

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL TEMA DEL PROYECTO**

##### **1.1.1 TITULO DEL PROYECTO**

“DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS COMUNIDAD COLONIA JOSE MARIA LINARES”

##### **1.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO**

En el municipio de Bermejo se localiza la comunidad de Colonia José María Linares, Bermejo constituye la capital de la segunda sección de la provincia Arce, ubicado al extremo sur del departamento de Tarija, limitando al Norte con la serranía de San Telmo (río Tarija), al Sur con el río Bermejo y la República Argentina; al Este con el río Grande de Tarija, y la República Argentina, al Oeste con la comunidad de San Telmo (río Bermejo) y la República Argentina.

La extensión del municipio de Bermejo es de aproximadamente de 380.90 Km<sup>2</sup>, la que se divide en área urbana y rural. Siendo su ocupación territorial, el resultado de la convivencia de pueblos originarios y de importantes corrientes migratorias. El municipio de Bermejo está conformado por nueve distritos; de los cuales, cinco pertenecen al área urbana (integrados por 27 barrios) y cuatro distritos del área rural (Arrozales, Bermejo, Candaditos y Porcelana), constituidos por 258 Comunidades.

##### **1.1.3 INFORMACION GENERAL DE LA ZONA BENEFICIADA**

Colonia José María Linares se localiza al noreste de la ciudad de Bermejo, se cultiva la caña de azúcar en mono cultivo, además de la papaya y otros cítricos.

El relieve de estos paisajes varía de ligeramente inclinado a inclinado, con pendientes que varían desde 2% a 8% estos paisajes están situados en el segmento altitudinal comprendido entre los 400 a 500 msnm.

Presentan suelos moderadamente profundos de escurrimiento lento a moderado, de texturas medianas con predominio de las franco arcillo limosas y las franco arcillosas

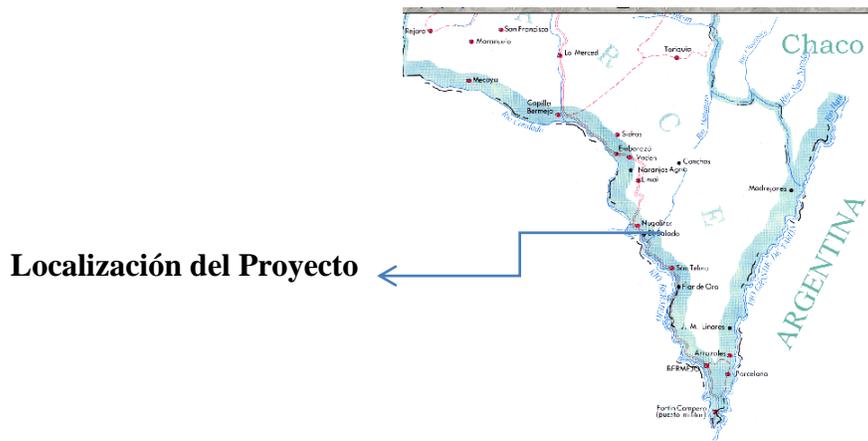
La comunidad de Colonia José María Linares forma parte del Distrito Nro. 8 del área rural del municipio de Bermejo.

**Figura 1.1 Ubicación de la Provincia Arce**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.2 Ubicación comunidad Colonia José María Linares**

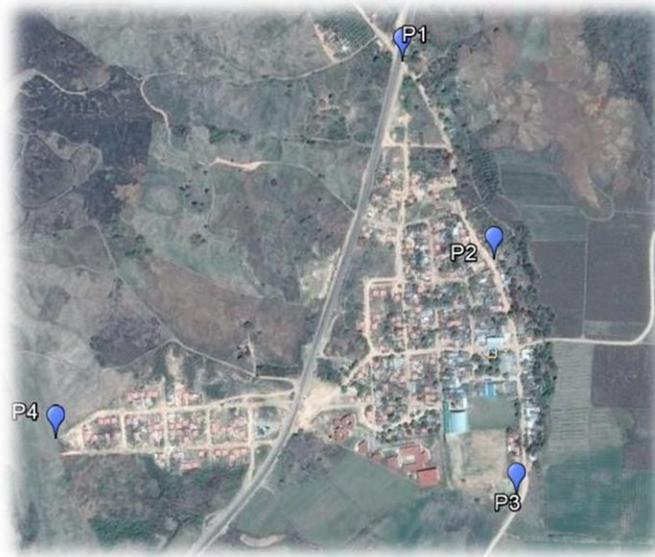


Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.4 LATITUD Y LONGITUD

La comunidad de Colonia José María Linares la cual será beneficiada se encuentra geográficamente ubicada entre los paralelos que se citan a continuación, con una altura promedio de 400 m.s.n.m.

**Figura. 1.3 Coordenadas del Lugar Beneficiado**



Fuente: Google eart

**Tabla 1.1 Coordenadas Geográficas**

Descripcion	Sur	Oeste
1	22° 40' 4.02"	64° 16' 37.92"
2	22° 40' 13.58"	64° 16' 30.55"
3	22° 40' 26.05"	64° 16' 28.48"
4	22° 40' 22.71"	64° 16' 40.88"

Fuente: Elaboración propia

### 1.1.5 LÍMITES TERRITORIALES

Los límites de la comunidad Colonia José María Linares son los siguientes:

- Al Sur con la comunidad de Arrozales.
- Al Norte con la comunidad de Barretero.
- Al Oeste con el rio Grande de Tarija.
- Al Este con la comunidad del Toro y Alto Calama.

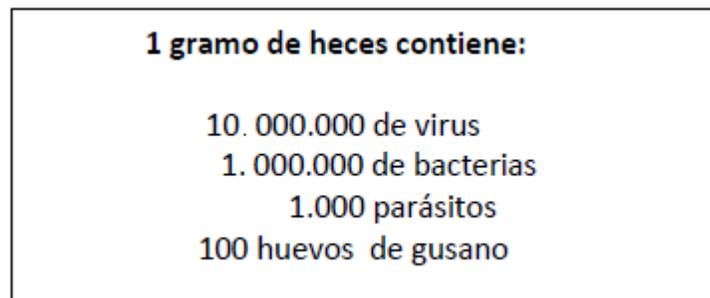
## 1.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL

El volumen de agua que existe en la tierra es aproximadamente 1400 millones de Km<sup>3</sup>. Esta cantidad de agua ya existía durante la formación del planeta y se mantiene constante desde entonces. La mayor parte del agua se encuentra en los mares (agua salada) y en los casquetes polares (en forma de hielo); quedando menos del 1% del agua disponible para el ser humano. En otras palabras, existe una cantidad fija de agua que se transporta constantemente de un lado a otro gracias al ciclo natural del agua. No podría existir la vida como la conocemos si el ciclo del agua se detuviera.

La contaminación del agua ocurre cuando combinamos ambos ciclos; al estar usando el agua como medio de transporte para sacar las excretas de nuestras viviendas.

Se dice que las excretas contienen Nitrógeno, Potasio y Fosforo que pueden y deben ser devueltos a la tierra, por otra parte contienen otros agentes dañinos para la salud como ser virus, bacterias, parásitos y huevos de gusanos.

**Figura 1.4 Contenido de un gramo de heces**



**Fuente: Tratamiento de aguas residuales Crites y Tchobanoglous**

Al combinar las heces fecales y otros contaminantes domésticos como ser jabones, grasas, químicos, etc. Estamos contaminando el agua.

Entonces analizando la anterior información es muy poca el agua aprovechable en el planeta tierra, es nuestro deber cuidarla y en el caso de contaminarla debemos buscar la forma de tratarla para así mantener el porcentaje de agua aprovechable en el planeta tierra.

De esta manera reducimos el impacto ambiental y aseguramos agua consumible para las futuras generaciones.

### **1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Para la comunidad de Colonia José María Linares la falta de un sistema completo de alcantarillado sanitario y el tratamiento de aguas residuales domésticas se ha convertido en uno de los temas que más preocupa a la comunidad, ya que la misma goza de mucha población turística por parte de la Argentina y además pobladores de la ciudad de Bermejo acuden a la comunidad cuando se realiza la entrada de corsos dando así indicios de comienzo del carnaval.

Es así que las familias que viven actualmente en esta creciente comunidad cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario poco precario, que a veces se congestiona por la acumulación de las aguas residuales domésticas para lo cual se debe proceder al bombeo de las mismas para el tránsito del libre flujo de las aguas residuales, para así llegar a su punto final que es una cámara séptica, la misma ya se encuentra colmatada por la acumulación de aguas residuales de la misma comunidad, lo que ha llevado a los comunarios a buscar solución a este problema que se vive actualmente.

Es de esta cámara séptica de donde proceden los malos olores para la comunidad, la cual origina enfermedades creadas por los microorganismos presentes en los desechos humanos esto causa problemas de salud, además la contaminación de aguas superficiales y subterráneas las cuales son drenadas sin ningún tratamiento provocando malos olores y la aparición de moscas y zancudos.

Está comprobado que los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria mediante el contacto directo con la materia fecal provocando enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y la tifoidea mediante la contaminación de la fuente de agua, el hábitat para la vida acuática es afectada por la acumulación de los sólidos, ya que se reduce el oxígeno por la descomposición de la materia orgánica.

Entonces para la solución a todos estos problemas, es necesario presentar diferentes alternativas para tratar las aguas residuales domésticas de dicha comunidad, como por ejemplo una planta de tratamiento la cual descontaminará las aguas residuales y las devolverá a un cuerpo receptor más cercano cumpliendo con la ley 1333.

### **1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es necesario la implementación de una planta de tratamiento para aguas residuales domésticas en la comunidad Colonia José María Linares?

Con el diseño y posterior ejecución de la planta de tratamiento se logrará la descontaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, evitando malos olores, reduciendo el índice de enfermedades gastrointestinales en los comunarios y epidemia de infecciones estomacales y respiratorias, promoviendo hábitos higiénicos y evitar la migración campo-ciudad de los habitantes.

Concluida la construcción de la planta de tratamiento lo que se pretende es de dar comodidad a los pobladores de dicha zona, brindando un servicio eficiente y así elevar su calidad de vida.

### **1.2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se logrará de alguna manera reducir el índice de enfermedades bacteriológicas provocada por la cámara séptica?

¿Se garantizará el correcto funcionamiento y operación de la planta una vez concluida la misma?

¿Han existido algunos proyectos previos para la solución de este problema?

¿Qué ventajas y desventajas podría traer la construcción de una planta de tratamiento en la comunidad de Colonia José María Linares?

## **1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.3.1.-OBJETIVO GENERAL.-**

- ✓ Elevar la calidad de vida de los pobladores de la comunidad de Colonia José María Linares mediante la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

### **1.3.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-**

- ✓ Verificar que cumpla con las condiciones sanitarias exigidas por norma.
- ✓ Mejorar las condiciones de salud de la población, reduciendo los riesgos de enfermedades bacteriológicas provocadas por virus y malos olores.
- ✓ Reducir el impacto ambiental que producen las aguas servidas no tratadas adecuadamente.
- ✓ Reducir la migración de los pobladores de la zona.
- ✓ Disminuir la contaminación de aguas subterráneas.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Enfocándonos en cuanto a la salud pública, los sistemas hidráulicos juegan un rol fundamental e importante en cuanto se refiere a nuestra salud. Se sabe hoy en día que las grandes epidemias de la edad media fueron causadas por la mala captación del agua y mal manejo de los residuos. En dicha época no existía ningún tipo de drenaje y todos los desechos residuales escurrían en las calles sin ningún control, dejando a la gente expuesta a la contaminación y a la propagación de epidemias.

Hoy en día se cuenta con distintos sistemas para el tratamiento de aguas residuales, tanto sencillos y complejos los mismos están en función de las características de depuración que se quiera obtener, aunque todos se basan en un tratamiento preliminar, un tratamiento primario, un tratamiento secundario, un tratamiento terciario o desinfección.

Cada vez se hace más complicado disponer de agua potable, es por esto que el tratamiento de aguas residuales domesticas está tomando gran importancia en nuestro medio, con el fin de evitar la contaminación del recurso hídrico y del suelo.

#### **1.4.1.-JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.-**

Elaborando este proyecto lo que se pretende es aumentar y desarrollar conocimientos en el área de ingeniería sanitaria, más propiamente dicho, con el contenido de tratamiento de aguas residuales ya que hoy en día en todo el departamento de Tarija y por no decir Bolivia ay un déficit de proyectos para tratar las aguas residuales domésticas, las mismas que en su culminación de tratamiento puedan vertirse al curso más cercano, cumpliendo con lo que

establece la ley 1333 del medio ambiente en su reglamento de materia de contaminación hídrica.

Además de crear consciencia en todos los pobladores de dicha comunidad para evitar la contaminación de aguas subterráneas.

#### **1.4.2.-JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.-**

Se contemplará el “Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales comunidad Colonia José María Linares” verificando que cuente con las condiciones técnicas favorables para determinar la factibilidad del proyecto, tomando en cuenta los siguientes aspectos disponibilidad de suelos y espacios para el emplazamiento de las obras civiles, además del análisis de aguas residuales domesticas de dicha comunidad es un requisito indispensable para continuar con la alternativa elegida y así diseñar una planta de tratamiento que se adecue al medio y sea lo más rentable posible tanto técnica como económicamente.

#### **1.4.3.-JUSTIFICACIÓN SOCIAL.-**

Contribuir a la solución para el problema que presenta dicha comunidad en cuanto se refiere al tratado de las aguas residuales domesticas implementando el “Diseño de una planta de tratamiento” lo cual evitará futuras enfermedades, se podrá mejorar el desarrollo de la población beneficiada, elevando su calidad de vida y hacer notar el crecimiento de la comunidad y de la provincia Arce.

#### **1.4.4.-JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL.-**

Mediante la interacción social promover a investigar nuevas técnicas de sustentabilidad a cerca de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que en nuestro medio no existe mucho conocimiento sobre el tema y es un problema que cada día preocupa más por la falta de agua que existe en el mundo.

Concientizar a la gente en aplicar el uso de estas nuevas tecnologías para tratar las aguas residuales domésticas, ya que las mismas dan un buen resultado, no genera malos olores evitando la contaminación del medio ambiente.

## **1.5.-MARCO DE REFERENCIA.-**

La comunidad de Colonia José María Linares no cuenta ni contaba con un sistema de tratamiento de aguas residuales eficiente, es así que para la selección del lugar donde se emplazará la planta se realizaron estudios previos tomando en cuenta topografía, suelo y áreas verdes.

Además se necesita definir los alcances y la metodología a seguir por lo que hay que partir con la debida información y definir todas las variables a usar en el proyecto.

### **1.5.1.-MARCO TEÓRICO.-**

Clasificación de los cuerpos de agua.- Según las clases señaladas en el cuadro N°1 anexo A del Reglamento de materia de contaminación Hídrica de la ley del Medio Ambiente N°1333, basada en su aptitud de uso y d acuerdo con las políticas ambientales del país en el marco del desarrollo sostenible, será determinada por el Ministerio de Desarrollo sostenible y medio ambiente.

Esta documentación contendrá como mínimo: análisis de aguas del curso receptor a ser clasificado, que incluya al menos parámetros básicos, fotografías que documenten el uso actual del cuerpo receptor, investigación de las condiciones de contaminación natural y actual por aguas residuales crudas, condiciones biológicas, estudio de las fuentes contaminantes actuales y la probable evolución en el futuro en cuanto a la cantidad y calidad de las descargas.

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

- ✓ Clase A.- Aguas naturales de máxima calidad que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos que sea necesario verificados por laboratorio.
- ✓ Clase B.- Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieran tratamiento físico y desinfección bacteriológica.
- ✓ Clase C.- Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieran tratamiento físico químico completo y desinfección bacteriológica.

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

### **Operaciones unitarias y procesos de tratamientos de aguas residuales.-**

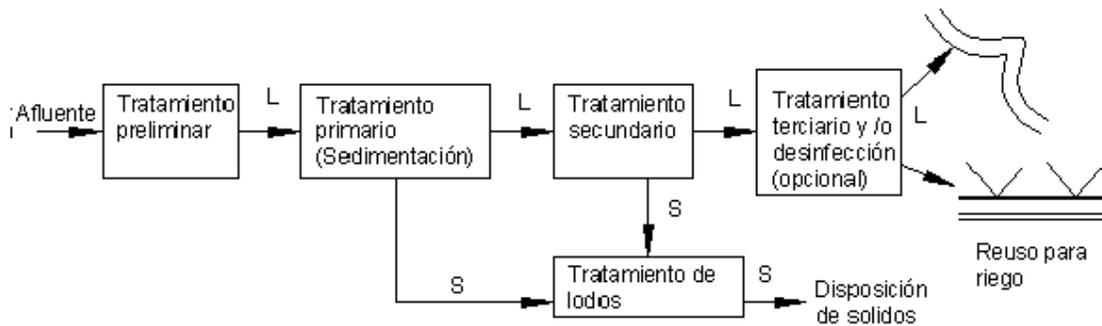
El grado de tratamiento necesario puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente. Existen operaciones físicas, procesos químicos y procesos biológicos para el tratamiento del agua residual los cuales se mencionan a continuación:

- ✓ Operaciones físicas unitarias.- Son los métodos de tratamiento en donde predomina la acción de fuerzas físicas, como ser el desgaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración.
- ✓ Procesos químicos unitarios.- Son los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas como ser: precipitación, absorción y desinfección.
- ✓ Procesos biológicos unitarios.- Son los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica.

La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma tanto coloidal como en disolución.

Básicamente estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación. Los tratamientos biológicos también se emplean para eliminar el nitrógeno contenido en el agua residual.

**Figura 1.5 Componentes Básicos de un tratamiento de aguas residuales domesticas**



S= Porción sólido

L= Porción líquida

Fuente: Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

- **Tratamiento Preliminar de las aguas residuales.-**

El tratamiento preliminar es aquel donde se eliminan los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas en el mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos y operaciones. En esta fase se eliminan los sólidos gruesos, trapos a través del desbaste, el proceso de flotación para eliminar grasas y aceites, la sedimentación para eliminar materia en suspensión.

- **Tratamiento primario de aguas residuales.-**

En esta fase se elimina una fracción de los sólidos que se encuentran en suspensión y parte de la materia orgánica, se lo realiza mediante la sedimentación y el tamizado. El efluente del tratamiento primario todavía contiene gran cantidad de materia orgánica y una DBO alta.

- **Tratamiento secundario de aguas residuales.-**

Este tratamiento está abocado a eliminar los sólidos en suspensión y los compuestos biodegradables, aunque a veces se da una desinfección en esta fase, existen diversos tratamientos biológicos como ser lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje y la sedimentación.

- **Tratamiento terciario o avanzado/ recuperación del agua residual.-**

Este tratamiento es muy importante y necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, donde se eliminan componentes del agua residual como ser nutrientes, compuestos tóxicos y exceso de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Se utilizan procesos avanzados como ser coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbono activado. También se emplea este tratamiento avanzado para poder reutilizar estas aguas ya que se obtiene un efluente de alta calidad que puede servir para varios usos.

- **Recuperación y reuso de efluentes.-**

Debido a la crisis mundial de agua que atravesamos los organismos responsables del manejo y gestión del agua se han visto obligados a buscar nuevas fuentes de agua, debido al elevado crecimiento de la población, a la contaminación de agua superficiales y subterráneas, a las sequias, mal manejo de recursos hídricos, etc. Por lo mismo en muchos lugares, la reutilización del agua residual ya es un elemento importante en los procesos de planificación del uso del agua.

Las principales categorías de reutilización que se contemplan son: riego agrícola y de áreas verdes, aplicaciones industriales, recarga de acuíferos y por último la reutilización para el abastecimiento de agua para consumo humano.

El plan de recuperación y reutilización de las aguas residuales debe ser la prioridad de aquí en adelante por los serios problemas de agua que tenemos, pero se deben incluir análisis como ser: determinación de las necesidades de tratamiento, determinación de la demanda y de los recursos de agua, determinación de los beneficios, análisis del mercado para el agua residual recuperada, análisis económico y de ingeniería, aspectos importantes que a todos nos tocara ver y resolver en un futuro no muy lejano.

## **TIPOS DE TRATAMIENTOS**

**Tratamiento anaerobio.-** Trata de una serie de procesos microbiológicos dentro de un sistema hermético, dirigidos a la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Es un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos pero que está dirigido principalmente por bacterias, presenta una serie de ventajas frente a la digestión aerobia, ya que requiere de instalaciones menos costosas y no hay la necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor.

Por otra parte se produce una menor cantidad de lodo (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos), y además este último se puede disponer como abono y mejorador de suelos.

**Tratamiento aerobio.-** En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos, como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere ser introducido artificialmente.

#### **1.5.2.-MARCO CONCEPTUAL.-**

- ✓ **Agua residual.-** Se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, que provienen de residencias, instituciones públicas de establecimientos industriales y comerciales, a los que se les puede agregar aguas subterráneas, superficiales y pluviales. el agua residual posee muchos microorganismos patógenos, causante de enfermedades que habitan en el aparato intestinal de los seres humanos.
- ✓ **Turbiedad.-** La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.
- ✓ **Materia orgánica.-** Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con las síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como el azufre,

fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites.

- ✓ **Oxígeno disuelto.**- En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. También puede intercambiarse oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de oxígeno disuelto (OD) dependerá de todos los fenómenos disueltos.
- ✓ **DQO:** Demanda Química de Oxígeno en mg/l. Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica, se determina en laboratorios por un proceso de digestión en un lapso de 3 horas.
- ✓ **DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l. Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea, se determina en laboratorio a una temperatura de 20 °C y en 5 días.
- ✓ **Lixiviados.**- Líquido resultante del proceso de disolución de los metales por efecto de la lluvia y agentes químicos y/o biológicos.
- ✓ **pH.**- El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en determinadas sustancias.
- ✓ **Aguas residuales crudas.**- Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.
- ✓ **Aguas residuales tratadas.**- Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.
- ✓ **Población servida:** Número de habitantes que son servidos por un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.
- ✓ **Afluente:** Agua residual que ingresa a un proceso de tratamiento.
- ✓ **Efluente:** Es el líquido que sale del sistema de tratamiento o alguno de sus elementos en particular.

### **1.5.3.-MARCO ESPACIAL.-**

En el Distrito Nro.8 del área rural del municipio de Bermejo se encuentra la comunidad Colonia José María Linares.

### **1.5.4.-MARCO TEMPORAL.-**

Todos los datos de población serán recolectados a través de encuestas realizadas en este año 2015 como así también el estudio de las aguas residuales domesticas de dicha comunidad.

### **1.6.-ALCANCE.-**

El proyecto de grado abarcará:

- Visita técnica del área donde se emplazará la planta de tratamiento.
- Recolección de información necesaria por parte del proponente.
- Datos de la población.- Para conocer el número de habitantes beneficiados en la comunidad, ocupación o actividad económica y sus más frecuentes enfermedades a causa del problema mencionado.
- Un análisis de las aguas residuales domésticas de la zona.
- Diseño de la planta de tratamiento y sus componentes.
- Planos del diseño.
- Presupuesto del sistema.
- Estudio del impacto ambiental.

## **1.7 INFORMACION BASICA DE LA COMUNIDAD**

### **1.7.1 Acceso a la zona del proyecto**

La comunidad de Colonia José María Linares, se encuentra a una distancia promedio de 55 Km. de la ciudad de Bermejo. El proyecto tiene acceso a través del camino BERMEJO – SAN ANTONIO tardando aproximadamente media hora hasta llegar al lugar beneficiado.

### 1.7.2 Área del proyecto

El relieve de estos paisajes varía de ligeramente inclinado a inclinado, con pendientes que varían desde 2% a 8% estos paisajes están situados en el segmento altitudinal comprendido entre los 400 a 500 msnm.

Presentan suelos moderadamente profundos de escurrimiento lento a moderado, de texturas medianas con predominio de suelo franco arcillo limosas y las franco arcillosas.

### 1.7.3 Características climatológicas

La comunidad de Colonia José María Linares al formar parte del Triángulo Sur de Bermejo y cuenta con las siguientes características propias de la zona:

Se presenta una temperatura media anual de 23,5 °C sin embargo, el clima de esta comunidad se caracteriza por tener temperaturas extremas llegando a alcanzar los 48 °C, mientras que también descienden hasta los -3°C.

**Tabla 1.2 Temperatura media anual Bermejo**

ZONA	MESES												MEDIA ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
BERMEJO	28	26	26	22	20	15	16	20	23	25	27	27	23.5

Fuente: SENAMHI estación de Bermejo  
Periodo considerado 1998 - 2015

### 1.7.4 Precipitaciones

La época de lluvias abarca todo el verano, comenzando los meses de noviembre a diciembre y concluyendo en marzo o abril, recalando que la época de estiaje es menor de junio a septiembre, esto varía anualmente de acuerdo al cambio climático que enfrenta el planeta tierra.

Por el clima sub-húmedo a húmedo, la precipitación media anual acumulada es de 1061,9mm; registrándose las máximas precipitaciones en 24 horas de 156.6mm, en el mes de marzo, donde la humedad relativa ambiental es del 71%.

**Tabla 1.3 Precipitación media anual Bermejo**

ZONA	MESES												MEDIA ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
BERMEJO	218	226	190	2295.4	26.3	13.4	14.2	5.3	15.1	33	198.7	2740	1061.9

Fuente: SENAMHI estación de Bermejo  
Periodo considerado 1998 – 2015

### 1.7.5 Población

Los habitantes de la Comunidad Colonia José María Linares conforman un solo grupo de colonos, no existen etnias diferenciales. El idioma que se habla en la región es el español en un 100% de la población, contando con un número total de habitantes de 998 según el INE del censo 2012, el proyecto pretende beneficiar al 95% de la población existente.

Los miembros de las familias tienen diferentes roles de trabajo dentro de la misma familia como así en la comunidad, las mujeres son las que tienen la responsabilidad del hogar. Sin embargo, los varones son los que cumplen con mayores actividades y obligaciones como la agricultura, la ganadería y transporte.

### 1.8 Servicios básicos existentes

#### 1.8.1. Agua potable

Actualmente Colonia José María Linares cuenta con un sistema de agua por tubería para el consumo humano de la población existente, la fuente de agua es proveniente de la quebrada el Toro.

#### 1.8.2 Alcantarillado

En materia de saneamiento básico la Comunidad Colonia José María Linares cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario que cubre a un 95% de la población total.

#### 1.8.3 Electricidad

La zona del proyecto, cuenta con el servicio de energía eléctrica rural, principalmente el alumbrado público, la cobertura domiciliaria es aproximadamente 90% de los hogares.

#### **1.8.4 Educación**

En el aspecto educativo se cuenta con núcleos educativos, los niños en edad escolar asisten a la Unidad Educativa Colonia José María Linares.

#### **1.8.5 Salud**

La red de servicios de salud que cubre la primera sección de la provincia Arce está a cargo del Distrito I del departamento de Tarija.

En la zona de estudio se presentan enfermedades por infecciones respiratorias, infecciones gastrointestinales, chagas, tuberculosis y otras.

Entre otros datos que podemos mencionar como ser en lo referente a servicios de transporte, los pobladores de la comunidad cuentan con servicios de transporte permanente desde y hacia la ciudad de Bermejo a través de los medios de transporte público.

Las viviendas un 30% están construidas de ladrillo cerámica, mientras que el restante 70% de las casas están construidas con materiales propios de la zona, como ser las paredes de adobe revocadas con barro, los techos de loza, teja o calamina, los pisos son de tierra, ladrillo u hormigón ciclopio, con ambientes adecuados como ser cocina, dormitorios y salas de estar.

### **1.9 Normativa boliviana en materia de aguas residuales urbanas**

Las aguas residuales se somete a diferentes tratamientos dependiendo de sus contaminantes y de la calidad que se quiera alcanzar, ya sea que esta se disponga en cuerpos receptores, uso para riego, actividades industriales o almacenados en zanjas de infiltración para la cría de peces, que no requieran líquido semejante al agua potable.

A continuación se muestran unas tablas que nos dan los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta en cuanto a la clasificación de los cuerpos de agua (Tabla 1.4), límites permisibles de descarga (Tabla 1.5) y valores máximos de parámetros que deben contener los cuerpos receptores (Tabla 1.6).

**Tabla 1.4 Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso**

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

Fuente: (Norma ley 1333)

(Si) Es aplicable, puede tener todos los usos indicados en las clases correspondientes

(\*) No en represas usadas para abastecimiento de agua potable

(\*\*) No a navegación a motor      (\*\*\*) No aplicable a acuíferos

**Tabla 1.5 Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l**

Norma	Propuesta		Norma	Propuesta	
	Parámetros	Diario		Mes	Parámetros
Cobre	1.0	0.5	Ph	6.9	6.9
Zinc	3.0	1.5	Temperatura(*)	±5°C	±5°C
Plomo	0.6	0.3	Compuestos fenólicos	1.0	0.5
Cadmio	0.3	0.15	Sólidos Suspendidos Totales	60.0	
Arsénico	1.0	0.5	Colifecales (NMP/100 ml)	1000.0	
Cromo+3	1.0	0.5	Aceites y grasas	10.0	
Cromo+6	0.1	0.05	Aceites y grasas (d)	20.0	
Mercurio	0.002	0.001	DBO5	80.0	
Fierro	1.0	0.5	DQO	250.0	
Antimonio	1.0		DQO (f)	300.0	
Estaño	2.0	1.0	Amonio como N	4.0	2.0
Cianuro libre (a)	0.2	0.10	Sulfuros	2.0	1.0
Cianuro libre (b)	0.5	0.3			

Fuente: (Norma ley 1333)

(\*) Rango de viabilidad en relación a la temperatura media del cuerpo receptor.

(a), (c), (e) aplicable a descargas de procesos mineros en industriales en general.

(b), (d) y (f) Aplicable a descargas de procesos hidrocarbúricos.

(g) En caso de descargas o derrames de antimonio iguales o mayores a 2500 Kg, se deberá reportar a la autoridad ambiental.

**Tabla 1.6 Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores de agua**

N°	Parámetros	Unidad	Cancerígenos	Clase "A"	Clase "B"	Clase "C"	Clase "D"
----	------------	--------	--------------	-----------	-----------	-----------	-----------

1	2	3	4	5	6	7	8
1	pH		No	6.0 a 8.5	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
2	Temperatura	°C		± 3°C de receptor	± 3°C de receptor	± 3°C de receptor	± 3°C de receptor
3	Sólidos Disueltos Totales	mg/l		1000	1000	1500	1500
4	Aceites y Grasas	mg/l	No	Ausentes	Ausentes	0,3	1
5	DBO	mg/l	No	<2	<5	<20	<30
6	DQO	mg/l	No	<5	<10	<40	<60
7	NMP colifecales NMP	N/100 ml	No	<50 y <5 en 80% de muestra	<200 en 80% de muestra	<1000 en 80% de muestra	<50000 y <5000 en 80% de muestra
8	Color mg Pt/l	mg/l	No	<10	<50	<100	<200
9	Oxígeno disuelto	mg/l	No	<80% sat.	<70% sat.	<60% sat.	<50% sat.
10	Turbidez	UNT	No	<10	<50	<100 <200***	<200 - 10000***
11	Sólidos sedimentables	mg/l- ml/l	No	<10 mg/l	30 mg/l - 0.1 ml/l	<50 mg/l - 1 ml/l	<100 mg/l - <1 ml/l
12	Fosfato total	mg/l	No	0.4c. Ortofosfato	0.5c. Ortofosfato	1.0c. Ortofosfato	1.0c. Ortofosfato
13	Nitrógeno total	mg/l	No	5c. N	12c. N	12c. N	12c. N
14	Sólidos flotantes			Ausentes	Ausentes	Ausentes	< Ret. Malla 1 mm <sup>2</sup>
15	Sulfatos	mg/l	No	300c. SO <sub>4</sub>	400c. SO <sub>4</sub>	400c. SO <sub>4</sub>	400c. SO <sub>4</sub>
16	Calcio	mg/l	No	200	300	300	400

Fuente:(Norma ley 1333 reglamento en materia de contaminación hídrica)

### 1.10 Características del agua residual generada en la zona

### **1.10.1 Tipo de muestra.-**

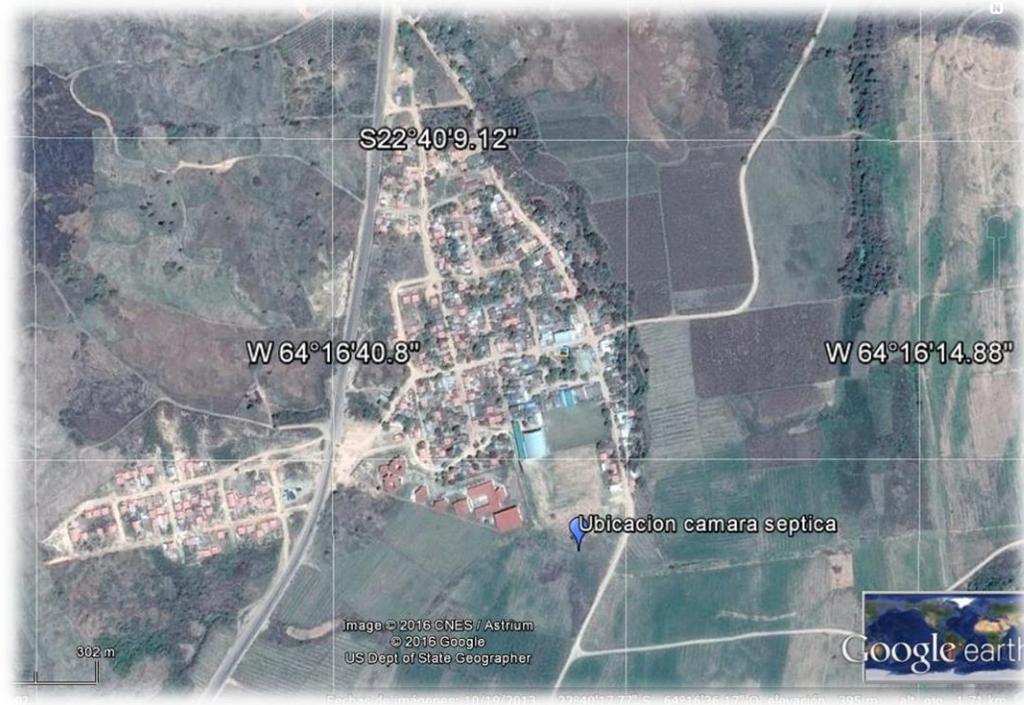
Para llegar a una correcta caracterización del agua residual generada en la zona del proyecto, se recurrió a realizar **análisis de campo de las aguas residuales** domésticas provenientes de casas, colegio y centro de salud pertenecientes al lugar, las mismas se las llevó al laboratorio para su posterior análisis.

Las muestras de tomas se realizaron en un punto importante de descarga del afluente, el punto 1 se ubica aguas debajo del lugar de concentración de las casas de los pobladores sobre el colector principal que desemboca las aguas residuales a una cámara séptica. Es así que para tal análisis se recurrió a la cámara de visita del sistema de alcantarillado sanitario que se encuentra a la entrada de la cámara séptica.

En cuanto se refiere al tipo de muestra, se trata de una muestra compuesta, es decir se analizaron aguas en el transcurso de una semana, más específicamente un lunes, miércoles y domingo se tomaron las muestras por la mañana a media tarde y casi al anochecer, ya que la composición fisicoquímico y microbiológico de las aguas cambia a medida que transcurren las horas del día, posteriormente fueron llevadas al laboratorio, esto con el fin de conocer con mayor claridad los parámetros de dicha agua.

Antes de la cámara séptica se encuentran las cámaras de visita del sistema de alcantarillado sanitario de la Comunidad, la cámara es el único punto de descarga de las aguas residuales de la zona a continuación se muestra un esquema total de la comunidad y la ubicación de la cámara séptica.

**Figura 1.6 Esquema comunidad y ubicación de cámara séptica**



**Fuente: (Google Earth, 2013)**

Cabe mencionar que la situación actual que vive la zona de proyecto en relación al control y manejo de aguas residuales es escasa, en la inspección realizada en campo se observa, (Fotografía 1.1), el colector que descarga directamente a la cámara séptica, en la fotografía (1,2) se observa que la cámara séptica que recibe aguas residuales de la zona se encuentra colmatada y es así que el agua luego de pasar por la cámara se dirige a una quebrada que se encuentra aguas debajo de la cámara séptica, esta infraestructura está dando un tratamiento a las aguas residuales, permitiendo la degradación de la materia orgánica y disminución de sólidos, aunque se observa que en esta cámara no se hace un mantenimiento regular no adecuado, pero la misma si funciona actualmente.

**Fotografía 1.1 Descarga de colector**



**Fotografía 1.2 Cámara séptica**



**Fuente: Elaboración propia**

Como se trata de una muestra tipo compuesta a continuación se presentan resultados de los 3 días analizados como se explicó anteriormente.

### 1.10.2 Resultados de los análisis de agua

Resultados de los parámetros analizados en el primer día de muestra

**Tabla 1.7 Características del agua muestreada a la salida del colector final (muestra N°1), analizada en laboratorio de CEANID**

Parámetro	Concentración Cuantificada	Norma	Método de Análisis	Diagnostico
DBO5 (mg/l)	192	80	SM5210-B	Excede
DQO (mg/l)	661	250	8000-HACH	Excede
Fosforo Total (mg/l)	7.13	2	SM 4500-P-D	Excede
Grasas y Aceites (mg/l)	0.06	10	SM 5520 - B	No Excede
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	83.2	25	SM 4500- NH3 - E	Excede
Nitrógeno Total (mg/l)	110	15	SM 4500-Norg-B	Excede
pH (13.6°C)	7.79	6.9	SM 4500-H-B	Excede
Sólidos Sedimentables (mg/l)	2.9	<100	SM 2540-D	No Excede
Sólidos Suspendidos (mg/l)	270	60	SM 2540-F	Excede
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	$2.3 \times 10^{11}$	5000	SM 9221-C	Excede

Fuente: Elaboración propia

Resultados de los parámetros analizados en el segundo día de muestra

**Tabla 1.8 Características del agua muestreada a la salida del colector final (muestra N°2), analizada en laboratorio de CEANID**

Parámetro	Concentración Cuantificada	Norma	Método de Análisis	Diagnostico
DBO5 (mg/l)	114	80	SM5210-B	Excede
DQO (mg/l)	311	250	8000-HACH	Excede
Fosforo Total (mg/l)	4.76	2	SM 4500-P-D	Excede
Grasas y Aceites (mg/l)	0.05	10	SM 5520 - B	No Excede
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	39.3	25	SM 4500- NH3 - E	Excede
Nitrógeno Total (mg/l)	64.2	15	SM 4500-Norg-B	Excede
pH (13.6°C)	7.78	6.9	SM 4500-H-B	Excede
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1.60	<100	SM 2540-D	No Excede
Sólidos Suspendidos (mg/l)	138	60	SM 2540-F	Excede
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	$2.8 \times 10^{10}$	5000	SM 9221-C	Excede

**Fuente: Elaboración propia**

Resultados de los parámetros analizados en el tercer día de muestra

**Tabla 1.9 Características del agua muestreada a la salida del colector final (muestra N°3), analizada en laboratorio de CEANID**

Parámetro	Concentración Cuantificada	Norma	Método de Análisis	Diagnostico
DBO5 (mg/l)	97.5	80	SM5210-B	Excede
DQO (mg/l)	211	250	8000-HACH	Excede
Fosforo Total (mg/l)	2.53	2	SM 4500-P-D	Excede
Grasas y Aceites (mg/l)	0.01	10	SM 5520 – B	No Excede
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	26.4	25	SM 4500- NH3 – E	Excede
Nitrógeno Total (mg/l)	35.7	15	SM 4500-Norg-B	Excede
Ph (13.6°C)	8	6.9	SM 4500-H-B	Excede
Sólidos Sedimentables (mg/l)	0.5	<100	SM 2540-D	No Excede
Sólidos Suspendidos (mg/l)	185	60	SM 2540-F	Excede
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	$2.1 \times 10^{10}$	5000	SM 9221-C	Excede

**Fuente: Elaboración propia**

Como se realizaron varios análisis de las aguas residuales de dicha comunidad se deben tomar los valores más extremos para diseñar los componentes de la planta de tratamiento. A continuación se presenta una tabla resumen con los parámetros extremos importantes presentados en los análisis realizados en laboratorio.

