ubicado en el ingreso de las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la zona de San Luis, estas lecturaciones se las realiza de las 05:00 am hasta la 20:00 pm, diariamente durante todo el año, dichos datos son registrados y administrados por personal encargado del laboratorio de COSAALT.

La generación de los caudales horarios diarios se muestran en el anexo E, la cual se generó mediante una ecuación calibrada a las características del canal, la cual es la siguiente:

$$Q = 0,968 * H^{3/2}$$

### 5.1.3.1. Caudales horarios

Se debe considerar los meses más secos del año donde el caudal de ingreso de agua residual a la planta de tratamiento no se ve afectado por lluvias que puede filtrarse del sistema del alcantarillado sanitario.

Los caudales horarios para los diferentes meses del año se presentan en la tabla 5.10. Obtenida del anexo F; mostrando la variación de los caudales horarios mensuales para la gestión 2016.

**Tabla 5.10. Caudales horarios mensuales gestión 2016**

MUESTRA	HORA	Q medio (l/s) GESTION 2016											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	05:00	115,9	120,7	148,3	135,6	170,3	166,1	173,9	183,1	200,4	128,6	117,9	125,3
2	06:00	139,6	150,2	185,9	167,5	185,4	182,8	195,8	203,7	220,1	137,3	132,7	146,9
3	07:00	174,6	189,1	222,3	196,6	198,8	198,5	227,5	228,8	233,2	178,9	194,8	204,5
4	08:00	254,8	263,8	269,7	228,1	220,2	224,3	263,4	274,9	267,3	290,7	276,5	283,1
5	09:00	313,1	318,5	317,0	275,5	243,6	249,6	297,7	313,9	318,9	336,7	331,1	333,9
6	10:00	386,1	378,9	356,7	311,3	305,8	281,4	331,9	337,6	338,7	357,2	347,9	359,9
7	11:00	414,1	411,9	399,5	348,2	307,3	317,1	351,8	358,1	347,9	351,3	354,5	378,9
8	12:00	429,0	433,7	424,5	375,7	334,7	338,9	359,4	366,6	354,0	344,2	345,3	368,2
9	13:00	413,9	410,5	424,9	371,9	347,2	349,5	360,4	365,5	352,2	336,7	335,9	350,3
10	14:00	394,4	381,2	401,3	364,2	347,6	347,8	358,4	350,2	350,2	335,8	321,4	337,7
11	15:00	341,8	360,4	363,8	344,2	342,6	344,0	350,0	346,6	346,5	317,6	326,1	336,6
12	16:00	349,6	325,0	322,6	317,3	335,4	336,2	341,6	339,7	342,1	318,1	325,7	333,2
13	17:00	324,2	301,6	289,7	294,4	325,2	325,7	334,1	330,2	330,8	303,1	315,9	320,6
14	18:00	294,0	267,1	262,1	270,3	317,8	314,0	323,6	317,5	315,0	291,4	300,0	309,0
15	19:00	268,9	236,1	235,0	245,2	308,4	308,0	311,0	305,2	307,0	267,9	277,7	291,0
16	20:00	238,8	194,3	191,6	213,6	301,4	298,8	301,4	295,1	298,5	248,2	255,7	257,8

Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.4. Caudales medios mensuales

Con los caudales horarios mensuales se obtuvo los caudales medios mensuales en l/s de agua residual de la gestión 2012, 2013, 2014, 2015, 2016; obtenidas del anexo F.

**Tabla 5.11. Caudales medios mensuales**

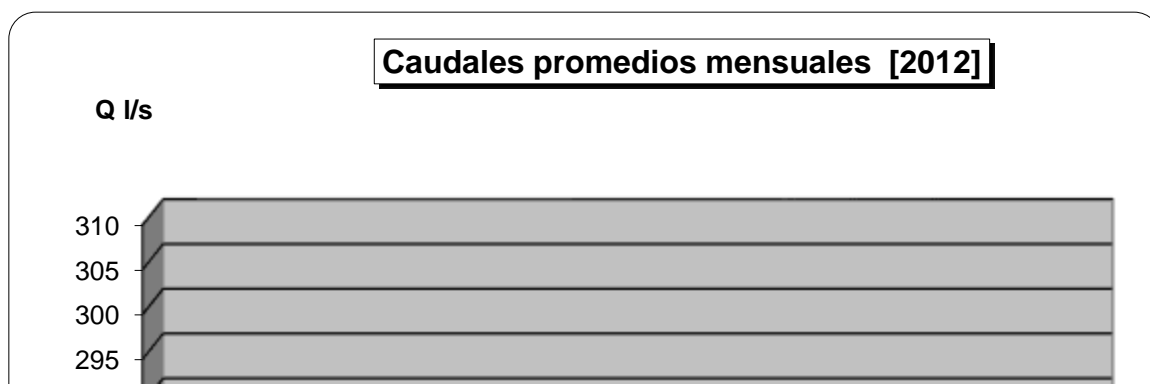
MES	Caudales medios horarios (l/s)					Promedio
	2012	2013	2014	2015	2016	Q (l/s)
Enero	290,02	296,13	296,37		303,31	294,17
Febrero	283,29	298,08	301,22	293,97	296,44	294,14
Marzo	287,31	296,26	296,45	304,95	300,93	296,24
Abril	285,8	300,15	299,13	308,59	278,73	298,42
Mayo	283,94	302,5	298,13	309,73	286,98	298,58
Junio	288,84		298,67		286,41	293,75
Julio	283,26	285,26	302,26		305,12	290,26
Agosto	278,57	279,78	303,43		307,3	287,26
Septiembre	286,05	284,75	309,62		307,68	293,47
Octubre	285,62	284,08	314,43		283,98	294,71
Noviembre	279,61	288,75	312,35		284,95	293,57
Diciembre	281,4	288,37	312,37		296,08	294,05

*Fuente: Elaboración propia*

Las celdas en blanco son periodos donde no se contaba con el personal encargado que realice las lecturaciones de los tirantes por lo que no se contaba con registro de estos datos.

Para tener una mejor apreciación de la variación de los caudales en los diferentes meses y épocas del año se presenta las siguientes gráficas:

**Gráfica 5.4. Caudales promedios mensuales 2012**

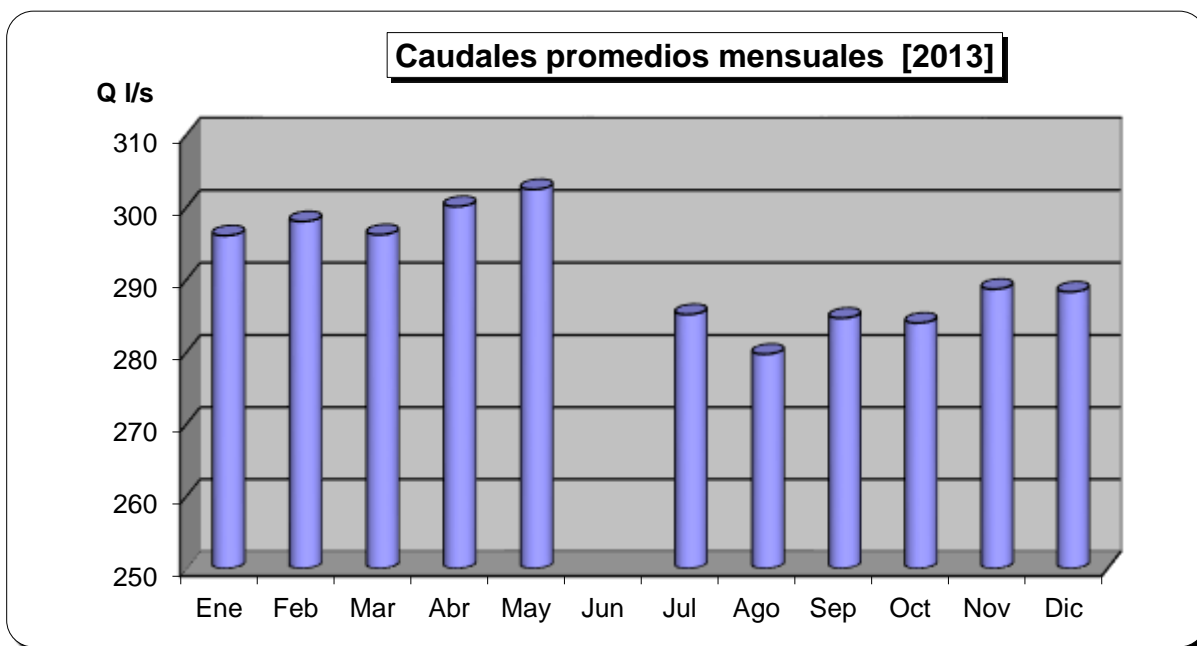




*Fuente: Elaboración propia*

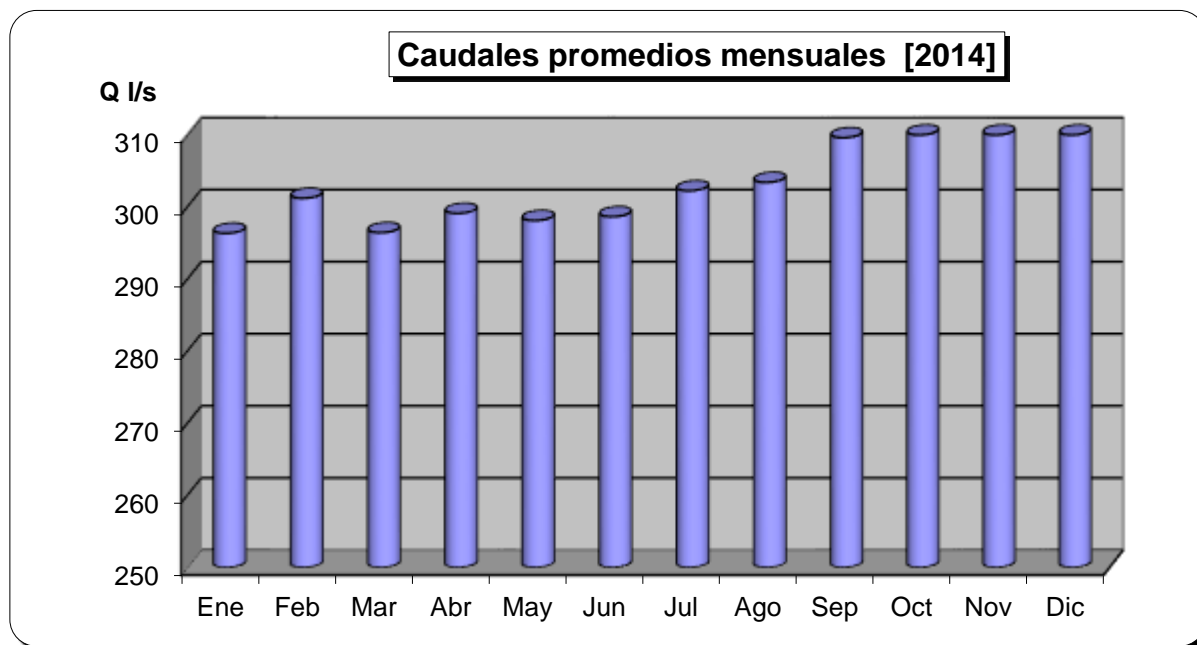
**Gráfica 5.5. Caudales promedios mensuales 2013**

Fuente:



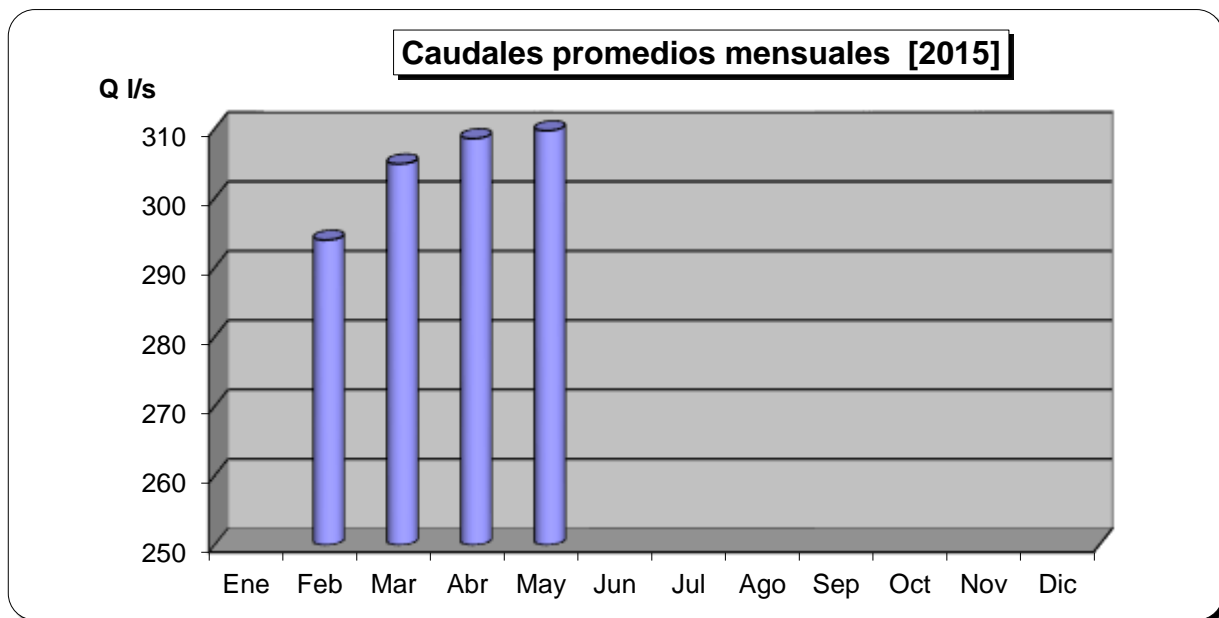
Elaboración propia

**Gráfica 5.6. Caudales promedios mensuales 2014**



Fuente: Elaboración propia

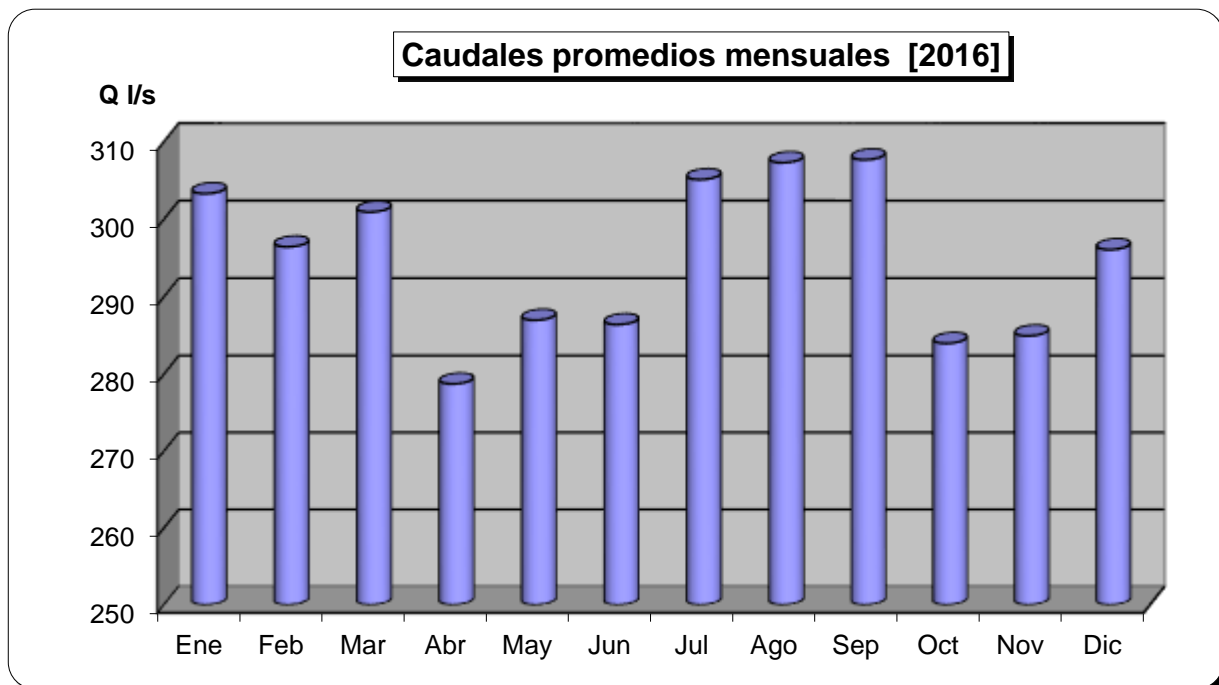
**Gráfica 5.7. Caudales promedios mensuales 2015**



Fuente:

*Elaboración propia*

**Gráfica 5.8. Caudales promedios mensuales 2016**



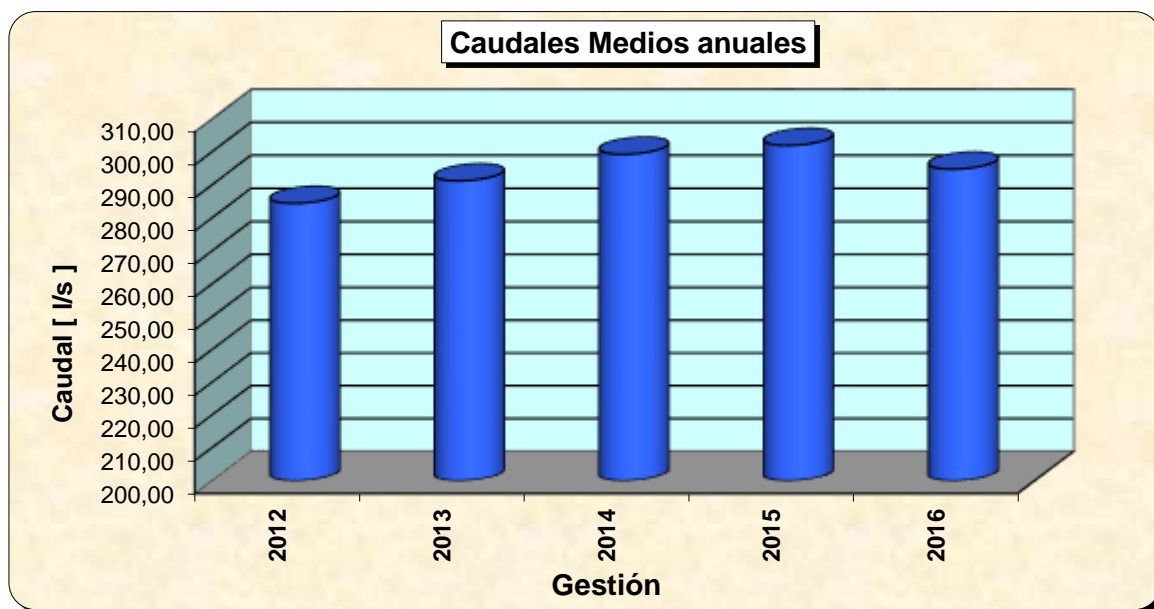
Fuente:

*Elaboración propia*

### 5.1.5. Caudales medios anuales

Para ver la variación de caudales medios anuales de agua residuales de las gestiones 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 ; se presenta la siguiente tabla y gráficas para tener una mejor apreciación de las mismas.

**Gráfica 5.9. Caudales medios anuales**



Fuente:

*Elaboración propia*

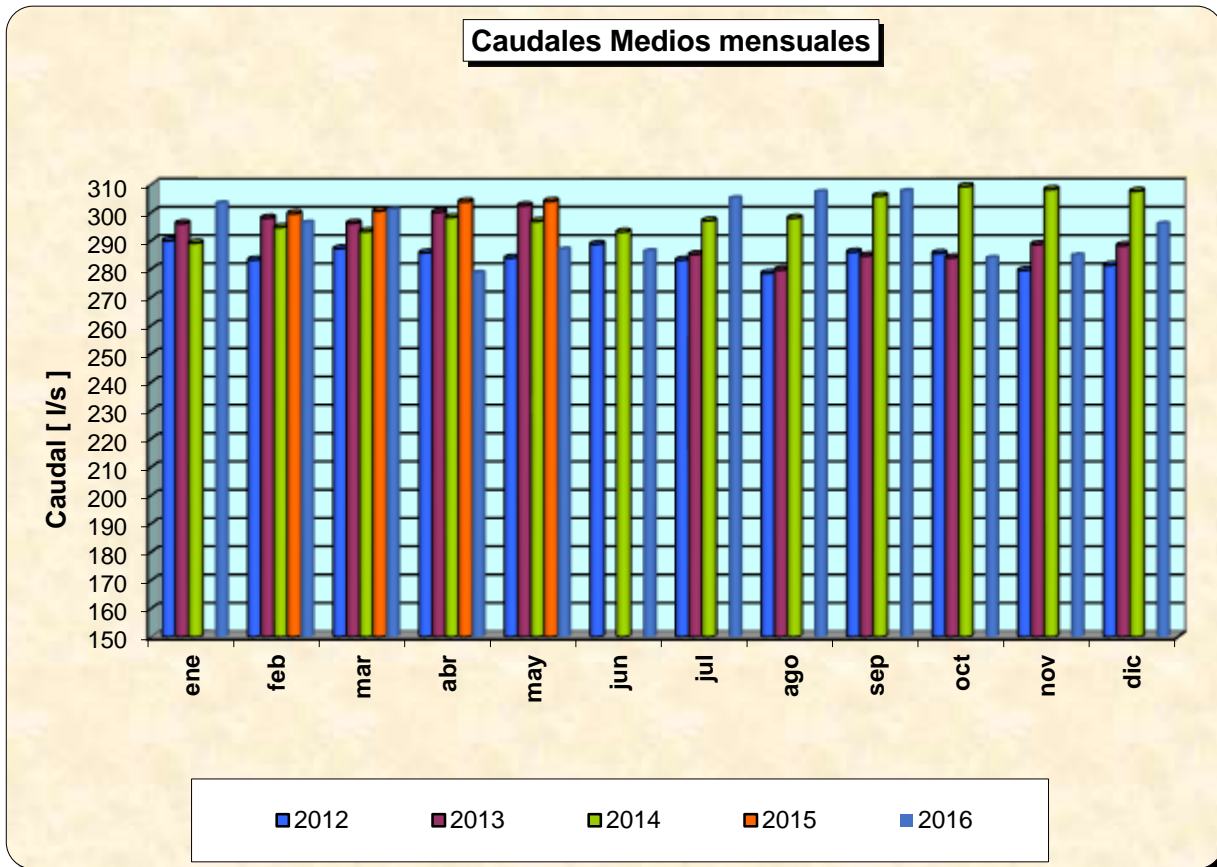
Se puede observar que en la gestión 2015 hay más ingreso de caudal de agua residual esto debido a que no se tiene el registro completo de las lecturaciones, contando solo con los meses de febrero a mayo meses que se presenta lluvia y se cuenta con mayor ingreso caudal por filtraciones al sistema de alcantarillado sanitario.

**Tabla 5.12. Caudales medios anuales**

	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	Prom. Anual
2012	290,02	283,29	287,31	285,8	283,94	288,84	283,26	278,57	286,05	285,62	279,61	281,4	284,48
2013	296,13	298,08	296,26	300,15	302,5		285,26	279,78	284,75	284,08	288,75	288,37	291,28
2014	296,37	301,22	296,45	299,13	298,13	298,67	302,26	303,43	309,62	314,43	312,35	312,37	303,70
2015		293,97	304,95	308,59	309,73								304,31
2016	303,31	296,44	300,93	278,73	286,98	286,41	305,12	307,3	307,68	283,98	284,95	296,08	294,83

*Fuente: Elaboración propia*

Gráfica 5.10. Caudales medios mensuales



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en las épocas de primavera y verano los caudales se incrementan esto debido a que el consumo de agua potable en estas épocas se aumenta por las temperaturas elevadas, teniendo como consecuencia un incremento también en los caudales de aguas residuales. Mientras que en la época de otoño e invierno el consumo de agua potable disminuye debido a que las temperaturas disminuyen, teniendo así una disminución de caudales de aguas residuales.

### 5.1.6. Coeficiente de retorno

El coeficiente de vuelco o de retorno está definido como la relación de volumen de agua residual que llega a las alcantarillas y el volumen de agua abastecida, este coeficiente toma en cuenta el

hecho de que no toda el agua consumida dentro del domicilio es devuelta al alcantarillado, por razón de sus múltiples usos como ejemplo riego, lavado de pisos, cocina y otros. Se establecer entonces, que solo un porcentaje del total del agua consumida es devuelto al alcantarillado. Este porcentaje es denominado coeficiente de retorno o aporte, el cual estadísticamente fluctúa entre 60 a 80 %.

### 5.1.6.1. Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario

Para la estimación del coeficiente máximo horario se utilizará los caudales máximos horarios de las muestras compuestas de agua residual de cada mes para cada gestión y se los dividirá entre el caudal medio diario, de igual manera se obtendrán los coeficientes mínimos horarios de la relación entre los caudales mínimos y el caudal medio diario y se los presenta a continuación en las siguientes tablas. Obtenida del anexo G

**Tabla 5.13. Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2014)**

Mes	Q max. horario(m <sup>3</sup> /h)	Q mín. horario(m <sup>3</sup> /h)	Q medio. diario(m <sup>3</sup> /h)	Coef. Max.horario	Coef. Mín.horario
Enero	1385,42	286,09	1066,93	1,30	0,27
Febrero	1387,08	304,94	1084,40	1,28	0,28
Marzo	1363,23	322,36	1067,23	1,28	0,30
Abril	1380,33	297,70	1076,87	1,28	0,28
Mayo	1375,52	303,42	1073,27	1,28	0,28
Junio	1376,55	308,05	1075,20	1,28	0,29
Julio	1399,05	294,88	1088,12	1,29	0,27
Agosto	1402,76	310,82	1092,33	1,28	0,28
Septiembre	1404,72	318,54	1114,62	1,26	0,29
Octubre	1412,70	321,69	1131,96	1,25	0,28
Noviembre	1404,74	326,62	1124,46	1,25	0,29
Diciembre	1412,72	322,34	1124,53	1,26	0,29

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5.14. Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2015)**