**Tabla 1.10 Resumen valores extremos**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración Cuantificada</b>	<b>Norma</b>	<b>Diagnostico</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	192	80	Excede
DQO (mg/l)	661	250	Excede
Fosforo total (mg/l)	7.13	1	Excede
Nitrógeno total (mg/l)	110	12	Excede
Sólidos Suspendidos (mg/l)	270	60	Excede
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	$2.3 \times 10^{11}$	5000	Excede

**Fuente: Elaboración propia**

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

#### **2.1 Introducción**

El hombre ha utilizado las aguas no solo para su consumo, sino con el paso del tiempo para su actividad y confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos, es de aquí donde surge la denominación de aguas residuales, la cual podemos definir como la combinación de los residuos líquidos, que provienen de residencias, instituciones públicas de establecimientos industriales y comerciales, a los que se les puede agregar aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Si nosotros permitimos la acumulación y estancamiento de las aguas residuales, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. Además de esto, debemos de añadir la frecuente presencia en el agua residual bruta de numerosos microorganismos patógenos causantes de numerosas enfermedades.

En este capítulo se hablara de los diferentes tipos de efluentes y se describirá las características físicas, químicas y biológicas del agua residual.

#### **2.2 Efluentes de aguas residuales**

El drenaje domestico es el agua residual procedente de cocinas, baños, lavamanos, sanitarios y lavanderías. A las materias minerales orgánicas originalmente contenidas en el agua suministrada a la comunidad, se agrega un conjunto de materias fecales, papel, jabón, aceites, suciedad, restos de alimentos y otras sustancias. Con el paso del tiempo el color cambia gradualmente de gris a negro, desarrollándose un olor desagradable. Gran parte de la materia residual es orgánica y útil para los microorganismos saprofitos, es decir, organismos de la descomposición.

Las aguas residuales industriales varían en su composición de acuerdo con los procesos industriales a los que son sometidas. Por lo tanto se tienen aguas de enjuague relativamente

limpias, mientras que otras se encuentran altamente cargadas de sustancias orgánicas o de minerales pesados, o sustancias químicas peligrosas.

También es importante mencionar que el agua de lluvia al precipitarse arrastra materia orgánica y química a los sistemas de drenaje, debido a conexiones erradas que se tengan en el sistema.

En cuanto al tipo de tratamiento que se aplicara es importante considerar:

- Capacidad de operación y mantenimiento.
  - La ley de Medio Ambiente 1333.
- Factores económicos; recuperación de costos, construcción y operación.
  - Terrenos disponibles.
- Las metas de protección de la salud y el ambiente (podrían ir más allá que la ley).

### **2.3 Características de las aguas residuales**

Sin duda el agua es un elemento esencial para los seres vivos. El hombre ha utilizado y utiliza agua en muchas actividades; el consumo de agua aumenta para satisfacer las nuevas demandas y atender al crecimiento de la población, el establecimiento de nuevas industrias y actividades agrícolas y pecuarias.

El uso del agua por el hombre implica que una fracción se evapora, otra se consume y la parte restante vuelve a ser vertida al ambiente o curso de agua. Esta última recibe sustancias y materiales durante el uso, que deterioran su calidad y le imparten características especiales indeseables, que hacen necesario un tratamiento de las aguas usadas, de manera que sean menos perjudiciales para las aguas que las reciben.

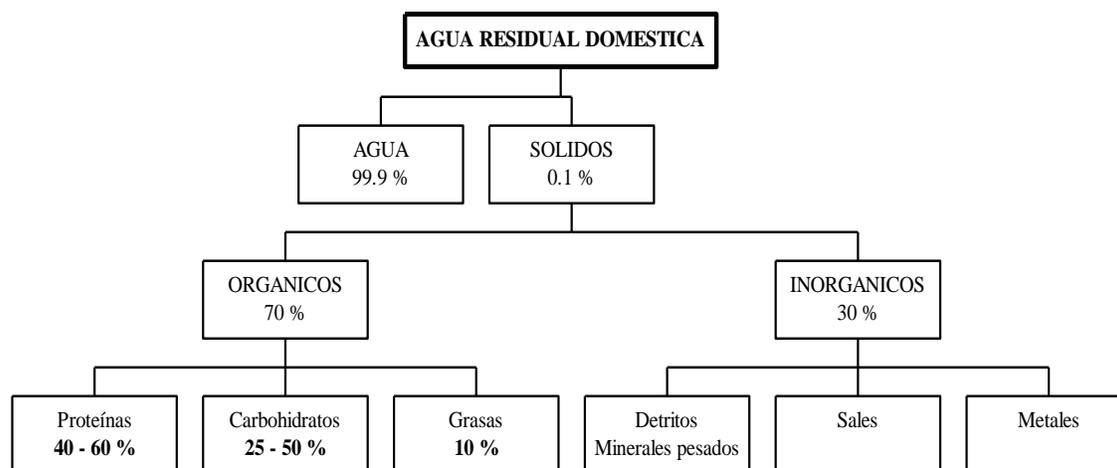
En el riego, la cría de animales, el abastecimiento doméstico e industrial, hay consumo de agua y se agregan sustancias que alteran sus características y hacen necesario un tratamiento antes del vertimiento a cursos naturales de agua o al ambiente. Algunos usos benéficos de agua son:

- Consumo doméstico en poblaciones
- Industrial (procesos de transformación y enfriamiento)
  - Riego
  - Cría de animales domésticos
  - Propagación de la vida acuática
    - Recreación
    - Navegación
  - Generación de energía
- Transporte, dispersión y dilución de residuos.

En general, las aguas servidas están compuestas por un 99.9% de agua y un 0.1% de materiales en suspensión y solución que le imparten características indeseables. Las sustancias que se han agregado al agua durante su uso comprenden:

- Materia orgánica (que demanda oxígeno para su oxidación)
- Sólidos en suspensión, que sedimentan al fondo de los cuerpos de agua.
- Metales pesados y compuestos tóxicos que afectan la biota.
- Color y turbiedad que reducen la penetración de la luz.
- Nitrógeno y fósforo que favorecen el crecimiento masivo de organismos y trastornan el equilibrio ecológico de ríos y lagos.
- Compuestos que imparten olor y sabor al agua.
- Grasas, aceites y material flotante que interfieren la transferencia de oxígeno
- Compuestos refractarios, en ocasiones tóxicos que no se descomponen, permanecen en el agua y se acumulan en las comunidades acuáticas y en la del hombre. Es necesario prevenir los efectos desfavorables del vertimiento directo de las aguas residuales a ríos, mediante un tratamiento para remover los compuestos objetables.

En la (figura 2.1) se presenta la composición media de las aguas residuales y más abajo en la (tabla 2.1) se muestra valores típicos de diferentes parámetros de las aguas residuales para definir si la misma presenta una concentración débil, media o fuerte.

**Figura 2.1 Composición media de las ARD**

Fuente: Metcalf &amp; Eddy (1985)

**Tabla 2.1 Composición típica del ARD**

Constituyente	Concentración			
	Unidades	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	mg/l	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	850	500	250
Fijos	mg/l	525	300	145
Volátiles	mg/l	325	200	105
Sólidos Suspendidos	mg/l	350	220	105
Fijos	mg/l	75	55	20
Volátiles	mg/l	275	165	80
Sólidos Sedimentables	ml/l	20	10	5
Demanda Bioquímica de	mg/l	400	220	110
Carbono Orgánico Total	mg/l	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	1000	500	250
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	85	40	20
Orgánico	mg/l	35	15	8
Amoniaco libre	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	15	8	4
Orgánico	mg/l	5	3	1
Inorgánico	mg/l	10	5	3
Cloruros	mg/l	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	200	100	50
Grasa	mg/l	150	100	50
Sulfato	mg/l	34	22	12
Coliformes totales	N°/100	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> -
Compuestos orgánicos volátiles	µg/l	>400	100 - 400	<100

Fuente: Metcalf &amp; Eddy (1995)

## 2.4 Características indeseables de las aguas residuales

Las sustancias, compuestos y materiales que reciben las aguas al ser usadas en las ciudades, el campo o la industria le imparten características específicas que es necesario describir brevemente:

- Materia orgánica de ciudades e industrias que demandan oxígeno disuelto del agua para su oxidación. El vertimiento de materia orgánica a cursos de agua rebaja las concentraciones de oxígeno disuelto y afecta, adversamente, la biota natural hasta hacer desaparecer especies sensibles, como los peces que requieren niveles altos de oxígeno disuelto, 5 o más mg/l.
- Materia en suspensión, de ciudades, industrias, cría de animales, etc., que se deposita en el fondo de ríos, lagos y mares, modificando los nichos naturales. La descomposición anaerobia de la materia orgánica en el fondo afecta adversamente la biota natural de los cuerpos de agua. En los productos de la descomposición anaerobia son devueltos a las capas superiores de agua gases (metano, dióxido de carbono, hidrógeno, etc.), compuestos nitrogenados y de fósforo solubles y material orgánico.
- Color y turbiedad originados de diversos usos, crean problemas estéticos y hacen al agua inadecuada para su uso doméstico e industrial. Disminuye la penetración de la luz y modifica la zona eufótica en lagos.
- Nitrógeno y fósforo de aguas residuales domésticas principalmente, fertilizan las aguas, pueden dar origen a crecimientos masivos de algas principalmente, los cuales trastornan el equilibrio ecológico y crean condiciones desagradables en lugares de recreación. Estos compuestos afectan principalmente a los lagos y estuarios.
- Aceite y materia flotante de ciudades e industrias, generan condiciones desagradables a la vista, restringen la transferencia de oxígeno del aire al agua y afectan la biota. En el caso de derrame de petróleo los efectos son desastrosos.

- Compuestos orgánicos que pueden originar sabores desagradables, como así también compuestos refractarios que no son transformados por la acción de microorganismos, persisten en el medio acuático y se acumulan en la cadena alimentaría del ecosistema.
- Calor de aguas de enfriamiento de las industria, aumentan la temperatura de las aguas naturales, modifican el ecosistema y afectan a las especies acuáticas; además, rebajan la transferencia de oxígeno y las concentraciones de saturación de oxígeno disuelto y aceleran el consumo de oxígeno por la biota del agua.

El conocer las características de las aguas residuales permite analizar las diferentes concentraciones y los efectos probables de los componentes sobre las aguas receptoras de aguas residuales, selecciona el o los procesos de tratamiento que removerán los componentes objetables en cantidades tales que minimicen el impacto desfavorable sobre los cuerpos receptores y el medio ambiente. En este proyecto se analizara en detalle la utilización de sistemas económicos de tratamiento de aguas residuales fácil de operar y controlar, que no necesitan de operadores especialmente capacitados.

## **2.5 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual**

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica como se muestra en la (Tabla 2.2) donde se ve las principales propiedades físicas de las aguas residuales así como sus principales constituyentes químicas y biológicas y su procedencia.

En las tablas se observa que muchos de sus parámetros que aparecen están relacionados entre ellos.

**Tabla 2.2 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual**

Características	Procedencia
<p><b>Propiedades físicas:</b></p> <p>Color:</p> <p>Olor:</p> <p>Sólidos:</p> <p>Temperatura</p>	<p>Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.</p> <p>Agua residual en descomposición, residuos industriales.</p> <p>Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo infiltración y conexiones incontroladas.</p>
<p><b>Constituyentes químicos:</b></p> <p><b>Orgánicos:</b></p> <p>Carbohidratos</p> <p>Grasas animales, aceites y grasa</p> <p>Pesticidas</p> <p>Fenoles</p> <p>Proteínas</p> <p>Contaminantes prioritarios</p> <p>Agentes tenso activos</p> <p>Compuestos orgánicos volátiles</p> <p>Otros</p>	<p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Residuos agrícolas.</p> <p>Vertidos industriales.</p> <p>Aguas residuales domesticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y Comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Degradación natural de materia orgánica.</p>

Fuente (Metcalf & Eddy, 1996)

**Tabla 2.2 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual  
(Continuación)**

<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
<b>Inorgánicos:</b>	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea Vertidos industriales.
Metales pesados	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
Nitrógeno	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía.
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales. Descomposición de residuos domésticos.
Azufre	Descomposición de residuos domésticos. Agua de suministro; infiltración de agua superficial
<b>Gases:</b>	
Sulfuro de hidrogeno	
Metano, Oxigeno	
<b>Constituyentes biológicos:</b>	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
<b>Protistas:</b>	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)

### **2.5.1 Características físicas**

En cuanto a las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, el color y la turbiedad.

### **2.5.2 Sólidos totales**

Se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación con una temperatura entre 103 a 105°C No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica conocida como el cono de Imhoff, en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión), haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro, para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio con un tamaño nominal de poro de 1.2 micrómetros, aunque también suele emplearse filtro de membrana de policarbonato.

### **2.5.2 Olores**

Casi siempre los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el agua residual séptica. El olor más peculiar del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas

residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamientos.

La influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos y crear perturbaciones mentales. En condiciones extremas, los olores desagradables pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones humanas, desanimar las inversiones de capital, hacer descender el nivel socioeconómico y reducir el crecimiento de la población.

### **2.5.3 Temperatura**

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua del suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C.

La temperatura es un parámetro importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

### **2.5.4 Color**

El agua residual resiente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales

domesticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

### **2.5.5 Turbiedad**

Es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada.

### **2.5.6 Características químicas**

Para el estudio de las características químicas de las aguas residuales, las mismas que están en relación con: La materia orgánica, la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica, los gases presentes en el agua residual.

### **2.5.7 Materia orgánica**

Se refiere a sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con las síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxigeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como el azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites. Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes.

Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas, los aceites y la urea; el agua residual también contiene pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja.

## 2.6 Medición del contenido orgánico

A lo largo del tiempo se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. Los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1mg/l, y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza, para concentraciones en el intervalo de los 0.001 mg/l. a 1 mg/l.

El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y demanda teórica de oxígeno (DTeO). En el segundo grupo de ensayos, los empleados para determinar concentraciones a nivel de traza, por debajo de 1 mg/l, se emplean métodos instrumentales que incluyen la cromatografía de gases y la espectroscopia de masa.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** El parámetro de contaminación orgánica más empleado, que es aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días. La determinación de este está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para: 1. determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente: 2. dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. 3. medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

El periodo de incubación es normalmente de 5 días a 20°C. La oxidación bioquímica es un proceso lento, cuya duración en teoría es infinita. En un periodo de 20 días se completa la oxidación del 95 al 99 % de la materia carbonosa, y en los 5 días que dura el ensayo de la DBO se llega a oxidar entre el 60 y 70%. Se asume la temperatura de 20 °C como un valor medio representativo de temperatura que se da en los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, y es fácilmente duplicada en un incubador.

## 2.7 Materia Inorgánica

Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto.

Las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, como por ejemplo los cloruros, la alcalinidad, el nitrógeno, el azufre, algunos otros compuestos tóxicos inorgánicos y algunos metales pesados como el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, el cadmio, el zinc, el cobre, el hierro y el mercurio.

Dentro de la materia inorgánica es de suma importancia también hablar de la concentración de ion hidrógeno (pH), ya que es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones, de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. El pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con un pH-metro. Para el mismo procedimiento de medición también se emplean soluciones indicadoras y papeles de pH que cambian de color ha determinados valores del ph, el color de la solución o del papel se compara entonces con el color de series normalizadas.

## 2.8 Gases presentes en el agua residual

Con mayor frecuencia los gases que se encuentran en las aguas residuales brutas son el nitrógeno ( $N_2$ ), el oxígeno ( $O_2$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), el amoníaco ( $NH_3$ ), y el metano ( $CH_4$ ). Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales.

## 2.9 Características biológicas

Para el tratamiento biológico se deben de tomar en cuenta las siguientes características del agua residual: Principales grupos de microorganismos presentes, tanto en aguas superficiales como en residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; organismos patógenos presentes en las aguas residuales, organismos utilizados como indicadores de contaminación.

## 2.10 Microorganismos

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias como se muestra en la (Tabla 2.3), la mayoría de los organismos pertenecen al grupo de eubacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas tales como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.

**Tabla 2.3 Clasificación de los microorganismos**

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
-------	--------------------	-----------------	--------------------------

Eucariotas	Eucariota (a)	Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido.  Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos.	Plantas (plantas de semillas, musgos, helechos) Animales (vertebrados e invertebrados) Protistas (algas, hongos protozoos).
Bacterias	Procariota (b)	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariota (b)	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termófilos.

Fuente (Metcalf & Eddy)

(a) Contienen un núcleo definido

(b) No contienen membrana nuclear

Las bacterias desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis.

Los hongos, desde el punto de vista ecológico, dan ciertas ventajas sobre las bacterias, pueden crecer y desarrollarse en lugares de bajo humedad y pH bajos. Los hongos ayudan a la degradación de la materia orgánica.

La presencia de algas afecta al valor del agua de abastecimiento. Uno de los problemas más importantes es encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de modo que no favorezcan la proliferación de algas y plantas acuáticas.

Los protozoarios de importancia para sanear las aguas son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Ya que estos protozoarios se alimentan de bacterias y tienen importancia en los tratamientos biológicos.

Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un peligro importante ya que se sabe que algunos virus pueden sobrevivir hasta 41 días, tanto en aguas limpias como en aguas residuales a temperatura de 20°C y hasta 6 días en un río normal.

## **2.11 Organismos patógenos**

Estos pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son: bacterias, virus y protozoarios. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales.

### **2.11.1 Organismos indicadores**

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales contaminadas en cantidades muy pequeñas y además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias conocidas como organismos coliformes, cada humano evacúa de 100,000 a 400,000 millones organismos coliformes cada día. Por ello, se puede considerar que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquellos es un indicador de que las aguas están libres de organismos que puedan causar enfermedades. Pero existe un problema por el cual los coliformes no son tan buenos indicadores, ya que hay algunos patógenos que pueden estar presentes en el agua aún en ausencia de coliformes.

## **2.12 Vertido de efluentes**

Una vez tratadas, las aguas residuales se pueden reutilizar o bien se pueden reintroducir en el ciclo hidrológico por evacuación al medio ambiente. Por lo tanto, la evacuación de las aguas residuales se puede considerar como el primer paso de un proceso de utilización indirecto a largo plazo. Los métodos más comunes de evacuación son: Vertido y dilución en aguas del medio ambiente.

Los parámetros de calidad del agua residual que tienen importancia en los vertidos de aguas residuales son el oxígeno disuelto (OD): Sólidos suspendidos, bacterias, nutrientes, pH y compuestos orgánicos volátiles, los neutralizadores ácidos básicos, metales, pesticidas y bifenilos policlorados (PCR).

Los procesos físicos, químicos o biológicos que controlan la evolución de los parámetros de calidad del agua anteriormente citados son muy variados y numerosos, por esto es conveniente dividirlos en procesos de transporte, que son la advección y la difusión, y que afectan de forma similar a los valores de todos los parámetros de calidad, y los procesos de transformación, que afectan de forma diferente a cada constituyente.

Muchas de las descargas en ríos y estanques se realizan mediante tuberías abiertas en su extremo final.

### **CAPÍTULO III**

#### **PARAMETROS DE DISEÑO Y ESTIMACION DE CAUDALES**

### 3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 3.1.1 Índice de crecimiento poblacional

El índice de crecimiento poblacional es el aumento de la población de una determinada ciudad o país, en un periodo dado. El crecimiento absoluto muestra la diferencia entre la población existente al final de dicho periodo de tiempo y la población que había al principio. Es resultado del balance entre dos tipos de flujo; naturales (nacimientos y muertes), migratorios (entradas y salidas por migración).

Según el instituto nacional de estadística INE, el índice de crecimiento poblacional para la comunidad de colonia linares corresponde a:

$$i = 2,09 \%$$

Para poblaciones menores, si no cuentan con el índice de crecimiento poblacional, se adopta el índice de crecimiento de la población de la capital o del municipio. Si el índice de crecimiento fuera negativo se debe adoptar un índice de crecimiento de 1 %.

#### 3.1.2 Periodo de diseño

El período de diseño debe ser definido en función al tamaño de la población y a los componentes del sistema a ser construidos, conforme a lo establecido en la norma NB 688 (sistema de alcantarillado sanitario), el período de diseño es el tiempo durante el cual servirán eficientemente las obras del sistema.

Los factores que intervienen en la selección del período de diseño son:

- a) Vida útil de las estructuras y equipos tomando en cuenta la obsolescencia, desgaste y daños.
- b) Ampliaciones futuras y planeación de las etapas de construcción del proyecto.
- c) Cambios en el desarrollo social y económico de la población.
- d) Comportamiento hidráulico de las obras cuando éstas no estén funcionando a su plena capacidad.

**Tabla 3.1. Periodos de diseño**

Componentes del sistema	Población menor a 20000 habitantes	Población mayor a 20000 habitantes
-------------------------	------------------------------------	------------------------------------

Interceptores y emisarios	20	30
Plantas de tratamiento	15 a 20	20 a 30
Estaciones de bombeo	20	30
Colectores	20	30
Equipamiento		
Equipos eléctricos	5 a 10	5 a 10
Equipos de combustión interna	5	5

Fuente: Norma Boliviana NB 688

Según las características de la población y los componentes del sistema, se adoptara 20 años para el periodo de diseño en este proyecto.

**Periodo de diseño = 20 Años**

### 3.2 POBLACIÓN DEL PROYECTO

Es el número de habitantes servidos por el proyecto para el período de diseño, el cual debe ser establecido con base en la población inicial.

Para la estimación de la población de proyecto se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) Población inicial, referida al número de habitantes dentro el área de proyecto que debe determinarse mediante un censo de población y/o estudio socioeconómico.
- b) Población futura, referida al número de habitantes dentro el área del proyecto que debe estimarse con base a la población inicial, el índice de crecimiento poblacional y el período de diseño.

#### 3.2.1 Aplicación de los métodos

Los métodos a emplearse deben ser aplicados en función del tamaño de la población, de acuerdo a lo especificado en la Tabla 3.2 que se muestra a continuación:

**Tabla 3.2. Aplicación de los métodos**

Método	Población (hab.)			
	Hasta 2 000	De 2 001 a 10 000	De 10 001 a 100 000	>100 000
Aritmético	X	x		
Geométrico	X	x	x	x
Exponencial		X(2)	X(1)	x
Curva logística				x

Fuente: Norma NB 688

### 3.2.2 Población futura

Se refiere al número de habitantes que será abastecido por el proyecto en un periodo de diseño establecido. Para determinar la población futura se deben tomar en cuenta los métodos tradicionales establecidos por la norma NB 688.

**Tabla 3.3. Métodos para la determinación de la población futura**

Método	Fórmula	Observaciones
Aritmético	$Pf = Po * (1 + \frac{i * t}{100})$	Donde: Pf Población futura, en hab. Po Población inicial, en hab. i= índice de crecimiento población anual, en porcentaje. t= número de años de estudio.
Geométrico	$Pf = Po * (1 + \frac{i}{100})^t$	
Exponencial	$Pf = Po * e^{\frac{i*t}{100}}$	

Fuente: Norma NB 688

A continuación se presenta en una tabla de datos proporcionados por el INE donde se plasma la cantidad de personas que viven en el lugar del proyecto.

**Tabla 3.4 Cantidad de habitantes que viven en la zona según censo 2012**

Fuente: INE censo 2012

Tratar de proyectar la población futura a través de estos datos del censo de hace 3 años puede resultar incorrecto debido a la migración que se ha tenido hacia la comunidad en los últimos

Comunidad	Total	Hombres	Mujeres	Numero de viviendas
Colonia Jose Maria Linares	998	445	553	170

3 años, entonces con el fin de poder conocer la población actual que será beneficiada con el proyecto se recomienda realizar una encuesta en la comunidad.

Para tal efecto se procedió a realizar una encuesta en la zona de estudio (Tabla 3.5), se encuestaron viviendas, familias y se realizó una caracterización más completa y exacta de la población actual que vive en la comunidad.

**Tabla 3.5 Estudio de población**

Viviendas encuestadas	
Viviendas encuestadas	206
Viviendas no encuestadas	10
Total de viviendas	216
Construcciones públicas no encuestadas	
Colegio	1
Cooperativa	1
Centro de salud	1
Distrito policial	1

Fuente: Elaboración propia

Se tiene los datos arrojados por la encuesta, en este caso población por sexo, que se muestra a continuación:

**Tabla 3.6 Total población de encuesta por sexo**

	Hombres	Mujeres	Total
Total	547	694	1241
Porcentaje	44.07	55.92	100

Fuente: Elaboración propia

Existió un número de viviendas que no fueron encuestadas por no encontrarse nadie en el momento de la encuesta. Estas fueron 10 viviendas tomando en cuenta las viviendas, dando el valor de 6 miembros por familia para incluir en la encuesta nos dan como resultado 60 habitantes más que sería la población total.

**Tabla 3.7 Población total incluyendo viviendas no encuestadas**

	Total	Total viviendas
Total	1301	216
Porcentaje (%)	100	

Fuente: Elaboración propia

Como en toda encuesta se tiene un margen de error, se toma un margen de error del 10 % por información mal proporcionada esta será la población de diseño final.

**Tabla 3.8 Población final de diseño**

	Total	Total viviendas
Total	1431	216
Porcentaje (%)	100	

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta la población flotante y aplicando un porcentaje del 20% a la población actual que serían 429 habitantes en cuanto a la población flotante tenemos como población actual final de:

$$P_{\text{inicial}} = 1860 \text{ habitantes}$$

Para obtener la población futura del proyecto la Norma Boliviana (NB-688), ofrece al proyectista una variedad de métodos de crecimiento, tales como: El método aritmético, geométrico y exponencial.

Para el cálculo de la población futura es necesario:

Datos:

Población inicial  $P_0 = 1860$  habitantes

Índice de crecimiento poblacional anual  $i = 2,09 \%$

Periodo de diseño:  $t = 20$  años

De los que obtenemos los siguientes resultados:

**Método Aritmético.** 
$$Pf = P_0 * \left(1 + \frac{i * t}{100}\right)$$

$$Pf = 1860 * \left(1 + \frac{2.09 * 20}{100}\right) = 2638 \text{ hab.}$$

**Método Geométrico.**

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

$$Pf = 1860 * \left(1 + \frac{2.09}{100}\right)^{20} = 2813 \text{ hab}$$

**Tabla 3.9 Resultados población futura**

Método	Población Futura (Hab.)
Aritmético	2638
Geométrico	2813

Fuente: Elaboración propia

Para este proyecto se utilizara el resultado del método geométrico, ya que con este método podemos obtener una población futura mayor y así dar seguridad al proyecto.

**Pf= 2813 hab.**

### 3.3 DOTACIÓN DE AGUA POTABLE

#### 3.3.1 Dotación actual

Para la determinación de los consumos per cápita se tienen las dotaciones recomendadas por la Norma Boliviana para el diseño de sistemas de agua potable (NB-689), las cuales se reflejan en la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10 Dotación media diaria (l/hab-d)**

Zona	Dotación Media diaria (l/ hab - d)					
	Población (habitantes)					
	Hasta 500	501- 2.000	2001- 5.000	5001- 2.0000	20001- 10.0000	>10.0000
<b>Altiplano</b>	30-50	30-70	50-80	80-100	100-150	150-200
<b>Valles</b>	50-70	50-90	70-100	100-140	150-200	200-300
<b>Llanos</b>	70-90	70-110	90-120	120-180	200-250	250-350

**Fuente: NB -689 Instalaciones de agua - Diseño para sistema de agua potable.**

Considerando el rango de dotación de 50 – 90 l/ hab –d , carácter valido para una población que esta entre 501 a 2000 habitantes en una zona de los valles, se adoptaría para el proyecto una dotación de 90 l/ hab – d, considerando la disponibilidad de agua, pero según la recomendación de EMAAB la dotación inicial para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario es 100 l/hab/día, debido a que esta es la dotación que se puede dar como límite de acuerdo a las condiciones y disponibilidad del servicio que se tiene en la comunidad.

Es así que para el diseño en este trabajo, se elige el valor de la dotación de 100 l/hab/día.

**Dotación Media = 100 lt/ha/día**

#### 3.3.2. Dotación futura

La dotación media diaria puede incrementarse 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, la dotación futura se debe estimar con un incremento anual entre el 0,5 % y el 2,0 % de la dotación media diaria.

Para este proyecto se adoptara un coeficiente de variación de 1.5 %.

Se calcula una dotación futura para un periodo de diseño de 20 años, el mismo es recomendado por la Norma Boliviana (NB – 689), obteniendo:

Dotación media diaria  $D_i = 100$  / hab-d

Variación anual de la dotación  $d = 1,5$  %

Periodo de diseño  $t = 20$  años

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

$$D_f = 100 * \left(1 + \frac{1.5}{100}\right)^{20} = 134.685 \text{ l/ hab-d}$$

Dotación Futura = 135 l/hab/día

### 3.4 DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES

#### 3.4.1 Coeficiente de retorno

Es la relación que existe entre el caudal medio de aguas residuales domésticas y el medio de agua que consume la población. Del total de agua consumida, solo una parte contribuye al alcantarillado, pues el saldo es utilizado para lavado de vehículos, aceras, calles, riego de jardines, huertas, irrigación de parques públicos, y terrazas de residencias. De esta manera el coeficiente de retorno varía entre el (60 – 80) % y depende de factores locales como ser: tipo de vivienda, localización, condiciones de las calles, tipo de clima y otros.

Por lo tanto adoptaremos un coeficiente de retorno del 80% para dar seguridad al diseño.

$$C = 0.8$$

### 3.4.2 Coeficiente de punta

El coeficiente de punta “M” es la relación entre el caudal máximo horario y el caudal medio diario.

El coeficiente de punta sirve para estimar el caudal máximo horario con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones del consumo de agua.

La variación del coeficiente de punta “M” debe ser estimada con base a relaciones de Harmon y Babbit, válidas para poblaciones de 1000 hab a 1000000 hab; la relación de Flores, en las cuales se estima “M” en función del número de habitantes.

El coeficiente de punta debe ser obtenido mediante las siguientes ecuaciones:

**a) Fórmula de Harmon:**

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

Dónde: M = Coeficiente de Punta.

P = Población en miles de habitantes.

Su alcance está recomendado en el rango:  $2 \leq M \leq 3,8$

**b) Coeficiente de Babbit:**

$$M = \frac{5}{P^{0,20}}$$

Dónde: M = Coeficiente de Punta.

P = Población en miles de habitantes.

**c) Coeficiente de Flores:**

$$M = \frac{3,5}{P^{0,10}}$$

Dónde: M = Coeficiente de Punta.

P = Población en miles de habitantes.

**d) Coeficiente de K1 y K2:**

$$M = K1 * K2$$

Dónde:

K1 = Coeficiente de máximo caudal diario, es la relación entre el mayor caudal diario verificado al año y el caudal medio diario anual. El coeficiente de máximo caudal diario K1, varía entre 1,2 a 1,5, según las características de la población. Los valores mayores de K1, corresponden a poblaciones menores, donde los hábitos y costumbres de la población son menores.

Para este proyecto adoptaremos un coeficiente K1 igual a:

$$K1 = 1.4$$

K2 = Coeficiente de máximo caudal horario, es la relación entre el mayor caudal observado en una hora del día de mayor consumo y el caudal medio del mismo día. El coeficiente de máximo caudal horario K2, varía según el número de habitantes, como se muestra en la Tabla 3.11

**Tabla 3.11 Valores del Coeficiente K2**

<b>Población (hab.)</b>	<b>Coeficiente K2</b>
Hasta 2000	2,20 a 2,00
De 2001 a 10000	2,00 a 1,80
De 10001 a 100000	1,80 a 1,50
Más de 100000	1,50

**Fuente: Norma Boliviana NB – 688**

Como se observa en la tabla para una población mayor a 2000 en la cual se encuentra nuestro proyecto el coeficiente varía de 2 a 1.8, para tal efecto se tomara el valor de:

$$K2 = 1.9$$

Entonces el coeficiente de punta M es igual a:

$$M = K1 * K2$$

$$M = 1.4 * 1.9$$

$$M= 2.66$$

### 3.4.3 Coeficiente por conexiones erradas

En los caudales de aguas residuales se deben considerar los caudales provenientes de las conexiones erradas, según la norma NB 688 es necesario fijar un coeficiente de seguridad del 5 al 10 % del caudal máximo previsto de aguas residuales.

En el proyecto se toma un coeficiente de seguridad del **5%** del caudal máximo, para los caudales provenientes de las conexiones erradas.

$$Q_e = 5\% * Q_{max}$$

### 3.4.4 Coeficiente de infiltración

No se puede evitar la infiltración de aguas subterráneas a través de fisuras en los colectores, juntas mal ejecutadas, en la unión de colectores con las cámaras de inspección y en las mismas cámaras cuando permiten la infiltración del agua.

El caudal de infiltración será determinado considerando los siguientes aspectos:

- La altura del nivel freático sobre el fondo del colector.
- Permeabilidad del suelo y cantidad de precipitación anual.
- Dimensiones, estado y tipo de alcantarillas, y cuidado en la construcción de cámaras de inspección.
- Material de la tubería y tipo de unión.

Los valores de coeficiente de infiltración recomendados por la norma se muestran a continuación.

**Tabla 3.12 Coeficientes de infiltración l/s/m**

Unión	Tubo de cemento		Tubo de arcilla		Tubo de arcilla vitrificada		Tubo de PVC	
	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma
Freático bajo	0.0005	0.0002	0.0005	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.00005
Freático alto	0.0008	0.0002	0.0007	0.0001	0.0003	0.0001	0.00015	0.0005

Fuente: Norma Boliviana NB – 688

Según datos obtenidos del perfil litológico de un pozo perforado en la zona se pudo conocer que el nivel freático es bajo. Para la alternativa elegida, tubería PVC con junta de goma, se adopta un valor de:

$$Q_i = 0,00005 \text{ (l/s/m)}$$

### 3.5 ESTIMACION DE LOS CAUDALES DE AGUA RESIDUAL

Cuando resulte imposible medir directamente los caudales de aguas residuales y no se disponga con registros históricos de los mismos, los datos sobre el abastecimiento de agua a la comunidad pueden servir de gran ayuda para estimar los caudales de agua residual. En caso que tampoco se cuente con los datos de abastecimiento, hay valores típicos de dotaciones según el tipo de usuario, aparatos domésticos e industriales.

#### 3.5.1 Determinación del caudal

Para la determinación del caudal de aguas residuales generado por los pobladores de la comunidad colonia José María Linares, se optó por calcular a través del método de dotaciones de agua potable que recibe la población en base a su nivel socioeconómico de la misma, ya que es imposible medir el agua que entra a la cámara séptica, pues la misma se encuentra colmatada y no realiza un tratamiento adecuado.

#### 3.5.2 Caudales de diseño

#### 3.5.3 Caudal medio diario

El caudal medio diario de aguas residuales se define a partir de la cuantificación del aporte del consumo de agua potable:

$$Q_m = \frac{P_f * D_f * C_r}{86400}$$

Donde:

Q<sub>m</sub>: Caudal medio diario [l/s]

P<sub>f</sub>: Población [hab] = 2813 hab

Df : Dotación [l/hab/día] = 135 lt/hab/día

Cr: Coeficiente de retorno [fracción] = 0.8

$$Q_m = \frac{2813 * 135 * 0.8}{86400}$$

$$Q_m = 3.516 \text{ Lt/seg}$$

### 3.5.4 Caudal máximo diario

El caudal máximo se determina multiplicando el caudal medio obtenido anteriormente por el coeficiente K1:

$$Q_{maxdiario} = Q_m * K1$$

Donde:

Qmax =caudal máximo [l/s]

Qm=Caudal medio [l/s]

K1=coeficiente que ya fue definido anteriormente = 1.4

$$Q_{maxdiario} = 3.516 * 1.4$$

$$Q_{maxdiario} = 4.92 \text{ Lt/seg}$$

### 3.5.5 Caudal máximo horario

El caudal máximo horario se determina multiplicando el caudal máximo diario obtenido anteriormente por el coeficiente K2:

K2= coeficiente que ya fue definido anteriormente = 1.9

$$Q_{maxhorario} = Q_{maxdiario} * K2$$

$$Q_{maxhorario} = 4.92 * 1.9$$

$$Q_{maxhorario} = 9.35 \text{ Lt/seg}$$

### 3.5.6 Caudal por conexiones erradas

El caudal por conexiones erradas se determina multiplicando el caudal máximo horario calculado anteriormente por el coeficiente de conexiones erradas:

$$Q_{ce} = Q_{maxdiario} * C_{ce}$$

Dónde:

$Q_{max-hor}$  =caudal máximo [l/s]

$C_{ce}$ =coeficiente por conexiones erradas (5%)

$Q_{ce}$ =caudal por conexiones erradas [l/s]

$$Q_e = 0.05 * 7.2285 \text{ L/s}$$

$$Q_e = 0.3507 \text{ L/s}$$

### 3.5.7 Caudal por infiltración

El caudal por infiltración se determina multiplicando el coeficiente de infiltración obtenido anteriormente  $C_f$  por la longitud total de la red.

$$Q_{inf} = C_{inf} * L_t$$

Donde:

$Q_{inf}$ =caudal de infiltración [l/s/m]

$C_{inf}$ =coeficiente de infiltración= 0.00005 lt/s/m

$L_t$ =Longitud total de la red [m] = 5047m

$$Q_{inf} = 0.00005 \text{ L/s/m} * \text{Longitud tubería}$$

$$Q_{inf} = 0.00005 \text{ L/s/m} * 5047\text{m}$$

$$Q_{inf} = 0.252 \frac{\text{Lt}}{\text{seg}}$$

### 3.6 CRITERIO PARA DETERMINACION DE CAUDALES EN ZONAS RESIDENCIALES

En la tabla 3.13 se muestra las entidades públicas existentes que funcionan actualmente en la comunidad.

**Tabla 3.13 Entidades públicas existentes**

Construcciones publicas		N° de personas
Colegio	1	180

<b>Cooperativa</b>	1	8
<b>Centro de salud</b>	1	6
<b>Distrito policial</b>	1	4

Fuente: elaboración propia

### 3.6.1 Determinación de caudales puntuales

#### Colegio

Caudal medio de agua residual

$$Q_m = \frac{P * D * Cr}{86400} * N^{\circ} \text{ de Horas}$$

P= población = 180 alumnos

D= dotación = 50lt/hab/dia

N° de horas = 8horas

$$Q_m = \frac{180 * 50 * 0.8}{86400} * 8$$

$$Q_m = 0.66 \text{ lt/seg}$$

#### Cooperativa

Caudal medio de agua residual

$$Q_m = \frac{P * D * Cr}{86400} * N^{\circ} \text{ de Horas}$$

P= población= 8 personas

D= dotación= 50lt/hab/dia

N° de horas= 8horas

$$Q_m = \frac{8 * 50 * 0.8}{86400} * 8$$

$$Q_m = 0.0296 \text{ lt/seg}$$

#### Centro de salud

Caudal medio de agua residual

$$Qm = \frac{P * D * Cr}{86400} * N^{\circ} de Horas$$

P= población= 6 personas

D= dotación= 50 lt/hab/día

N° de horas = 8 horas

$$Qm = \frac{6 * 50 * 0.8}{86400} * 8$$

$$Qm = 0.022 \text{ lt/seg}$$

**Distrito policial**

**Caudal medio diario**

$$Qm = \frac{P * D * Cr}{86400} * N^{\circ} de Horas$$

P= población= 4 personas

D= dotación= 50lt/hab/día

N° de horas = 8 horas

$$Qm = \frac{4 * 50 * 0.8}{86400} * 8$$

$$Qm = 0.0148 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}$$

En total sumando los caudales puntuales generados en la zona esto llegan a ser:

$$Qp = 0.7264 \text{ lt/seg}$$

**3.5.6. Caudales de diseño final**

El cálculo del caudal de diseño es el parámetro muy importante del proyecto, pues de este depende la calidad de los resultados posteriores. El caudal de diseño se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_d = Q_{max} + Q_{ce} + Q_{inf} + Q_p$$

Dónde:

Qd: Caudal de diseño [l/s]

Q max: Caudal máximo [l/s]

Q ce: Caudal de conexiones erradas [l/s]

Q inf: Caudal de infiltración [l/s]

Qp= Caudal concentrado (l/s)

➤ Caudal medio diario:

$$Q_{MEDIO-DIARIO} = Q_{medio} + Q_e + Q_{inf} + Q_p$$

$$Q_{MEDIO-DIARIO} = (3.516 + 0.361 + 0.252 + 0.7264) \text{ L/seg}$$

$$Q_{MEDIO-DIARIO} = 4.855 \text{ L/seg}$$

$$Q_{MEDIO-DIARIO} = 419.47 \text{ m}^3/\text{dia}$$

➤ Caudal máximo horario:

$$Q_{MAXIMO-HORARIO} = Q_{max \text{ horario}} + Q_e + Q_{inf} + Q_p$$

$$Q_{MAXIMO-HORARIO} = (9.35 + 0.361 + 0.252 + 0.7264) \text{ L/seg}$$

$$Q_{MAXIMO-HORARIO} = 10.689 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

$$Q_{MAXIMO-HORARIO} = 923.564 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y SELECCIÓN DEL MISMO**

#### **4.1 INTRODUCCION**

Con el crecimiento de la población, se hizo necesario encontrar métodos para disponer no solamente de los desechos mismos, sino también del agua. Los métodos de disposición tradicionales como el vertimiento a los cuerpos de agua sin un previo tratado fueron insatisfactorios, por lo que se hizo necesario tomar medidas para remediar, dando así inicio al desarrollo de los métodos de tratamiento a las aguas residuales antes de la disposición final de las mismas.

##### **4.1.1 Concepto planta de tratamiento.**

Es la unidad o conjunto de unidades destinadas a mejorar la calidad del agua de tal forma que produzcan en los cuerpos receptores efectos compatibles con las exigencias legales o con la utilización aguas debajo de la población, es un proceso de separación y estabilización de materia orgánica y desinfección, haciendo que los sólidos orgánicos complejos putrescibles que dependen del proceso de las tecnologías empleadas.

#### **4.2 TRATAMIENTOS QUE SE APLICAN A LAS AGUAS RESIDUALES**

##### **4.2.1 TIPOS DE TRATAMIENTO**

En las plantas de tratamiento de aguas residuales se realizan tres tipos de tratamiento los cuales son:

- Tratamiento anaerobio
- Tratamiento aerobio
- Tratamiento mixto

##### **4.2.1.1 Tratamiento aerobio**

En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos, los mismo que requieren la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no se encuentra en las aguas residuales, y la forma más correcta de hacerlo es introducir por medio de aireación mecánica el oxígeno de la atmosfera.

En los sistemas de tratamiento aerobios se identifican diferentes procesos como ser: el sistema de lodos activos, lagunas de estabilización, humedales, filtro percolador, el filtro sumergido y el disco biológico rotatorio.

**Tabla 4.1 Ventas y desventajas del tratamiento aerobio**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe una mayor digestión, ya que el factor oxidante es abundante en la biosfera.</li> <li>• Existe una mayor transformación de materia orgánica en biomasa.</li> <li>• Mayores tasas de aprovechamiento de materia orgánica.</li> <li>• No es sensible en la variación de condiciones(temperatura, ph,etc)</li> <li>• No requiere de una mano de obra especializada.</li> <li>• Menor inversión económica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de Vectores (mosquitos).</li> <li>• Uso de químicos.</li> <li>• Producción de malos olores, en baja intensidad.</li> </ul>

Fuente: Tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones (Enrique Ortega)

#### 4.2.1.2 Tratamiento anaerobio

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electores de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido.

Los sistemas anaerobios han sido clasificados en dos grupos: la primera engloba aquellos caracterizados por tener altos tiempos de retención hidráulica y los de segunda generación, los microorganismos son retenidos en el reactor por medio de un soporte para que se adhieran en forma de biopelícula, o bien por medio de su sedimentación.

**Tabla 4.2 Ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargas orgánicas aplicables muy altas.</li> <li>• Se produce energía, en lugar de consumirse.</li> <li>• Baja Producción de lodos.</li> <li>• Requiere poco equipo mecánico.</li> <li>• Son muy aplicables en climas tropicales.</li> <li>• Requiere poco equipo mecánico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de olores a causa del ácido sulfhídrico H<sub>2</sub>S.</li> <li>• Primer arrancado lento.</li> <li>• Menor eficiencia en remoción.</li> <li>• Mayor sensibilidad a compuestos tóxicos.</li> </ul>

**Fuente: Tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones (Enrique Ortega)**

También existen diferencias entre los dos tipos de tratamientos mencionados, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.3 Diferencia entre sistemas anaerobio y aerobio**

Aerobio	Anaerobio
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor eficiencia de remoción.</li> <li>• Operatividad comprobada.</li> <li>• 50% de C es convertido en CO<sub>2</sub>, 40-50% es incorporado dentro de la masa microbiana.</li> <li>• 60% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 40% es perdido como calor.</li> <li>• Ingreso de elevada energía para aireación.</li> <li>• Limitación de cargas orgánicas.</li> <li>• Se requiere adición de nutrientes.</li> <li>• Requerimiento de grandes áreas.</li> <li>• Sensible a economía de escala.</li> <li>• Periodos de arranque cortos.</li> <li>• Tecnología establecida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor producción de lodos.</li> <li>• Menores costos de operación.</li> <li>• 95% de C es convertido en biogas; 5% es transformado en biomasa microbiana.</li> <li>• 90% de la energía es retenida como CH<sub>4</sub>, 3-5% es perdido como calor, 5-7% es almacenada en la biomasa.</li> <li>• No requiere de energía.</li> <li>• Acepta altas cargas orgánicas.</li> <li>• Degrada compuestos policlorados.</li> <li>• Requerimiento bajo de nutrientes.</li> <li>• Se requiere pequeña área superficial.</li> <li>• Largos periodos de arranque.</li> <li>• Recientemente establecida, todavía bajo desarrollo para aplicaciones específicas.</li> </ul>

Fuente: Adoptado de Arce (1997)

#### 4.2.2 Fases por las que atraviesa el agua residual

El agua residual también debe pasar por diferentes etapas o fases para lograr un efluente que cumpla con las normas sanitarias exigidas las cuales se describen a continuación.

##### 4.2.2.1 Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas

auxiliares.

Aunque no reflejan un proceso en sí, el tratamiento preliminar sirve para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales, son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos, para esto se utilizan los canales, tamices, las rejas, los micro filtros, desarenadores, etc.

Tamizado.- Los tamices están contruidos con mallas dispuestas en una inclinación particular que deja atravesar el agua y obliga a deslizarse a la materia sólida retenida hasta caer fuera de la malla por sí sola, la gran ventaja de este equipo es que es barato, no tiene partes móviles y el mantenimiento es mínimo.

Rejas.- Se utilizan para separar objetos de tamaño más importante que el de simples partículas que son arrastrados por la corriente de agua. El objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían ser dañados u obstruidos con perjuicio de los procesos que tuviesen lugar. Se construyen con barras metálicas de 6 o más mm de espesor, dispuestas paralelamente y espaciadas de 10 a 100 mm, se limpian mediante rastrillos que pueden ser manejados manualmente o accionados automáticamente

Micro filtración.- Los micro filtros trabajan a baja carga con muy poco desnivel, y están basados en una pantalla giratoria de acero o material plástico a través de la cual circula el agua. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie interior del micro filtro que dispone de un sistema de lavado continuo para mantener las mallas limpias. Se han utilizado eficazmente para separar algas de aguas superficiales y como tratamiento terciario en la depuración de aguas residuales.

#### **4.2.2.2 Tratamiento primario**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica, suele llevarse a cabo mediante sedimentación y tamizado. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica. Cabe destacar que aunque en muchos lugares el tratamiento primario es el único que se le da al agua residual, este es únicamente un tratamiento previo al secundario.

Sedimentación primaria.- se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de DBO en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4m y tiempos de detención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

#### **4.2.2.3 Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento. Se llama tratamiento secundario convencional a la combinación de diferentes procesos para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación.

El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa de un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SS aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas.

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc..., que entran en estrecho contacto con la materia

orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos, materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto.

Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como: Lodos activados, biodisco, lagunaje, humedales, filtro biológico.

1.- **LODOS ACTIVADOS.**- Es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento.

A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando los lodos activados; éstos más el agua residual fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de mantener una alta población bacterial para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica.

2.-**BIODISCO.**- Es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar, sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se auto regula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

3.-**LAGUNAJE.**- El tratamiento se puede realizar en grandes lagunas con largos tiempos de retención (1/3 días) que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

4.- **HUMEDALES.**- Son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una duración y frecuencia tales, que sean suficientes para mantener

condiciones saturadas. Suelen tener profundidades inferiores a 1m, con plantas emergentes como ser: totora, carrizos, jacinto de agua, lenteja de agua.

La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la absorción de los contribuyentes del agua residual permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

5.-**FILTRO BIOLÓGICO.**- Está formado por un reactor, donde se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos, la altura del filtro puede alcanzar hasta 12m. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos.

#### **4.2.2.4 Tratamiento terciario**

Es el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbono activado. Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas.

### **4.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA LA ELECCIÓN DEL TRATAMIENTO ADECUADO**

Para la elección de un tratamiento adecuado se deben considerar varios factores entre ellos y uno de los más importantes, la aceptación de la población para su construcción, operación y mantenimiento de los diferentes sistemas de tratamiento.

Se destaca, que los trabajos previamente deben concentrarse en obtener los parámetros que tienen influencia en una solución eficiente, siendo los más importantes, los que se describen a continuación:

**4.3.1 Características climáticas de la zona donde se construirá el sistema:** Las temperaturas cálidas favorecen las transformaciones biológicas, es decir, que en un clima

cálido el TRH requerido será menor que en un clima templado o frío, sin embargo, se ha demostrado que variando el TRH, el sistema puede ser aplicado en cualquier clima.

Las temperaturas en la zona son cálidas y templadas, típica de la zona de los valles.

**4.3.1.2 Ubicación de cursos de agua, pozos y demás:** Es muy importante conocer la ubicación de los cursos de agua que están por la zona donde pueden ser posibles lugares para depositar las aguas tratadas por la planta de tratamiento diseñada.

**4.3.1.3 Las características del afluente:** Es una de los principales factores a tomar en cuenta al momento de dimensionar la planta de tratamiento, ya que la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales determinará el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) que ésta debe permanecer dentro del sistema para lograr la calidad de tratamiento proyectada. Los afluentes urbanos son una mezcla de aguas residuales domésticas y de pequeñas industrias situadas en zonas urbanas. Proceden principalmente de las viviendas y de las instalaciones comerciales e incluyen aguas fecales (aguas negras) y aguas de lavados, duchas, lavadoras, lavavajillas y cocinas fundamentalmente, por su baja complejidad permite trabajar con TRH menores a los requeridos en rastros o agroindustrias como la azucarera o los beneficios de café.

**4.3.1.4 El tamaño de las instalaciones de tratamiento:** Es muy necesario conocer este dato para definir si se cuenta con el espacio adecuado para su emplazamiento.

**4.3.1.5 Caudal a tratar:** El caudal a tratar es la cantidad de agua que ingresará al sistema en un tiempo determinado; se refiere a la cantidad de agua a tratar.

**4.3.1.6 Emisión de olores:** Uno de los mayores inconvenientes de un tratamiento de aguas residuales es la emisión de olores que genera grandes molestias para los pobladores que viven por el lugar.

**4.3.1.7 Operación y mantenimiento:** Es importante considerar que en un tratamiento de aguas residuales la operación y mantenimiento son factores que se deben tomar en cuenta debido a que inciden en gran manera en la vida útil y el eficiente funcionamiento de la planta en el transcurso del tiempo.

**4.3.1.8 Costo:** Este es uno de los factores de mayor importancia para la elección de un tratamiento de aguas residuales, el mismo en muchos casos determina si el proyecto se llevara o no.

Factores importantes que debe tener un sistema de tratamiento, los mismos se observan en la Tabla 4.4:

**Tabla 4.4 Criterios importantes para la selección de tratamientos de aguas residuales**

1. El método debe proveer una eficiencia de tratamiento en la remoción de varias categorías de contaminantes:  
Materia orgánica biodegradable (DBO), SS, amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados, fosfatos, patógenos.
2. La estabilidad del sistema respecto a interrupciones en la fuente de energía, picos de carga, interrupción en la alimentación y/o contaminantes tóxicos, debe ser alta.
3. La flexibilidad del proceso debe ser alta, con respecto a la escala a la cual es aplicada, posibilidades de ampliación y posibilidad de mejorar la eficiencia.
4. El sistema debe ser simple en su operación, mantenimiento y control ya que una buena operación no debe depender de la presencia de operadores e ingenieros experimentados.
5. El requerimiento de área debe ser bajo, en especial cuando no está disponible y/o el precio es alto.
6. El número de etapas de procesos (diferentes) requeridos debe ser lo más bajo posible.
7. El tiempo de vida del sistema debe ser largo.
8. La aplicación del sistema no debe sufrir ningún problema en la disposición del lodo.
9. La utilización del sistema no debe ser acompañada con mal olor y problemas de malestar en la gente.
10. El sistema debe ofrecer buenas posibilidades para recuperar subproductos útiles en irrigación y fertilización.
11. Es recomendable disponer de experiencia suficiente en el manejo del sistema.

Fuente: Lettinga y Hulshoff (1995a).

#### **4.4 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PARA DESCONTAMINAR LAS AGUAS RESIDUALES**

Revisando bibliografía se cuenta con bastante tipos y sistemas de tratamiento para las aguas residuales domesticas tanto para pequeñas y grandes poblaciones, algunas dando un

tratamiento preliminar, primario y otras realizando un tratamiento completo, a continuación se describirán cada una de ellas y luego haciendo un análisis técnico y económico se elegirá la más adecuada para la zona tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente.

#### **4.4.1 Tratamiento preliminar**

Las operaciones físicas o también llamado tratamiento preliminar se emplean para la separación de sólidos de gran tamaño, sólidos que estén en suspensión o flotando, grasas y compuestos orgánicos volátiles. Las operaciones físicas y procesos unitarios para este proyecto serán: rejillas y desarenador, los cuales son las unidades más importantes a diseñar para el tratamiento primario de las aguas residuales.

##### **4.4.1.1 Rejillas**

El primer paso en todo tratamiento de agua residual consiste en separar lo que son los llamados sólidos gruesos. Para este fin el procedimiento más usado o habitual se basa en hacer que el agua residual bruta pase a través de rejillas de barras. Las rejillas son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas las cuales se ubican transversalmente al flujo, y se colocan antes del desarenador, sin alterar el flujo normal, las barras tienen por lo general una separación entre ellas de 15 mm o de un poco más. Estas rejillas de barras se pueden limpiar de un modo manual o mecánico.

##### **4.4.1.2 Tipos de rejillas**

Con relación al sistema de limpieza, las rejas pueden ser clasificadas en dos categorías:

- Rejillas de limpieza manual
- Rejillas mecanizadas
- **Rejillas sencillas de limpieza manual**

Las rejillas sencillas de limpieza manual son empleadas en instalaciones pequeñas y con espaciamiento relativamente grande. En estos casos no se espera remover grandes volúmenes de detritos, debido a que se destinan a la retención de objetos cuyas dimensiones son relativamente grandes (trapos, botellas, roedores muertos, etc.). También existe el riesgo de estancamientos, o por descuidos, o por la llegada brusca de materias vegetales, pudiéndose

dar también un desbordamiento. Con el objeto de evitar esto es necesario calcular ampliamente la superficie y la inclinación de la rejilla.

**Figura 4.1 Rejilla fija con limpieza manual**



Fuente: DINASBA (Dirección nacional de saneamiento básico)

- **Rejillas mecanizadas, de accionamiento mecanizado**

La principal ventaja de este tipo de rejilla, es que elimina los problemas de atascos y reducen el tiempo necesario para su mantenimiento. Las rejillas mecanizadas requieren una labor de mantenimiento muy cuidadosa, motivo por el cual sólo deben ser empleadas cuando son estrictamente necesarios, principalmente en pequeñas instalaciones es más recomendable el empleo de rejillas manuales. De los distintos tipos de mecanismos, el más utilizado consiste en un peine móvil, que periódicamente barre la rejilla, extrayendo sólidos retenidos para su evacuación.

#### **4.4.2.2 Consideraciones para el diseño de las rejillas**

El dimensionamiento de esta unidad se realiza para las condiciones más desfavorables, es decir para el caudal máximo horario. Las dimensiones principales de una rejilla son establecidas para que se tenga una sección de flujo con velocidad adecuada.

##### **4.4.2.2.1 Velocidad de flujo a través de las rejillas**

Velocidades muy bajas a través de las barras pueden contribuir a un aumento indeseable de material retenido y también a la sedimentación de la arena en el canal de acceso, por el contrario velocidades muy grandes fomentan el arrastre de material que debería quedar retenido. Para evitar la acumulación y sedimentación de arena y otros materiales pesados en el fondo del canal, se recomienda emplear en el diseño las siguientes velocidades de flujo:

**Tabla 4.5 Velocidades de flujo (v)**

<b>Velocidades de flujo</b>	
Mínimo	0,30 m/s
Medio	0,40 m/s
Máximo	0,60 m/s

Fuente (Ministerio de Desarrollo Humano, Reglamento técnico de diseño de unidades de tratamiento no mecanizadas para aguas Residuales, norma Boliviana DINASBA, 1996)

#### **4.4.2.2 Inclinación de las barras**

En las instalaciones de limpieza manual las rejillas de barras generalmente son instaladas haciendo un ángulo de 30 a 60 grados con la horizontal. Con rejas mecanizadas este ángulo es establecido en función de las condiciones locales, generalmente las rejillas mecanizadas forman un ángulo de 60 hasta 90 grados con la horizontal (más frecuentemente 75°).

#### **4.4.2.3 Espaciamiento de las barras**

El espaciamiento libre entre las barras depende de la finalidad que se pretenda lograr. Las rejillas gruesas son instaladas aguas arriba de bombas de gran capacidad, turbinas, etc. y a veces preceden a rejas más finas, no son empleadas antes de bombas de tornillo, o cuando lo son tienen espaciamiento superior a los 150 mm, Imhoff recomienda rejillas con un espaciamiento de 40 a 50 mm para que no se retenga mucha materia fecal.

**Tabla 4.6 Espesores y espaciamientos de rejillas**

Tipo de Rejillas	Barras	
	Espesor (Pulgadas)	Espaciamiento (Centímetros)
Rejillas gruesas	1/2 - 3/8	4 - 10
Rejillas medias	5/16 - 3/8	2 - 4
Rejillas finas	1/4 - 5/16	1 - 2

Fuente (Ministerio de Desarrollo Humano, Reglamento técnico de diseño de unidades de tratamiento no mecanizadas para aguas Residuales, norma Boliviana DINASBA, 1996)

#### 4.4.2.2.4 Dimensiones de las barras

En general las barras tienen sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor por 30 a 75 mm de profundidad, las dimensiones dependen mucho del largo de las barras y del mecanismo de limpieza, en general las barras de rejas gruesas van hasta 15 x 75 mm (las más grandes); las instalaciones pequeñas tienen barras de sección mínima de 5 x 40 mm. Entre estos dos ejemplos hay una variedad muy grande de dimensiones que deben ser seleccionadas en función a la resistencia a la operación de limpieza y a la disponibilidad en el mercado.

Azevedo Netto clasifica de acuerdo al tamaño de las rejas como se muestra a continuación:

**Tabla 4.7 Clasificación y tamaño de barras**

Tipo	Ancho por profundidad (mm x mm)
Rejillas gruesas	10x50 - 10x60 - 13x40 - 13x50
Rejillas comunes	8x50 - 10x40 - 10x50
Rejillas pequeñas	6x40 - 8x40 - 10x40

Fuente: Azevedo Netto et al, 1981

En nuestro caso, es decir en el presente proyecto se diseñara canal con rejillas de limpieza manual, a continuación se describe a detalle los factores a tomar en cuenta para su diseño.

#### 4.4.2.3 Diseño del canal de rejillas de limpieza manual

#### 4.4.2.3.1 Área transversal del canal

El área transversal total del canal ( $A_t$ ) donde se ubicara la rejilla de barras, será determinado asumiendo la velocidad de flujo en el canal utilizando los criterios de velocidades, posteriormente aplicando la ecuación de continuidad para flujo permanente:

$$A_t = \frac{Q_{max}}{V} \quad (4.1)$$

Dónde:

$Q_{max}$ = Caudal máximo horario ( $m^3/s$ )

$V$ = Velocidad de flujo en el canal ( $m/s$ )

$A_t$ = Área transversal total del canal ( $m^2$ )

El ancho del canal de rejilla de barras acostumbra ser igual o más grande que el diámetro o al ancho del emisario y debe igualar el ancho de las propias rejas, evitándose espacios muertos. Por consiguiente, el tirante de agua del canal de la reja de barras será:

$$h_a = \frac{A_t}{b} \quad (4.2)$$

Dónde:

$b$ = Ancho del canal (m)

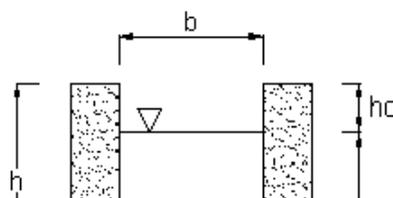
$h_a$ = Tirante de agua máximo del canal (m)

Según el “Reglamento técnico de diseño para unidades de tratamiento no mecanizadas para aguas residuales, norma boliviana DINASBA”, recomienda utilizar un borde libre ( $h_o$ ) de 0.20 a 0.25 metros.

Por lo que la altura total  $h$  (m) del canal de rejilla de barras será:

$$h = h_a + h_o \quad (4.3)$$

**Figura 4.2 Sección transversal del canal de rejillas**



Fuente: Reglamento técnico para unidades de tratamiento no mecanizadas DINASBA

#### 4.4.2.3.2 Pendiente del canal

La pendiente del canal debe de ser descendente en la dirección de circulación a través de la rejilla, sin baches o imperfecciones en las que pudieran quedar atrapados algunos sólidos. La pendiente del canal será determinado utilizando la ecuación de Manning:

$$S = \left( \frac{V \times n}{Rh^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (4.4)$$

Dónde:

S= Pendiente del canal

n= Coeficiente de rugosidad de Manning (para revestimiento de cemento n= 0.013)

V= Velocidad de flujo en el canal (m/s)

R<sub>h</sub>= Radio hidráulico (m)

El radio hidráulico está dado por la ecuación:

$$Rh = \frac{A_t}{P} \quad (4.5)$$

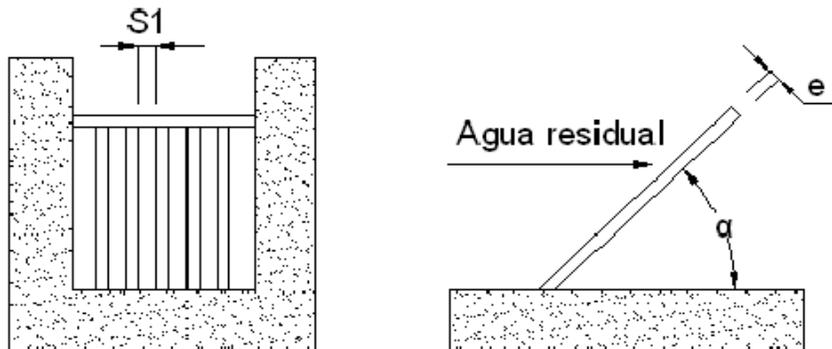
A<sub>t</sub>= Área transversal total del canal (m<sup>2</sup>)

P= Perímetro mojado (m)

#### 4.4.2.3.3 Longitud de las barras

La longitud de las barras depende del grado de inclinación que tienen estas con la horizontal, y del tirante de agua máximo del canal de reja de barras.

**Figura 4.3 Esquema de rejas de limpieza manual**



Fuente: DINASBA

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}(\alpha)} \quad (4.6)$$

Dónde:

$L_b$ = Longitud de las barras (m.)

$h_a$ = Tirante de agua máximo del canal (m)

$\alpha$ = Grado de inclinación de las barras con la horizontal (Grados)

#### 4.4.2.3.4 Cálculo del número de barras

Siendo  $N_b$  el número de barras en la reja del canal y  $(N_b+1)$  el número de espacios, se puede utilizar la siguiente ecuación para determinar el número de barras:

$$N_b = \frac{b - S_1}{e + S_1} \quad (4.7)$$

Dónde:

$b$ = Ancho del canal (cm.)

$e$ = Espesor de barras (cm.)

$S_1$ = Separación entre barras (cm.)

#### 4.4.2.3.5 Longitud del depósito o canal

El canal de acceso debe ser suficientemente largo para que se evite la turbulencia junto a las barras, se recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$L = 3.50 \times b \quad (4.8)$$

Dónde:

L= Longitud del depósito o canal (m)

b= Ancho útil del canal (m)

#### 4.4.2.3.6 Pérdida de carga

Las pérdidas de carga que se producen al circular el agua a través de las rejillas dependen de la velocidad de aproximación del agua (velocidad de flujo en el canal donde se ubican las rejillas) y de la velocidad de circulación a través del elemento, la pérdida de carga puede estimarse empleando la expresión conocida como la de Metcalf & Eddy caracterizada por su simplicidad.

$$h_f = \frac{1}{0.7} \times \left( \frac{V_c^2 - V^2}{2 \times g} \right) \quad (4.9)$$

Dónde:

$h_f$  = Pérdida de carga (m)

0.7= Coeficiente empírico que incluye los efectos de la turbulencia y de las pérdidas por formación de remolinos

V= Velocidad de aproximación a la rejilla (m/s)

$V_c$ = Velocidad de circulación entre las barras de la rejilla (m/s)

g= Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Para estimar la velocidad de circulación a través de la reja de barras se empleara la ecuación de continuidad:

$$V_c = \frac{Q_{max}}{A_t} \quad (4.10)$$

Donde  $A_t$  es igual a:

$$A_t = h_a \times (b - (N_b \times e)) \quad (4.11)$$

Dónde:

$Q_{max}$ = Caudal máximo horario de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$A_t$ = Área transversal de flujo de la reja de barras (m<sup>2</sup>)

$V_c$ = Velocidad de circulación a través de la reja (m/s)

$e$ = Espesor de barras (transversal al caudal que fluye) (m)

#### 4.4.3 Desarenador

El término arena se emplea para referirse a las arenas, gravas, cenizas y cualquier material cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea mayor al de los sólidos orgánicos susceptibles a la descomposición en el agua residual. Las arenas se remueven por lo siguiente:

- Para proteger los equipos mecánicos de la abrasión y del excesivo desgaste
- Reducir la formación de depósitos sólidos en unidades y conductos aguas abajo y reducir la frecuencia de limpieza de los digestores.

Normalmente, los desarenadores se ubican después de las unidades que remueven sólidos gruesos y antes de tanques de sedimentación primaria, aunque en algunas plantas de tratamiento los desarenadores anteceden las unidades de tamizado. El diseño del desarenador para el presente proyecto será el más usado en pequeñas plantas de tratamiento por su fácil construcción y su bajo costo, estamos hablando del desarenador de flujo horizontal, el cual se adecua para nuestra zona de proyecto.

#### 4.4.3.1 Desarenadores de flujo horizontal

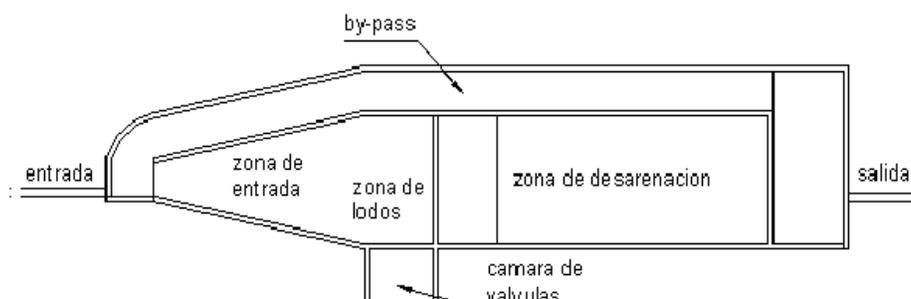
En los desarenadores de flujo horizontal, el agua a tratar pasa a través de la cámara en dirección horizontal y la velocidad lineal del flujo se controla con las dimensiones del canal, ubicando compuertas a la entrada para lograr una mejor distribución del flujo, o utilizando vertederos de salida con secciones especiales.

**Figura 4.4 Desarenador de flujo horizontal en paralelo**



Fuente: DINASBA (Dirección nacional de saneamiento básico)

**Figura 4.5 Desarenador (planta y corte longitudinal)**



Fuente: DINASBA (Dirección nacional de saneamiento básico)

#### **4.4.3.1.1 Zona de entrada**

La zona de transición de entrada, la cual une el canal con el desarenador, tiene como función el conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad.

#### **4.4.3.1.2 Zona de desarenación**

Cámara de sedimentación, en la cual las partículas sólidas caen al fondo por la acción de la gravedad, debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de la sección.

#### **4.4.3.1.3 Zona de salida**

Conformado por un vertedero de rebose al final de la cámara, las capas superiores son las que primero se limpian, es por esto que la salida del agua se hace por medio de un vertedero, que debe trabajar con descarga libre. Diseñado con una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada, La velocidad límite es 1 m/s., para evitar turbulencias.

#### **4.4.3.1.4 Zona de depósito y remoción de la arena**

Constituida por una tolva con un gradiente del 2 al 6% que permita el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza, esta gradiente no se incluye en el tirante de cálculo, si no que el volumen adicional se lo toma como depósito para las arenas sedimentadas.

#### **4.4.3.2 Criterio para el diseño del desarenador de flujo horizontal**

##### **4.4.3.2.1 Número de unidades**

De acuerdo con la reglamentación nacional de saneamiento básico se debe diseñar por lo menos una unidad de desarenador, ya que es un tratamiento muy importante para el correcto funcionamiento de la planta. Estos sistemas son obligatorios en las plantas que tienen sedimentadores y digestores (Tanques Imhoff, RAFA, filtros biológicos, etc.).

#### **4.4.3.2.2 Velocidad de flujo en los desarenadores**

En el desarenador la velocidad recomendable es del orden de 0.30 a 0.40 m/s, velocidades inferiores a 0.30 m/s causan la deposición de materia orgánica, y velocidades mayores a 0.40 m/s causan el arrastre del material sedimentado. Por esto se debe procurar controlar y mantener la velocidad de flujo alrededor de 0,30 m/s con una tolerancia de  $\pm 20\%$ .

#### **4.4.3.2.3 Área de los desarenadores**

Destinándose a la sedimentación de partículas granulares discretas, los desarenadores pueden ser dimensionados por la teoría de sedimentación de Hazen. Como la experiencia indica que las partículas de arena nocivas son las de tamaño igual o superior a 0.2 mm, cuyo peso específico es de 2.65 g/cm<sup>3</sup> y velocidad de sedimentación del orden de 2.0 cm/s. La norma nacional señala valores de tasas de aplicación de 700 a 1600 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>.día), estos valores permiten determinar el área necesaria para los desarenadores.

#### **4.4.3.2.4 Profundidad de la lámina líquida**

En los desarenadores tipo "canal" la profundidad del agua para el caudal mínimo, medio y máximo es determinada partiendo de las condiciones de funcionamiento del controlador de velocidad. Cada vertedero tiene su ecuación que relaciona la altura del agua con el caudal.

#### **4.3.2.5 Angulo de transición**

El objetivo de estas obras, es reducir las pérdidas de carga debidas al cambio de sección del canal o de la pendiente del mismo. El Bureau of Reclamation, recomienda un ángulo de  $12^{\circ}30'$  en aquellas estructuras donde las pérdidas de carga deben reducirse al mínimo.

#### **4.4.3.3 Diseño hidráulico para desarenadores de flujo horizontal**

Pueden considerarse tres tipos de mecanismo o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos en suspensión.

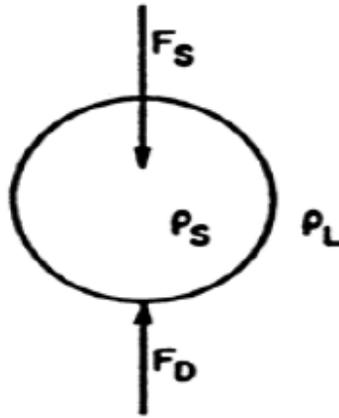
- *Sedimentación discreta*: Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso.
- *Sedimentación con floculación*: La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación.
- *Sedimentación por zonas*: Las partículas forman como un manto que sedimenta como una masa total presentando una interface distinta con la fase líquida.

##### **4.4.3.3.1 Teoría de la sedimentación discreta**

El fundamento para la sedimentación discreta es la ley de Newton, que se basa en la suposición de que las partículas son esféricas con diámetros homogéneos. Cuando una partícula sedimenta, va acelerándose hasta que las fuerzas que provocan la sedimentación, se equilibran con las resistencias o fuerzas de fricción ofrecidas por el líquido.

Si la partícula ha alcanzado su velocidad final, puede escribirse el equilibrio de fuerzas correspondiente.

**Figura 4.6 Sedimentación de una partícula**



Fuente: DINASBA (Dirección nacional de saneamiento básico)

La fuerza que provoca la sedimentación, en este caso el peso efectivo de la partícula, es la diferencia entre su peso y el empuje hidrostático:

$$F_s = v \rho_s g - v \rho_l g = (\rho_s - \rho_l) g v \quad (4.12)$$

Dónde:

$F_s$ = Es el peso efectivo de la partícula

$\rho_s$ = Es la densidad de la partícula

$\rho_L$ = Es la densidad del líquido

$g$ = Es la aceleración de la gravedad

$v$ = El volumen de la partícula,  $1/6 \pi d^3$ , donde “d” es el diámetro de la partícula esférica.

La fuerza de resistencia que trata de impedir la sedimentación es:

$$F_D = C_d A = \left( \frac{\rho_l V^2}{2} \right) \quad (4.13)$$

Dónde:

$F_D$ = Es la fuerza de resistencia

$C_d$ = Es el coeficiente de fricción

$A$ = Es el área proyectada de la partícula;  $A = \frac{1}{4} \pi d^2$

$V$ = Es la velocidad relativa entre la partícula y el fluido.

Para las condiciones que definen la velocidad final de sedimentación, " $F_s = F_D$ ", con lo que las ecuaciones 4.14 y 4.15 dan:

$$(\rho_s - \rho_l) g v = C_d A = \left( \frac{\rho_l V^2}{2} \right) \quad (4.14)$$

$$\frac{(\rho_s - \rho_l)}{\rho_l} = S - 1$$

Siendo  $S$  la gravedad específica de los granos (para arenas 2,65).

$V = V_s$  = Velocidades de sedimentación

Sustituyendo  $v = \frac{1}{6} \pi d^3$ ,  $A = \frac{1}{4} \pi d^2$ , resolviendo esta ecuación para la velocidad final, se obtiene la ecuación general de sedimentación para partículas discretas que es la ley de Newton:

$$V_s = \sqrt{\frac{4 \times g \times d \times (S - 1)}{3 \times C_d}} \quad (4.15)$$

Dónde:

$d$ = Diámetro de la partícula (m.)