Mes	Q max. horario(m <sup>3</sup> /h)	Q mín. horario(m <sup>3</sup> /h)	Q medio. diario(m <sup>3</sup> /h)	Coef. Max.horario	Coef. Mín.horario
Enero					
Febrero	1364,54	293,32	1058,29	1,29	0,28
Marzo	1400,34	309,20	1097,81	1,28	0,28
Abril	1412,43	318,85	1110,93	1,27	0,29

Mayo	1413,95	315,65	1115,03	1,27	0,28
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5.15. Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2016)**

Mes	Q max. horario(m3/h)	Q mín. horario(m3/h)	Q medio. diario(m3/h)	Coef. Max.horario	Coef. Mín.horario
Enero	1544,23	417,17	1091,90	1,41	0,38
Febrero	1561,38	434,68	1067,18	1,46	0,41
Marzo	1529,66	533,87	1083,34	1,41	0,49
Abril	1352,58	488,04	1003,44	1,35	0,49
Mayo	1251,26	612,94	1033,14	1,21	0,59
Junio	1258,16	597,80	1031,09	1,22	0,58
Julio	1297,35	626,19	1098,42	1,18	0,57
Agosto	1319,64	659,18	1106,26	1,19	0,60
Septiembre	1274,43	721,57	1107,65	1,15	0,65
Octubre	1285,76	463,00	1022,34	1,26	0,45
Noviembre	1276,07	424,49	1025,83	1,24	0,41
Diciembre	1364,00	451,11	1065,87	1,28	0,42

*Fuente: Elaboración propia*

Una vez calculado los coeficientes máximos horarios para las gestiones 2014 , 2015 , 2016. Se adoptara como coeficiente máximo horario el promedio de estas gestiones para tener un valor más representativo de estos

*Coeficiente máximo horario = 1,35*

De igual manera se adoptará como coeficiente mínimo horario el promedio de las gestiones 2014 , 2015, 2016 ; ya que sólo se contó con datos de estas gestiones

*Coeficiente mínimo horario = 0,31*

### 5.1.6.2. Estimación del coeficiente máximo y mínimo diarios

Para la estimación del coeficiente máximo y mínimo diario se utilizarán los volúmenes producidos de agua de las gestiones 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016. Siendo estos la relación entre el promedio de cada mes entre el promedio total y se los presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 5.16. Coeficiente máximo y mínimo**

Volúmenes producidos (m3)							
Mes	Gestión					Promedio	Coeficiente
	2012	2013	2014	2015	2016		
Enero	1.375.321,20	1.488.945,00	1.390.588,10	1.393.399,60	1.357.547,00	1.401.160,18	1,02
Febrero	1.320.003,60	1.333.466,50	1.217.454,60	1.193.732,60	1.197.025,30	1.252.336,52	0,92
Marzo	1.398.271,70	1.481.699,50	1.424.053,40	1.391.029,60	1.334.887,80	1.405.988,40	1,03
Abril	1.408.363,20	1.373.682,20	1.378.801,40	1.371.323,50	1.303.750,10	1.367.184,08	1,00
Mayo	1.409.830,30	1.339.837,60	1.364.232,70	1.415.911,10	1.260.803,20	1.358.122,98	0,99
Junio	1.314.481,00	1.246.829,80	1.239.014,90	1.345.273,90	1.143.979,20	1.257.915,76	0,92
Julio	1.340.014,80	1.508.552,60	1.407.404,20	1.012.594,20	1.199.735,70	1.293.660,30	0,95
Agosto	1.566.887,30	1.478.439,60	1.417.239,90	1.264.282,60	1.261.713,90	1.397.712,66	1,02
Septiembre	1.524.303,40	1.440.931,70	1.462.406,40	1.259.660,20	1.275.315,80	1.392.523,50	1,02
Octubre	1.559.266,00	1.478.469,90	1.499.994,70	1.290.619,90	1.286.087,30	1.422.887,56	1,04
Noviembre	1.455.343,20	1.416.204,00	1.423.370,90	1.256.757,10	1.403.671,70	1.391.069,38	1,02
Diciembre	1.582.668,30	1.504.988,60	1.558.288,80	1.283.574,80	1.399.330,10	1.465.770,12	1,07
Promedio	1.437.896,17	1.424.337,25	1.398.570,83	1.289.846,59	1.285.320,59	1.367.194,29	12,00

Fuente: COSAALT

Siendo el coeficiente máximo y mínimo los siguientes:

*Coeficiente máximo diario = 1,07*

*Coeficiente mínimo diario = 0,92*

### 5.1.6.3. Estimación del coeficiente de vuelco o de retorno



Para la estimación del coeficiente de retorno se determinará el consumo medio diario de abastecimiento, este será igual a la población del área de influencia del proyecto 194.352 habitantes por la dotación de agua potable, para tener un valor más próximo y real del coeficiente de retorno se trabajará con la dotación de agua potable estimada para la última gestión 2016, esto debido a que para la estimación de la dotación de agua potable se trabajó con la hipótesis de que las pérdidas de agua potable en la gestión 2016 son las mismas para las anteriores gestiones entonces tenemos.

$$\text{Dotación de agua potable 2016} = 173 \text{ L/hab/día}$$

$$\text{Caudal medio diario} = \frac{(194.352 \text{ hab} * 173 \text{ l/hab/día})}{1000}$$

$$\text{Caudal medio diario} = 33622,89 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora el caudal medio de las muestras compuestas de caudal residual para la gestión 2016 será igual

$$\text{Caudal medio de muestras compuestas} = 25472,92 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Coeficiente de retorno} = \left( \frac{25472,92 \text{ m}^3/\text{día}}{33622,89 \text{ m}^3/\text{día}} \right) * 100$$

$$\text{Coeficiente de retorno} = 76 \%$$

Se puede observar que el valor obtenido se encuentra dentro del rango que recomienda la norma de alcantarillado sanitario NB 688 que fluctúa entre 60 - 80 % como coeficiente de retorno y significa que un 76 % del agua de abastecimiento que ingresa a la ciudad retorna como agua residual a la planta de tratamiento.

## **5.2. Parámetros de calidad**

### **5.2.1. Parámetros químicos**

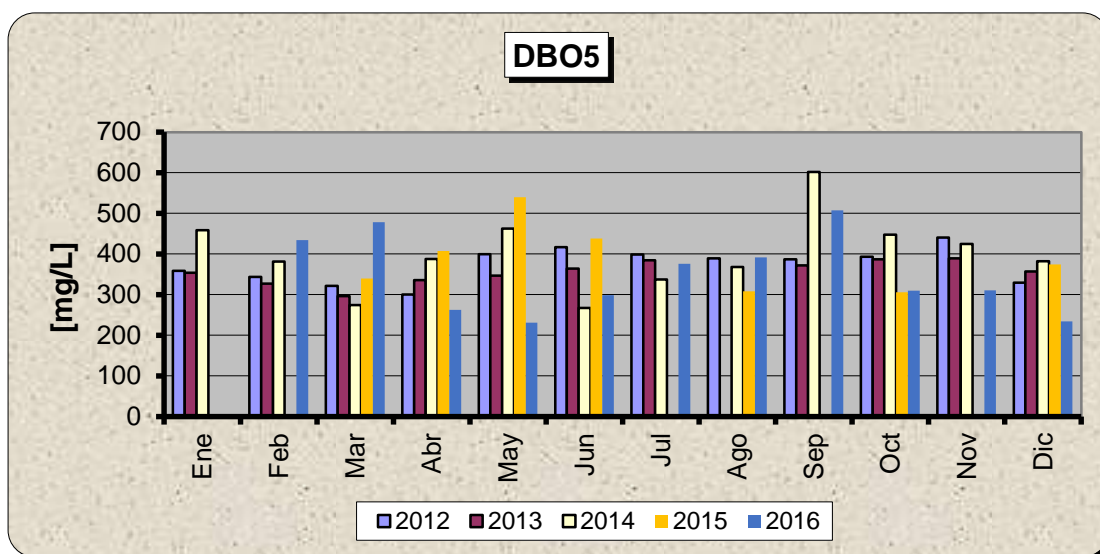
Para la determinación de la calidad del agua residual que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis se cuenta con los datos de análisis de muestras puntuales de agua residual, tomadas a la entrada de las lagunas de oxidación que se las realiza dos veces al mes variando las horas de muestreo, obteniendo así los valores medios de la demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub> y demanda química de oxígeno DQO de las gestiones 2012, 2013, 2014, 2015, 2016; los cuales se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 5.17. Valores promedios mensuales y anuales de DBO<sub>5</sub>**