$S$ = Gravedad específica de las partículas (2.65 para arenas)

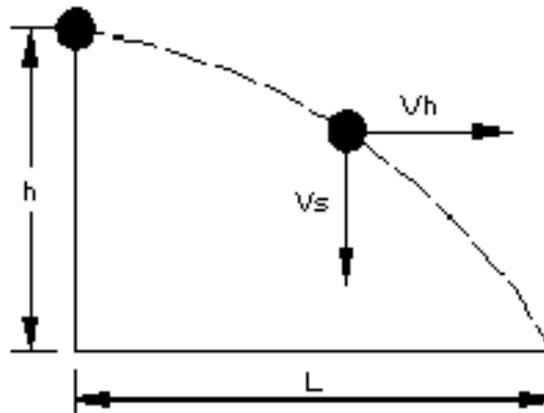
$g$ = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$\nu$ = Viscosidad cinemática del agua (1.32x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s. a 10 °C en agua limpia)

$c_d$ = Coeficiente de resistencia de las partículas

El procedimiento que se presenta a continuación es válido para partículas discretas las cuales durante la sedimentación no alteran su tamaño, forma o peso es decir no existe interacción sustancial con las partículas vecinas. Un buen método de resolución consiste en determinar la velocidad de sedimentación, suponiendo que el régimen de flujo que predomina inicialmente es flujo laminar el cual es comprobado con el número de Reynolds, si lo supuesto no es correcto se prosigue con el régimen de flujo turbulento y por último se verifica al régimen de flujo en transición que es el caso más común.

**Figura 4.7 Modelo de sedimentación de una partícula de arena**



Fuente: DINASBA (Dirección nacional de saneamiento básico)

Dónde:

$V_h$ = Velocidad horizontal (m/s.)

$V_s$ = Velocidad de sedimentación (m/s.)

$L$ = Longitud específica del desarenador (m.)

$h$ = Profundidad de sedimentación (m.)

#### 4.4.3.3.2 Determinación de la velocidad de sedimentación

Se determina la velocidad de sedimentación de acuerdo a los criterios indicados anteriormente en relación a los diámetros de las partículas. Como primera aproximación utilizamos la ley de Stokes, sedimentación de la partícula en régimen de flujo laminar (Re

< 1), reemplazando  $C_d$  igual a  $24/Re$  en la ecuación general de sedimentación para partículas discretas se obtiene la ley de Stokes:

$$V_s = \frac{(S - 1) \times g \times d^2}{18 \times \nu} \quad (4.16)$$

Se comprueba el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_s \times d}{\nu} \quad (4.17)$$

En caso que el número de Reynolds no cumpla para la aplicación de la ley de Stokes ( $Re < 1$ ), se realizará un reajuste al valor de la velocidad de sedimentación ( $V_s$ ) considerando la sedimentación de la partícula en régimen turbulento ( $Re > 2000$ ) rige la ley de Newton. La cual se obtiene reemplazando el valor de  $C_d$  igual a 0.5 para granos redondos en la ecuación general de sedimentación:

$$V_s = \sqrt{2.66 \times g \times d \times (S - 1)} \quad (4.18)$$

En caso que el número de Reynolds no cumpla para la aplicación de la ley de Newton ( $Re > 2000$ ), se realizará un reajuste al valor de  $V_s$  considerando la sedimentación de la partícula en régimen de transición mediante la ley de Allen. Sedimentación de la partícula en régimen de flujo en transición ( $1 < Re < 2000$ )

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad (4.19)$$

La velocidad horizontal crítica de arrastre en el tanque según “Camp” es:

$$V_d = a \times \sqrt{d} \quad (4.20)$$

Dónde:

$V_d$ = Velocidad crítica (cm/s.)

$a$ = Constante en función del diámetro

$d$ = Diámetro de la partícula (mm)

Además la velocidad horizontal:

$$V_h = V_d = \frac{Q_{max}}{A_{transversal}} \quad (4.21)$$

Dónde:

$Q_{max}$ = Caudal máximo horario (m<sup>3</sup>/s.)

$A_{transversal}$ = Área transversal de flujo del desarenador (m<sup>2</sup>.)

Los valores del coeficiente “a”, se la obtiene de la (tabla 4.8):

**Tabla 4.8 Valores del coeficiente “a”**

a	Diámetro
36	d > 1mm
44	1mm > d > 0.1mm
51	d < 0.1 mm

Fuente: Texto guía de Obras Hidráulicas Menores, 2004

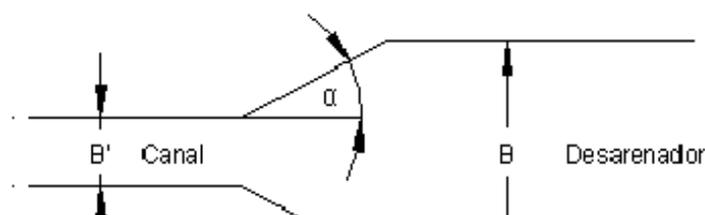
#### 4.4.3.3 Cálculo de las dimensiones del desarenador

La longitud teórica del canal desarenador (L) está dada por la profundidad que requiere la velocidad de sedimentación y la sección de control. La norma boliviana DINASBA”, recomienda que la longitud del desarenador oscile entre 15 m a 25 m. Se puede emplear la siguiente ecuación aplicando la teoría de simple sedimentación:

$$L = \frac{V_d \times h}{V_s - 0.04 \times V_d} \quad (4.22)$$

Es necesario prever una longitud adicional para incluir el efecto de la turbulencia que se produce en la entrada y en la salida del canal desarenador. Metcalf & Eddy recomienda un incremento mínimo del 50 % de la longitud teórica prevista.

**Figura 4.8 Esquema de un desarenador**



Fuente: DINASBA (Dirección nacional de saneamiento básico)

Dónde:

L= Longitud específica del desarenador (m.)

l= Longitud de transición (m.)

B= Ancho del desarenador (m.)

B'= Ancho del canal (m.)

$\alpha$ = Angulo de ensanchamiento gradual de la transición (grados)

$$l = \frac{B - B'}{2 \times \tan(\alpha)} < \frac{L}{3} \quad (4.23)$$

En el proyecto de diseño de desarenadores de flujo horizontal debe verificarse que bajo las condiciones más adversas, la partícula de arena más ligera alcance el fondo del canal antes de llegar al extremo del mismo es decir de cumplirse que:

$$T_d < T_s \quad (4.24)$$

- El periodo teórico de detención ( $T_s$ ), es el tiempo que precisa una partícula de arena, para depositarse en el fondo del canal desde el instante que ingresa en la cámara desarenadora, se denomina también tiempo de sedimentación.
- El periodo de desplazamiento ( $T_d$ ), es el tiempo que emplea un volumen unitario de fluido para alcanzar el canal de salida del desarenador desde que entra en el mismo.

Se calculan estos periodos:

$$T_d = \frac{L}{V_d} \qquad T_s = \frac{h}{V_s} \qquad (4.25)$$

#### 4.4.3.3.5 Canal Parshall

Cuando las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen desarenadores horizontales tipo gravedad, se requiere controlar la velocidad de flujo que pasa a través de ellos.

Normalmente, los flujos de entrada a las plantas de tratamiento de aguas son muy variables. A pesar de estas variaciones en gasto, la velocidad del flujo debe permanecer constante o casi constante en el desarenador, con un valor recomendado (generalmente 0.3 m/s), para lograr mantener esta velocidad constante, a flujos variables, se debe colocar un dispositivo de control hidráulico en cada canal, que puede ser un vertedor proporcional o por medio de canales Parshall colocados al final de cada canal desarenador.

Canal que se rige por la ecuación siguiente:

$$Q = K * (Ha)^n \qquad (4.28)$$

Dónde:

Q= Caudal (L/s)

K= coeficiente obtenido en función al ancho de garganta

n= coeficiente obtenido en función al ancho de garganta

Ha= Tirante de agua en el desarenador (cm)

Las medidas del canal Parshall se lo puede obtener de la siguiente tabla:

Dónde:

w = ancho de garganta del canal Parshall (pulgadas)

**Tabla 4.9 Dimensiones típicas de medidores parshall**

	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	2.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7
6"	15.2	62.1	61.0	33.0	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4
1"	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1½"	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2"	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3"	91.05	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4"	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5"	152.5	192.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6"	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7"	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8"	244.0	244.0	239.2	239.2	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10"	<u>305.0</u>	<u>274.5</u>	<u>427.0</u>	<u>427.0</u>	<u>475.9</u>	<u>122.0</u>	<u>91.5</u>	<u>183.0</u>	<u>15.3</u>	<u>34.3</u>

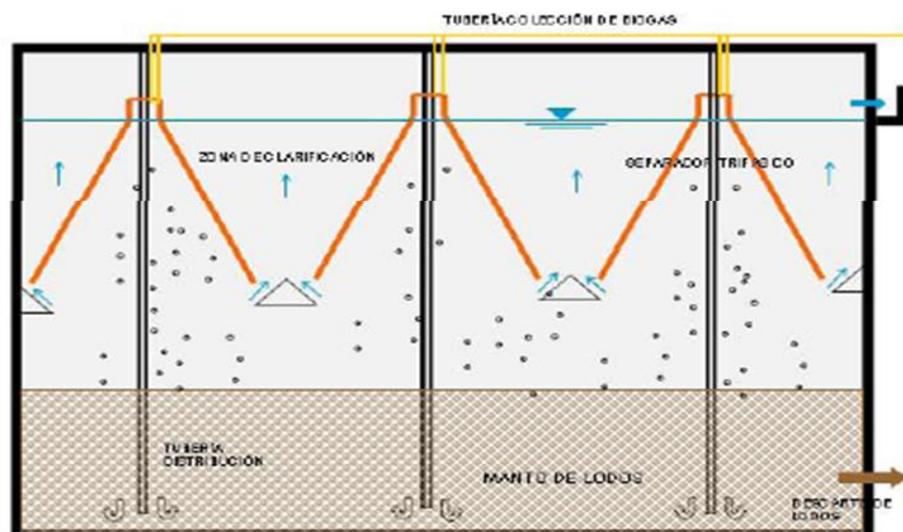
Fuente: Manual de Hidráulica de Azevedo Netto

#### 4.4.4 Sistemas de tratamiento que realizan un proceso primario

Entre los cuales podemos describir y mencionar los siguientes:

##### 4.4.4.1 Reactores Anaerobios UASB

Figura 4.9 Tanque UASB con compartimientos



Fuente: Selección de plantas de tratamiento Gatzke Lettinga 1989

Entre los procesos anaerobios avanzados, surge el **Reactor UASB** (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket) desarrollado en la década de los setenta por Gatzke Lettinga y Colaboradores en la Universidad Agrícola de Wageningen - Holanda. Este reactor ha sobresalido debido a la alta calidad del efluente producido y al relativo bajo costo del tratamiento de aguas residuales de baja y mediana carga orgánica (Kato *et. al.*, 1997; Lettinga *et. al.*, 1980a; 1980b); ha sido ampliamente aplicado también al tratamiento de aguas residuales complejas con alta carga orgánica (Lettinga *et. al.*, 1989).

Los resultados obtenidos de las experiencias a escala piloto y escala real efectuadas en varias partes del mundo, proporcionaron avances importantes en el desarrollo del proceso y tecnología del tratamiento anaerobio. El éxito de estas experiencias, junto a los beneficios presentados por el proceso como la ausencia de equipos de control sofisticados, baja producción de residuos del proceso (lodos), menor consumo energético y producción de metano (combustible de alto poder calorífico), han establecido al reactor UASB como una opción de tratamiento para una amplia variedad de residuos líquidos.

Los tratamientos incluirán la reducción de la concentración de por lo menos uno de los cinco constituyentes más importantes del agua residual (DSENY, 1995):

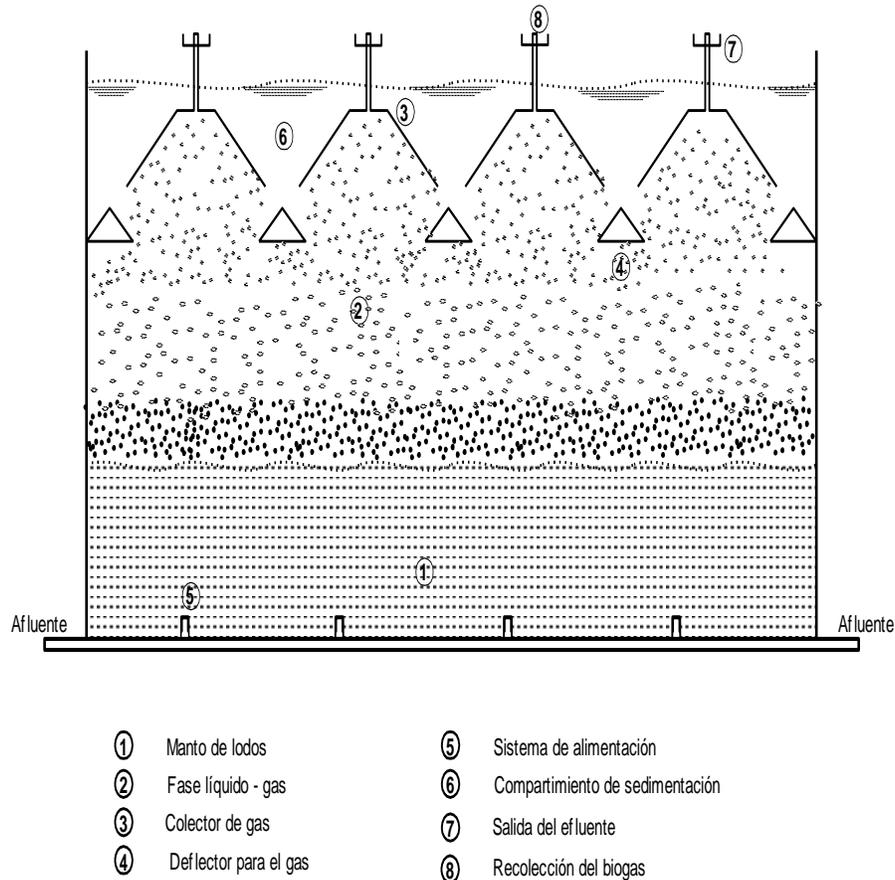
- Sólidos en suspensión.
- Material orgánico (biodegradable).
- Nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo).
- Organismos patógenos.
- Metales pesados.

El tratamiento anaerobio necesita integración y un plan de tratamiento global, porque para lograr una completa remoción y recuperación/re uso de los constituyentes del agua residual, también otros sistemas de tratamiento (por ejemplo aerobios y/o físico-químicos) son requeridos (Lettinga *et. al.*, 1989).

El dispositivo más característico del reactor UASB es el separador GSL. Este separador es colocado en el reactor y divide la parte inferior o zona de digestión, donde hay un lecho (manto) de lodos responsable de la digestión anaerobia y una parte superior o zona de sedimentación. El agua residual ingresa por el fondo del reactor y sigue una trayectoria ascendente, pasando por la zona de digestión, atravesando una abertura existente en el

separador GSL y entra a la zona de sedimentación. La materia orgánica presente se mezcla con el lodo anaerobio presente en la zona de digestión, existiendo la digestión anaerobia que resulta en la producción de gas y el crecimiento de lodo.

**Figura 4.10 Esquema de un reactor UASB con sus principales dispositivos**



**Fuente: Lettinga *et. al.* (1989).**

El líquido continúa ascendiendo y pasa por las aberturas que existen en el separador GSL. Debido a la forma del separador, el área disponible para la ascensión aumenta a medida que el líquido se aproxima a la superficie del agua, por tanto su velocidad tiende a disminuir. De ese modo los flocs de lodo que son arrastrados y pasan por las aberturas del separador encuentran una zona tranquila. En esa zona es posible que la velocidad de sedimentación de una partícula se torne mayor que la velocidad de arrastre del líquido a una determinada altura. Cuando se acumula una cantidad suficientemente grande de sólidos el peso aparente de ellos se tornará mayor que la fuerza de adherencia, de modo que estos se deslizarán, entrando nuevamente en la zona de digestión en la parte inferior del reactor. De esta manera la

presencia de una zona de sedimentación encima del separador GSL resulta en la retención de lodos, permitiendo la presencia de una gran masa en la zona de digestión, en tanto que se descarga un efluente libre de sólidos sedimentables.

Las burbujas de biogás que se forman en la zona de digestión, suben a la fase líquida donde encuentran una interface líquido-gas, presente debajo del separador GSL. En esta interface las burbujas se desprenden, formando una fase gaseosa. Los flocs de lodos eventualmente adheridos a las burbujas, pueden subir hasta la interface pero al desprenderse del gas caen para ser pararse nuevamente del manto de lodos en la zona de digestión. Las burbujas de gas que se forman debajo del separador precisan ser desviadas para evitar que pasen por las mismas aberturas, creando turbulencia en la zona de sedimentación. Por tanto se utilizan obstáculos que funcionan como deflectores de gas debajo de las aberturas.

Lettinga *et. al.* desarrollaron el reactor UASB, bajo las siguientes ideas básicas :

- El lodo anaerobio tiene o puede tener excelentes características de sedimentabilidad, siempre que no esté expuesto a agitación mecánica fuerte. Por esta razón la mezcla mecánica es generalmente omitida en reactores UASB, de ser necesario se utiliza agitación mecánica intermitente y/o suave. El contacto suficiente requerido entre lodo y agua residual, se logra aprovechando la agitación ocasionada por la producción de gas.
- Agregados de lodo de buena sedimentabilidad que son dispersados bajo la influencia de la producción de biogás (el cual es particularmente elevado a cargas altas en reactores altos), son retenidos en el reactor por separación del biogás en un sistema colector de gas colocado en la parte superior del reactor y son liberados por medio de este dispositivo del reactor. Separando el biogas en esta forma, se crea un sedimentador en la parte alta del reactor. Las partículas de lodo pueden coalescer y sedimentarse allí.
- Agregados de lodo depositado en el compartimento de sedimentación deben ser capaces de deslizarse dentro del compartimento de digestión debajo del separador GSL, en contra del líquido ascendente y a pesar de las altas turbulencias líquidas.
- El manto de lodo puede ser considerado como una fase semifluida, separada con características específicas propias y que puede soportar elevadas fuerzas de mezcla.

- El lavado de una capa espumosa en la interface líquida en el compartimento de sedimentación se puede prevenir instalando un baffle frente a la canaleta del efluente.

#### 4.4.4.1.1 Aplicabilidad

Los reactores UASB son aplicables para tratar aguas residuales domésticas e industriales. Está comprobado que tienen mejor funcionamiento en zonas tropicales por lo que no es aconsejable en zonas de bajas temperaturas, las condiciones ambientales de temperatura es un factor fundamental.

#### 4.4.4.1.2 Eficiencia de tratamiento

Los reactores anaerobios de flujo ascendente bien operados pueden producir un efluente con bajas concentraciones de DBO y DQO, en la tabla de abajo se muestran las eficiencias.

**Tabla 4.10 Eficiencia de remoción de reactor UASB**

Parámetro	Unidad	Eficiencia
<b>DBO</b>	mg/l	65-85%
<b>DQO</b>	mg/l	60-75%
<b>Sólidos totales</b>	mg/l	80-90%

Fuente: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

#### 4.4.1.3. Ventajas

- Sistema compacto, con baja demanda de área.
- Bajo costo de implantación y de operación.
- Baja producción de lodo.
- Bajo consumo de energía.
- Satisfactoria eficiencia de remoción de DBO/DQO, de orden de 65 a 75%
- Buena deshidratación de lodo.

#### 4.4.4.1.4 Desventajas

- Posibilidad de emanación de malos olores.

- Baja capacidad del sistema en tolerar cargas toxicas.
- Elevado intervalo de tiempo necesario para la partida del sistema.
- Necesidad de una etapa de pos-tratamiento

#### **4.4.4.2 Tanque Imhoff**

Consiste en un tanque de dos pisos en el cual la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, y la digestión y acumulación de lodos en el compartimiento inferior. Los tanques Imhoff son usados ampliamente debido a que no requieren personal muy calificado por su sencillez operación, estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran mantenimiento, y la operación consiste en la remoción diaria de espuma, en su evacuación por el orificio más cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digestor de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente al lecho de secados.

### **4.5 Selección del tratamiento primario**

Después de haber revisado los factores que se debe tomar en cuenta para la selección de una planta de tratamiento, como también los diferentes tipos de sistemas de tratamiento primario, y haciendo un análisis técnico y económico se optara por elegir el tanque de sedimentación primaria Imhoff como tratamiento primario para las aguas residuales de la comunidad, ya que este cumple con todas las condiciones para ser emplazado en la zona de proyecto, además que el mismo se adapta muy bien en climas cálidos, ya que ayuda a la digestión de lodos y cuenta con una fácil operación, además que este sistema es más eficiente cuando se trabaja en pequeñas poblaciones donde no se tenga grandes cantidades de caudal, y es el caso que se presenta en nuestra zona de proyecto ya que en la comunidad de colonia linares presenta muy poca población menor a 5000 habitantes y predomina el clima cálido con elevadas temperaturas, es así que por esos factores se eligió al tanque Imhoff como tratamiento primario para las aguas residuales domesticas generadas en la comunidad.

A continuación se describe más a detalle del sistema elegido y que parámetros se debe tomar en cuenta para su diseño.

#### **4.5.1 Tanque Imhoff**

#### **4.5.1.1 Antecedentes**

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión, se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tenderán a depositarse en el fondo y los de menor peso específico a ascender.

Estos principios se emplean para el diseño de los tanques de sedimentación utilizados en el tratamiento de aguas residuales. La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante.

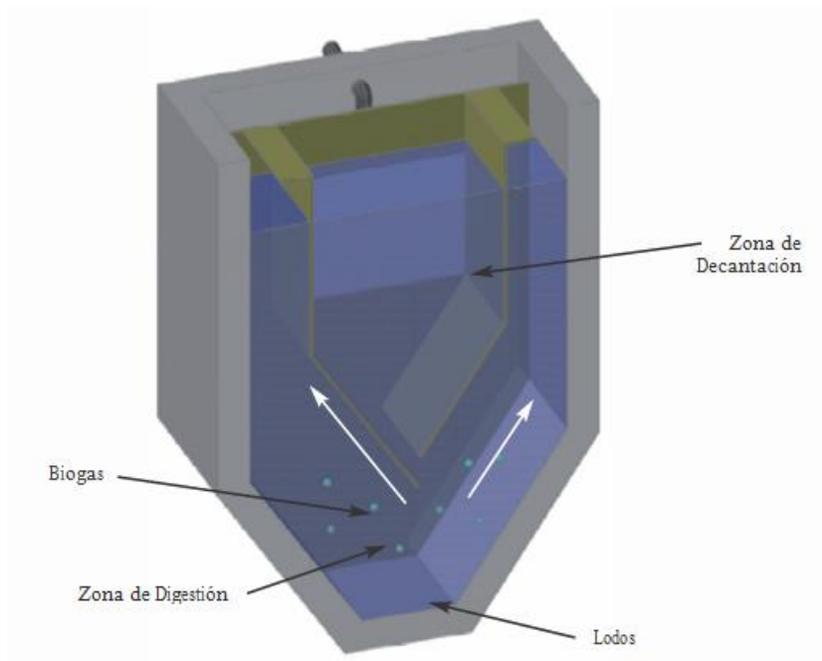
Los tanques de sedimentación primaria Imhoff contribuyen de manera importante al tratamiento del agua residual. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, su objetivo principal es la eliminación de:

- Sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras
- Aceite libre y otras materias flotantes
- Parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras.

Cuando los tanques se emplean como paso previo de tratamientos biológicos, el cual es el caso del proyecto, su función es la reducción de la carga afluyente a los reactores biológicos. Los tanques de sedimentación primaria dimensionados y operados eficientemente pueden eliminar entre el 50% a 70% de los sólidos suspendidos y entre el 25 a 40% de la DBO<sub>5</sub> y 20 a 30 % de DQO.

#### **4.5.1.2 Concepto de Tanque Imhoff**

**Figura 4.12 Esquema Tanque Imhoff**



Fuente: Manual para la implementación de sistemas (Enrique Ortega)

Los tanques Imhoff son dispositivos que permiten un tratamiento primario de las aguas residuales obteniendo excelentes resultados, reduciendo su contenido en sólidos en suspensión, tanto sedimentables como flotantes, constituyen uno de los tratamientos primarios más usados en los sistemas de depuración descentralizados y en pequeñas poblaciones menores a 5000 habitantes. Los tanques Imhoff cuentan con un solo depósito, en el que se separan la zona de sedimentación, que se sitúa en la parte superior de la zona de digestión de los sólidos decantados, que se ubican en la zona inferior del depósito. La configuración de la apertura que comunica ambas zonas impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la decantación de esta forma se evita que los gases que se generan en la digestión afecten a la decantación de los sólidos en suspensión sedimentables.

Los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por este motivo también se les denomina tanques de doble cámara.

Los Tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo para su uso correcto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos

de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. Son convenientes especialmente en climas calurosos pues esto facilita la digestión de lodos, en la selección de esta unidad de tratamiento se debe considerar que los tanques Imhoff pueden producir olores desagradables. El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos:

- Cámara de sedimentación
- Cámara de digestión de lodos
- Área para ventilación y acumulación de natas.

#### **4.5.1.3 Funcionamiento**

En el funcionamiento de los Tanques Imhoff cabe distinguir dos tipos de procesos:

##### **Físicos**

Bajo la acción de la gravedad se separan los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales (que se van acumulando en el fondo del tanque), de los sólidos flotantes, incluyendo aceites y grasas (que van formando una capa sobre la superficie líquida de la zona de sedimentación)

##### **Biológicos**

La fracción orgánica de los sólidos que se acumulan en el fondo del tanque experimenta reacciones de degradación anaerobia, licuándose, reduciendo su volumen y desprendiendo biogás, mezcla de metano y dióxido de carbono, principalmente y en mucha menor cuantía, de compuestos del azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.), responsables de los olores desagradables que se desprenden.

La reducción de volumen que experimenta la materia orgánica sedimentada en la zona de digestión, permite espaciar en el tiempo las operaciones de purga periódica de los fangos acumulados.

#### **4.5.1.4 Operación**

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos rebalsan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando hacia la cámara de digestión a

través de una ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación, por el tipo de diseño de la abertura ubicada en la parte inferior del sedimentador se impide q los gases y solidos arrastrados por estos gases ingresen a la cámara de sedimentación. Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y dispone de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de suelos.

#### **4.5.1.5 Ventajas e inconvenientes**

##### **4.5.1.5.1 Ventajas**

Las principales ventajas de los tanques de sedimentación primaria radican en :

- Baja septicidad en los efluentes tratados
- Bajos costes en explotación y mantenimiento
- Fácil y rápida instalación en el caso de las unidades prefabricadas
- Simplifican la digestión de lodos
- Nulo o muy bajo impacto sonoro

##### **4.5.1.1.2 Inconvenientes**

- Tan solo permiten alcanzar niveles de tratamiento primario, por lo que sus efluentes normalmente precisan de tratamientos complementarios
- Escasa estabilidad frente a sobrecargas hidráulicas
- Impactos olfativos
- Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en caso de construcción deficiente

#### **4.5.1.6 Fundamentos de diseño**

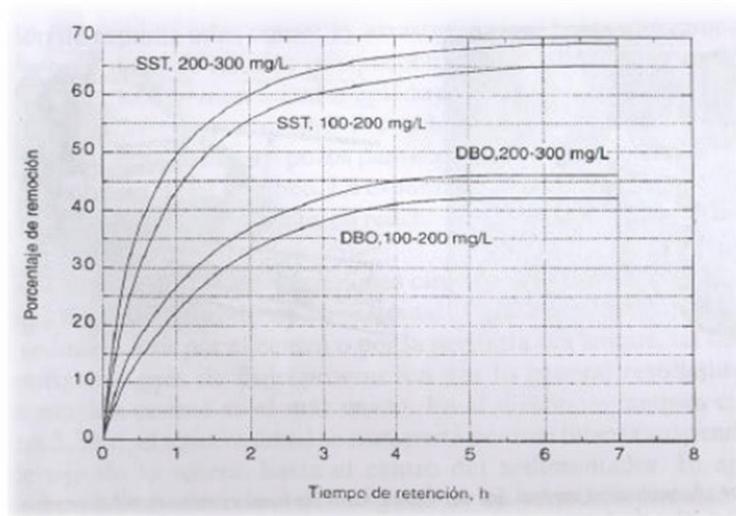
Si todos los sólidos presentes en el agua residual fueran partículas discretas de tamaño, densidad, peso específico y forma uniforme, la eficiencia de eliminación de estos sólidos

dependería solamente del área superficial del tanque y del tiempo de retención, sin embargo en la realidad los sólidos de la mayoría de las aguas residuales no presentan características regulares debido a su naturaleza heterogénea. A continuación se describen los parámetros más importantes involucrados en el diseño de tanques de sedimentación primaria Imhoff.

#### 4.5.1.6.1 Remoción de DBO, DQO y SST

En la Figura de abajo se obtuvo a partir de observaciones realizadas a sedimentadores en funcionamiento y en ella se presenta información útil acerca de la eficiencia en la remoción de DBO, DQO y SST en tanques de sedimentación primaria, como función de la concentración del afluente y el tiempo de retención.

**Figura 4.13 Curvas de sedimentadores en función del tiempo de retención**



Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 1998)

La familia de curvas en la figura puede modelarse matemáticamente como una hipérbola regular usando la siguiente expresión:

$$R = \frac{t}{a + b * t} \quad (4.30)$$

Dónde:

R= Porcentaje de remoción de DBO o SST esperado en %

t= Tiempo nominal de retención, en horas

a y b= Constantes empíricas

De acuerdo a Crites y Tchobanoglous, las constantes empíricas a y b pueden tomar los siguientes valores a 20°C.

**Tabla 4.11 Constantes de remoción de DBO y SST a 20°C**

Variable	a	b
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente (Crites y Tchobanoglous, 1998)

Para la remoción de DQO el Manual para la implementación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones recomienda que se debe optar un valor que oscile entre el 20 al 30 %.

A continuación se muestra una tabla resumen de la eficiencia de tratamiento del tanque de sedimentador primario Imhoff.

**Tabla 4.12 Eficiencia del sistema**

Parámetro	% Reducción
Sólidos en suspensión	50-60
DBO <sub>5</sub>	20-35
DQO	20-30

Fuente: Manual para la implementación de sistemas de depuración (Enrique Ortega)

#### 4.5.1.7 Tiempo de retención

El tiempo de retención se refiere al tiempo en el cual el agua va estar almacenada dentro de la cámara de sedimentación, para luego pasar a la cámara de digestión de lodos, por lo general los tanques de sedimentación primaria Imhoff se proyectan para proporcionar un tiempo de retención entre 1.5 a 2.5 horas para el caudal medio de agua residual. Los tanques que proporcionan tiempos de retención menores (0.5 a 1 hora), con menor eliminación de sólidos suspendidos se usan en ocasiones como tratamiento previo.

En el análisis y diseño de tanques de sedimentación primaria, los efectos de la temperatura no suele requerir atención especial. Sin embargo en zonas de clima frío los incrementos de

la viscosidad del agua producidos por las bajas temperaturas pueden retardar la sedimentación de las partículas y consecuentemente reducir la eficiencia del proceso de separación de sólidos cuando las temperaturas bajen de los 10° C.

#### 4.5.1.8 Cargas de superficie

Los tanques de sedimentación suelen dimensionarse en función de la carga de superficie expresada en  $m^3/m^2$ .

Los efectos de la carga de superficie y del tiempo de retención sobre la eliminación de sólidos suspendidos varían ampliamente en función de las características del agua residual, de la proporción de sólidos sedimentables y de la concentración de sólidos principalmente. Es conveniente poner especial atención en el hecho de que las cargas de superficie deben ser lo suficientemente reducidas como para asegurar el rendimiento de las instalaciones a caudal punta, algunos valores se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4.13 Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria**

Características	Intervalo	Típico
<b>Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario</b>		
Tiempo de retención (h)	1.5 - 2.5	2
Carga de superficie ( $m^3/m^2 \cdot día$ )		
A caudal medio	30-50	40

A caudal punta	80-120	100
Carga sobre vertedero (m3/m*día)	125-500	250
<b>Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso</b>		
Tiempo de retención (h)	1.5-2.5	2
Carga de superficie (m3/m2*día)		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
Carga sobre vertedero (m3/m*día)	125-500	250

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

#### 4.5.1.9 Velocidad de arrastre

La velocidad de arrastre es importante en las operaciones de sedimentación. Las fuerzas actuantes sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque. La velocidad crítica viene dada por la ecuación desarrollada por Camp, a partir de estudios realizados por Shields.

$$V_H = \left( \frac{8 * k(s - 1) * g * d}{f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.31)$$

Dónde:

V<sub>H</sub>= Velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas

k= Constante que depende del tipo de material arrastrado

s= Peso específico de las partículas

g= Aceleración de la gravedad

$d$ = Diámetro de las partículas

$f$ = Factor de fricción de Darcy – Weisbach

Los valores más comunes de  $k$  son 0.04 para arena unigranular, 0,06 para materia más agregada. El factor de Darcy Weisbach depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo y del número de Reynolds, sus valores típicos están entre 0.02 y 0.03 Tanto  $k$  y  $f$  son constantes adimensionales.

#### 4.5.1.10 Tiempo requerido para digestión de lodos

El tiempo requerido para la digestión de lodos varía de acuerdo a la temperatura como se ve a continuación:

**Tabla 4.14 Tiempo de digestión de lodos**

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5 °C	110 días
10 °C	76 días
15 °C	55 días
20 °C	40 días
> 25 °C	30 días

**Fuente: OPS Cepis**

En cuanto se refiere a la frecuencia de retiro de lodos debe calcularse en base a estos tiempos referenciales, considerando que existirá un mezcla de lodos frescos y lodos digeridos, estos últimos ubicados al fondo del digestor. De este modo el intervalo de tiempo entre extracciones de lodos sucesivas deberá ser por lo menos el tiempo de digestión indicado a excepción de la primera extracción en la que se deberá esperar el doble del tiempo de digestión.

#### 4.5.1.2 Parámetros de diseño del tanque Imhoff

Para el dimensionamiento de tanques Imhoff se toman en consideración los criterios de la Norma Boliviana DINASBA (Dirección nacional de saneamiento básico).

#### 4.5.1.2.1 Cámara de sedimentación

El área de la cámara de sedimentación se determina con base a una carga superficial  $C_s \leq a$   $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$ , generalmente se utiliza un valor de  $C_s$  igual a  $24 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$ .

$$A_s = \frac{Q_{med}}{C_s} \quad (4.32)$$

Dónde:

$A_s$ = Área de la cámara de sedimentación ( $\text{m}^2$ )

$Q_{med}$ = Caudal medio diario ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )

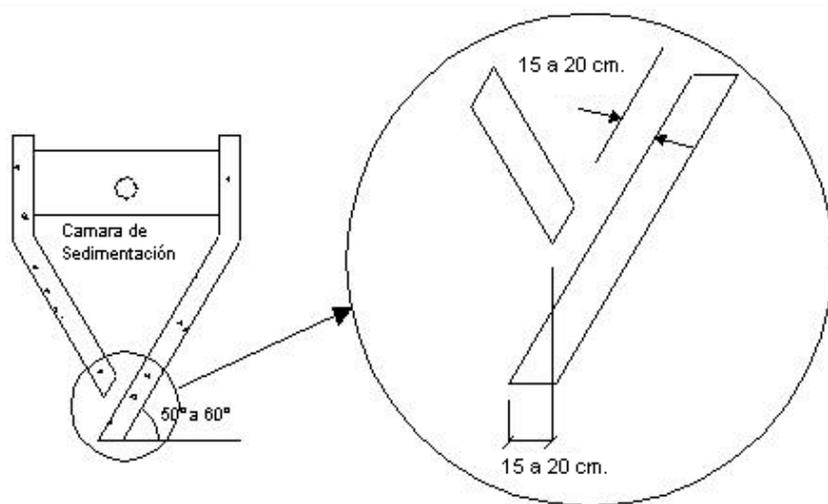
$C_s$ = Carga superficial [ $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{hora})$ ]

Normalmente los tanques de sedimentación primaria se proyectan para proporcionar un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 1 a 2 horas (recomendable 2 horas), por lo que el volumen de la cámara de sedimentación ( $V_s$ ) se calcula con la siguiente expresión:

$$V_s = Q_{med} \times TRH \quad (4.33)$$

- El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá de  $50^\circ$  a  $60^\circ$ .
- En la arista central se debe dejar una abertura para el paso de los sólidos removidos hacia el digestor, esta abertura será de 0,15 a 0,20 m.
- Uno de los lados deberá prolongarse, de 0.15 0.20 m. de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador, situación que reduciría la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad.

**Figura 4.14 Esquema grafico de la cámara de sedimentación**



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

#### 4.5.1.2.2 Cámara de digestión

Para calcular el volumen del compartimento de digestión y almacenamiento de lodos se utilizará una contribución individual de lodos de 70 litros por habitante, cuando la temperatura promedio mensual del mes más frío sea de 10°C. Para cualquier otra temperatura se debe multiplicar el valor del volumen unitario por un factor de capacidad relativa (cfr.), de acuerdo con los valores siguientes:

$$V_d = \frac{70 \times P \times f_{cr}}{1000} \quad (4.34)$$

Dónde:

fcr= Factor de capacidad relativa

P= Población (hab.)

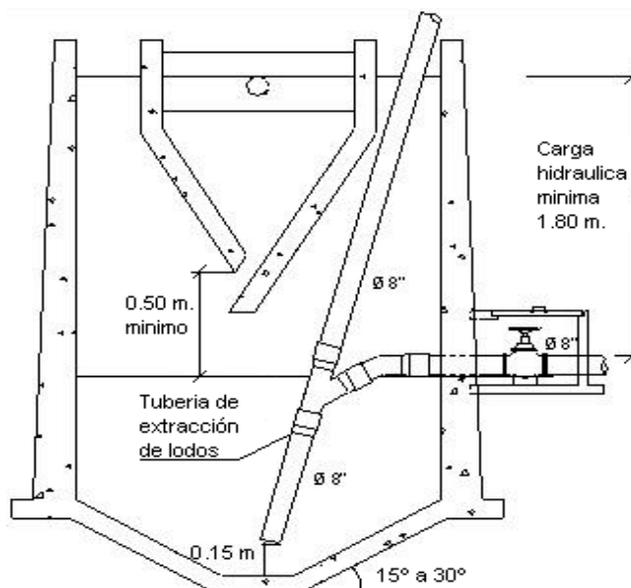
**Tabla 4.14 Factor de capacidad relativa según la temperatura**

Temperatura °C	Factor de Capacidad Relativa
5	2
10	1.4

15	1
20	0.7
>25	0.5

Fuente: Manual de tanques Sépticos e Imhoff OPS - CEPIS

**Figura 4.15** Grafico de la cámara de digestión y la tubería de extracción de lodos



Fuente: Manual de tanques Sépticos e Imhoff OPS - CEPIS

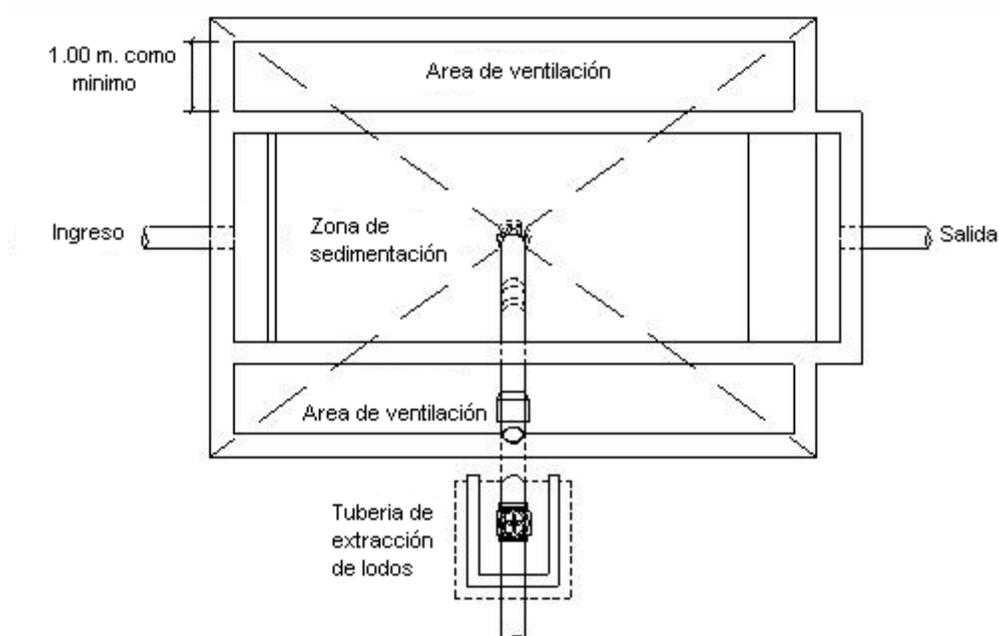
- La altura máxima de lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador; a esta distancia se le denomina profundidad libre.
- El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida para facilitar el retiro de los lodos digeridos. Las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.
- La tubería de remoción de lodos deberá estar 15 cm. por encima del fondo del tanque
- El tubo de extracción de lodos no deberá tener menos de 200 mm. de diámetro de hierro fundido a menos que el lodo se vaya a extraer por bombeo, en ese caso puede ser de 150 mm.
- Para la remoción hidráulica del lodo se requiere por lo menos una carga hidráulica de 1.80 m., sobre la tubería de extracción de lodos.

#### 4.5.1.2.3 Área de ventilación y cámara de natas

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas o natas) se seguirán los siguientes criterios:

- El espaciamiento libre será de 1.0 m como mínimo (desde la parte exterior de la cámara de sedimentación hasta la parte interior de la cámara de digestión).
- La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.
- El borde libre tendrá como mínimo 30 cm.

**Figura 4.16 Vista en planta de un tanque Imhoff**



Fuente: Manual de tanques Sépticos e Imhoff OPS - CEPIS

#### 4.5.2.2 Producción de biogás

En cuanto se refiere a la producción de biogás en los tanques Imhoff el cual es el sistema que va tratar las aguas residuales de la comunidad, y una vez realizado los análisis en laboratorio de dichas aguas se pudo observar de acuerdo a las concentraciones que presentan las mismas corresponde a una concentración de agua residual de tipo baja además que los

porcentajes de remoción son bajos, esto hace que la concentración de materia orgánica biodegradable sea baja y gran parte del biogás producido permanece disuelto en la fase líquida.

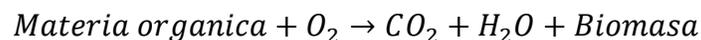
La concentración típica de metano en el biogás por tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas municipales es de (60% - % 70), el porcentaje restante está constituido por dióxido de carbono, nitrógeno en menor cantidad. La concentración de biogás puede depender del cambio de concentración de materia orgánica en el afluente.

## **4.6 Sistemas de tratamiento que realizan un proceso secundario**

### **4.6.1 Microbiología del proceso aerobio**

El papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. Las bacterias aerobias utilizan parte de la materia orgánica del agua residual, con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas. En tanto que las bacterias son los microorganismos que realmente degradan el residuo orgánico del afluente. Por otro lado del mismo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan pronto como sea posible, puesto que constituye un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos.

Porque en la reacción química se produce lo siguiente:

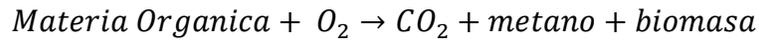


#### **4.6.1.1 Microbiología del proceso anaerobio**

En este caso la conversión de la materia orgánica se producen en tres etapas, la primera es la transformación por vía enzimática. El segundo paso se llama acidogenesis y se trata de la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa en compuestos intermedios identificable de menor peso molecular. El tercer paso se llama metanogenesis y se trata de la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples. Con el objeto de mantener un sistema de tratamiento anaerobio, el contenido del reactor deberá carecer de oxígeno disuelto y estar libre de metales pesados y sulfuros. Tener pH situados entre 6.6 y 7.6. El pH no debe descender por debajo de 6.2, puesto que este

punto marca el límite de actividad de las bacterias formadoras de metano. Es necesario disponer de suficiente cantidad de nutriente tales como fosforo y nitrógeno.

Cabe destacar que las ventajas que ofrece el proceso anaerobio pueden ser de gran utilidad, como la generación de gas metano y poca generación de lodos ya aptos para su utilización.



#### 4.6.1.2 Procesos unitarios del tratamiento secundario

Los procesos biológicos de aplicación más común son:

- Proceso de lodos activados
- Lagunas aireadas
- Filtros percoladores
- Biódiscos
- Estanques de estabilización
- Humedales

#### 4.6.2 Sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales

Se define como tratamiento biológico aquellos procesos que utilizan microorganismos para realizar la degradación biológica de la materia orgánica. La remoción de DBO, la coagulación de los sólidos coloidales y la estabilización de la materia orgánica es llevada a cabo por una gran variedad de microorganismos, especialmente bacterias.

Existen varias formas de llevar a cabo el tratamiento biológico. En la siguiente tabla se resumen los más importantes.

**Tabla 4.15 Proceso biológicos de tratamiento de aguas residuales**

Tipo de sistemas	Nombre del tratamiento
	Lagunas de Estabilización

Sistemas Biológicos No Convencionales	Humedales
	Lombrifiltración
Sistemas Biológicos Convencionales	Lagunas aireadas
	Biófiltros o filtros percoladores
	Biódiscos
	Lodos activados
	Aireación extendida
	Zanjas de oxidación
	SBR
Sistemas Biológicos Innovadores	Biórreactor de membrana (MBR)
	Película fija integrada en lodos (IFAS)
	Procesos anaeróbicos
	Biórreactor de lecho fluidizado
	Lodo activado en pozo profundo
Sistemas Biológicos de Remoción de nutrientes	Remoción biológica de fósforo
	Remoción biológica de nitrógeno

Fuente: (Metcalf & Eddy)

#### 4.6.2.1 Sistemas biológicos no convencionales

Las alternativas de tratamiento del tipo no convencional no incluyen mecanización de los sistemas, pero utilizan mayores extensiones de terreno, a continuación se describe cada uno de ellos.

##### 4.6.2.1.1 Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización facultativas son estanques de tierra de entre 1,2 y 2,4 metros de profundidad en donde se acumulan las aguas servidas por un tiempo determinado (mayor a 20 días). La materia orgánica contenida es degradada naturalmente mediante la acción de bacterias facultativas, aerobias y anaerobias.

La capa superficial de agua contiene oxígeno disuelto debido a la aireación atmosférica y la respiración algal, lo que condiciona la existencia de microorganismos aeróbicos. La capa de fondo de la laguna contiene los depósitos de sólidos, los cuales se descomponen debido a la

acción de bacterias anaeróbicas (fermentación anaeróbica). La capa intermedia es parcialmente aerobia y anaeróbica, en cual la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.

### **Aplicabilidad**

Este tratamiento es adecuado para comunidades rurales e industrias en donde los costos de terreno no son un factor limitante. Las lagunas facultativas pueden utilizarse para tratar aguas servidas crudas, filtradas o con sedimentación primaria y aguas residuales industriales biodegradables.

### **Eficiencia del tratamiento**

Las eficiencias de remoción de este tratamiento para los parámetros más importantes se muestran a continuación.

**Tabla 4.16 Eficiencias de remoción de lagunas de estabilización**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Eficiencia</b>
DBO	mg/l	75-85%
Sólidos totales	mg/l	95%
Nitrógeno	mg/l	30-50%
Fosforo	mg/l	20-60%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	60-99%

Fuente (Sperling, 1996)

### **Ventajas**

- Bajos costos relativos de construcción y operación con respecto a otros procesos
- Operación sencilla.
- La cantidad de lodo extraído será relativamente pequeño en comparación con otros procesos convencionales.
- Bajos requerimientos de energía para sistemas diseñados para operar con flujo gravitacional.

### **Desventajas**

- Requiere de terrenos relativamente grandes.
- Posible proliferación de olores y vectores sanitarios.
- Rendimientos limitados en climas fríos.
- La acumulación de lodos será mayor en climas fríos
- Existen muchas variables incontrolables que afectan al proceso, como el viento, la temperatura, entre otras.

#### **4.6.3.1 Humedales**

Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna. Los humedales construidos también se denominan humedales artificiales.

Este sistema de tratamiento es adecuado para poblaciones pequeñas con el fin de reutilizar el agua tratada en riego agrícola. Sus costos son menores a los sistemas convencionales; lodos activados, biófiltras y biódiscos (Jiménez, 2004). Los humedales construidos, son utilizados ampliamente en muchos países para el tratamiento de efluentes domésticos e industriales, ya que son de costo menor en cuanto a operación y mantenimiento se refiere.

#### **Ventajas**

- Efluente tratado puede ser utilizado para riego
- Efluente de buena calidad
- No emite olores, flexible en caso de variaciones de carga
- Es de fácil mantenimiento, operación y a su vez económico.

#### **Desventajas**

- Requiere de terrenos relativamente grandes

- Existen variables incontrolables que afectan al proceso, como el viento, la temperatura, entre otras.

#### **4.6.3.2 Sistemas de tratamiento tipo convencional**

Las alternativas de tratamiento del tipo convencional incluyen mecanización de los sistemas, pero utilizan menores extensiones de terreno.

##### **4.6.3.2.1 Lagunas aireadas**

El proceso de lagunaje aireado usa como reactor un depósito excavado en el terreno. El oxígeno necesario se suministra mediante difusores sumergidos o aireadores superficiales. Existen dos tipos de lagunas aireadas: las aerobias y las facultativas. La diferencia entre ellas es que en una laguna aerobia, la totalidad de los sólidos se mantiene en suspensión gracias a la potencia de la aireación artificial, mientras que en la facultativa, la potencia entregada sólo permite introducir oxígeno necesario para el proceso, pero no asegura que todos los sólidos se mantengan en suspensión. Esto produce la generación de algas y la decantación de parte de los sólidos en la laguna, los cuales se digieren anaeróbicamente en el fondo. El tiempo de retención hidráulico generalmente fluctúa entre 4 y 6 días.

##### **Aplicabilidad**

Una laguna aireada es adecuada para tratar aguas servidas domésticas e industriales de baja a mediana intensidad de pequeñas y medianas poblaciones. Si bien requiere de un nivel medio-alto de espacio, éste es menor al que requiere una laguna facultativa, obteniendo mejores niveles de tratamiento.

##### **Eficiencia de tratamiento**

A continuación se muestran las eficiencias alcanzadas tanto para las lagunas aireadas aerobias como para las lagunas aireadas facultativas:

**Tabla 4.17 Eficiencia lagunas aireadas aerobias**

Parámetro	Unidad	Eficiencia
-----------	--------	------------

DBO	mg/l	50-60%
Nitrógeno	mg/l	30-50%*
Fosforo	mg/l	15-25%*
Coliformes fecales	NMP/100 ml	60-96%

Fuente Solo si se diseña para remoción de nutrientes (Sperling, 1996)

Si se incluye laguna de sedimentación posterior a la laguna aireada, la remoción de DBO aumenta a 80-90% y la de sólidos suspendidos totales alcanza también bordea los 80-90%, como se ve en la siguiente tabla.

**Tabla 4.18 Eficiencia lagunas aireadas facultativas**

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	75-95%
Nitrógeno	mg/l	30-50%
Fosforo	mg/l	20-60%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	60-96%

Fuente (Sperling, 1996)

#### **Ventajas**

- Baja producción de lodos comparado con un sistema convencional
- Proceso simple y confiable
- Puede ser operada para remover nitrógeno

#### **Desventajas**

- En climas fríos se reduce la actividad biológica
- Altos requerimientos de energía a bajas condiciones de carga

#### **4.6.3.3 Biófiltros o filtros percoladores**

El filtro percolador consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se le adhieren microorganismos y a través del cual percola el agua residual. La materia orgánica presente en el agua residual se degrada aeróbicamente por la acción de la población de microorganismos adherida al medio. El medio filtrante suele estar formado por piedras o diferentes materiales plásticos de relleno. Previo al biófiltró es necesario someter el agua a tratar a un tratamiento primario.

Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se haya separado del medio. El líquido recogido pasa a un tanque de sedimentación, en el que se separan los sólidos del agua residual.

Parte del efluente es recirculado para ponerlo de nuevo en contacto con la población biológica y para diluir la concentración del agua afluente. Esta recirculación puede ser antes o después del sedimentador secundario.

### **Aplicabilidad**

Los filtros percoladores son aplicables para tratar aguas residuales domésticas e industriales. Está comprobado que los cultivos fijos a un soporte o medio son afectados en menor medida que los cultivos suspendidos ante cambios en las condiciones ambientales por lo que este sistema sería también aplicable en zonas donde la temperatura varía bastante durante el día y durante el año.

### **Eficiencia de tratamiento**

Los filtros percoladores bien operados pueden producir un efluente con bajas concentraciones de DBO y altamente nitrificado.

**Tabla 4.19 Eficiencia de remoción de biófiltró**

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	65-85%
Sólidos totales	mg/l	60-85%
Nitrógeno	mg/l	15-50%
Fosforo	mg/l	8-12%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	60-97%

Fuente (Sperling, 1996)

### Ventajas

- Capaz de alcanzar consistentemente un efluente de muy alta calidad.
- Proceso relativamente sencillo
- Estabilidad ante variaciones de la carga y concentración afluente
- Producción de un lodo concentrado, en general bien floculado y fácil de decantar
- Bajo costo y técnica de modernización confiable
- La biomasa inmovilizada tiene una vida larga, típicamente 5 años o más.
- Aplicables a instalaciones nuevas o para modernización de plantas existentes.

### Desventajas

- Desarrollo de vectores sanitarios especialmente en climas cálidos o templados
- Se requiere de clarificación primaria
- Se requiere de bombeo para alimentar al filtro percolador
- Posibilidad de generar malos olores en los clarificadores primarios, el filtro percolador y las instalaciones de manejo de lodos residuales
- Operación y mantenimiento moderados, con operador capacitado.

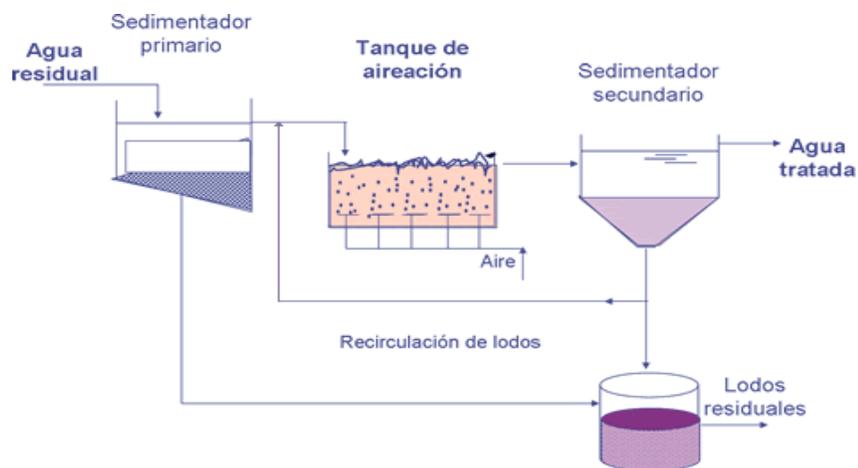
#### 4.6.3.4 Lodos activados

El sistema de lodos activados es el proceso biológico con cultivo en suspensión más común en el tratamiento de aguas servidas. Consiste en tres etapas: sedimentación primaria, tanque de aireación y sedimentación secundaria.

El tratamiento primario corresponde a sedimentación, donde básicamente se remueven sólidos suspendidos. Éstos sólidos generalmente están constituidos en gran parte por materia orgánica, lo que implica una reducción de la DBO particulada.

Posteriormente, el agua pasa a ser tratada con microorganismos en el tanque de aireación con el fin de degradar la DBO disuelta presente en el agua servida. En el tanque de aireación los microorganismos se mezclan completamente con las aguas servidas de manera que éstos puedan crecer y estabilizar la materia orgánica en un ambiente aeróbico.

**Figura 4.17 Sistema convencional de tratamiento mediante lodos activados**



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

Este proceso puede durar entre cuatro a ocho horas. La mezcla de los lodos activados y las aguas servidas en el estanque de aireación se denomina “licor mezclado”.

### Aplicabilidad

El sistema de lodos activados puede ser utilizado tanto para aguas residuales domésticas como industriales. El proceso se puede modificar dependiendo de la calidad y cantidad del agua afluente, de la necesidad de remoción, y de las condiciones de espacio y operación.

### Eficiencia de tratamiento

El efluente obtenido es de muy buena calidad si se complementa con desinfección. Las eficiencias de remoción se muestran a continuación.

**Tabla 4.20 Eficiencia de remoción lodos activados**

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	85-95%
Sólidos totales	mg/l	80-90%
Nitrógeno	mg/l	15-50%
Fosforo	mg/l	10-25%

Fuente (Metcalf & Eddy, Inc., 2003)

### Ventajas

- Efluente de buena calidad utilizando poco espacio
- Adaptable a distintos tipos de agua residual

### Desventajas

- Requiere de energía eléctrica para su operación
- Requiere operador capacitado
- Proceso susceptible a producción de bulking filamentoso

#### 4.6.3.5 Sistemas innovadores

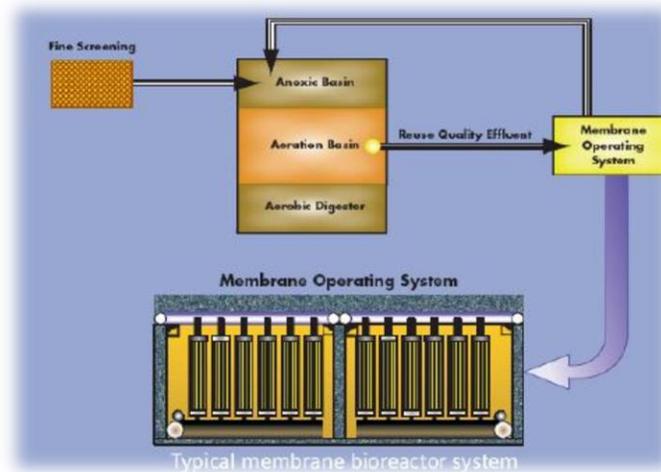
Los sistemas innovadores corresponden a tecnologías que han sido probadas a escala de demostración, que han estado disponibles e implementadas en Estados Unidos por menos cinco años o que tienen un nivel de uso inicial. De un informe de la U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) se señala una de estas tecnologías, la cual se describe a continuación (EPA-US, Emerging Technologies for Wastewater Treatment and In-Plant Wet Weather Management, 2008).

##### 4.6.3.5.1 Biórrreactor de membrana (MBR)

El sistema bióreactor de membranas (MBR) consiste en un reactor biológico, en el cual se degrada la materia orgánica, seguido de membranas que separan los sólidos mediante filtración. Estas membranas reemplazan el uso de sedimentadores secundarios, comúnmente usados en procesos convencionales.

El uso de membranas, en vez de clarificadores tiene como consecuencia un lodo activado con mayor concentración de biomasa (mayores SSLM), lo que permite el uso de biorreactores más pequeños.

**Figura 4.18 Sistema MBR con membranas sumergidas (EPA-US, Wastewater Management Fact Sheet: Membrane Bioreactors, 2008)**



Fuente: EPA – US Wastewater Management

### Aplicabilidad

La alta calidad de los efluentes producidos por el sistema MBR es interesante en zonas en donde se reutilizan las aguas tratadas o donde éstas son descargadas en superficies que requieren alta remoción de nutrientes y bacterias.

### Eficiencia del tratamiento

A continuación se presenta los porcentajes de remoción de los parámetros más importantes:

**Tabla 4.21 Eficiencia de remoción del sistema MBR**

Parámetro	Eficiencia
DBO	95-99%
Sólidos totales	95-98%
Nitrógeno	94-99%
Fosforo	95-98%
Coliformes fecales	90-99%

Fuente (EPA-US, Wastewater Management Fact Sheet: Membrane Bioreactors, 2007)

#### 4.6.3.5.4 Ventajas

- Excelente calidad del efluente
- El sistemas además de remover materia orgánica y sólidos suspendidos, remueve nutrientes y bacterias
- El espacio requerido es menor que en un tratamiento con lodos activados
- Facilidad de automatización

#### 4.6.3.5.5 Desventajas

- Las membranas tienen un alto costo de inversión y de mantención
- Altos requerimientos de energía

#### 4.6.4 Sistemas biológicos para remoción de nutrientes

Para tratar aguas residuales con alto contenido de fósforo y nitrógeno (nutrientes más comunes en aguas de desecho), los sistemas biológicos comunes no son suficientes, por lo que se deben usar sistemas que estén diseñados específicamente para la remoción de nutrientes.

El funcionamiento de estos sistemas se basa en la combinación de reactores aeróbicos, anaeróbicos y/o anóxicos para promover la nitrificación, desnitrificación y/o remoción de fósforo, con lo cual se obtiene un efluente con bajo nivel de nutrientes.

#### 4.6.5 Selección del tratamiento secundario

Una vez hecho la descripción general de las distintas alternativas que comprende el tratamiento secundario o biológico, es conveniente enfocarnos a una sola de ellas sobre la cual se desarrollara el resto de este proyecto.

El rendimiento de una planta de tratamiento es la medida del éxito del diseño, tanto si se analiza por la calidad del efluente como si se analiza en base a los porcentajes de eliminación alcanzados para los contaminantes más importantes. Existen muchos factores que pueden afectar el rendimiento de los sistemas biológicos empleados en el tratamiento de las aguas residuales.

Como ya se mencionó al inicio de este capítulo, la selección del proceso deberá sustentarse en los datos de rendimiento que muestran los diferentes procesos y del grado de contaminación que presentan las mismas, para del efecto la relación de DBO/DQO es un indicador del grado de contaminación.

Si la relación  $(\text{DBO}/\text{DQO}) \leq 0.2$  entonces hablamos de unos vertidos de agua de naturaleza industrial, poco biodegradables y se recomienda tratamientos físico – químicos.

Si la relación  $(\text{DBO}/\text{DQO}) \geq 0.5$  entonces hablamos de unos vertidos de naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables, conforme esa relación sea mayor estas aguas residuales pueden ser tratadas mediante tratamientos biológicos.

En nuestro caso las aguas residuales de la comunidad presentan una concentración DBO de 97.5 mg/lit y DQO de 211, lo cual haciendo una relación entre ambos se tiene un valor de 0.5 que corresponde a una agua tipo domestico de concentración débil por lo tanto corresponde aplicar un tratamiento biológico ya que el agua residual cumple con las condiciones para aplicar un tratamiento biológico y garantizar un buen funcionamiento.

En función de los rendimientos observados por cada uno de los procesos además del grado de contaminación que presentan las aguas residuales, la adaptación del sistema a las características propias de la zona, y para los fines que este proyecto persigue, **se optara con un proceso de humedales artificiales con sistema de flujo subsuperficial horizontal**, como proceso de tratamiento secundario o biológico y del cual se hablara a detalle a continuación.

#### **4.6.5.1 Humedales**

#### **4.6.5.1.1 Antecedentes**

Desde hace unos treinta años los sistemas de humedales construidos se han utilizado en determinadas zonas (centro y norte de Europa) para tratar las aguas residuales de pequeños municipios. En la actualidad estos sistemas se están aplicando de forma creciente en todo el mundo, para tratar aguas residuales de todo tipo. En los países de Sudamérica los humedales constituyen una alternativa francamente viable para abordar el problema del saneamiento.

La interacción del agua, suelo, plantas, microorganismos y la atmósfera producen procesos físicos, químicos y biológicos en el medio ambiente natural. Estos procesos son utilizados por los sistemas de tratamiento natural para el tratamiento de agua residual.

#### **4.6.5.1.2 Definición de humedales**

#### **4.6.5.1.3 Humedales naturales**

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas, suelen tener aguas con profundidades menores a 1 metro, con plantas emergentes como titora, carrizos, jacinto y lenteja de agua.

La vegetación presente en los humedales, proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la absorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de la luz solar.

#### **4.6.5.1.4 Humedales construidos o artificiales**

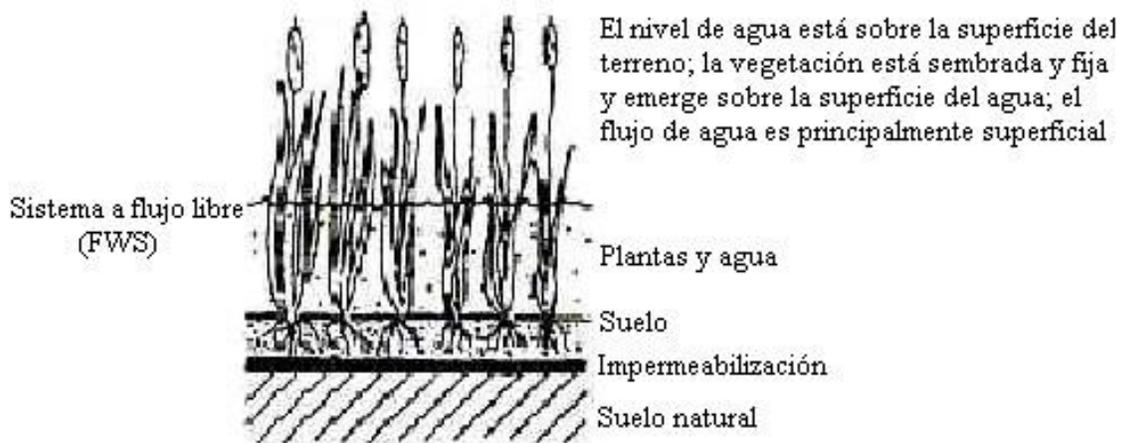
Los humedales artificiales han sido construidos por el hombre por lagunas o canales poco profundos menos de 1m de profundidad, para el tratamiento de aguas contaminadas. En estos humedales al igual que los naturales se combina una serie de procesos físicos, químicos y biológicos complejos, que hacen de ellos delicados ecosistemas. La remoción de contaminantes se da comúnmente a través de métodos de sedimentación, filtración y absorción. El grado de control que el hombre pueda realizar sobre estos procesos, es la principal diferencia entre los humedales naturales de los artificiales. Son tecnologías de tratamiento simples de operar, con baja producción de lodos residuales y sin consumo energético. No requieren de la adición de reactivos químicos y de energía para airear el agua

o recircularla. La infraestructura necesaria para su construcción es muy simple, su mantenimiento es relativamente fácil y económico.

#### 4.6.5.2 Tipos de humedales artificiales

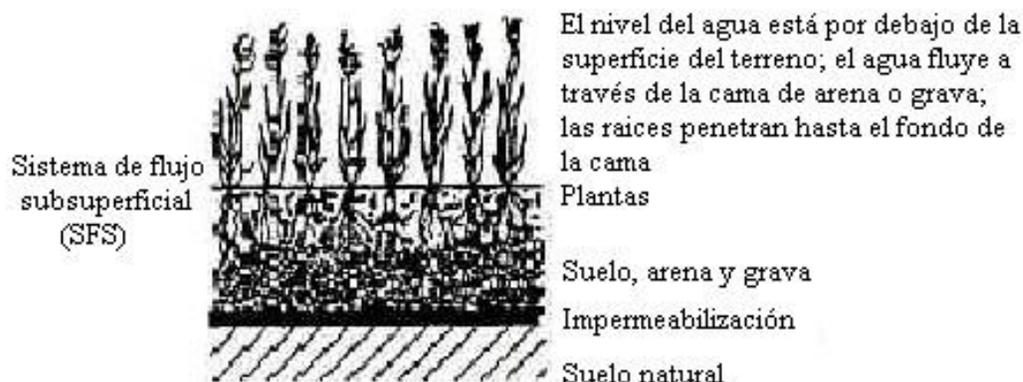
Atendiendo el tipo de circulación del agua, los humedales artificiales se clasifican en sistema de flujo libre o superficial y en sistema de flujo subsuperficial.

**Figura 4.19 Humedales construidos con flujo superficial**



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad mayor de san simón)

**Figura 4.20 Humedal con sistema de flujo subsuperficial horizontal**



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad mayor de san simón)

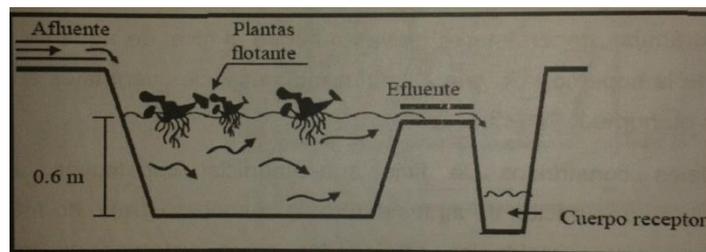
##### 4.6.5.2.1 Humedales con sistema de flujo libre o superficial

Los sistemas de flujo libre normalmente se los aplica al agua residual pre tratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora.

#### 4.6.5.2.2 Clasificación de los humedales con sistema de flujo libre

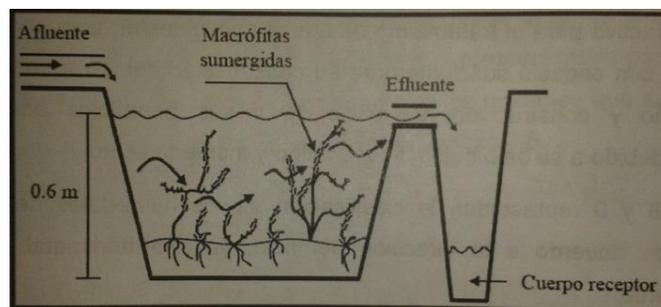
En cuanto a la clasificación de los humedales con sistema de flujo libre estos dependen en la forma que se encuentra la vegetación en el humedal como se ve a continuación:

**Figura 4.21 Esquema humedal de flujo libre con vegetación flotante**



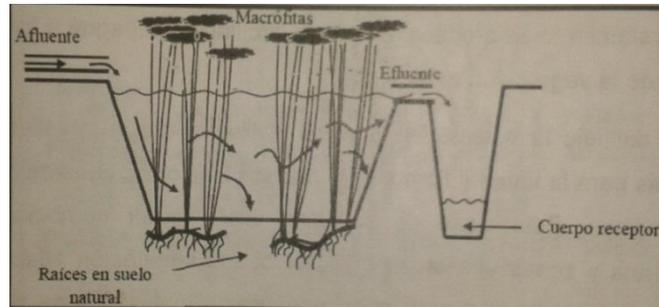
Fuente: Borrero Jaime, 1999

**Figura 4.22 Esquema humedal de flujo libre con vegetación sumergidas**



Fuente: Borrero Jaime, 1999

**Figura 4.23 Esquema humedal de flujo libre con vegetación emergente**

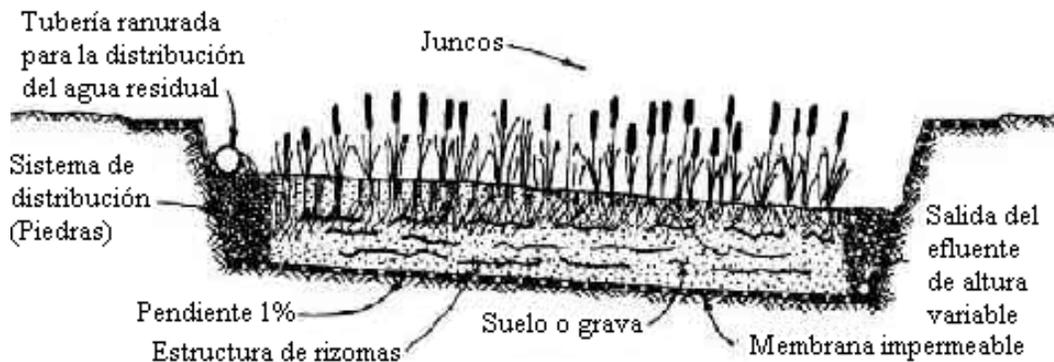


Fuente: Borrero Jaime, 1999

#### 4.6.5.3 Humedales con sistema de flujo subsuperficial

Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario avanzado y consisten en canales o zanjas excavados rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava. Las mismas especies de vegetales como ser totora jacinto de agua, se usan en los dos tipos de humedales artificiales.

**Figura: 4.24** Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficial



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad mayor de san simón)

En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua.

##### 4.6.5.3.1 Ventajas y diferencias del sistema de flujo subsuperficial

Las principales diferencias de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), el lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto tener un área menor, bajo riesgo de contacto del agua con las personas y menor aparición de insectos. Así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no se encuentra expuesto a la atmósfera, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares

#### 4.6.5.3.2 Comparación entre los sistemas de flujo libre y flujo subsuperficial

**Tabla 4.22 Comparacion entre humedal de flujo libre y subsuperficial**

CARACTERISTICAS	FLUJO SUPERFICIAL	FLUJO SUBSUPERFICIAL
TRATAMIENTO	Tratamiento de flujo secundario (aguas tratadas por otros medios ej. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etc.	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ej. Cámaras sépticas).
OPERACIÓN	Opera con bajas cargas orgánicas	Altas tasas de carga orgánica
OLOR	Puede ser controlado	No existe
INSECTOS	Control es caro	No existe
PROTECCION TERMICA	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y en el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante.
AREA	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño.
COSTO	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que pueden llegar a incrementar el costo hasta un 30%
USOS GENERALES	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para aguas residuales domiciliarias

Fuente: Andrade y Col 2010

#### 4.6.5.3.2 Eficiencia de aplicación

A continuación se presenta una tabla resumen donde se muestra los rendimientos esperados que alcanzan los humedales artificiales de flujo subsuperficial.

**Tabla 4.23 Rendimiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal**

Parámetro	Humedales artificiales de flujo subsuperficial	
	% de Depuración	
Sólidos en suspensión	(mg/l)	90-95
DBO <sub>5</sub>	(mg/l)	85-90
DQO	(mg/l)	80-90
N <sub>total</sub>	(mg/l)	60-70
P <sub>total</sub>	(mg/l)	60-70
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	( log )	2 - 3

Fuente: Manual para la implementación de sistemas de depuración (Enrique Ortega)

#### 4.6.5.3 Principales Funciones de los humedales

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, las cuales son:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

#### 4.6.5.4 Clasificación de los humedales de flujo subsuperficial

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua, y estos pueden ser horizontales o verticales.

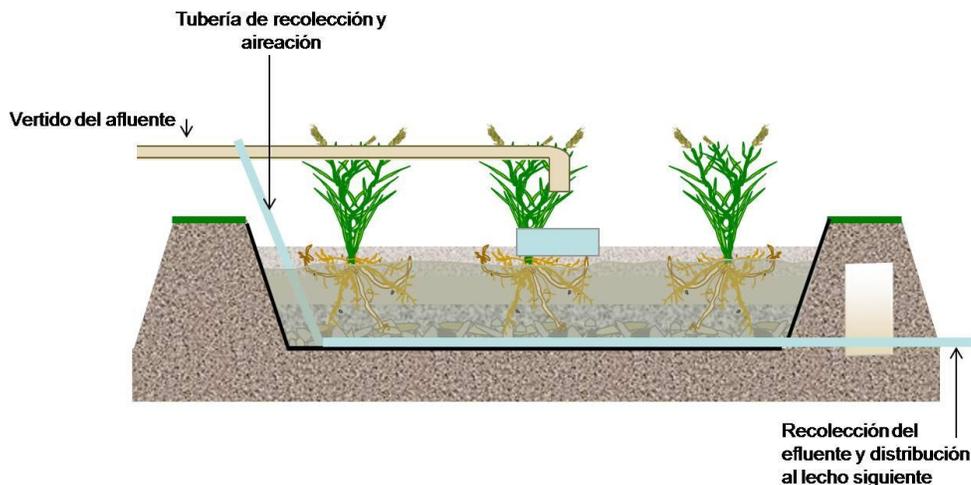
##### 4.6.5.4.1 Humedales de flujo vertical

Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno.

La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ .

Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica). Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación.

**Figura 4.25 Esquema humedal de flujo vertical**



Fuente: Texto guía UMSS (universidad Mayor de San Simón)

#### 4.6.6 Humedales de flujo horizontal

Son los sistemas más usados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel. El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra, arena o grava, plantada con microfitas acuáticas, y en la mayoría de los casos con caña bambu o carrizo, totora, juncos. Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones de suelo.

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ .

##### 4.6.6.1 Operación

El agua ingreso en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogido por una tubería de drenaje en la parte inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso. La profundidad del lecho varía entre 0.45m a 1m y trabaja con una pendiente que oscila entre (0.5 a 1) %.

#### **4.6.6.2 Componentes del humedal de flujo subsuperficial**

Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de un vaso que contiene agua residual, sustrato y vegetación generalmente se da lugar al tipo de plantas emergentes. Estos componentes pueden manipularse construyendo un humedal. Otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.

#### **4.6.6.3 Substrato**

En los humedales el sustrato está formado por el suelo, arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico.

La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5mm aproximadamente y con pocos finos. El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales son importantes por las siguientes razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato
- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes

La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

Se sabe que el medio granular es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacción física y química.

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende el caudal a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas.

De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora.

#### **4.6.6.4 Vegetación**

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de las hojas y tallos hasta el medio donde se encuentra la las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escurrentía de varias maneras entre las cuales se puede mencionar:

- Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo
- Dan lugar a velocidades de aguas bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen
- Toman el carbono y nutrientes y los incorporan a los tejidos de las plantas
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos

También se considera que las especies más utilizadas en los humedales artificiales son:

Las espadañas o juncos, entre sus características sobresalientes se destacan: la capacidad de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, se propaga fácilmente, es capaz de producir una biomasa anual grande, la penetración de las raíces en grava es relativamente pequeña (30cm) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial, crece en temperaturas entre 10 a 30 °C.