DBO <sub>5</sub> (mg/l)						
Mes	Gestión					Promedio
	2012	2013	2014	2015	2016	
Enero	358,76	353,69	458,75			390,4
Febrero	343,88	327,39	381,13		434	371,6
Marzo	321,84	296,09	274	340	478,5	342,1
Abril	300,18	335,79	387,5	407,5	262,5	338,7
Mayo	399,84	346,91	462,33	540	231	396,0
Junio	416,87	363,78	267	438,5	299	357,0
Julio	398,85	384,29	337		376	374,0
Agosto	389,38		368,33	308	392	364,4
Septiembre	387,22	371,89	602,33		507,5	467,2
Octubre	393,45	387,29	447,84	306	310	368,9
Noviembre	440,86	389,07	424,75		310,5	391,3
Diciembre	329,22	357	382	374	234	335,2
Promedio	373,36	355,74	399,41	387,71	348,64	374,8

Fuente: COSAALT

**Gráfica 5.11. Promedios de DBO<sub>5</sub> mensuales de la gestión 2012-2016**



Fuente: Elaboración propia

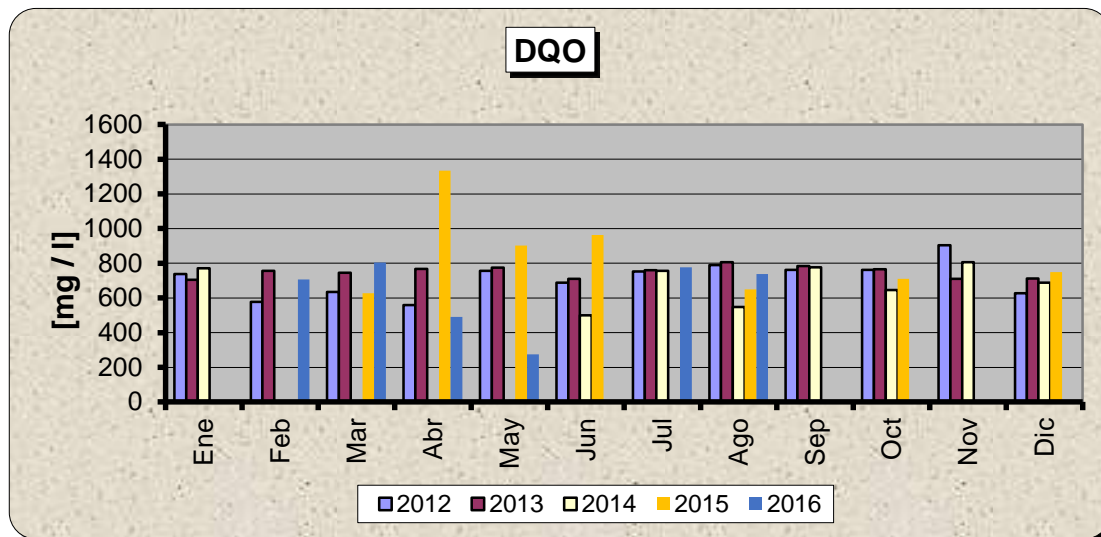
Se puede observar en la gráfica que los valores de DBO5 pertenecientes a la gestión 2014 de varios meses de año se encuentran elevados en comparación de las demás gestiones.

**Tabla 5.18. Valores promedios mensuales y anuales de DQO**

DQO (mg/l)						
Mes	Gestión					Promedio
	2012	2013	2014	2015	2016	
Enero	737,63	704,07	771,24			737,65
Febrero	577,56	756,72			705,89	680,06
Marzo	634,76	744,63		627,46	803,93	702,70
Abril	558,86	766,92		1333,35	490,2	787,33
Mayo	756,2	775,27		901,97	274,51	676,99
Junio	688,26	710,79	500,55	963,58		715,80
Julio	752,94	760,54	756,6		776,72	761,70
Agosto	789,8	806,6	547,52	650,23	737,88	706,41
Septiembre	762,76	784,96	776,67			774,80
Octubre	761,59	765,63	645,96	709,35		720,63
Noviembre	904,28	709,66	805,35			806,43
Diciembre	626,67	712,33	687,8	748,75		693,89
Promedio	712,61	749,84	686,46	847,81	631,52	730,36

Fuente: COSAALT

**Gráfica 5.12. Promedios de DQO mensuales de la gestión 2012-2016**

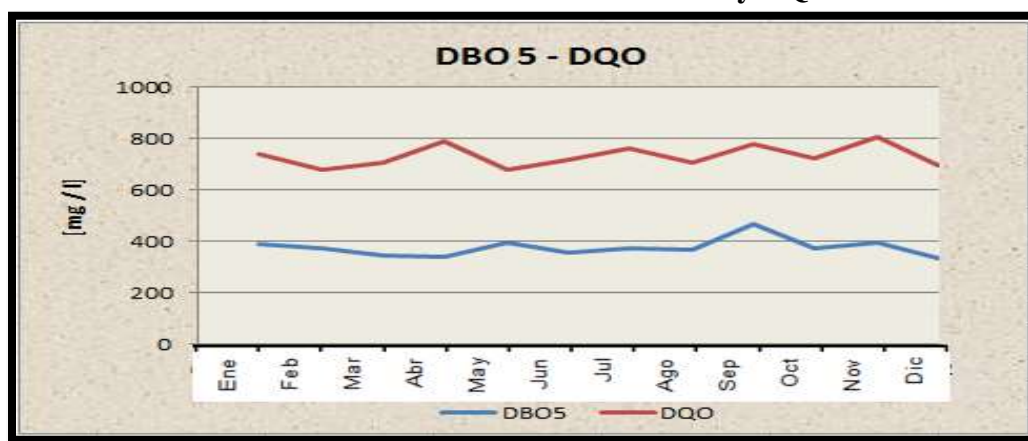


*Fuente:*  
*Elaboración propia*  
Se puede observar que los valores de DBO5 y DQO varía para cada mes en las

diferentes gestiones, esto debido a que los valores son dependientes en gran parte de las actividades que desarrolla la población en sus usos y costumbres, tanto en el lavado de vehículos, comercios, industrias, etc. Así también depende del día que se realice la muestra.

A continuación se presenta una gráfica con los valores promedios mensuales de la DBO5 y DQO de las gestiones 2012, 2013, 2014, 2015, 2016.

**Gráfica 5.13. Promedios de DBO5 y DQO mensuales**



*Fuente: Elaboración propia*

La relación DBO5/DQO sirve para definir el tipo de tratamiento que se le puede dar a las aguas residuales.

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

$$\text{Relación} = \frac{DQO}{DBO5} = \frac{730,36}{374,8}$$

$$\frac{DQO}{DBO5} = 1,95$$

De acuerdo recomendación de la bibliografía en cuanto al tratamiento de aguas residuales que dice: sí la relación DQO/DBO < 2.4 se puede utilizar procesos biológicos de tratamiento.

Se puede observar que el valor de la DQO es mayor que el valor de la DBO5, esto debido a que la DQO mide el contenido de materia orgánica e inorgánica, mientras que la DBO5 mide solo el contenido de materia orgánica.

### 5.2.2. Parámetro biológico

El tratamiento secundario o biológico de las aguas residuales tiene la finalidad de remover la materia orgánica en estado coloidal y disuelto. Este tratamiento depende principalmente de cierto tipo de microorganismos para la descomposición de los sólidos orgánicos disueltos.

Existen tres formas de tratamiento biológico: los procesos aerobios, que se realizan en presencia y con consumo de oxígeno; los procesos anaerobios, que suceden en ausencia de oxígeno; y los procesos facultativos, en los que los organismos pueden vivir en presencia o en ausencia esporádica de oxígeno.

**Tabla 5.19. Coliformes totales y fecales**

Mes	Entrada		Salida		Remoción Coliformes totales	Remoción Coliformes totales
	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Coliformes Fecales		
	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml		
Enero						

Febrero	2,40E+09	1,10E+08	1,10E+08	4,60E+07	95,417%	58,182%
Marzo	2,40E+09	1,10E+09	4,60E+07	2,40E+07	98,083%	97,818%
Abril	1,30E+09	6,50E+08	1,80E+07	1,20E+07	98,615%	98,154%
Mayo	5,60E+09	2,40E+08	3,70E+07	1,50E+07	99,339%	93,750%
Junio	5,70E+09	2,40E+08	3,50E+07	1,90E+07	99,386%	92,083%
Julio	1,10E+09	4,60E+08	4,60E+07	2,40E+07	95,818%	94,783%
Agosto	2,40E+09	1,10E+08	1,10E+08	4,60E+07	95,417%	58,182%
Septiembre	8,50E+08	2,50E+08	2,10E+07	1,20E+07	97,529%	95,200%
Octubre						
Noviembre	3,50E+09	1,70E+09	6,90E+07	1,80E+07	98,029%	98,941%
Diciembre	2,40E+09	1,10E+09	2,60E+07	2,00E+07	98,917%	98,182%
Promedio			5,18E+07	2,36E+07	97,655%	88,527%

*Fuente: Elaboración propia*

La capacidad de remoción de la planta de tratamiento de San Luis para el año 2016 respecto a coliformes totales es de 97,66% y de coliformes fecales del 88,53% representando  $5,18 \times 10^7$  NMP/100ml y  $2,48 \times 10^7$  NMP/100ml respectivamente. Siendo deficiente, pues para alcanzar una cantidad de  $\leq 10^3$  NMP/100ml (según la ley 1333 de medio ambiente, de los límites permisibles de parámetros en cuerpos receptores) se requiere que la PTAR tengan una capacidad de remoción del orden del 99,99%.