Las totoras crecen en grupos de aguas costeras y humedales. Crecen bien en agua desde 15cm hasta 3m de profundidad, la penetración de raíces en grava es 60cm. Se utilizan principalmente en humedales artificiales de flujo subsuperficial (lecho de grava/arena), ya que su tolerancia a la inundación permanente es poca cuando la capa de agua es profunda.

#### **4.6.6.5 Microorganismos**

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmosfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios, en el resto del lecho granular predominan los microorganismos anaerobios.

Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y la desinfección. Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencia de reducción y oxidación de substrato, afectando así la a la capacidad de proceso del humedal. Así mismo gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmosfera.

#### **4.6.6.6 Partes de un humedal artificial con sistema flujo subsuperficial horizontal**

Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos:

- Estructuras de entrada del afluente

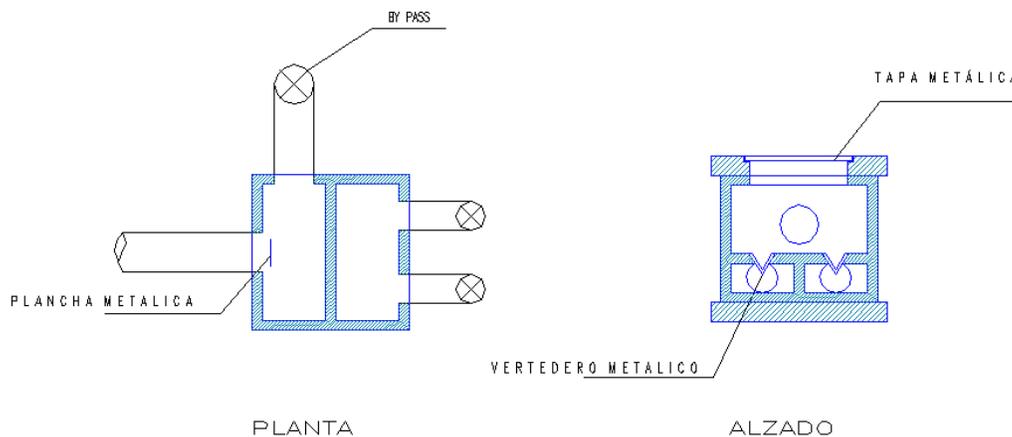
- Impermeabilización del fondo y laterales
- Medio granular
- Vegetación emergente típica de zonas húmedas
- Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua

#### 4.6.6.6.1 Estructuras de entrada y salida

Los humedales son sistemas que requieren una buena repartición y recogida de las aguas para alcanzar los rendimientos estimados, es por ello que las estructuras de entrada y salida deben estar muy bien diseñadas y construidas.

El agua residual procedente de los tratamientos previos se hace llegar hasta una arqueta donde el caudal se divide equitativamente y mediante diversas tuberías se vierte al lecho.

**Figura 4.26 Esquema de una arqueta de distribución**



**Fuente:** Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

La recogida del agua efluente se realiza con una tubería perforada asentada sobre el fondo del humedal. Esta tubería conecta con otra en forma de “L” invertida y cuya altura es regulable. Dicha estructura permite modificar el nivel de agua y a su vez drenar el humedal durante operaciones de mantenimiento.

**Figura 4.27 Zona de entrada y salida en un humedal de flujo subsuperficial horizontal**



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

#### 4.6.6.2 Impermeabilización

Es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar al sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno. En otros casos será necesario realizar aportaciones de arcilla o utilizar láminas sintéticas.

Figura 4.28 Impermeabilización de las celdas



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

#### 4.6.6.3 Medio granular

En las zonas de entrada y salida se colocan piedras que permiten diferenciar estas zonas de lo que es el medio granular principal. El conjunto medio granular/biopelícula/plantas debe ser considerado como el principal constituyente de los humedales.

En el medio granular ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos.

El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula. Diámetros medios de alrededor de 5-8 mm ofrecen muy buenos resultados.

Una característica muy importante del medio granular es su conductividad hidráulica, ya que de esta propiedad depende la cantidad de flujo de agua que puede circular a través del humedal. Durante el diseño debe tenerse en cuenta que la conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo.

**Figura 4.29 Colocación del material granular dentro de una celda**



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

#### **4.6.6.6.4 Características de la planta emergente depuradora a utilizar en el proyecto aplicado al humedal artificial**

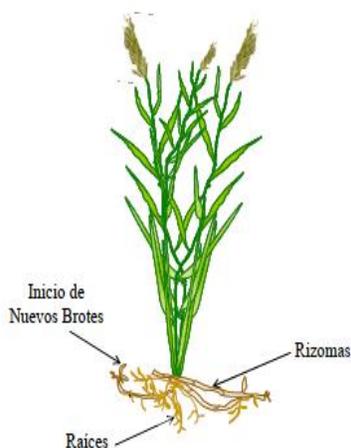
En cuanto a las especies utilizadas o más recomendadas son los macrófitos emergentes típicos de las zonas húmedas como el carrizo (*Phragmites*), la espadaña (*Typha*) o los juncos (*Scirpus*). Pero siempre que se tenga una especie propia del lugar y cumpla las características deseadas será una opción a tomar en cuenta.

Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son:

- Las raíces y rizomas proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula.
- Amortiguamiento de las variaciones ambientales.
- Las plantas asimilan nutrientes.

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los humedales es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos se degradan y se convierten en los llamados restos de vegetación, que sirven como sustrato para el crecimiento de la película microbiana fija, que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

**Figura 4.30 Esquema típico de planta emergente**



**Fuente: Tratamiento de aguas residuales (Crites Tchobanoglous)**

Siguiendo el concepto de que las plantas a utilizar en el humedal construido deben ser propias de la zona, se realizó una visita exploratoria a ciertas plantas que crecen en quebradas

adyacentes a la zona del proyecto, tanto así que se encontró a una planta emergente depuradora llamada totora, la misma que actúa como un humedal natural, permitiendo la descontaminación de las aguas que flúan a través de las mismas, de ser una planta que crece naturalmente sin necesidad de cultivo, y de escasa degradación se considera apta como opción para nuestro sistema de tratamiento, cumpliendo con toda las características necesarias, como por ejemplo son de tallo grande y es adaptable para la implantación en un lecho de grava, a continuación se describe con más detalle el tipo de planta a usar.

#### 4.6.6.6.5 Planta emergente depuradora Totora

##### 4.6.6.6.5.1 Características generales

**Tabla 4.23 Taxonomía de la totora**

<b>TIPHA DOMIGENSIS PERS ( Totora)</b>	
Reino	Vegetal
Phylum	Thelemophytae
Division	Tracheophytae
Sub division	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Monocotyledoneae
Orden	Typhales
Familia	Typhaceae
Nombre científico	Typhadomisgensis pers
Nombre comun	Totora

Fuente: Herbario Universitario U.A.J.M.S

##### 4.6.6.6.5.2 Características morfológicas

Tienen epidermis muy delgada, a fin de reducir la resistencia a los pasos de gases, agua, nutrientes y tejidos. Grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno. Esto permite la transferencia de oxígeno desde el aire y órganos fotosintéticos y desde ahí hacia las raíces.

#### **Fotografía 4.1 Totora en humedal natural**



Fuente: Elaboración propia quebrada El nueve Bermejo

#### 4.6.6.6.5.3 Rizomas

La totora tiene rizomas, que son tallos subterráneos que crecen paralelamente a la superficie del suelo. Estos presentan a un lado raíces adventicias y a las otras ramas hacia la superficie con hojas y yemas que acumulan reservas, con lo que aumentan su volumen y en épocas favorables las yemas aprovechan esas reservas para germinar.

#### 4.6.6.6.5.4 Tallos

Fotografía 4.2 Tallo de totora



Fuente: Elaboración propia quebrada El nueve Bermejo

Los tallos de la totora varían de 1m a 4m, erectos, remotos o próximos entre sí, lisos trígono o verde amarillentos cuando están secos. Presentan vainas foliares pardo oscuro, sin laminas.

Los tallos tienen paerenquemas, que son tejidos sin color con grandes espacios intercelulares llenos de aire, que facilitan la flotación y la llegada de aire a los órganos sumergidos.

#### **4.6.6.6.5.5 Inflorescencia**

La inflorescencia es descompuesta en las siguientes partes. Brácteas hasta 10cm, bractéolas hasta 5cm. Espiguillas de 3mm, ovoides, agudas, agrupadas, rojizo glanduloso. Aquenios oblongos, amarillentos o pardo oscuro, escamas irregularmente plumosas.

#### **Fotografía 4.3 inflorescencia de la totora**



Fuente: Elaboración propia quebrada El nueve Bermejo

#### **4.6.6.6.5.6 Reproducción**

En la mayoría de los casos la totora se produce vegetativamente. La producción por semillas es muy limitada debido a que generalmente no logran germinar.

La reproducción vegetativa es por desarrollo de propágulos vegetativos, ósea mediante células especializadas en propagar la planta, agrupadas en estructuras especiales (rizomas). De esta manera se producen individuos nuevos, pero adaptados al medio ambiente.

#### **4.6.6.6.5.7 Adaptación de la totora**

Son plantas de climas templados a calurosos que prosperan en posiciones soleadas, tolerando un amplio rango de pH (4 – 9). La temperatura media óptima para su desarrollo está dentro del intervalo de 16°C a 27°C. Se utilizan principalmente en humedales artificiales de flujo

subsuperficial (lecho de grava/arena) ya que su tolerancia a la inundación permanente es poca cuando la capa de agua es profunda. Prospera muy bien en medios acuáticos de profundidad somera como lagunas o zonas de inundación.

Es muy común cuando se plantea un proyecto de humedales que los promotores muestren una cierta desconfianza sobre el éxito del crecimiento de los vegetales plantados. No obstante, estas plantas si tienen agua, luz y nutrientes crecen muy rápido y dan muy buenos resultados. Hay que vigilar la luz ya que suelen ser plantas que necesitan un buen grado de insolación. Salinidades extremas también pueden afectar a su crecimiento, aunque en general son bastante tolerantes a la salinidad.

**Figura 4.31 Colocación de las plantas**



Fuente: Texto guía UMSS (Universidad Mayor de San Simón)

## **4.7 Dimensionamiento**

El dimensionamiento de humedales con sistema de flujo horizontal se realiza en dos etapas: en la primera se determina la superficie necesaria de tratamiento (dimensionamiento biológico) y en la segunda se establecen las dimensiones geométricas del sistema (dimensionamiento hidráulico), las cuales se detallan a continuación.

### **4.7.1 Parámetros dimensionamiento biológico**

Para la obtención de las ecuaciones de diseño se supone que los humedales se comportan como reactores de flujo ideal en pistón en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden. Por tanto, el balance de masa para un contaminante es simplemente:

$$\frac{dC}{dt} = -k_v C \quad (4.35)$$

Dónde:

C= La concentración del contaminante, por ejemplo en mg/L.

$k_v$ = La constante de cinética de primer orden, en días<sup>-1</sup>. El signo negativo en la expresión indica que la concentración de contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Integrando esta ecuación entre la concentración inicial de contaminante o afluente ( $C_0$ ), y (para  $t=0$ ) y la final o efluente ( $C_1$  para  $t=t$ , siendo este último el tiempo medio de retención hidráulico, en días) se obtiene:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_v t) \quad (4.36)$$

El tiempo medio de retención hidráulico es:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{\varepsilon \times S \times h}{Q} \quad (4.37)$$

Dónde:

V= El volumen del humedal, en m<sup>3</sup>.

Q= El caudal medio, en m<sup>3</sup>/d.

$\varepsilon$ = La porosidad.

S= La superficie del humedal, en m<sup>2</sup>.

h= La profundidad media del humedal, en m.

Sustituyendo  $t$  en las dos ecuaciones anteriores y definiendo una nueva constante cinética de primer orden ( $k_A$ , en m/d):

$$k_A = k_v \times \varepsilon \times h \quad (4.38)$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_A S/Q) \quad (4.39)$$

Despejando  $S$ :

$$S = \frac{Q}{k_A} \ln\left(\frac{C_0}{C_1}\right) \quad (4.40)$$

Esta es la ecuación de diseño recomendada por (García J. Aguirre) para dimensionar la superficie de humedales de flujo horizontal. Los valores de  $Q$  y  $C_0$  se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y el de  $C_1$  se define a partir de los límites de vertido o los objetivos de calidad establecidos por la normativa ambiental vigente.

El valor de  $k_A$  lógicamente variará según el contaminante. Para eliminar la DBO es adecuado un valor de 0,08 m/d (García J. Aguirre). Además, si el sistema se dimensiona para eliminar DBO, a la vez también se va a reducir la materia en suspensión de forma suficiente, ya que estos sistemas son más eficaces para eliminar la materia en suspensión que la DBO. Por otra parte, este mismo dimensionamiento va a permitir reducir el nitrógeno en un 30 a 60%. Si el sistema se diseña con una profundidad media de la lámina de agua de 0,3m.

Existe también el modelo de diseño sugerido por Sherwood C. Reed en su libro *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, considerado un método más complejo y acorde al objetivo de este diseño, tomando más variables para el diseño, se tiene la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q \times (\ln(C_o) - \ln(C_e))}{K_T \times y \times n} \quad (4.41)$$

Dónde:

$A_s$ = Área superficial del humedal

$K_T$ = Constante cinética de primer orden

$y$ = Profundidad de diseño del sistema

$n$ = Porosidad del humedal

La constante cinética de primer orden para una temperatura de 20°C es:

$$K_{20} = 1,104 d^{-1} \quad (4.42)$$

Para encontrar el valor de la constante para otra temperatura se tiene:

$$K_T = K_{20} \times (1,06)^{(T-20)} \quad (4.43)$$

Para el presente proyecto se optara por calcular el área superficial del humedal por el modelo de Sherwood C. ya que el mismo utiliza una cantidad más de variables que se deben de tomar en cuenta si o si para el diseño de la superficie del humedal.

#### 4.7.1.1 Parámetros dimensionamiento hidráulico

El dimensionamiento hidráulico sirve para determinar las dimensiones del sistema (anchura y longitud) una vez conocida la superficie. El dimensionamiento hidráulico se realiza aplicando la Ley de Darcy, que describe el régimen del flujo en un medio poroso, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = k_s \times A_s \times s \quad (4.44)$$

Dónde:

$Q$ = El caudal, en m<sup>3</sup>/d.

$K_s$ = La conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>×d.

$A_s$ = Es la sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo, en m<sup>2</sup>.

$s$  = Es el gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL), en m/m.

Como caudal se recomienda tomar el máximo diario para asegurarse de que el sistema absorberá bien las puntas de caudal. No se deben utilizar caudales puntas horarios ya que originan sistemas excesivamente anchos y poco largos.

La conductividad hidráulica varía en función de la cantidad y del tamaño de los huecos del medio granular utilizado. En la tabla de abajo se muestran órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica ( $k_s$ ) para algunos materiales granulares limpios que podrían utilizarse como sustrato en estos sistemas. La conductividad hidráulica con el paso del tiempo se va reduciendo por retención de sólidos y crecimiento del biofilm, especialmente en la zona de entrada. Es por ello que se recomienda adoptar un factor de seguridad para  $k_s$  de 5 como mínimo.

**Tabla 4.24 Órdenes de magnitud de la conductividad hidráulica ( $k_s$ ) en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un humedal construido de flujo subsuperficial**

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D10 (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica $K_s$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ×d)
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	16	35-38	1000-10000
Gravas medianas	32	36-40	10000-50000
Rocas pequeñas	128	38-45	50000-250000

Fuente: Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B. y Shutes, R.B.E. (1996).

Los valores de la pendiente ( $s$ ) se suelen utilizar variando entre el rango de 0,01 a 0,02 m/m. Es conveniente que la pendiente no sea superior a 0,02 m/m para evitar que los costos de excavación sean elevados.

Las dimensiones del humedal se determinan entonces:

$$A_s = \frac{Q_{med\ d}}{k_s \times s} \quad (4.45)$$

Dónde:

$Q_{med\ d}$  = El caudal medio diario, en m<sup>3</sup>/d.

Calculada el área de la sección transversal, y una vez fijada la profundidad (h), se determina el ancho del humedal:

$$W = \frac{A_s}{h} \quad (4.46)$$

Dónde:

W = Ancho del humedal, en m.

h = Profundidad del humedal, en m.

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema:

$$L = \frac{S}{W} \quad (4.47)$$

Dónde:

L= Longitud del humedal, en m.

Por último se debe verificar que la relación largo: ancho sea como mínimo 1:1. En caso de que no se cumpla esta condición, es decir, que el largo sea mayor que el ancho (que es lo que suele suceder en la mayoría de los casos), se debe dividir la superficie total en diferentes celdas que funcionarán en paralelo, que sí cumplan este criterio.

#### **4.7.2 Lecho de secado de lodos**

En el lecho de secado, los lodos que suelen tener alto contenido de agua, son vertidos a una superficie acondicionada, donde son expuestos al ambiente. Este procedimiento permite que con el tiempo se dé la deshidratación y pérdida de agua contenida en las partículas sólidas, formándose una capa superior dura, que inicialmente impide la evaporación de agua en las capas inferiores. Sin embargo, progresivamente, los lodos empiezan a formar grietas, facilitando el secado de las capas inferiores, hasta formar lodos secos, que facilitan su disposición final.

Es preferible contar siempre con un lecho de secado de lodos que generan los reactores anaerobios y aerobios esto con el fin de facilitar el mantenimiento y la operación del sistema.

Esta estructura, construida habitualmente de mampostería, concreto o de tierra (con diques), debe tener una profundidad útil de 30 a 50 cm, y un ancho de 3 a 6 m.

#### **4.7.2.1 Consideraciones a tomar en cuenta para el diseño**

Las dimensiones que se realizan en base a los intervalos de descarga de los lodos residuales se la efectúa tomando en cuenta el volumen de descarga y las eficiencias o tasa de producción del lecho de secado.

El dimensionamiento debe considerar también la ubicación geográfica del proyecto, la cantidad de precipitación y la tasa de evaporación entre otras. La producción de los lechos depende de las condiciones meteorológicas, temperatura y radiación. La producción de lodos secos están entre el rango de 0.10 l/hab\*día – 0.20 l/hab\*día (según Metcalf – Eddy), para lo cual un valor adecuado es de 0.15 l/hab\*día para las condiciones climáticas que se tiene en la zona.

Los lechos de secado consisten en una cama o celda descubierta con tres capas de filtros. Sobre el fondo se asienta una capa de grava de diámetro 40 a 60 mm de 20 cm de espesor. Sobre esta capa de drenaje se asienta una capa de 20 cm de arena de diámetro 0,5 a 5 mm. Sobre esta capa de arena se asienta una capa de ladrillo visto, no pegado, solo sobrepuesto. La capa total de filtros puede tener una altura entre 40 a 60 cm.

Las celdas tienen un borde libre de aproximadamente 0,50 m. El lodo debe amontonarse hasta una altura máxima de 0,30 m. Los lechos deben alimentarse a través de varios puntos. Si se alimentan los lechos por medio de un solo punto, las celdas deben tener como mínimo un ancho de 3 m y un largo de 5 m. Los filtros pueden tener anchos o largos de hasta más de 500m.

El principio de funcionamiento es el siguiente: En una primera fase, los lodos empiezan a secarse por medio de la radiación solar y la evaporación. Su eficiencia depende de las condiciones meteorológicas.

La recogida de los lodos se realiza generalmente por medios manuales. En muchas ocasiones el lodo se ensaca directamente con la finalidad de una producción de abono para su comercialización o aprovechamiento posterior en la agricultura.

## **CAPÍTULO V**

### **DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

#### **5.1 Tratamientos Preliminares**

Las normas internacionales establecen que  $Q \geq 250$  L/s debe tener remoción mecánica.

En nuestro caso:

- El gradamiento utilizara rejillas de remoción manual, ya que se cuenta con un caudal relativamente pequeño.
- La desarenación será por caja de arena tipo canal de limpieza manual de flujo horizontal, siendo dos unidades en paralelo, una queda en reserva.

### 5.1.1 Dimensionamiento del canal de rejas de limpieza manual

La velocidad de entrada varía entre 0.3 m/s (reja limpia) a 0.6 m/s (reja obstruida), el diámetro del colector final de las aguas residuales es de 10" lo que equivale a 0.25m, parámetro que se debe tomar en cuenta para definir el ancho de canal, además se debe conocer el caudal máximo horario que se calculó anteriormente.

- |   |   |
|---|---|
| • Tipo de sección                                 | Rectangular                                     |
| • Dimensiones propuestas                          | Base de la sección = 0.3 metros                 |
| • Caudal máximo horario ( $Q_{\max.\text{hor}}$ ) | Caudal máx.hor. = 0.0106 m <sup>3</sup> /seg    |
| • Caudal medio diario ( $Q_{\text{med.diar}}$ )   | Caudal med. diar. = 0.00485 m <sup>3</sup> /seg |
| • Coeficiente de rugosidad de Manning             | n= 0.013 para revestimiento de H°.              |
| • V= 0.4 m/s                                      | (velocidad de entrada adoptada)                 |

### 5.1.3 El área transversal del canal de rejas será:

- El área libre total entre las barras para la velocidad de entrada será igual a:

$$A_{LT} = \frac{Q_{max}h}{V}$$

$$A_{LT} = \frac{0.0106 \text{ m}^3/\text{s}}{0.4 \text{ m/s}}$$

$$A_{LT} = 0.0265 \text{ m}^2$$

### 5.1.4 Tirante de agua (ya)

El tirante de agua para el canal de rejas será:

$$y_a = \frac{A_{Lt}}{b}$$

Siendo (b) igual al ancho de canal asumido teniendo un valor de 0.3 m.

$$y_a = \frac{0.0265}{0.30}$$

$$y_a = 0.088 \text{ m} = 0.10 \text{ m}$$

Según el “Reglamento técnico de diseño para unidades de tratamiento no mecanizadas para aguas residuales, norma boliviana DINASBA”, recomienda utilizar un borde libre (ho) de 0.20 a 0.25 metros.

Por lo que la altura total h (m) del canal de rejilla de barras será:

$$ht = y_a + ho$$

$$ho = 0.20 \text{ m} \quad \text{borde libre asumido}$$

$$ht = 0.10 + 0.20$$

$$ht = 0.30 \text{ m}$$

#### 5.1.4 Pendiente del canal

Canal de Hormigon Ciclópeo  $n = 0.013$

$$S = \left( \frac{V * n}{Rh^{2/3}} \right)^2$$

$$S = \left( \frac{V * n}{(Am/Pm)^{2/3}} \right)^2$$

$$S = \left( \frac{0.4 * 0.013}{\left( \frac{0.30 \text{ m} * 0.08 \text{ m}}{0.30 \text{ m} + 2 * 0.08 \text{ m}} \right)^{2/3}} \right)^2$$

$$S = 0.001 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

- Numero de barras y espacios.

Siguiendo los criterios de diseño de Metcalf y Eddy, utilizando la tabla 4.4 mencionada en el capítulo IV, adoptamos una reja de ¼ pulgadas de espesor y un espaciamiento de 2.5 cm

Dónde:

$n$  = Numero de barras.

$b_c$  = Ancho del canal de entrada = 0.3 m

$s$  = espaciamento entre barra y barra = 2.5 cm

$e_b$  = espesor de barra = 0.635 cm

$n+1$  = Numero de espacios =  $N$

$$n = \frac{b_c - s}{s + e_b} + 1$$

$$n = \frac{30 \text{ cm} - 2.5 \text{ cm}}{2.5 \text{ cm} + 0.635 \text{ cm}} + 1$$

$$n = 8.77 \approx 9 \text{ barras}$$

Una vez conociendo el número de barras a utilizar se puede conocer cuántos espacios se tendrá en todo el ancho del canal.

$$N = n + 1$$

$$N = 9 + 1$$

$$N = 10 \text{ espacios}$$

### 5.1.5 Longitud de las barras

Con una inclinación de  $45^\circ$

$$L_b = \frac{y_a + BL}{\text{sen } 45^\circ}$$

Donde  $y_a = 0.10$  tirante de agua en el canal

$$L_b = \frac{0.08 + 0.20}{\text{sen } 45}$$

$$L_b = 0.39 \text{ m}$$

$$L_b = 0.4 \text{ m}$$

Para el cálculo de la pérdida de carga es necesario calcular la velocidad aguas arriba y la velocidad a través de las rejillas como se muestra a continuación:

Velocidad de acercamiento, aguas arriba.

$$V_a = \frac{Q_{max} h}{(b_c - e_b) * y_a}$$

$$V_a = \frac{0.0106 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.30 \text{ m} - 0.00635 \text{ m}) * 0.08 \text{ m}}$$

$$V_a = 0.451 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Área a través de la reja

$$A_r = y_a * (b_c - (N_b * e_b))$$

$$A_r = 0.08 \text{ m} * (0.30 \text{ m} - (9 * 0.00635 \text{ m}))$$

$$A_r = 0.018 \text{ m}^2$$

Velocidad a través de la reja

$$V_r = \frac{Q_{max} h}{A_r}$$

$$V_r = \frac{0.0106 \text{ m}^3/\text{s}}{0.018 \text{ m}^2}$$

$$V_r = 0.588 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Perdida Hidráulica.

$$h_L = \frac{1}{0.7} * \frac{V_r^2 - V_a^2}{2g}$$

$$h_L = \frac{1}{0.7} * \frac{(0.588 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - (0.451 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.010 \text{ m}$$

Perdida de carga.

La pérdida de carga según la ecuación de Kirchner se calcula de la siguiente manera:

$$h_f = \beta * \left(\frac{e_b}{s}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_a^2}{2g} * \text{sen } \varphi$$

Dónde:

$h_f$  = pérdida de carga (m)

$\beta = 1,67$  para barras rectangulares con cara semicircular aguas arriba y abajo

$e_b$  = espesor de barra (c m)

$s$  = separación entre barras (c m)

$V_a$  = Velocidad de aproximación (m/s)

$\varphi$  = Angulo de la rejilla que es igual a  $45^\circ$

$$h_f = 1.67 * \left( \frac{0.635 \text{ cm}}{2.5 \text{ cm}} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{(0.451 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} * \text{sen } 45$$

$$h_f = 0.0019 \text{ m}$$

### 5.1.2 Dimensionamiento del desarenador de flujo horizontal

Tienen por objeto extraer del agua cruda, la gravilla, arena y partículas minerales más o menos finas.

El desarenado se refiere a partículas mayores a 100 micrómetros (0.1 mm) y peso específico de 2650 kg/m<sup>3</sup>, las velocidades varían entre (0.3 - 0.4) m/seg.

- Condiciones de diseño

Velocidad horizontal ( $V_h$ ) = 0.35 m/s (velocidad optima que permite que la arena de 0.1 mm se sedimente, Metcalf – Eddy)

Longitud del desarenador ( $L$ ) = de 3 a 25 m

Base del desarenador = Base del canal de entrada = 0.3 metros

- Tirante máximo ( $y_{max}$ )

$$y_{max} = \frac{Q_{max} h}{V_h * B}$$

$$y_{max} = \frac{0.0106 \text{ m}^3/\text{s}}{0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.3 \text{ m}}$$

$$y_{max} = 0.10 \text{ m}$$

Asumo un borde libre mínimo de:

$$BL = 0.18 \text{ m}$$

- Longitud del desarenador (L)

Considerando un diámetro de arena a remover de 0,1 mm

**TABLA 5.1 DIÁMETROS DE ARENA A REMOVER**

Diámetro (mm)	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.01	0.005
Arena (cm/s)	13.94	7.17	2.28	0.67	0.17	0.008	0.002

Fuente: Imhoff

$$V_s = 0.67 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0.0067 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L = \frac{V_h}{V_s} * y_{max}$$

$$L = \frac{0.35 \text{ m/s}}{0.0067 \text{ m/s}} * 0.10 \text{ m}$$

$$L = 5.5 \text{ m}$$

La longitud debe estar entre 3 a 25 metros por lo cual cumple.

- Tiempo de retención (t)

$$t = \frac{L}{V_h}$$

$$t = \frac{5.5 \text{ m}}{0.35 \text{ m/s}}$$

$$t = 15.714 \text{ segundos}$$

El tiempo de retención debe tener un valor entre 15 a 90 segundos, por lo tanto cumple y la longitud de 5.5 metros es la dimensión correcta del desarenador.

- Relación Largo/ancho

$$\frac{L}{a} = \frac{5.5 \text{ m}}{0.3 \text{ m}} = 18.33$$

La relación entre el largo y ancho debe tener los valores entre 10 a 20, lo cual cumple.

- Canal colector de arena

$$L = 5.5 \text{ metros}$$

Asumo:

Ancho de canal de arena (b) = 0.15 m

Profundidad de canal de arena (h) = 0.15 m

✓ Volumen de canal de arena.

$$V = b * L * h$$

$$V = 0.15 \text{ m} * 5 \text{ m} * 0.15 \text{ m}$$

$$V = 0.1125 \text{ m}^3$$

✓ Volumen producido de arena.

Se estima que el volumen de arena será de 0.03 m<sup>3</sup>, por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua residual tratada.

$$Q = 923.564 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$0.03 \text{ m}^3 \text{ arena} \text{-----} 1000 \text{ m}^3 \text{ agua residual}$$

$$X \text{ (m}^3 \text{ arena)} \text{-----} 923.564 \text{ m}^3/\text{día agua residual}$$

$$V = \frac{923.564 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.03 \text{ m}^3}{1000 \text{ m}^3}$$

$$V = 0.027 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ de arena}$$

- Número de días en que se llena el canal.

$$N^{\circ} \text{ de dias} = \frac{\text{Vol. canal de arena}}{\text{Vol. produccion de arena}}$$

$$N^{\circ} \text{ de dias} = \frac{0.1125 \text{ m}^3}{0.027 \text{ m}^3}$$

$$N^{\circ} \text{ de dias} = 4 \text{ dias}$$

- Longitud de transición

Ancho de desarenador = 0.3 metros como se debe construcción 2 desarenadores en paralelo y el espesor de pared es de 0.15 metros se tiene un ancho total de 0.75 metros.

$$L_{\text{transicion}} = \frac{B - b}{2 * \tan(12^{\circ}30')}$$

$$L_{\text{transicion}} = \frac{0.75 \text{ m} - 0.3 \text{ m}}{2 * \tan(12^{\circ}30')}$$

$$L_{transicion} = 1.01 \approx 1 \text{ metro}$$

### 5.1.3 Diseño del canal Parshall

Se tiene la siguiente relación:

$$2w = b_c$$

Dónde:

w= ancho de la garganta del canal Parshall

bc= ancho del canal del desarenador

$$w = \frac{0.3 \text{ m}}{2} = 0.15 \text{ m} \approx 6 \text{ pulgadas}$$

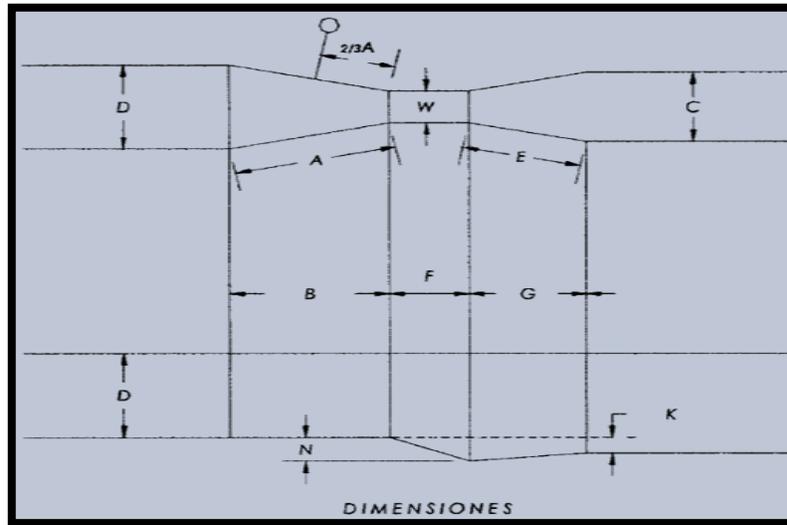
De acuerdo a la figura 4.20 mostrada en el capítulo IV, se tiene para un ancho de garganta w= 6" las siguientes dimensiones para el canal parshall.

**Tabla 5.2 Dimensiones del canal parshall**

W		A cm	B cm	C cm	D cm	E cm	F cm	G cm	K cm	N cm
6"	7.6 cm	62.1	62.1	33	40.3	45.7	30.5	61	7.6	11.4

Fuente: AZEVEDO NETTO

**Figura 5.2 Dimensiones del canal parshall**



Fuente: Azevedo netto

El caudal que circula por el canal parshall según Azevedo Netto viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q = K * (H_a)^n$$

Donde  $H_a$  corresponde al tirante de agua del desarenador y los coeficientes  $K$  y  $n$  toman los siguientes valores según la figura de debajo de acuerdo el ancho de garganta.

**Tabla 5.3 valores de coeficientes K y n**

Ancho de garganta	K	n
3 pulgadas	0.1207	1.55
6 pulgadas	0.1771	1.55

Fuente: Azevedo Netto

Entonces:

$$K = 0.1771$$

$$n = 1.55$$

$$H_a = 10 \text{ cm}$$

$$Q = 0.1771 * (10 \text{ cm})^{1.55}$$

$$Q = 6.283 \frac{L}{s}$$

### 5.3 Diseño del tanque Imhoff

Para el cálculo de las dimensiones del tanque de sedimentación primaria Imhoff, es necesario definir los datos de partida con los que se cuenta, tales como los parámetros de la calidad de agua residual que se determinó en el análisis de laboratorio, para este caso se tomarán en cuenta los valores máximos, esto con el fin de dar seguridad al proyecto. Algunas de las características para el diseño son:

- Población 2813 Habitantes
- Temperatura mes más frío 10° C
- Caudal medio diario ( $Q_{med.}$ ) Caudal final de diseño = 419.47 m<sup>3</sup>/día
- DBO<sub>5</sub> 192 mg/lt
- DQO 661 mg/lt
- Sólidos suspendidos totales (SST) 270 mg / lt

#### 5.3.1 Dimensionamiento de la cámara de sedimentación

Calculamos el área superficial necesaria. Dado el caudal de diseño de 419.47 m<sup>3</sup>/día y proponiendo un valor de carga de superficie (CS) de 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día, se calcula:

$$A = \frac{Q_{med}}{CS}$$

$$A = \frac{419.47}{24} = 14.583 \text{ m}^2$$

$$A = 15 \text{ m}^2$$

Por tanto el volumen del sedimentador para un tiempo de retención hidráulica adoptado de 2 horas de acuerdo con el Reglamento Nacional de saneamiento básico DINASBA, 1996 será:

$$V = TRH \times Q_{med}$$

$$V = 2 \times \left( \frac{419.47}{24} \right) = 29.209 \text{ m}^3$$

$$V = 30 \text{ m}^3$$

Para una relación largo/ancho  $\frac{L}{W} = 4$  de acuerdo con el Reglamento Nacional DINASBA, 1996 obtenemos las dimensiones del sedimentador:

$$A = L \times W \quad (5.1)$$

Si a la ecuación 5.1 dividimos y multiplicamos por el ancho W al mismo tiempo para obtener una ecuación de una sola variable y poder calcular el ancho de la cámara de sedimentación, quedando así la siguiente ecuación:

$$A = 4 \times W^2$$

$$W^2 = \frac{A}{4} = \frac{15}{4} \rightarrow W = 1.936 \text{ m}$$

$$W = 1.936 \text{ m}$$

Cálculo del largo de la cámara de sedimentación

$$L / W = 4$$

$$L = 4 * W$$

$$L = 7.745 \text{ m}$$

Por tanto según norma adoptaremos las dimensiones del sedimentador:

$$L = 8 \text{ m}$$

$$W = 2 \text{ m}$$

**Figura 5.3 Dimensiones cámara de sedimentación**

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de las alturas efectivas de la cámara de sedimentación

Altura de la zona inclinada

$$h_1 = \frac{W}{2} \times \text{tag}(\alpha)$$

El ángulo de inclinación debe variar entre (50-60) ° asumiendo un ángulo de inclinación de las paredes del sedimentador de  $\alpha = 60$  tenemos:

$$h_1 = \frac{1.936}{2} \times \text{tag}(60)$$

$$h_1 = 1.676 \text{ m}$$

Volumen de la zona inclinada de la cámara de sedimentación será:

$$V_1 = \frac{1}{2}(w) \times (h_1) \times (L)$$

w= ancho de la cámara de sedimentación (m)

h1= altura inclinada (m)

L= largo de la cámara de sedimentacion (m)

$$V_1 = \frac{1}{2}(1.936) \times (1.676) \times (7.745)$$

$$V_1 = 12.565 \text{ m}^3$$

Altura de la zona de entrada a la cámara de sedimentación

$$h_2 = \frac{V - V_1}{w \times L}$$

V= volumen de la cámara de sedimentación

V1= volumen de la zona inclinada

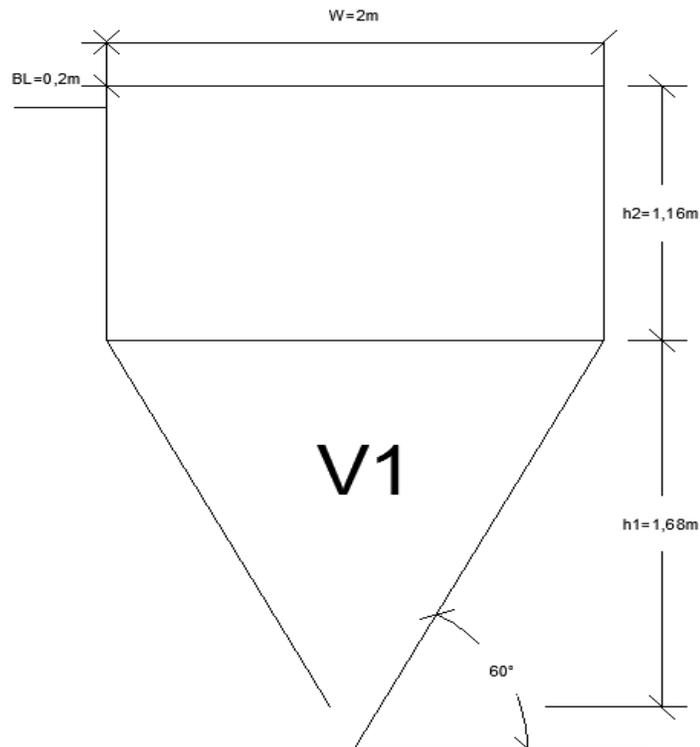
w= ancho de la cámara de sedimentación

L= largo de la cámara de sedimentación

$$h_2 = \frac{30 - 12.565}{1.936 \times 7.745}$$

$$h_2 = 1.163 \text{ m}$$

**Figura 5.4 Medidas cámara de sedimentación**



Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Dimensionamiento de la cámara digestora

El volumen de la cámara de digestión viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_{cd} = \frac{70 \times P \times f_{cr}}{1000}$$

Para una temperatura de 10 °C la cual se presenta en la zona de proyecto, el factor de capacidad relativa (fcr.) según la tabla 4.22 mostrada en el capítulo IV es igual a 1.4.