### **5.3. Carga orgánica**

Como el valor de la DBO en la Norma Boliviana NB688 esta expresada en (gr/hab.día), se la obtendrá en estas unidades la cual se lo conoce como carga orgánica; se utilizará el caudal de retorno a la planta de tratamiento de San Luis, el cual es igual al producto de la dotación de agua potable estimada para la ciudad de Tarija con el coeficiente de vuelco o retorno.

$$\text{Caudal de retorno} = 234 \text{ l/hab/día} * 0,76$$

*Caudal de retorno = 177 l/hab/día*

Se utilizará los valores de DBO5 de las muestras puntuales de cada mes para cada gestión y multiplicarlos por el caudal de retorno se obtendrá la carga orgánica per cápita los cuales se resumen a continuación en las siguientes tablas.

**Tabla 5.20. Estimación de la carga orgánica per cápita 2012**

Mes	Caudal l/hab/día	DBO 5 mg/l	DBO gr/hab.día
Enero	177	358,76	63,60
Febrero	177	343,88	60,96
Marzo	177	321,84	57,06
Abril	177	300,18	53,22
Mayo	177	399,84	70,88
Junio	177	416,87	73,90
Julio	177	398,85	70,71
Agosto	177	389,38	69,03
Septiembre	177	387,22	68,65
Octubre	177	393,45	69,75
Noviembre	177	440,86	78,16
Diciembre	177	329,22	58,36
Promedio	177	373,36	66,19

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5.21. Estimación de la carga orgánica per cápita 2013**

Mes	Caudal l/hab/día	DBO 5 mg/l	DBO gr/hab.día
Enero	177	353,69	62,70
Febrero	177	327,39	58,04
Marzo	177	296,09	52,49
Abril	177	335,79	59,53
Mayo	177	346,91	61,50
Junio	177	363,78	64,49
Julio	177	384,29	68,13
Agosto			
Septiembre	177	371,89	65,93

Octubre	177	387,29	68,66
Noviembre	177	389,07	68,97
Diciembre	177	357	63,29
Promedio	177	355,74	63,07

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5.22. Estimación de la carga orgánica per cápita 2014**

Mes	Caudal l/hab/día	DBO 5 mg/l	DBO gr/hab.día
Enero	177	458,75	81,33
Febrero	177	381,13	67,57
Marzo	177	274	48,57
Abril	177	387,5	68,70
Mayo	177	462,33	81,96
Junio	177	267	47,33
Julio	177	337	59,74
Agosto	177	368,33	65,30
Septiembre	177	602,33	106,78
Octubre	177	447,84	79,39
Noviembre	177	424,75	75,30
Diciembre	177	382	67,72
Promedio	177	399,41	70,81

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5.23. Estimación de la carga orgánica per cápita 2015**

Mes	Caudal l/hab/día	DBO 5 mg/l	DBO gr/hab.día
Enero	177		
Febrero	177		
Marzo	177	340	60,28
Abril	177	407,5	72,24
Mayo	177	540	95,73
Junio	177	438,5	77,74
Julio	177		
Agosto	177	308	54,60
Septiembre	177		



Octubre	177	306	54,25
Noviembre	177		
Diciembre	177	374	66,30
Promedio	177	387,71	68,73

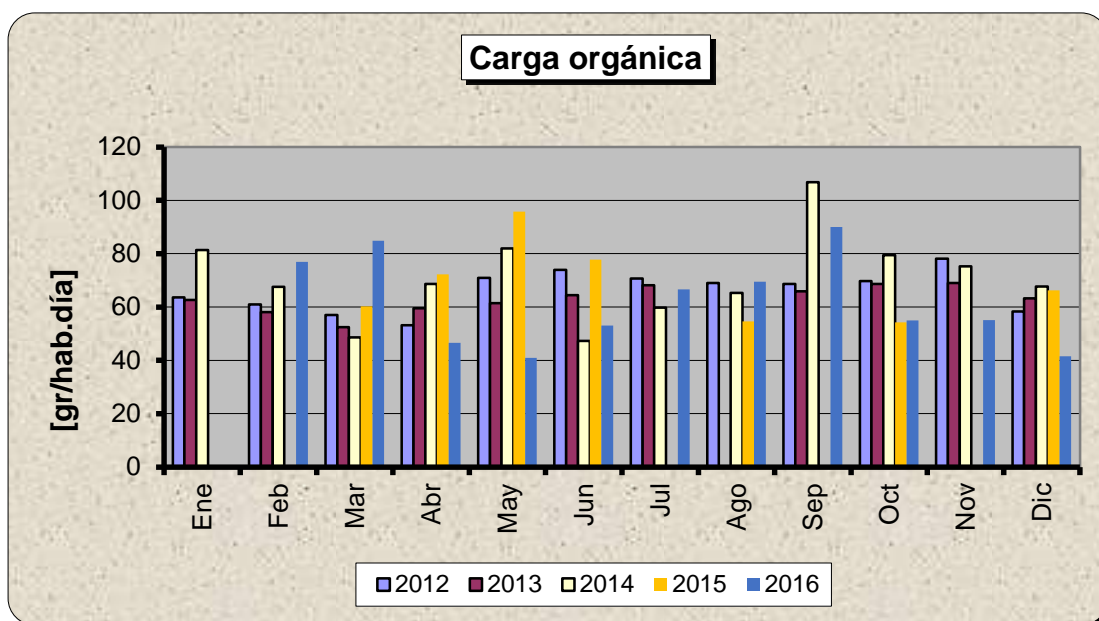
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5.24. Estimación de la carga orgánica per cápita 2016**

Mes	Caudal l/hab/día	DBO 5 mg/l	DBO gr/hab.día
Enero	177		
Febrero	177	434	76,94
Marzo	177	478,5	84,83
Abril	177	262,5	46,54
Mayo	177	231	40,95
Junio	177	299	53,01
Julio	177	376	66,66
Agosto	177	392	69,49
Septiembre	177	507,5	89,97
Octubre	177	310	54,96
Noviembre	177	310,5	55,05
Diciembre	177	234	41,48
Promedio	177	348,64	61,81

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfica 5.14. Promedios de carga orgánica mensuales de la gestión 2012-2016**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.25. Estimación de la carga orgánica per cápita 2012-2016**

Mes	Caudal l/hab/día	DBO 5 mg/l	DBO gr/hab.día
2012	177	373,36	66,19
2013	177	355,74	63,07
2014	177	399,41	70,81
2015	177	387,71	68,73
2016	177	348,64	61,81
Promedio	177	372,97	66,12

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los valores obtenidos son elevados debido a que los valores de DBO5 son altos, estos porque el agua residual que ingresa a las lagunas no solamente es de origen doméstico en el promedio final, por lo que también están afectadas por diferentes industrias, comercios que influyen en el promedio final, por lo que no se puede considerar como un parámetro per cápita. Para tener una mayor aproximación del valor real de la carga orgánica per cápita, se utilizarán datos de muestras puntuales obtenidas de COSAALT para las gestiones 2012- 2016, tomadas a

diferentes horas en cámaras sépticas de tres barrios diferentes las cuales se presentan a continuación en las siguientes tablas:

**Tabla 5.26. Datos promedios anuales cámara séptica: San Jorge II**

Lugar	Descripción	Año	DBO 5
San Jorge II	Cámara Séptica	2012	264,62
		2013	305,89
		2014	329,75
		2016	401,5
Promedio			325,44

*Fuente: COSAALT*

**Tabla 5.27. Datos promedios anuales cámara séptica: Petrolero**

Lugar	Descripción	Año	DBO 5
Petrolero	Cámara Séptica	2012	142,08
		2013	85,46
		2014	293,6
		2015	345,9
		2016	410,15
Promedio			283,7775

*Fuente: COSAALT*

**Tabla 5.28. Datos promedios anuales cámara séptica: Catedral**

Lugar	Descripción	Año	DBO 5
Catedral	Cámara Séptica	2012	493,31
		2013	289,15
		2014	250,09
		2015	279,8
		2016	212,6
Promedio			257,91

*Fuente: COSAALT*

**Tabla 5.29. Carga orgánica promedio de muestras puntuales**

Barrio	Caudal l/hab.día	DBO 5 mg/l	DBO gr/hab.día
San Jorge II	177	325,44	57,60
Petrolero	177	283,7775	50,23
Catedral	177	257,91	45,65
<b>Promedio</b>			<b>51,16</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Entonces se tiene como el valor estimado para la carga orgánica per cápita el promedio de los valores obtenidos en los diferentes barrios.

*Carga orgánica per cápita = 51,16 gr/hab.día*

Y los valores oscilan entre:

*DBO = 45 – 58(gr/hab.día)*

Valores que se encuentran cercanos al recomendado por la norma boliviana de instalaciones sanitarias y alcantarillado NB 688 (54 gr/hab.día) y por diversa bibliografía. Por lo que se considera como aceptables.

### **5.3.1. Comparación y análisis de resultados**

El valor obtenido de carga orgánica en las lagunas de oxidación es de 66,12 gr/hab.día y el de las cámaras sépticas es 51,16 gr/hab.día siendo resultados diferentes, esto debido a que la planta de tratamiento de la zona de San Luis ingresan valores elevados de DBO5, que pueden estar afectado por descargas de industrias, comercios que vierten sus efluentes a los sistemas de alcantarillado sanitario y que incrementan considerablemente el valor de la DBO. Además de contar con establecimientos dedicados al lavado y cambio de lubricantes de automóviles que incluyen aceites minerales y una importante cantidad de sólidos suspendidos, las descargas de los establecimientos

hoteleros y educativos que tienen características similares a las descargas domésticas pero con volúmenes de evacuación de aguas residuales elevados y carga muy diluida que pueden afectar negativamente a la eficiencia del tratamiento, descargas contaminantes de centros de salud que también tienen características domésticas, pero con la particularidad que suman otros contaminantes provenientes del lavado de ropa y de ambientes que pueden incluir contaminantes tóxicos o infecciosos. Mientras que en las cámaras sépticas de los diferentes barrios de la ciudad los efluentes de agua residual pertenecen más a un uso doméstico del agua por lo que se presentan valores normales de DBO que se encuentren dentro del rango para aguas residuales domésticas de DBO.

A continuación se presentan diferentes establecimientos industriales de la ciudad de Tarija, los cuales son principales fuentes contaminantes atribuibles al sector industrial organizadas por rubro y registradas como consumidores en la categoría industrial por COSAALT:

**Tabla 5.30. Establecimientos industriales según rubro de producción**

Rubro industrial	No Establecimientos
Aserraderos/carpinterías	30
Metal/ mecánica	22
Cerámica/ Mat. Const. Calcinados	21
Alimentos y bebidas	20
Mosaicos/mármol/prefabricados	10
Harinas/ masas/pastas	7
Curtiembres/mataderos	6
Confecciones cuero/ textiles	5
Fabricación de hielo	3
Inyección de plásticos	3
Jabones/velas/detergentes	3
Gases industriales	2
Energía	1
Impresos	1
Reciclaje/orgánicos	1
Total	135

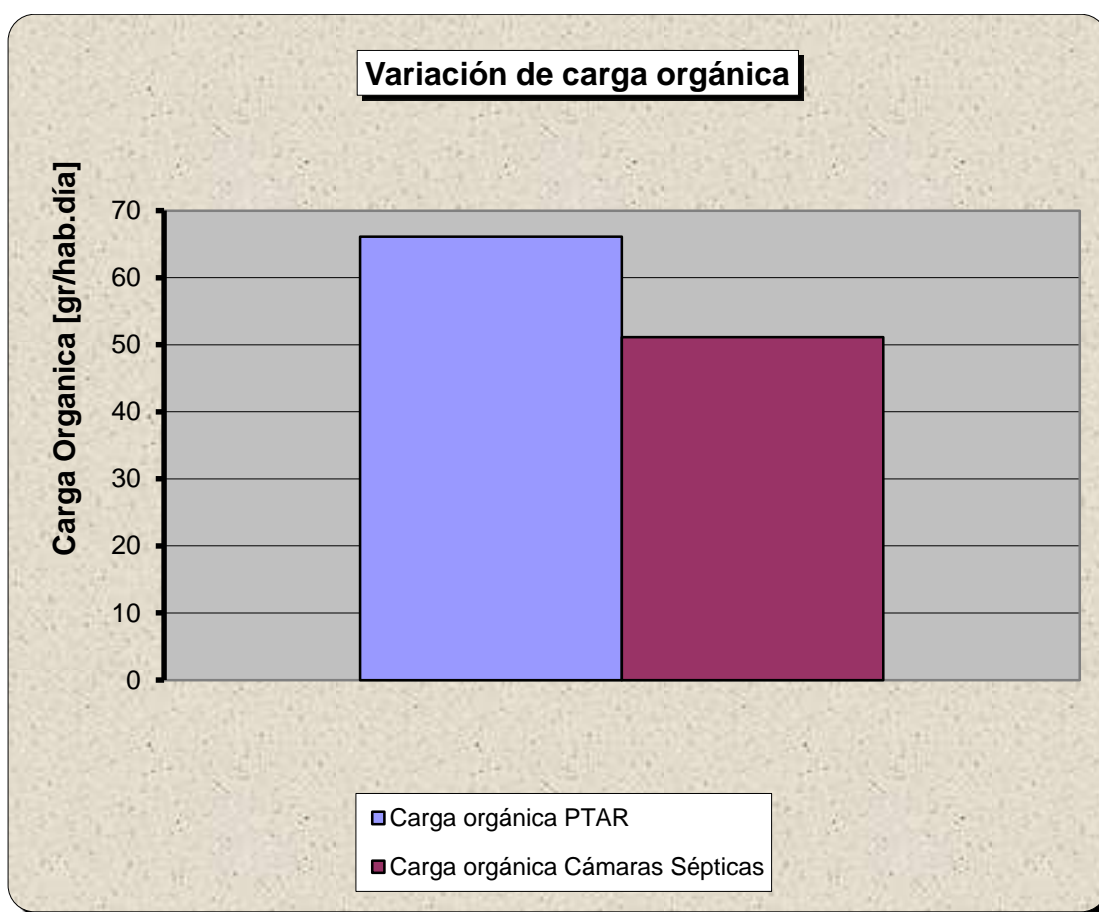
*Fuente: Registro ambiental industrial, Lista de usuarios industriales de COSAALT .Registro industrial FUNDEMPRESA 2016*

Se puede observar en la tabla anterior los diferentes tipos de industrias de la ciudad de Tarija, las cuales pueden aumentar el contenido de la materia orgánica de las aguas residuales, pero no se

cuenta con la información de la magnitud de sus descargas contaminantes y que porción de estas son recogidas al alcantarillado sanitario.

La variación de los resultados obtenidos con datos de DBO de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis, con los resultados obtenidos con los datos de DBO de las cámaras sépticas se presenta a continuación en la siguiente gráfica:

**Gráfica 5.15. Variación de carga orgánica**



*Fuente: Elaboración propia*

Algunos valores de DBO para diferentes países se presentan a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 5.31. Valores típicos de DBO para diferentes países**

País	DBO gr/hab.día
Brasil	55-68
Dinamarca	55-68
Egipto	27-41
Alemania	55-68
Grecia	55-60
India	27-41
Italia	49-60
Japón	40-45
Palestina	32-68
Suiza	68-82
Turquia	27-50
Uganda	55-68
Estados Unidos	50-120

*Fuente: Ingeniería de aguas Residuales. Metcalf y Eddy*

Se puede apreciar en la tabla 5.30. que los valores de DBO varían para los diferentes países según los hábitos, dietas, estimación, etc. De población, para cada país y región.

#### **5.4. Validación de los ensayos DBO5 y DQO**

La **fiabilidad de los resultados de un laboratorio es un requisito imprescindible** y más en el caso particular del análisis de parámetros de calidad por su directa implicación en la salud pública. Es por ello que **tanto desde las administraciones públicas como desde el sector empresarial se exige a los laboratorios de control que no sólo se utilicen técnicas analíticas adecuadas sino que además los laboratorios dispongan de sistemas que garanticen la validez de sus**

**resultados.**

En este sentido, **la implantación en los laboratorios de ensayo de Normas de aseguramiento de la calidad se han convertido en un requisito para todos los laboratorios de control oficial,** así como para los laboratorios que deseen el reconocimiento a nivel oficial de sus resultados.

La validación de métodos es un procedimiento que permite saber qué voy a utilizar o cuál va a ser el uso previsto de mi sistema de medición.

Se presentara los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de CEANID y COSAALT en las siguientes tablas extraídas de los informes de análisis de aguas de ambos laboratorios del anexo M.

**Tabla 5.32. Resumen de ensayos CEANID**

LUGAR	Descripción	Número de ensayo	Fecha	Entrada / Puntual		
				Hora Hrs	DBO5 mg/l	DQO mg/L
Barrio San Jorge II	Cámara Septica	1	25/10/2017	10:50:00a.m.	579	1044
Barrio Petrolero	Cámara Septica	2	25/10/2017	16:20:00 p.m.	313,5	450
Barrio Catedral	Cámara Septica	3	25/10/2017	09:30:00p.m.	356,5	656

*Fuente: CEANID "Centro de análisis, investigación y desarrollo"*

**Tabla 5.33. Resumen de ensayos COSAALT**



LUGAR	Descripción	Número de ensayo	Fecha	Entrada / Puntual		
				Hora Hrs	DBO5 mg/l	DQO mg/L
Barrio San Jorge II	Cámara Septica	1	25/10/2017	10:50:00a.m.	452	871
Barrio Petrolero	Cámara Septica	2	25/10/2017	16:20:00 p.m.	204	435
Barrio Catedral	Cámara Septica	3	25/10/2017	09:30:00p.m.	245	514,85

Fuente:

*COSAATL "Cooperativa de servicios de agua potable y alcantarillado de Tarija LTDA"*

**Tabla 5.34. Variación de resultados**

LUGAR	Descripción	Número de ensayo	Variación		Porcentaje de variación (%)	
			DBO5	DQO	DBO5	DQO
Barrio San Jorge II	Cámara Septica	1	127	173	21,93	16,57
Barrio Petrolero	Cámara Septica	2	69,5	15	22,17	3,33
Barrio Catedral	Cámara Septica	3	111,5	141,15	31,28	21,52
<b>Promedio</b>					<b>25,13</b>	<b>13,81</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Como se puede apreciar en la tablas 5.33, hay una variación de los resultados, siendo mayores las del laboratorio CEANID en un 25,13 % en el parámetro de DBO5 y un 13,81% en el parámetro de DQO.

Esta variación puede derivarse a una falta de calibración de los equipos utilizados para realizar los ensayos.

En los resultados de DBO5 hay una mayor diferencia debido a que el ensayo se realizó después de una semana de haber realizado el muestreo, por motivos de que el laboratorio de CEANID se encontraba con el equipo ya en uso con otras muestras, por lo que se congeló las muestras para realizar después el ensayo.

En los resultados de DQO hay una menor variación ya que se realizó en ensayo sin demora porque se contaba con el material disponible.

Se tomará como aceptables los datos de COSAALT debido al inconveniente que se tuvo con el laboratorio de CEANID, por la demora al realizar el ensayo de DBO5 y ya que por fuente del Ing. Ayarde encargado del laboratorio de control de calidad de agua COSAALT, se pudo saber que el Instituto Boliviano de Meteorología (IBMETRO), realiza inspecciones cada año al laboratorio.

## **CONCLUSIONES**

- ❖ Con los datos proporcionados por COSAALT de conexiones totales, de la población que vierte sus efluentes de aguas residuales a la planta de tratamiento de San Luis, al multiplicarlo por el módulo habitacional por conexión, se obtuvo la población aproximada del área de influencia del proyecto de 194.352 habitantes.

- ❖ Se puede observar que el volumen anual producido es mayor al facturado debido a que existen pérdidas en el sistema de agua potable debido a diferentes factores. Como se contaba con el volumen de agua potable producido y facturado de la gestión 2016 y se tenía datos de volúmenes de producción desde la gestión 2012 se tuvo que trabajar con la hipótesis de que las pérdidas en el sistema de agua potable de la gestión 2016 es la mismas que para las anteriores gestiones, esto debido a que no se obtuvieron datos de los volúmenes facturados para las anteriores gestiones.
- ❖ Para la estimación real de la dotación de agua potable se realizó un análisis de los usuarios que cuentan con medidor y de los usuarios que no cuentan con medidor, afectando el valor de la dotación promedio efectiva por estos porcentajes de los cuales el 78,44% de la población cuenta con medidor y el 21,56% carecen de este dispositivo, al cual se le incrementó un 15% más, esto debido a que la población que carece de medidor, tiende a tener un consumo mayor al normal que se le cobra.
- ❖ Se generó los caudales horarios a nivel diario para las gestiones 2014, 2015, 2016; debido a que solo se obtuvo información de lecturaciones de los tirantes para esas gestiones, de las cuales algunos meses no se tiene registro por falta de operador en la PTAR durante esos periodos, con las lecturaciones se obtuvo el caudal mediante la ecuación ya calibrada  $Q = 0,968 * H^{3/2}$ .
- ❖ El coeficiente de retorno nos indica la fracción de agua que regresa luego de ser utilizada para las diferentes usos el valor obtenido nos indica que aproximadamente el 76% del agua que ingresa al sistema de agua potable regresa como agua residual a la planta de tratamiento de aguas residuales.
- ❖ En los valores promedios mensuales de DBO5 y DQO para los diferentes meses del año, se pudo observar que los valores de la DQO son superiores en un 48,86% de los de la DBO5, esto debido a que la DQO oxida el contenido de materia orgánica e inorgánica y la DBO5 sólo la materia orgánica por lo que su valor es menor.

- ❖ La capacidad de remoción de la planta de tratamiento de San Luis para la gestión 2016 respecto a coliformes totales es de 97,66% y de coliformes fecales del 88,53%. Siendo deficiente, ya que para alcanzar una cantidad de  $\leq 10^3$  NMP/100ml (según la ley 1333 del medio ambiente) se requiere que la PTAR tengan una capacidad de remoción del orden del 99,99%.
- ❖ Se obtuvo un valor promedio de carga orgánica de 66,12 gr/hab. día de muestras puntuales en la entrada de la planta de tratamiento, llegando a ser un resultado elevado, ya que los valores de los ensayos de DBO5 son también elevados, debido a que las aguas residuales no solo son de origen doméstico, sino de origen industrial y comercial; no llegando a ser muy representativo de la cantidad de materia orgánica de la ciudad de Tarija.
- ❖ Se trabajó con las muestras puntuales de cámaras sépticas de 3 barrios diferentes, los cuales presentan un resultado de DBO de 51,16 gr/ hab. día el cual es un valor más real, ya que los valores de DBO5 pertenecen a aguas residuales que son más de origen doméstico, lo cual nos da un resultado más aceptable, recomendable y representativo de DBO de la ciudad de Tarija.
- ❖ En la validación de los ensayos de muestreos realizados en las cámaras sépticas se obtuvo una variación de los resultados, siendo mayores las del laboratorio CEANID en un 25,13 % en el parámetro de DBO5 y un 13,81% en el parámetro de DQO.
- ❖ Se consideró como aceptables los valores de los parámetros medidos por el laboratorio de COSAALT ya los resultados obtenidos están dentro de la norma y también por las inspecciones que realiza el Instituto Boliviano de Meteorología (IBMETRO) al laboratorio.

## **RECOMENDACIONES**

- ❖ En la elaboración del presente trabajo se pudo observar algunas dificultades sobre todo en la etapa de obtención de la información, debido a que la información disponible se encuentra un poco desorganizada y en algunos casos ausente, por lo que se sugiere tener una mejor organización y sistematización de datos en COSAALT, debido a que estos son importantes

para realizar diferentes estudios que se quieran implementar en el futuro ya sean de investigación o de diseño de diferentes sistemas que pueden ser de alcantarillados, agua potable así como también de sistemas de tratamiento de aguas residuales, los cuales utilizan esta información como principal fuente para su diseño.

❖ Los resultados obtenidos de la DBO varían al utilizar datos de mediciones al ingreso de la planta de tratamiento y de cámaras sépticas, obteniendo un resultado más representativo de la ciudad de Tarija con los datos de las cámaras sépticas, esto debido a que estas aguas residuales son provenientes de barrios los cuales presentan un uso más doméstico del agua, se recomienda tomar en cuenta este valor para futuros diseños e investigaciones que se relacionen con el tema, pudiendo ser ajustados con futura información disponible que garantice una mejor aproximación del valor real y un mejor aprovechamiento del mismo.

❖ Se recomienda que los laboratorios calibren continuamente sus equipos para poder tener una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos de los ensayos realizados ya que los mismos son de mucha importancia para la obtención de los parámetros de calidad.

❖ En el momento de realizar los muestreos, tener en cuenta que se está trabajando con agua residual, por lo que se debe tomar las precauciones de llevar guantes y barbijos para evitar cualquier contacto con el agua residual al momento de realizar los muestreos, después de realizar el levantamiento de muestras lavarse

las manos con detergente o gotas de lavandina para eliminar la presencia de algunos gérmenes ya que pueden ocasionar infecciones o fiebre.

❖ Al realizar el muestreo en las cámaras sépticas de los diferentes barrios, se pudo apreciar que algunas no cuentan con un acceso transitable debido a la presencia de malezas o por terrenos que cuentan con dueño los cuales están cerrados o en construcción, teniendo que verse modos de llegar hasta el punto de muestreo. Se debería trabajar en conjunto con la entidad correspondiente para garantizar el acceso a dichos puntos ya que es muy importante la toma de muestra para la determinación de la calidad con la que el agua residual sale.