P= Población a servir en habitantes  $P = 2813$  hab.

fcr= factor de capacidad relativa, en función de la temperatura fcr= 1.4

$$V_{cd} = \frac{70 \times 2813 \times 1.4}{1000}$$

$$V_{cd} = 213.052 \text{ m}^3$$

Entonces el área total superficial será:

$$A_{total} = L \times (2 * a + w + 0.5)$$

L= largo de la cámara de sedimentación

w= ancho de la cámara de sedimentación

a= ancho cámara de ventilación, se adopta 1m por eficiencia

$$A_{total} = 7.745 \times (2 * 1 + 1.936 + 0.5) = 34.356 \text{ m}^2$$

El área de ventilación es:

$$A_v = 2 \times (a \times L)$$

a= ancho cámara de ventilación, se adopta 1m por eficiencia

L= largo de la cámara de sedimentación

$$A_v = 2 \times (1 \times 7.745)$$

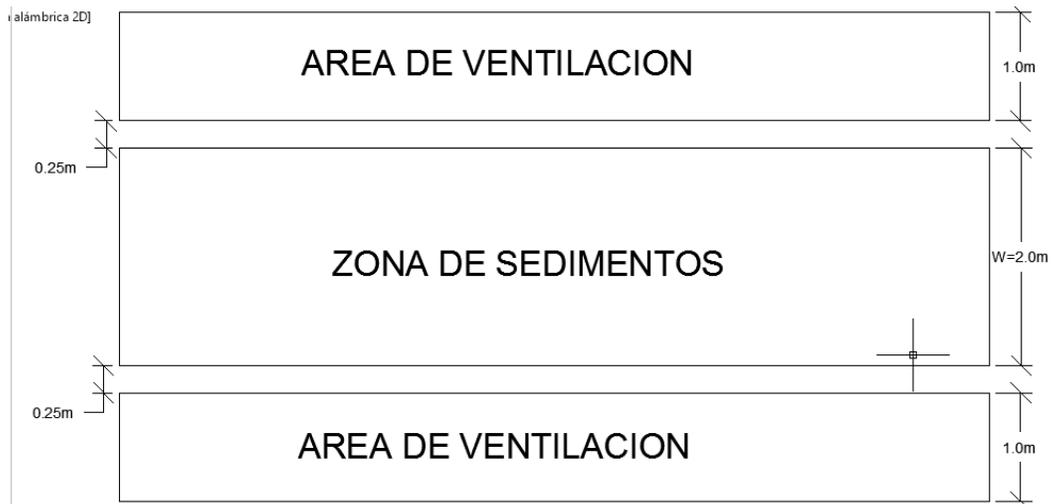
$$A_v = 15.49 \text{ m}^2$$

Verificamos si representa más del 30 % del total del área del tanque:

$$\frac{A_v}{A_{total}} \times 100 = \frac{15.49}{34.356} \times 100$$

$$45.085 \% \geq 30\% \quad \text{Cumple}$$

**Figura 5.5 Esquema área de ventilación**



Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de las alturas efectivas dentro de la cámara del digestor:

Altura de la zona inclinada

$$h_3 = \frac{w}{2} \times \text{tag}(\beta)$$

w= ancho de la cámara de sedimentación tomando en cuenta área de ventilación

$\beta$ = ángulo de inclinación que varía entre (15 - 30) ° se adoptara 30° para dicho Cálculo

$$h_3 = \frac{4.436}{2} \times \text{tag}(30)$$

$$h_3 = 1.280 \text{ m}$$

El volumen de la zona inclinada de la cámara de digestión será:

$$V_2 = \frac{1}{3} \times (2a + w) \times h_3 \times L$$

$a$  = Ancho de la cámara de ventilación adoptaremos 1m como mínimo

w= Ancho de la cámara de sedimentacion tomando en cuenta área de ventilación

L= Largo de la cámara de sedimentacion

h3= Altura de la zona inclinada

$$V_2 = \frac{1}{3} \times (2 \times 1 + 4.436) \times 1.280 \times 7.745$$

$$V_2 = 21.267 \text{ m}^3$$

Altura de la zona 1 en la cámara de digestión será:

$$h_4 = \frac{V_{cd} - V_2}{(w \times L)}$$

$V_{cd}$ = Volumen de la cámara digestora

$V_1$  = Volumen de la zona inclinada

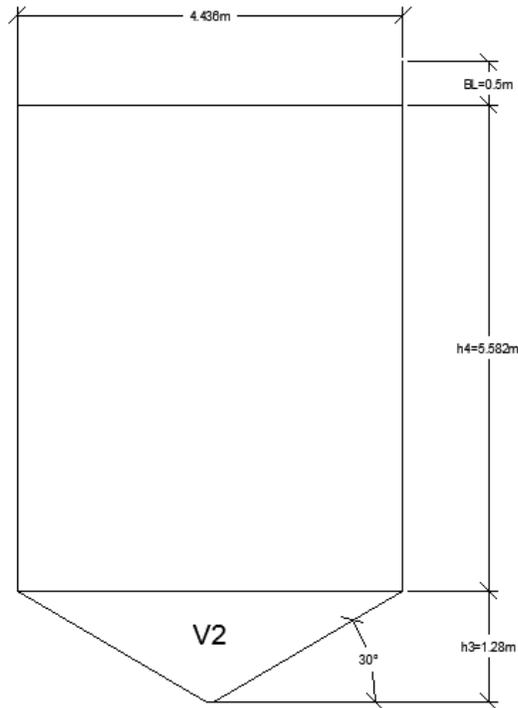
w = Ancho de la cámara de sedimentación tomando en cuenta área de ventilación

L= Largo de la cámara de sedimentación

$$h_4 = \frac{V_{cd} - V_2}{(w \times L)}$$

$$h_4 = \frac{213.052 - 21.267}{(4.436 * 7.745)} = 5.582 \text{ m}$$

**Figura 5.6 Medidas cámara de digestión**



Fuente: Elaboración propia

Altura total del tanque será:

$$Ht = h1 + h2 + h3 + h4 + BL$$

$h1, h2$ = alturas de la cámara de sedimentación

$h3, h4$ = alturas de la cámara digestora

$BL = 0.3m$  según el Manual de Diseño Tanques Sépticos, Imhoff OPS-CEPIS

$$Ht = 1.676 + 1.163 + 1.280 + 5.582 + 0.30$$

$$Ht = 10.001 \text{ m}$$

Como se puede observar el resultado de la altura total del tanque Imhoff es de 10 metros lo cual técnicamente no es factible ya que el reglamento y guía de diseño de agua y saneamiento básico para poblaciones menores a 10000 habitantes recomiendan como máximo una altura de 6 m. es así que a continuación se explicara a detalle el nuevo cálculo de las dimensiones del tanque Imhoff.

De acuerdo al Ministerio de Servicios y Obras Públicas junto con el Viceministerio de servicios Básicos PROAGUAS, recomienda que por lo menos para cada 1000 habitantes se debe tener un tanque Imhoff ya que si esto no se cumple se tendrán como resultados tanques de grande profundidad lo cual no es recomendable, ya que la misma guía técnica de diseño y saneamiento básico para poblaciones menores a 10000 habitantes recomienda como máximo una profundidad total de 6 metros.

En nuestro caso la altura total del tanque trabajando con la población total da como resultado 10m de altura como se vio anteriormente en el presente trabajo lo cual no es factible ni recomendable, es por eso que a continuación se procederá a realizar el cálculo de las nuevas dimensiones del tanque Imhoff, se ara el diseño de un solo tanque con la tercera parte de la población, esto con el fin de disminuir la profundidad del tanque y cumplir con lo que establece el reglamento de diseño y saneamiento básico para poblaciones menores a 10000 habitantes, luego el proyecto contemplara 3 tanques Imhoff colocados en serie todos con las mismas dimensiones.

Las características para el nuevo diseño son:

- Población 938 Habitantes
- Temperatura mes más frio 10° C
- Caudal medio diario ( $Q_{med.}$ ) Caudal final de diseño = 139.823  $m^3$ /día

#### **Dimensionamiento de la cámara de sedimentación**

Calculamos el área superficial necesaria. Dado el caudal de diseño de 139.823  $m^3$ /día y proponiendo un valor de carga de superficie (CS) de 24  $m^3/m^2$ \*hora, se calcula:

$$A = \frac{Q_{med}}{CS}$$

$$A = \frac{139.82}{24}$$

$$A = 5.825 \text{ m}^2$$

Por tanto el volumen del sedimentador para un tiempo de retención hidráulica adoptado de 2 horas de acuerdo con el Reglamento Nacional DINASBA, 1996 será:

$$V = TRH \times Q_{med}$$

$$V = 2 \times \left( \frac{139.82}{24} \right)$$

$$V = 11.651 \text{ m}^3$$

Para una relación largo/ancho  $\frac{L}{W} = 4$  de acuerdo con el Reglamento Nacional DINASBA, 1996 obtenemos las dimensiones del sedimentador:

$$A = L \times W \quad (5.1)$$

Si a la ecuación 5.1 dividimos y multiplicamos por el ancho W al mismo tiempo para obtener una ecuación de una sola variable y poder calcular el ancho de la cámara de sedimentación, quedando así la siguiente ecuación:

$$A = 4 \times W^2$$

$$W^2 = \frac{A}{4} = \frac{5.825}{4}$$

$$W = 1.20 \text{ m}$$

Calculo del largo de la cámara de sedimentación

$$L / W = 4$$

$$L = 4 * W$$

$$L = 4.83 \text{ m}$$

Por tanto según norma adoptaremos las dimensiones del sedimentador:

$$L = 5 \text{ m}$$

$$W = 1.20 \text{ m}$$

### Calculo de las alturas efectivas de la cámara de sedimentación

Altura de la zona inclinada

$$h_1 = \frac{W}{2} \times \text{tag}(\alpha)$$

El ángulo de inclinación debe variar entre (50-60) ° asumiendo un ángulo de inclinación de las paredes del sedimentador de  $\alpha = 50$  tenemos:

$$h_1 = \frac{1.20}{2} \times \text{tag}(50)$$

$$h_1 = 0.7 \text{ m}$$

Volumen de la zona inclinada de la cámara de sedimentación será:

$$V_1 = \frac{1}{2}(w) \times (h_1) \times (L)$$

w= ancho de la cámara de sedimentación (m)

h1= altura inclinada (m)

L= largo de la cámara de sedimentación (m)

$$V_1 = \frac{1}{2}(1.20) \times (0.70) \times (4.8)$$

$$V_1 = 2.016 \text{ m}^3$$

Altura de la zona de entrada a la cámara de sedimentación

$$h_2 = \frac{V - V_1}{w \times L}$$

V= volumen de la cámara de sedimentación

V1= volumen de la zona inclinada

w= ancho de la cámara de sedimentación

L= largo de la cámara de sedimentación

$$h_2 = \frac{11.65 - 2.016}{1.20 \times 4.83}$$

$$h_2 = 1.23 \text{ m}$$

### 5.2.2 Dimensionamiento de la cámara digestora

El volumen de la cámara de digestión viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_{cd} = \frac{70 \times P \times f_{cr}}{1000}$$

Para una temperatura de 10 °C la cual se presenta en la zona de proyecto, el factor de capacidad relativa (cfr.) según la tabla 4.18 mostrada en el capítulo IV es igual a 1.4.

P= Población a servir en habitantes  $P = 938$  hab.

fcr= factor de capacidad relativa, en función de la temperatura fcr= 1.4

$$V_{cd} = \frac{70 \times 938 \times 1.4}{1000}$$

$$V_{cd} = 91.924 \text{ m}^3$$

Entonces el área total superficial será:

$$A_{total} = L \times (2 * a + w + 0.5)$$

L= largo de la cámara de sedimentación

w= ancho de la cámara de sedimentación

a= ancho cámara de ventilación, se adopta 1m por eficiencia

$$A_{total} = 4.83 \times (2 * 1 + 1.20 + 0.5)$$

$$A_{total} = 17.871 \text{ m}^2$$

El área de ventilación es:

$$A_v = 2 \times (a \times L)$$

a= ancho cámara de ventilación, se adopta 1m por eficiencia

L= largo de la cámara de sedimentación

$$A_v = 2 \times (1 \times 4.83)$$

$$A_v = 9.66 \text{ m}^2$$

Verificamos si representa más del 30 % del total del área del tanque:

$$\frac{A_v}{A_{total}} \times 100 = \frac{9.66}{17.87} \times 100$$

$$54 \% \geq 30\% \quad \text{Cumple}$$

### Calculo de las alturas efectivas dentro de la cámara del digestor:

Altura de la zona inclinada

$$h_3 = \frac{w}{2} \times \text{tag}(\beta)$$

w= ancho de la cámara de sedimentación tomando en cuenta área de ventilación

$\beta$ = ángulo de inclinación que varía entre (15 - 30) ° se adoptara 30° para dicho calculo

$$h_3 = \frac{3.7}{2} \times \text{tag}(30)$$

$$h_3 = 1.00 \text{ m}$$

El volumen de la zona inclinada de la cámara de digestión será:

$$V_2 = \frac{1}{3} \times (2a + w) \times h_3 \times L$$

a = Ancho de la cámara de ventilación adoptaremos 1m como mínimo

w= Ancho de la cámara de sedimentacion tomando en cuenta área de ventilación

L= Largo de la cámara de sedimentacion

h3= Altura de la zona inclinada

$$V_2 = \frac{1}{3} \times (2 \times 1 + 3.7) \times 1 \times 4.83$$

$$V_2 = 9.177 \text{ m}^3$$

Altura de la zona 1 en la cámara de digestión será:

$$h_4 = \frac{V_{cd} - V_2}{(w \times L)}$$

$V_{cd}$  = Volumen de la cámara digestora

$V_1$  = Volumen de la zona inclinada

$w$  = Ancho de la cámara de sedimentación tomando en cuenta área de ventilación

$L$  = Largo de la cámara de sedimentación

$$h_4 = \frac{V_{cd} - V_2}{(w \times L)}$$

$$h_4 = \frac{91.924 - 9.177}{(3.70 * 4.83)} = 2.63 \text{ m}$$

Altura total del tanque será:

$$Ht = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + BL$$

$h_1, h_2$  = alturas de la cámara de sedimentación

$h_3, h_4$  = alturas de la cámara digestora

$BL$  = borde libre de 0.3m según el Manual de Diseño Tanques Sépticos, Imhoff OPS-CEPIS

$$Ht = 0.70 + 1.23 + 1 + 2.63 + 0.30$$

$$Ht = 5.86 \text{ m}$$

Como se puede observar el resultado de la altura total del tanque Imhoff ha disminuido prácticamente a la mitad, de 10 metros que era antes trabajando con la población total a 5 metros que corresponde a una tercera parte de toda la población, estas nuevas dimensiones ya son las correctas del tanque Imhoff, las cuales serán plasmadas en los planos en la parte de anexos, y como se dijo los 3 tanques Imhoff colocados en serie tienen las mismas

dimensiones, ya que cada uno trabajara con la tercera parte del caudal medio diario de diseño calculado anteriormente.

Calculamos la velocidad de arrastre con los siguientes datos

- Constante de cohesión  $k= 0.05$
- Peso específico  $s= 1.25$
- Aceleración de la gravedad  $g= 9.806 \text{ m/s}^2$
- Diámetro de partículas  $d= 100 \text{ um}$
- Factor de fricción de Darcy Weisbach  $f= 0.025$

$$V_A = \left( \frac{8 * k(s - 1) * g * d}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V_A = \left( \frac{8 * 0.05(1.25 - 1) * 9.806 * 10^{-6}}{0.025} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V_A = 0.0626 \text{ m/seg}$$

Esta velocidad de arrastre calculada se compara con la velocidad horizontal, la cual se obtiene al dividir el caudal entre la sección de flujo:

$$V_H = \frac{Q_{maxh}}{A} = \frac{Q_{maxh}}{W \times L \times 86400}$$

$$V_H = \frac{740.266}{2 \times 7.8 \times 86400}$$

$$V_H = 0.000549 \text{ m/s}$$

La velocidad horizontal es considerablemente menor que la velocidad de arrastre por lo tanto el material no será re - suspendido.

### 5.3.3 Remoción de DBO, DQO y SST (sólidos suspendidos totales)

Con la ecuación de la remoción de DBO, SST y las constantes empíricas descritas se pueden calcular las tasas de remoción de DBO y SST (sólidos suspendidos totales)

$$\text{Remoción de DBO} = \frac{t}{a + b * t}$$

$$\text{Remoción de DBO} = \frac{2}{0.018 + 0.020 * 2} = 34.48 \%$$

Esto quiere decir que de la total concentración de DBO registrado en laboratorio de las aguas residuales de la comunidad se removerá en el tanque Imhoff un 34.48% esto quiere decir que nos quedan por remover la siguiente cantidad de DBO:

$$\text{DBO (salida del tanque Imhoff)} = 192 \text{ mg/l} * 65.52\% = 125.798 \text{ mg/l}$$

Para el tratamiento secundario que en nuestro caso corresponde a humedales entramos con una concentración de DBO igual a 125.798 mg/l.

$$\text{Remoción de SST} = \frac{t}{a + b * t}$$

$$\text{Remoción de SST} = \frac{2}{0.0075 + (0.014 * 2)} = 56,34 \%$$

En caso de los sólidos suspendidos el tanque Imhoff ofrece una mayor eficiencia siendo este un 56.34%, vale decir que del total de solidos suspendidos registrado en laboratorio de las aguas residuales de la comunidad se removerán un 56.34%, quedando una cantidad de SST por remover:

$$\text{SST(salida del tanque Imhoff)} = 270 \text{ mg/l} * 43.66\% = 117.882 \text{ mg/l}$$

Entonces entramos al tratamiento secundario con una concentración de solidos suspendidos de 117.882 mg/l.

Para la remoción de DQO bibliografía nos indican que varía de un (20 – 30) %. Para el caso de este proyecto tomaremos el valor medio para dar seguridad al proyecto, es decir que se removerá un 25% de DQO.

$$\text{Remoción de DQO} = 661 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} * 75\% = 495.75 \text{ mg/l}$$

Vale decir que entraremos al tratamiento secundario que corresponde a humedales con una concentración de DQO = 495.75 mg/l.

A continuación se presenta una tabla resumen donde se muestra los rendimientos que se logró depurar en el tratamiento primario, es decir cuánto se bajó de la concentración inicial que presentaban las aguas residuales antes de entrar al tratamiento primario.

**Tabla 5.4 Parámetros depurados en el tratamiento primario**

Parametro	Tratamiento primario	Entrada al T.P	Salida del T.P
DBO	Tanque Imhoff	192 mg/lit	125.798 mg/lit
DQO	Tanque Imhoff	661 mg/lit	495.75 mg/lit
SST	Tanque Imhoff	270 mg/lit	117.88 mg/lit

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4 Dimensionamiento del humedal subsuperficial horizontal

Una vez dimensionados todos los elementos del tratamiento primario, se diseña los humedales de flujo subsuperficial horizontal, como ya se dijo anteriormente el diseño consta de dos partes:

##### 5.4.1 Dimensionamiento biológico

##### 5.4.1.1 Diseño del humedal aplicando el método de Sherwood

##### 5.4.1.1.1 Cálculo del área superficial

Se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover en el humedal, como se sabe los parámetros de DBO y DQO son los más contaminantes en las aguas residuales domésticas, en el presente trabajo se realizara el diseño para la remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), por tanto el área superficial corresponde a la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{Q \times \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T \times y \times n}$$

Donde

$Q$ = Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/día)

$C_o =$  Concentración de (DBO<sub>5</sub>) del afluente =  $C_o = 125.798$  mg/lit

$C_e =$  Concentración de (DBO<sub>5</sub>) del efluente

En este caso para saber el valor de concentración de (DBO<sub>5</sub>) del efluente, es necesario saber la clasificación del cuerpo receptor de agua más próximo a la zona, donde serán depositadas las aguas residuales domesticas luego de cumplir con el tratamiento y descontaminación tal como establece la ley 1333 del medio ambiente.

En este caso el curso más cercano de agua a la comunidad es el rio grande de Tarija, el cual de acuerdo a un estudio realizado por el ingeniero Ivan Medina en el programa monitoreo de la calidad de agua de los ríos del departamento de Tarija con la ayuda de las oficinas técnicas del rio Pilcomayo y Bermejo, este se encuentra en una clasificación de agua tipo D, lo cual para este tipo de curso según el reglamento de contaminación hídrica de la ley 1333 del medio ambiente, el limite permisible máximo de (DBO<sub>5</sub>) es de 30mg/lit.

$$C_e = 25 \text{ mg/lit}$$

$K_t =$  Constante de velocidad de primer orden dependiente de la temperatura  $d^{-1}$

$y =$  Profundidad de la lámina de agua (m), en humedales de flujo subsuperficial horizontal esta profundidad varía entre (0.4 a 0.6) m. Para el presente trabajo se utilizara una profundidad de agua de 0.6m.

$$y = 0.6 \text{ m}$$

$n =$  Porosidad del medio filtrante, para humedales de flujo subperficial horizontal en la tabla 4.29 del capítulo IV se presenta valores de porosidad y conductividad hidráulica de acuerdo al tipo de sustrato utilizado. En el caso para este trabajo se tomara una porosidad de 0.38 ya que el sustrato a utilizar corresponde a una grava fina.

$$n = 0.38$$

### **Cálculo de la constante de velocidad de primer orden**

Dado a que la temperatura del agua en el humedal de "T" igual a 17°. La constante de temperatura, se obtiene a partir de la siguiente ecuación, siendo su valor para T= 17°C:

$$K_t = K_{20} \times 1,06^{(T-20)}$$

Dónde:

$$K_{20} = 1,104 * d^{-1}$$

$$K_{17} = K_{20} \times 1,06^{(T-20)} = 1.104 \times 1,06^{(17-20)}$$

$$K_{17} = 0,8744 d^{-1}$$

Habiendo calculado la constante cinética de primer orden y con los parámetros ya definidos anteriormente calculamos el área superficial:

$$A_s = \frac{Q \times \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T \times y \times n}$$

$$A_s = \frac{419.47 \times \ln\left(\frac{125.76}{25}\right)}{0.87441 \times 0.6 \times 0.38}$$

$$A_s = 3399.05 m^2$$

#### 5.4.2 Dimensionamiento hidráulico

El diseño hidráulico nos sirve para determinar las dimensiones del sistema, como ser su largo y ancho una vez conocida su superficie, y disponer de acuerdo a la disposición del terreno el número de celdas para fortalecer su eficiencia.

Se determina la sección transversal del humedal aplicando la ecuación 4.45, con un valor de conductividad hidráulica de  $10000 m^3/m^2 \times d$  para el tipo de sustrato elegido, con una reducción de 5 (factor de seguridad) y una pendiente del lecho de 0,01 m/m.

$$Q_{med} = K \times I \times A$$

$$A_T = \frac{419.47 m^3/d}{\left(\frac{10000}{5} \frac{m^3}{m^2} \cdot d\right) \times 0.01 m/m} = 20.97 m^2$$

Calculada el área de la sección trasversal, y una vez fijada la profundidad, se determina el ancho aplicando la siguiente ecuación:

$$w = \frac{A_T}{y}$$

$$W = \frac{20.97 \text{ m}^2}{0.6 \text{ m}} = 34.95 \text{ m}$$

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A_s}{W}$$

$$L = \frac{3399.05 \text{ m}^2}{34.95 \text{ m}} = 97.25 \text{ m}$$

#### 5.4.2.1 Cálculo del tiempo de retención hidráulica (t)

$$t = \frac{L \times W \times y \times n}{Q}$$

$$t = \frac{98 \times 35 \times 0.6 \times 0.38}{419.47}$$

$$t = 1.86 \text{ dias}$$

$$t = 2 \text{ dias}$$

#### 5.4.2.2 Cálculo relación largo ancho

$$\frac{L}{W} = \frac{97.25}{34.95} = 2.78$$

Se verifica que la relación largo-ancho, entra dentro del rango de la norma ya que relaciones de 1:1 hasta aproximadamente 3:1 o 4:1 son aceptables, por lo tanto elegimos estos resultados por ser más representativos, de la misma manera la norma dice que se deben tener 2 o más celdas de humedales por tanto el diseño contemplara cuatro celdas dentro del área total de los humedales con las siguientes dimensiones:

Ancho de una celda dentro del humedal      W= 25 m

Largo de una celda dentro del humedal      L= 35 m

## 5.5 Dimensionamiento de la tubería de recogida del efluente

### 5.5.1 Longitud de la tubería

S= pendiente = 0.25%

$$Q_u = K \times I \times A$$

$$Q_u = \frac{50000}{5} \times \frac{0.25}{100} \times (0.6 * 1)$$

$$Q_u = 15 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Una vez sabiendo el caudal unitario, procedemos a calcular la longitud de la tubería.

$$L = \frac{Q_d}{Q_u}$$

$$L = \frac{350.516}{15} = 23.367 \text{ m} \approx 24 \text{ m}$$

### 5.5.2 Caudal por metro

$$Q_m = \frac{Q_d}{L}$$

$$Q_m = \frac{350.516 \times 1000}{24 \times 86400} = 0.169 \text{ l/s} * \text{m}$$

Como se tienen cuatro humedales la longitud de la tubería se dividirá entre el número de humedales y se obtendrá el caudal de cada tubería.

### 5.5.3 Caudal máximo en tubería

$$Q = Q_m * \frac{L}{4}$$

$$Q_{max} = 0.169 \times \frac{24}{4}$$

$$Q_{max} = 1.014 \text{ l/s}$$

#### 5.5.4 Diámetro de la tubería

$$Q = \frac{1}{n} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times \frac{\pi}{4} (D^2)$$

$$0.001014 = \frac{1}{0.009} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0.0025^{\frac{1}{2}} \times \frac{\pi}{4} (D^2)$$

Iterando se tiene el siguiente diámetro.

$$D = 6.135 \text{ cm} = 3 \text{ pulg.}$$

#### 5.5.5 Área abierta de tubería en un metro lineal

$$Qm = A \times V$$

$$A = \frac{Qm}{V \times Cc}$$

Dónde:

$V$  = Velocidad del agua, de tal manera que la misma se auto limpiante, se adoptara el siguiente valor.

$$V = 0.075 \text{ m/seg}$$

$Cc$  = Coeficiente de contracción que es igual a 0.55

$$Cc = 0.55$$

Entonces con los parámetros ya definidos, calculamos el área abierta para un metro lineal de tubería.

$$A = \frac{0.000169}{0.075 \times 0.55}$$

$$A = 0.00409 \text{ m}^2$$

#### 5.5.6 Área de perforación

$$A = \frac{\pi}{4} (D)^2$$

$D = \frac{1}{2}$  = es el diámetro con el que voy a captar el efluente dentro del humedal

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0127)^2$$

$$A = 0.000127 \text{ m}^2$$

### 5.5.7 Número de perforaciones

$$N^{\circ} \text{ perforaciones} = \frac{A_{abierta}}{A_{perforacion}}$$

$$N^{\circ} \text{ perforaciones} = \frac{0,00409}{0.000127}$$

$$N^{\circ} \text{ perforaciones} = 33 \text{ perforaciones/metro}$$

### 5.5.8 Distribución de perforaciones en la tubería

$$L = 2 \times \pi \times r$$

$$L = 2 \times \pi \times (0,0306)$$

$$L = 0.193 \text{ m}$$

### 5.5.9 Longitud ocupada por los orificios

Se realizaran cuatro perforaciones en el tubo

$$L_{orif} = 4 * \frac{D}{100}$$

D= diámetro de las perforaciones

$$L_{orif} = 4 * \frac{1.27}{100}$$

$$L_{orif} = 0.0508 \text{ m}$$

### 5.5.10 Espaciamiento a lo largo del perímetro

$$e = \frac{L_{perf} - L_{orif}}{4}$$

$$e = \frac{0.193 - 0.0508}{4}$$

$$e = 0.0355 \text{ m}$$

#### 5.5.11 Número de filas en un metro

$$N^{\circ} \text{ filas} = \frac{N^{\circ} \text{ de perforaciones}}{4}$$

$$N^{\circ} \text{ filas} = \frac{33}{4}$$

$$N^{\circ} \text{ filas} = 8 \text{ filas}$$

#### 5.5.12 Longitud total ocupada en 1 metro lineal

$$LT = 1\text{m} - N^{\circ} \text{ de filas} * \frac{\text{Diámetro de perforación}}{100}$$

$$LT = 1 - 8 \frac{1.27}{100}$$

$$LT = 0.898 \text{ m}$$

#### 5.5.13 Espaciamiento entre filas

$$E = \frac{LT}{N^{\circ} \text{ de espacios entre las filas}}$$

$$E = \frac{0.898}{7}$$

$$E = 0.128 \text{ m}$$

#### 5.5.14 Verificación del porcentaje de área abierta

La relación entre el área real de 1m y el área abierta debido a las perforaciones debe ser menor al 10%.

**Área real para 1m será:**

$$Ar = 2 \times \pi \times r \times 1m$$

$$Ar = 2 \times \pi \times 0.0306 \times 1m$$

$$Ar = 0.1922 m^2$$

**Área abierta para 1m será:**

$$Aa = N^{\circ} perforaciones \times N^{\circ} de filas \times \frac{\pi}{4} (D)^2$$

$$Aa = 4 \times 8 \times \frac{\pi}{4} (0.0127)^2$$

$$Aa = 0.00405 m^2$$

**Verificación:**

$$\frac{Aa}{Ar} \leq 10\%$$

$$\frac{0.00405}{0.1922} \leq 10\%$$

$$2.5 \% \leq 10\%$$

Cumple!!!!

## 5.6 Lecho de secados de lodos

### 5.6.1 Cálculo del volumen necesario

$$Vn = N^{\circ} habit \times Pls \times Tr$$

Dónde:

$$Pls = \text{Producción de lodos secos } Pls = 0.15 \frac{lt}{hab * dia}$$

$$Tr = \text{Tiempo de retención } Tr = 30 \text{ dias}$$

$$Vn = 2813 \times 0.15 \times 30$$

$$Vn = 12658 lt$$

$$Vn = 12.658 \text{ m}^3$$

### 5.6.1.1 Área necesaria

$$An = \frac{Vn}{Ecl}$$

$Ecl$  = Espesor de la capa de lodo, se adoptara 0.30 m

$$Ecl = 0.30 \text{ m}$$

$$An = \frac{12.658}{0.30} = 42.195$$

$$An = 43 \text{ m}^2$$

### 5.6.1.2 Cálculo del largo y ancho del lecho de secado de lodos

El largo del lecho corresponde a la siguiente expresión

$$L = \frac{An}{W}$$

$W$  = Ancho del lecho de secado, se tomara un valor de 4.5 m.

$$W = 5 \text{ m}$$

$$L = \frac{42.19}{5}$$

$$L = 8.5 \text{ m}$$

### Dimensiones finales del lecho de secado de lodos

Se recomienda emplazar como mínimo 3 celdas, todas con las siguientes dimensiones:

Borde libre de la celda: 0.5 m

Espesor de capa de lodos: 0.3 m

Capa de ladrillo: 0.10 m

Capa de arena: 0.20 m

Capa de grava: 0.20 m

Ancho del lecho de secado: 5 m

Largo del lecho de secado: 8.5 m

Diámetro de la tubería de drenaje: 4 pulgadas

### 5.7 Diseño del tanque de contacto con cloro

Los datos para dimensionar el tanque de almacenamiento son:

$$Q_{MEDIODIARIO} = 4.855 \frac{L}{seg}$$

$$Q_{MEDIODIARIO} = 419.47 \frac{m^3}{dia}$$

#### Tiempo de retención

Varia de 12 horas a 24 horas, para el presente trabajo se optara un tiempo de retención de 12 horas.

$$Tr = 12 \text{ horas} = 0.5 \text{ días}$$

$$Valmc = Qmd * Tr$$

$$Valmc = 419.47 * 0.5$$

$$Valmc = 209.735 m^3$$

#### Determinación de la altura útil

Según la norma Boliviana NB - 689 de agua potable recomienda para el diseño de tanques de contacto determinar la altura útil del tanque con la siguiente expresión:

$$H_{util} = 0.67 * \sqrt[5]{Valmc}$$

$$H_{util} = 0.67 * \sqrt[5]{209.735}$$

$$H_{util} = 1.95 \text{ m}$$

Asumiendo un borde libre de 30 cm, la altura total del tanque será:

$$H_{total} = 1.95 + 0.30$$

$$H_{total} = 2.30 \text{ m}$$

Una vez conociendo la altura del tanque podemos determinar el ancho y largo del tanque

$$B = \frac{2}{3} * L$$

Dónde:

$B$  = Ancho del tanque de almacenamiento

$L$  = Largo del tanque de almacenamiento

Sabiendo que el volumen de almacenamiento es igual a:

$$V = H * L * B$$

Reemplazando

$$V = H * L * \frac{2}{3}L$$

$$L = \sqrt[2]{\frac{3*V}{2*H}}$$

$$L = \sqrt[2]{\frac{3*209.735}{2*2.30}}$$

$$L = 11.69 \text{ m}$$

El largo del tanque será:

$$L = 12 \text{ m}$$

Ancho del tanque de almacenamiento

$$B = \frac{2}{3} * L$$

$$B = \frac{2}{3} * 12 \text{ m}$$

$$B = 7.9 \text{ m}$$

$$B = 8 \text{ m}$$

Resumiendo se tienen las siguientes dimensiones del tanque de almacenamiento:

Altura del tanque = 2.30 m

Ancho del tanque = 8 m

Largo del tanque = 12 m

Como se sabe se tiene un porcentaje de depuración para los parámetros contaminantes en los humedales artificiales, lo cual ya se mencionó en la tabla 4.32 del capítulo IV, aplicando estas eficiencias a los parámetros que entran a los humedales, a continuación se presenta una tabla resumen donde se muestra la concentración de entrada al tratamiento secundario y a la salida del mismo, lo cual ya son los límites permisibles que admite un curso de río tipo D, quedando así satisfechos, ya que se está cumpliendo con lo que establece la ley 1333 del

Parametro	Tratamiento secundario	Entrada al T.S	% de depuracion	Salida del T.S
DBO	Humedales	125.8 mg/lit	80 %	25 mg/lit
DQO	Humedales	495.75 mg/lit	90 %	49.575 mg/lit
SST	Humedales	117.88 mg/lit	90 %	12 mg/lit
Nitrogeno	Humedales	35.7 mg/lit	70 %	11 mg/lit
Fosforo	Humedales	2.53 mg/lit	70 %	0.76 mg/lit
Coliformes	Humedales	$2.3 \times 10^{11}$	3 log	$2.3 \times 10^8$ N/100 ml

medio ambiente en su reglamento en materia de la contaminación hídrica.

### **Tabla 5.5 Parámetros depurados en el tratamiento secundario**

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 5.5 solo se está incumpliendo en el parámetro de coliformes fecales, para este caso se recurrió al tratamiento por desinfección con cloro lo cual se menciona más a detalle en el capítulo VI del presente trabajo, logrando así reducir en una cantidad de  $10^4$ , quedando así un efluente final de coliformes de  $2.3 \times 10^4$  mg/lit, el cual descargara al río cumpliendo con la ley 1333 del reglamento en materia de la contaminación hídrica, quedando así resultados finales en la siguiente tabla, los cuales ya son permisibles para un cuerpo receptor de río clasificado en la clase D.

Parametro	Tratamiento terciario	Entrada desinfección	Salida desinfección	Limite permisble curso "D "
DBO	Desinfeccion	25 mg/lit	25 mg/lit	30 mg/lit
DQO	Desinfeccion	49.57 mg/lit	49.575 mg/lit	60 mg/lit
SST	Desinfeccion	12 mg/lit	12 mg/lit	100 mg/lit
Nitrogeno	Desinfeccion	11 mg/lit	11 mg/lit	12 mg/lit
Fosforo	Desinfeccion	0.76 mg/lit	0.76 mg/lit	1 mg/lit
Coliformes	Desinfeccion	$2.3 \times 10^8$	$2.3 \times 10^4$ N/100 ml	$5 \times 10^4$ N/ 100 ml

**Tabla 5.6 Parámetros finales de salida del tanque de contacto**

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO VI

## DESINFECCIÓN

### 6.1. INTRODUCCIÓN

En el agua, coexisten abundantes microorganismos, básicamente bacterias, hongos, virus y levaduras. Algunos pueden llegar a ser patógenos para los humanos. Para evitar la transmisión de las mismas utilizamos métodos de desinfección. La desinfección de un medio o de una superficie no es otra cosa que la destrucción de los microorganismos presentes mediante procedimientos físicos o químicos. El cloro y algunos de sus derivados son algunos de los agentes desinfectantes más efectivos y con más garantías de los que se han utilizado hasta ahora, el cloro elimina la mayoría de los microorganismos, incluyendo la mayoría de las bacterias, virus y hongos, tanto la construcción de los sistemas de desinfección con cloro, como los gastos de mantenimiento son relativamente bajos en comparación con otros métodos de desinfección. Cuando la desinfección del agua con cloro se realiza correctamente, un residual de cloro libre se queda en el agua, protegiéndolo de re-contaminación. El residual de cloro libre también protege las líneas de riego de obstrucciones causadas por crecimiento de algas y de limo. Otros métodos dejan el agua expuesta a una nueva infección.

En el tratamiento de aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos. Es de suma importancia que las aguas residuales sean tratadas adecuadamente antes de realizarse las actividades de desinfección para que la acción de cualquier desinfectante sea eficaz.

En la tabla (6.1) se muestran los microorganismos que más comúnmente se pueden encontrar en las aguas residuales domésticas, así como las enfermedades que producen.

**Tabla 6.1. Microorganismos comúnmente encontrados en el agua residual municipal y sus correspondientes enfermedades**

<b>ORGANISMOS</b>	<b>ENFERMEDAD CAUSADA</b>
<b>Bacterias</b>	
Escherichia coli(enterotoxigeno)	Gastroenteritis
Letospira (spp)	Leptospirosis
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea
Salmonella (2,100 serotipos)	Salmonelosis
Shigella(4 spp)	Shigellosis (disentería bacilar)
Vibrio cholerae	Cólera
<b>Protozoarios</b>	
Balantidium coli	Balantidiasis
Cryptosporidium Parvum	Cryptosporidiasis
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disentería amoebica)
Giardia Lamblia	Giardiasis
<b>Helmintos</b>	
Áscaris lumbricoides	Ascariasis
T. solium	Teniasis
Trichuris trichiura	Tricuriasis
<b>Virus</b>	
Enteroviruses(72 tipos); por ejemplo: viruses echo y coxsackie del polio	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

Fuente: EPA, 1999

## 6.2. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

La desinfección del agua puede llevarse a efecto por diferentes procesos: con agentes químicos o con medios físicos.

Cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus desventajas y se emplean uno u otro método según sean las circunstancias.

**Tabla 6.2. Métodos de desinfección**

<b>MÉTODOS QUÍMICOS</b>	<b>COMENTARIOS</b>	<b>EJEMPLOS</b>
Cloro y sus derivados	Los más empleados, tienen efecto residual	Compuestos de cloro, cloro gaseoso, dióxido de cloro
Bromo y sus derivados	Ocasionalmente se emplea	Bromo, óxido de bromo
Yodo y sus derivados	Raras veces empleado	Yodo, hipoyodato, yodatos
Peróxido de hidrógeno	Es una opción a la desinfección con cloro	Peróxido de oxígeno
Sales metálicas	Se emplea para desinfectar alimentos, raras veces para desinfección de agua.	Cobre, plata
Ácidos y álcalis	Se emplea en procesos tales como proceso cal/soda ash y en reciclado de aguas.	Cal, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico
Ozono	Después de la cloración es el método de desinfección más frecuentemente empleado	Gas ozono generado in situ
<b>MÉTODOS FÍSICOS</b>	<b>COMENTARIOS</b>	
Radiación ultravioleta	Producida por lámparas que emiten radiación con una frecuencia de 254nm.	
Calor	Sistema muy empleado en procesos de pasteurización o desinfección casera.	
Radiación gamma	Solo se emplea para esterilización de equipo, no para desinfección de aguas.	

Fuente: EPA, 1999

Haciendo un resumen comparativo de los diferentes métodos de desinfección tenemos:

**Tabla 6.3. Tabla comparativa**

Desinfectante	Microorganismos	Dosis (mg/L)	T (min)	log	Referencia
<b>Desinfectantes convencionales</b>					
Cloro	Coliformes fecales	10 a 20	15- 30	4	US EPA, 1999a
UV	Coliformes fecales	100-260 mWs/cm <sup>2</sup>	0.5	5	Liberti et al., 2000
Ozono	Coliformes fecales Residual pretratada	15 25-30	5-10 30	5 ND	Liberti y Notamicola, 1999 US EPA, 1999c
<b>Desinfectantes no convencionales</b>					
Ácido peracético	Coliformes fecales	400	20	5.2	Liberti et al.,
Peróxido de Hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Coliformes fecales	30	120	2	Liberti et al., 2000
Plata	Coliformes fecales	0.03	120	0.7	Liberti et al., 2000
Cobre	Coliformes fecales	0.25	120	NE	Liberti et al., 2000

NE: No es efectivo, log: Inactivación logarítmica, ND no se determinó.

Fuente: EPA, 1999

## 6.3 ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ACCIÓN DE LOS DESINFECTANTES

### 6.3.1 Tiempo de contacto

Es la variable más importante en el proceso de desinfección. Se ha observado que para una concentración dada de desinfectante, la mortalidad de los microorganismos aumenta cuanto mayor sea el tiempo de contacto. Esto se puede observar en forma diferencial en la ley de Chick-Watson:

$$\frac{dN}{dt} = -kCN$$

Dónde:

N= Número de organismos vivos en el instante t

C= Concentración de desinfectante, masa / volumen

t= Tiempo

k= Constante, tiempo<sup>-1</sup>

### 6.3.2 Tipo y concentración del agente químico

Se ha comprobado que la efectividad del desinfectante químico está relacionada con su concentración. El efecto de la concentración se ha formulado empíricamente con la siguiente expresión:

$$C^n t_p = \text{constante}$$

Donde:

C= Concentración de desinfectante.

n= Constante.

tp= Tiempo necesario para alcanzar un porcentaje de mortalidad constante.

Las constantes de la ecuación anterior se pueden determinar representando la concentración frente al tiempo necesario para alcanzar un porcentaje dado de mortalidad en un papel doblemente logarítmico. El producto (C x t) se conoce como “Dosis” de desinfección y, de acuerdo al supuesto anterior, la aplicación de cualquier combinación de C y t que resulte en un valor constante tendrá asociada un nivel de inactivación microbiana único. Esto se ha llamado comúnmente “Concepto C x t” en el campo de la desinfección de agua.

## 6.4. DESINFECCIÓN CON CLORO

El cloro puede ser usado como desinfectante en forma de gas comprimido bajo presión o en soluciones de agua, soluciones de hipoclorito de sodio, o de hipoclorito de calcio sólido. Las tres formas son químicamente equivalentes gracias al rápido equilibrio que existen entre el gas molecular disuelto y los productos disociados de compuestos de hipoclorito.

### 6.4.1 Aplicabilidad

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos a ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida. Algunas de las alternativas de desinfección incluyen la ozonización y la desinfección con radiación

Ultravioleta (UV). La selección de un desinfectante adecuado para una instalación de tratamiento depende de los siguientes criterios:

- La capacidad de penetrar y destruir los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación.
- La facilidad y seguridad en el manejo, el almacenamiento y el transporte.
- La ausencia de residuos tóxicos y de compuestos mutagénicos o carcinógenos.
- Costos razonables de inversión de capital y de operación y mantenimiento (O/M).

#### **6.4.2 Ventajas**

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación UV o la desinfección con ozono (excepto cuando la descloración y el cumplimiento con requisitos de la prevención de incendios son requeridos).
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad.
- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- La cloración permite un control flexible de la dosificación.

#### **6.4.3 Desventajas**

- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente.

## 6.5. REACCIONES DEL CLORO EN AGUA

$$\frac{N}{N_0} = (1 + 0,23xCx t)^{-3}$$

Dónde:

N: Concentración de microorganismos. (200 NMP/100ml)

No: Concentración inicial de microorganismos ( $2.3 \times 10^8$ )

C: Dosis del desinfectante, en mg/l

t: Tiempo de contacto, en min. (Se adoptara 30 min)

$$\frac{N}{N_0} = (1 + 0,23xCx 30)^{-3}$$

$$\frac{200}{2.3 \times 10^8} = (1 + 0,23xCx 30)^{-3}$$

**Iterando se tiene la siguiente dosis del desinfectante**

$$C = 15.255 \frac{mg}{lt}$$

En conclusión, dejaremos un tiempo de contacto de **30 minutos**, y una concentración total de cloro de **15.3 mg/l**, ya que los criterios de diseño aconsejan una dosis mayor a 10 mg/lt con un tiempo de contacto de 15 a 30 minutos para garantizar una reducción de  $10^4$  de Coliformes fecales, la cual inactiva perfectamente el 99% de los coliformes y de la Giardia Lamblia.

Por lo tanto la cantidad de cloro es la siguiente:

$$\text{Cantidad de cloro} = C \times Valmc$$

$$\text{Cantidad de cloro} = 15.255 \frac{mg}{lt} \times 175258 \text{ lt}$$

$$\text{Cantidad de cloro} = 2.67 \text{ Kg} = 3 \text{ Kg}$$

Se necesita 3 Kg de hipoclorito de calcio cada 12 horas, con un tiempo de contacto de 30 minutos para realizar una desinfección del agua almacenada, todo este proceso se llevara a cabo en el tanque de almacenamiento, que es el último sistema de tratamiento posterior a los humedales, esto realiza con el fin de dejar el agua apta para descargar al río

## CAPÍTULO VII

### ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

#### 7.1 Introducción

La evaluación del impacto ambiental, concebida como un instrumento de política ambiental, analítico y de alcance preventivo, permite integrar al ambiente un proyecto o una actividad determinada; en esta concepción el procedimiento ofrece un conjunto de ventajas al ambiente y al proyecto, invariablemente, esas ventajas solo son apreciables después de largos periodos de tiempo y se concretan en economías en las inversiones y en los costos de las obras, en diseños más perfeccionados e integrados al ambiente y en una mayor aceptación social de las iniciativas de inversión.

A nivel mundial los primeros intentos por evaluar el impacto ambiental surgen en 1970, particularmente en los Estados Unidos. En Bolivia, este instrumento se aplica desde hace unos 20 años y durante este tiempo el procedimiento ha permanecido vigente como el principal instrumento preventivo para la gestión de proyectos o actividades productivas.

Si bien muchas cosas han cambiado y junto con ellas las ideas y los conceptos vinculados a este instrumento, la mayoría de sus bases siguen siendo válidas. Así, en el contexto internacional, hay numerosas aportaciones cuantitativas que enriquecen la visión tradicional que ha tenido el procedimiento de evaluación del impacto ambiental (E.I.A.).

#### 7.2 Conceptos básicos

La evaluación del impacto ambiental es un procedimiento de carácter preventivo, orientado a informar al promotor de un proyecto o de una actividad productiva, acerca de los efectos al ambiente que pueden generarse con su construcción. Es un elemento correctivo de los procesos de planificación y tiene como finalidad medular atenuar los efectos negativos del proyecto sobre el ambiente.

El estudio se ciñe a la recopilación de información y a la consulta a fuente autorizadas, para obtener evidencias de la capacidad de generación de alteraciones por parte del proyecto y, de igual manera, conocer cuál es la capacidad de carga del ambiente del área donde se ubicara

el proyecto. Con lo anterior, el estudio debe permitir establecer propuestas de acciones de protección al ambiente y de corrección o mitigación de las alteraciones que pudieran producirse.

Con el proceso de evaluación de impacto ambiental integrado a la etapa de planeación de un proyecto de construcción se busca garantizar, de la mejor manera posible, el equilibrio del medio ambiente y la preservación de la salud y bienestar del hombre antes, durante y después de la construcción y puesta en marcha del proyecto en cuestión.

### **7.3 Etapas del proceso**

La elaboración de un estudio de impacto ambiental, en términos generales se constituye por un conjunto de etapas y tareas a cumplir, que genéricamente, se concretan en los siguientes rubros:

*1. Descripción del proyecto o actividad a realizar:* En esta etapa se analiza y se describe al proyecto o a la actividad, destacando, desde el enfoque ambiental, sus principales atributos y sus debilidades más evidentes.

*2.- Desglose del proyecto o actividad en sus partes elementales:* Esta tarea debe realizarse de manera uniforme y sistemática para cada una de las cuatro fases convencionalmente aceptadas: preparación del sitio, construcción, operación y abandono del proyecto. Deberá hacerse una prospección de las actividades relacionadas al proyecto y de aquellas otras que serán inducidas por él, siempre con el objetivo de identificar los impactos al ambiente.

*3.- Descripción del estado que caracteriza al ambiente, previo al establecimiento del proyecto:* Descripción del medio físico en sus elementos bióticos y abióticos, en un ámbito extenso y sustentado tanto en evidencias reportadas en la literatura especializada como en observaciones directas en campo. En esta etapa se incluye el estudio, medio social y económico de la zona donde se establecerá el proyecto o donde se desarrollara la actividad.

*4.- Elementos más significativos del ambiente:* Este apartado resume la información que permite determinar el significado que tienen los elementos más relevantes del ambiente, previamente analizados, para su conservación. Habrán de definirse y aplicarse los criterios acordes a la magnitud de la importancia del ambiente, tales como diversidad, rareza,

perturbación o singularidad, la valoración que se haga de cada rubro deberá tener un enfoque integral.

5.- *Ámbito de aplicación del estudio de impacto ambiental:* El ámbito de aplicación del estudio definirá el alcance que tendrá éste, para cada uno de los elementos anteriormente descritos. Su incidencia o no con áreas naturales protegidas o con planes parciales de desarrollo urbano o del territorio, así como el cumplimiento de normas oficiales bolivianas vigentes.

6.- *Identificación de los impactos:* Con esta etapa, el estudio alcanza una de sus fases más importantes, se trata de definir las repercusiones que tendrá el proyecto o la actividad a realizar sobre el ambiente descrito y sobre sus elementos más significativos. Cada impacto deberá ser valorado sobre una base lógica, medible y fácilmente identificable. Posteriormente, el análisis debe llegar a una sinergia que permita identificar, valorar y medir el efecto acumulativo del total de los impactos identificados.

7.- *Alternativas:* Si fuese el caso de que hubiese dos o más alternativas para el proyecto o para la actividad, estas serán analizadas, valoradas sobre la base de su significado ambiental y seleccionada la que mejor se ajuste tanto a las necesidades del mantenimiento del equilibrio ambiental, como a los objetivos, características y necesidades del proyecto.

8.- *Identificación de medidas de mitigación:* La importancia de esta etapa debe ser evidenciada en el reporte final con la propuesta de medidas lógicas y viables en su aplicación.

9.- *Valoración de impactos residuales:* Se aplica este concepto a la identificación de aquellas situaciones, negativas para el ambiente, que pueden derivar de una falta de previsión o de intervención del hombre y que pudieran derivar de la puesta en operación del proyecto.

10.- *Plan de vigilancia y control:* En esta etapa el estudio deberá definir los impactos que serán considerados en el plan de seguimiento y control; determinar los parámetros a evaluar, los indicadores que habrán de demostrar la eficiencia del plan, la frecuencia de las actividades, los sitios y las características del muestreo.

#### **7.4 Métodos simples de identificación de impacto**

Como ya se mencionó un estudio de impacto necesita realizar varias tareas, entre las que se incluye la identificación de impactos, la descripción del medio afectado, la predicción y estimación de impactos, la selección de la alternativa de la propuesta de entre las opciones que se hayan valorado para cubrir las demandas establecidas y el resumen y presentación de la información. Los objetivos de estas tareas son distintos, como lo son las metodologías necesarias para complementar dichas tareas. El término “metodología” se refiere al planteamiento estructurado de cómo llevar a cabo una o varias de esas actividades básicas.

#### **7.4.1 Información de partida**

Para identificar los impactos ambientales producidos por una actividad o proyecto de construcción se pueden emplear las matrices de causa-efecto, (también conocidas como matrices de Leopold); o bien algunas listas de control. Las características deseables en el método de E.I.A. que finalmente se adopte para la elaboración de un estudio de impacto ambiental comprenden los siguientes aspectos:

- Debe ser adecuado a las tareas que hay que realizar como la identificación de impactos o la comparación de opciones.
- Deben ser lo suficientemente independientes de los puntos de vista personales del evaluador y sus sesgos (los resultados deben poder reproducirse independientemente del grupo de evaluadores que los obtenga).
- Debe ser económico en términos de costos y requerimientos de datos, tiempo de investigación, personal, equipo e instalaciones.

#### **7.4.2 Metodologías de matrices interactivas**

Las matrices de causa-efecto fueron las primeras metodologías de E.I.A que surgieron. Una “matriz interactiva simple” muestra las acciones del proyecto en forma de *columnas* y los factores ambientales pertinentes en forma de *reglones*. Cuando se espera que una acción determinada provoque un cambio en un factor ambiental, este se coloca en el punto de intersección de la matriz y se describe además en términos de consideraciones de magnitud e importancia. Se han utilizado muchas variaciones de esta matriz interactiva en los estudios de impacto, incluyendo entre ellos las matrices por etapas.

#### **7.4.2.1 Desarrollo de una matriz simple**

Se considera mejor desarrollar una matriz específica para el proyecto, plan, programa o política que se esté analizando, que utilizar una matriz genérica. Los pasos siguientes deben seguirse cuando quieran elaborar una matriz de interacción simple:

- 1.- Enumerar todas las acciones del proyecto previsto y agruparlas de acuerdo a su fase temporal, como por ejemplo: construcción, explotación y abandono.
- 2.- Enumerar todos los factores ambientales pertinentes del entorno y agruparlos:
  - a) De acuerdo a categorías física-química, biológica, cultural, socioeconómica, y
  - b) Según consideraciones espaciales tales como emplazamiento y región.
- 3.- Discutir la matriz preliminar con los miembros del equipo y/o asesores del equipo o del coordinador del estudio.
- 4.- Decidir el sistema de puntuación del impacto (por ejemplo, números, letras o colores) que se va a utilizar.
- 5.- Recorrer la matriz todo el equipo conjuntamente y establecer puntuaciones y notas que identifiquen y resuman los impactos (documentando esta tarea).

#### **7.4.3 Métodos de listas de control**

Los métodos de listas de control varían desde los listados de factores ambientales hasta los sistemas muy elaborados que incluyen la ponderación de importancias por cada factor ambiental y la aplicación de técnicas de escalas para los impactos de cada alternativa en cada factor. Las “listas de control simples” son listas de los factores ambientales que deben ser estudiados; sin embargo, no proporcionan información sobre los datos específicos que se requieren, los métodos de estimación y la evaluación de impactos.

#### **7.5 Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales**

Una vez que hemos descrito algunas metodologías para analizar e identificar los posibles impactos que se pueden generar de un proyecto, es necesario llevarlas a nuestro caso particular, para esto seguiremos las siguientes etapas, que son:

- Identificación de impactos mediante lista de control
- Descripción general de impactos y asignación de pesos específicos según actividades básicas.
- Matrices de identificación y evaluación de impactos
- Análisis de resultados
- Medidas preventivas y de mitigación.
- Conclusiones

#### **7.5.1 Identificación de impactos mediante lista de control**

Para la identificación de impactos nos basaremos en la lista de control desarrollada por el Servicio de Investigación Cooperativa del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Esta lista de control extensa, puede utilizarse para planificar un estudio de impacto ambiental o para resumirlo.

**Tabla 7.1 Lista de control para evaluación de impactos**

TEMA	SI	PUEDE SER	NO	COMENTARIOS
<b>Formas del terreno ¿Producirá el proyecto:</b>				
Pendientes o terraplenes inestables?			x	
Una implica destrucción del emplazamiento del suelo?			x	
Un impacto sobre terrenos agrarios clasificados como de primera calidad o únicos?		x		
Cambios en las formas del terreno, orillas, cauces de cursos o riberas?	x			Propios de la implementación del proyecto
Destrucción, ocupación o modificación de rasgos físicos singulares?			x	
Efectos que impidan determinados usos del emplazamiento a largo plazo?			x	
<b>Aire/Climatología ¿Producirá el proyecto:</b>				
Emisiones de contaminantes aéreos que excedan los estándares estatales o provoquen deterioro de la calidad del aire ambiental?			x	
Olores desagradables?		x		Se deberá tener un control específico de la emisión de olores
Alteración de movimientos del aire, humedad o temperatura?			x	
Emisiones de contaminantes aéreos peligrosos regulados por la ley de aire limpio?			x	
<b>Agua. ¿Producirá el proyecto:</b>				
Vertidos a un sistema público de aguas?	x			Correspondiente al agua tratada

TEMA	SI	PUEDE SER	NO	COMENTARIOS
Cambios en las corrientes o movimiento de masa de agua dulce o marina?			x	
Cambios en los índices de absorción, pautas de drenaje o el índice o cantidades de agua de escorrentía?			x	
Alteraciones en el curso o en los caudales de avenidas?	x			Propios de la canalización del agua a tratar
Represas, control o modificaciones de algún cuerpo de agua igual o mayor a 4 ha de superficie?			x	
Vertidos en aguas superficiales o alteraciones de la calidad de agua considerando, pero no solo, la temperatura y la turbidez?	x			Agua que fue tratada
Alteraciones de la dirección o volumen del flujo de aguas subterráneas?			x	
Alteraciones de la calidad del agua subterránea?			x	
Contaminación de las reservas públicas del agua?			x	
Infracción de los estándares estatales de calidad de Cursos de agua?			x	
Instalándose en un área inundable fluvial?			x	
Riesgo de exposición de personas o bienes a peligros asociados al agua tales como inundaciones?			x	

TEMA	SI	PUEDE SER	NO	COMENTARIOS
Instalaciones en una zona litoral estatal sometida al cumplimiento de un Plan en Gestión de Zonas Costeras del Estado?			x	
Impacto sobre o construcción en un humedal o llanura de inundación interior?			x	
<b>Residuos sólidos ¿Producirá el proyecto:</b>				
Residuos sólidos o basuras en volumen significativo?	x			Considerando los lodos de desecho
<b>Ruido ¿Producirá el proyecto:</b>				
Aumento de los niveles sonoros previos?	x			Considerando los niveles actuales en la zona
Mayor exposición de la gente a ruidos elevados?			x	
<b>Vida vegetal ¿Producirá el proyecto:</b>				
Cambios en la diversidad o productividad o en número de alguna especie de plantas (incluyendo árboles, arbustos, herbáceas, cultivos, microflora y plantas acuáticas)?			x	
Reducción del número de individuos o afectara el hábitat de alguna especie vegetal considerada como única, en peligro o rara por algún nivel del estado?			x	
Introducción de especies nuevas dentro de la zona o creara una barrera para el normal desarrollo pleno de las especies existentes?			x	
Reducción o daño en la extensión de algún cultivo agrícola?			x	

TEMA	SI	PUEDE SER	NO	COMENTARIOS
<b>Vida animal ¿El proyecto:</b>				
Reducirá el hábitat o número de individuos de alguna especie animal considerada como única, rara o en peligro por el Estado?			x	
Introducirá nuevas especies animales en el área o creará una barrera a las migraciones o movimientos de los animales terrestres o de los peces?	x			
Provocará la atracción o la invasión, o atrapará la vida animal?			X	
Dañará los actuales hábitat naturales y de peces?		X		
Provocará la emigración generando problemas los humanos y los animales?			X	
<b>Usos de Suelo ¿El proyecto:</b>				
Alterará sustancialmente los usos actuales o previstos del área?			x	
Provocará un impacto sobre un elemento de los sistemas de parques nacionales, refugios nacionales de la vida salvaje, ríos paisajísticos y bosques Nacionales?			x	
<b>Recursos naturales ¿El proyecto:</b>				
Alterará la intensidad del uso de algún recurso natural?			x	
Destruirá sustancialmente algún recurso río reutilizable?			x	

TEMA	SI	PUEDE SER	NO	COMENTARIOS
Se situara en un área designada como o que está considerada como reserva natural rio paisajístico y natural parque nacional			x	
Energía ¿El proyecto:				
Utilizará cantidades considerables de combustible o energía?		x		Considerando que en la zona el consumo de energía es bajo
Aumentará considerablemente la demanda de las fuentes actuales de energía?			x	
Transporte y flujo de tráfico ¿Producirá el proyecto:				
Un movimiento adicional de vehículos?		x		
Efectos sobre las instalaciones actuales de aparcamiento o necesitara nuevos aparcamientos?			x	
Un impacto considerable sobre los sistemas actuales de transporte?			x	
Alteraciones sobre las pautas actuales de circulación y movimiento de gente y/o bienes?			x	
Un aumento de los riesgos del tráfico para motorizados, bicicletas y peatones?			x	
Construcciones de nuevas carreteras?			x	
Servicio público ¿Tendrá el proyecto un efecto sobre, o producirá, la demanda de servicios públicos nuevos o de distinto tipo en alguna de las siguientes áreas?				
Protección contra incendios?			x	

Escuelas?			x	
<b>TEMA</b>	<b>SI</b>	<b>PUEDE SER</b>	<b>NO</b>	<b>COMENTARIOS</b>
Infraestructuras ¿El proyecto producirá una demanda de sistemas nuevos o de distinto tipo de las siguientes infraestructuras?				
Energía y gas natural?			x	
Sistemas de comunicación?		x		
Agua?	x			
Saneamiento de fosas sépticas?			x	
Red de aguas blancas o pluviales?		x		
<b>Población ¿El proyecto:</b>				
Alterara la ubicación o la distribución de la población humana en el área?			x	
<b>Riesgo de accidentes ¿El proyecto:</b>				
Implicará el riesgo de explosión o escapes de sustancias potencialmente peligrosas incluyendo, pero no solo, petróleo, pesticidas, productos químicos, radiación u otras sustancias toxicas en el caso de un accidente o una situación desagradable?			x	Se deberá tener cuidado en el manejo de lodos y su desinfección
<b>Salud humana ¿El proyecto:</b>				
Crearé algún riesgo real o potencial para la salud?			x	Se deberán cuidar la calidad del agua que se vierta al efluente
Expondrá a la gente a riesgos potenciales para la salud?			x	Se deberán cuidar la calidad del agua que se vierta al efluente
<b>Economía ¿El proyecto:</b>				

Tendrá algún efecto adverso sobre las condiciones económicas locales o regionales, por ejemplo: turismo, ingresos, empleo?			x	Se producirán nuevos empleos indirectos y directos para la zona
<b>TEMA</b>	<b>SI</b>	<b>PUEDE SER</b>	<b>NO</b>	<b>COMENTARIOS</b>
Reacción Social ¿Es este proyecto:				
Conflictivo en potencia?		x		Se deberá realizar una campaña informativa dentro de la población
Una contradicción respecto a los planes u objetivos ambientales que se han adoptado a nivel local?			x	
Estética ¿El proyecto:				
Cambiará una vista escénica o un panorama abierto al público?			x	
Crearé una ubicación estéticamente ofensiva abierta a la vista del público?			x	
Cambiará significativo la escala visual o el carácter del entorno próximo?			x	
Arqueología, cultura e historia ¿El proyecto:				
Alterará sitios, construcciones, objetos o edificios de interés arqueológico, cultural o histórico, ay sean incluidos o con condiciones para ser incluidos en el Catálogo Nacional?			x	
Residuos peligrosos ¿El proyecto:				
Implicará la generación, transporte, almacenaje o eliminación de algún residuo peligrosos reglado?	x			Eliminación de virus infectantes para la salud presentes en el agua residual

Fuente: (Elaboración propia, basado en formato de USDA)

### 7.5.2 Descripción general de impactos y asignación de pesos específicos según actividades básicas.

A continuación se muestra una tabla desarrollada en función de las distintas etapas que comprende el proyecto, es decir preparación del sitio, construcción y fase de operación. Cada una de estas etapas se evaluara en función de los elementos que pueden verse afectados, considerando dentro de ellas la mayor cantidad de aspectos relacionados a estos, de tal forma que la descripción y la asignación de los pesos específicos sea una tarea fácil de realizar y de analizar por terceros.

Antes de asignar pesos específicos a cada uno de los elementos que se evaluarán, es necesario adoptar un criterio. En este caso nos guiaremos según la naturaleza del impacto, ya sea benéfico o adverso, asignando valores para ello. Dichos valores se muestran a continuación:

- 1.- Efecto Adverso
- 2.- Efecto Adverso Significativo
- 3.- Efecto Benéfico
- 4.- Efecto Benéfico Significativo

**Tabla 7.2 Evaluación y descripción de impactos**

Evaluación y Descripción de Impactos	Valor
<b>Etapas de Preparación</b>	
Agua	
Por la actividad de acondicionamiento a caminos de acceso se tendrá un impacto adverso sobre la calidad del agua superficial aunque el impacto no se considera de mayor magnitud debido a que el paso de agua no es constante	1
Aire	

Con las actividades de despalme, acondicionamiento de caminos de acceso y operación de maquinaria y equipo se generaran partículas suspendidas totales, provocando con ello un impacto adverso. Así mismo se elevara el nivel de ruido a consecuencia de estas actividades.	1
Durante el acondicionamiento a caminos de acceso y operación de maquinaria y equipo, se generaran de Gases de combustión, lo que tendrá un efecto adverso significativo sobre la calidad del aire.	2
<b>Suelo</b>	
Debido al despalme y acondicionamiento a caminos de acceso se crearan impactos adversos, ya que se modificara las características físicas del suelo y el relieve.	2
<b>Vegetación</b>	
Durante la actividad de despalme se eliminara la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea, con lo que se provocaran impactos adversos en el terreno, sin embargo estos impactos no serán de gran importancia debido a que existe de gran abundancia el tipo de vegetación elegido.	3
<b>Evaluación y Descripción de Impactos</b>	<b>Valor</b>
<b>Fauna</b>	
Durante el despalme, la fauna correspondiente a invertebrados, reptiles y mamíferos los cuales han hecho de este sitio su hábitat recibirán un impacto adverso significativo debido a que esta actividad perturbara su hábitat de manera definitiva. Las aves serán desplazadas temporalmente, en tanto se reforesta el área. Así mismo a diferencia de las aves las especies terrestres serán afectadas y desplazadas por el constante movimiento de vehículos y la maquinaria utilizadas en las actividades de preparación del sitio.	2
<b>Aspectos Socioeconómicos</b>	

<p>El despalme es la base para que el uso de suelo pueda servir para una obra benéfica como lo es la planta de tratamiento de aguas, con lo cual se obtendrá un beneficio significativo.</p> <p>Con la operación de maquinaria y equipo se requerirá de mano de obra población aledaña, por lo que se beneficiara significativamente la generación de empleo.</p> <p>En esta etapa se requerirá de la contratación de mano de obra de trabajadores de la población aledaña con lo que habrá una generación de empleo importante y significativo; así mismo se beneficiara a la población, servicios y la economía local.</p>	4
<b>Paisaje</b>	
<p>Por el Despalme se ocasionara un impacto adverso sobre los aspectos estéticos, debido a que afectara en menor grado la visibilidad del lugar, sin embargo considerando que se reforestara el área afectada al término de su construcción.</p>	3
<b>Evaluación y Descripción de Impactos</b>	<b>Valor</b>
<b>Etapa de Construcción</b>	
<b>Agua</b>	
<p>Con el establecimiento del canal de captación de agua se tendrá un impacto benéfico significativo en la calidad del agua superficial, debido a que se evitara que el agua de lluvia arrastre sólidos y partículas de suelo, así como también la dispersión del caudal de agua no tratada que pueda afectar al riego y al consumo de animales y ocasionalmente humanos.</p>	4
<b>Aire</b>	

En la construcción de los tanques e infraestructura propia de la planta se generaran partículas suspendidas totales, provocando un impacto adverso. Con la actividad de excavación, relleno y compactación, así como en la operación de maquinaria y equipo elevaran el nivel de ruido, por lo que ocasionara un impacto adverso. Con la actividad de excavación, relleno y compactación se generaran partículas suspendidas totales y gases de combustión provocando un impacto adverso.	1
En la operación de maquinaria y equipo se generaran partículas suspendidas, gases de combustión, con lo que se causara un impacto adverso significativo sobre la calidad del aire.	2
<b>Suelo</b>	
La compactación de la zona sobre la que se desplantaran los distintos elementos del tren de tratamiento alterara la calidad física química del suelo debido a que se modificaran sus condiciones naturales, provocando con ello un impacto adverso. También se tendrá un impacto adverso sobre las características físicas del suelo, puesto que con la cimentación se alterara su formación original.	1
Otro impacto adverso significativo se presentara con la excavación, relleno y compactación, que afectara el relieve del suelo a alterar su formación natural.	2
<b>Evaluación y Descripción de Impactos</b>	<b>Valor</b>
<b>Vegetación</b>	
Debido a la actividad de excavación y compactación, la poca vegetación herbácea y arbustiva que no fue removida durante la preparación del sitio o el despalme, será extraída, con lo que recibirá un impacto adverso.	1
<b>Fauna</b>	
Con la operación de maquinaria y equipo, la fauna que pudo haber permanecido en el predio después de la preparación de terrenos como invertebrados y reptiles, serán afectados por dichas actividades de manera adversa.	3

Gracias al establecimiento de cercado perimetral se evitara el desplazamiento de mamíferos de los predios vecinos al sitio de disposición final, por lo que se tendrá un impacto benéfico.	3
Por otro lado con el establecimiento del cercado perimetral se provocara un impacto benéfico significativo ya que se evitara que ingrese fauna nociva.	4
<b>Aspectos Socioeconómicos</b>	
El límite de establecimiento del uso de suelo se verá identificado con el establecimiento de cercado perimetral del sitio, lo que ocasionara un impacto benéfico. Así mismo, se presentara el mismo impacto sobre la salud de la población.	3
La contratación de mano de obra tendrá un impacto benéfico significativo, ya que contribuirá con la economía local y la generación de empleo, al crear fuentes de trabajo de personas cercanas al sitio de estudio.	4
<b>Paisaje</b>	
Con las actividades de construcción de las partes que componen la planta, se tendrá como resultado un impacto benéfico sobre el aspecto estético del sitio de disposición final ya que este será bueno.	3
<b>Evaluación y Descripción de Impactos</b>	<b>Valor</b>
<b>Etapas de operación</b>	
<b>Agua</b>	
Como consecuencia de la adecuada operación de la planta se tendrán los límites de contaminantes permisibles en el agua tratada, tal como rige en la Ley 1333 del medio ambiente lo cual resultara en un impacto benéfico.	4

Aire	
Con la operación de maquinaria y equipo se incrementara el nivel de ruido, provocando un impacto adverso.	1
En la descarga de agua tratada se disminuirá el nivel de olores, llevando consigo que se origine un impacto benéfico significativo.	4
Vegetación	
Con el adecuado manejo de impactos de operación sobre la vegetación arbustiva y arbórea, se tendrá un impacto benéfico significativo.	4
Fauna	
Debido a la continua operación de maquinaria y equipo durante toda la vida activa de la planta, se causara que los reptiles y aves sean impactados de modo adverso.	3
La constante descarga de agua tratada creara fauna positiva que causara un impacto benéfico significativo.	4
Evaluación y Descripción de Impactos	Valor
Aspectos Socioeconómicos	

<p>Con el registro del agua tratada se tendrá un control referente a la generación de aguas negras, así como una estimación de su composición, con lo que la población se verá beneficiada al existir un correcto tratamiento de agua residual y la información necesaria para el desarrollo de cualquier proyecto asociado que pudiera surgir; por otro lado se generaran fuentes de empleo.</p> <p>Con el tratamiento del agua residual se tendrán efectos benéficos significativos sobre la población y la salud, ya que de esta manera no permanecerá en los cauces con el riesgo de llegar a los mantos acuíferos o generar enfermedades por el consumo de la misma ya sea de forma directa o indirecta.</p> <p>Con la operación de maquinaria y equipo dentro de la planta la salud de los trabajadores estará protegida al evitarles que realicen actividades que los mantengan en contacto con el agua residual. El impacto en este aspecto será benéfico significativo.</p> <p>Por la contratación de mano de obra necesaria durante toda esta etapa se tendrá como resultado la generación de empleo y una contribución a la economía local.</p>	4
--	---

Fuente: (Elaboración propia basado en el formato de USDA, 1990)

### 7.5.3 Matrices de identificación y evaluación de impactos

En las matrices que se presentan en las tablas 7.4 y 7.5 se muestra en primer plano aquellas actividades que identifican un impacto ambiental, sea positivo o negativo, dicha identificación se realiza mediante el señalamiento de la intersección de la columna y el renglón correspondiente.

En la segunda matriz (Tabla 7.5) se cuantifica dicho impacto pudiendo ser este positivo o negativo, para lo cual se utilizaran los mismos pesos específicos mencionados con anterioridad.

#### 7.5.4 Análisis de resultados

A continuación se muestra una tabla con los resultados de la evaluación de impactos realizado anteriormente.

**Tabla 7.3 Resultados de la evaluación de impactos**

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Efecto adverso	1	43
Efecto adverso significativo	2	19
Efecto benéfico	3	14
Efecto benéfico significativo	4	51
Efectos adversos		62
Efectos benéficos		65

**Fuente: (Elaboración propia)**

Como se puede observar, de la matriz de impactos, resultaron 62 efectos adversos y 65 benéficos, de los cuales 19 fueron adversos significativos y 51 benéficos significativos, por lo que además de contar con más efectos benéficos que adversos, la determinación de los impactos y su evaluación tiene mucho mayor peso sobre los impactos benéficos que sobre los impactos adversos, los cuales aparecen en una cantidad considerablemente superior.





### 7.5.5 Medidas preventivas y de mitigación

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de evaluación de impactos ambientales, se logró determinar que en su mayoría los impactos adversos al ambiente caen dentro de la clasificación de adversos reversibles. Los impactos adversos significativos para el proyecto de la planta de tratamiento de agua residual se encaminan principalmente hacia la calidad del aire en su fase de preparación y construcción y la fauna en su fase de preparación y el uso de suelo en su fase de preparación y construcción.

A continuación se presentan las medidas de mitigación para los aspectos más importantes:

- *Suelo*: Para contrarrestar los efectos adversos causados al suelo por las diferentes actividades realizadas en las distintas etapas se deberán aplicar las siguientes medidas de mitigación:

Realizar el despalme solo en áreas necesarias para evitar erosión eólica.

Identificar las zonas de excavación y relleno para no alterar las condiciones fisicoquímicas del suelo salvo en los casos estrictamente necesarios.

Evitar la incorporación de grasas, aceites, lubricantes, diesel, aditivos, gasolina y estopas en el suelo, mediante mantenimiento adecuado de la maquinaria y equipo utilizados durante la construcción.

- *Aire*: Las actividades que pueden provocar un impacto adverso significativo sobre el factor aire, se encuentran las que involucran el movimiento de tierras, por lo que las etapas de preparación del terreno y construcción, la medida de mitigación será realizar estas actividades de manera secuencial conforme se avance en la obra, así mismo se deberá realizar estas actividades en fase húmeda.
- *Ruido*: Para mitigar el incremento de ruido, los vehículos que transiten en el sitio y la maquinaria y equipo a utilizar deben contar con los sistemas silenciadores para atenuar la generación de ruido. Estas medidas deben realizarlas los encargados del transporte, construcción y operación de la obra.

- *Vegetación:* Se debe realizar el despalme solamente en las áreas necesarias para la construcción, con el fin de conservar la cubierta vegetal nativa.
- *Fauna:* Con el fin de mitigar la mayor parte de los impactos a la fauna de la zona se deberá considerar su importancia en cuanto a biodiversidad de la zona, por lo que en cada una de las diferentes etapas, se permitirá su huida hacia los predios vecinos, evitando la caza, el trampeo y la colocación de cepos envenenados, lo que permitirá su reintroducción a futuro.
- *Aspectos Socioeconómicos:* Los trabajadores deben contar y utilizar el equipo de trabajo adecuado a los trabajos que desarrollen con la finalidad de evitar accidentes.
- *Paisaje:* La medida de mitigación para este factor será el establecimiento de una cortina de árboles en la periferia del terreno, así como también el cuidado de jardines que incluya el proyecto.

#### **7.5.6 Conclusiones del estudio de impacto ambiental**

Con base en la elaboración de un estudio de impacto ambiental para el proyecto de construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad de colonia linares, se considera que por haber más efectos benéficos que adversos, y a su vez, mas efectos benéficos significativos que adversos significativos, el proyecto es viable, pues cumple con las condiciones necesarias para su realización.

Con base en las características ambientales y del proyecto en sus diferentes actividades, es posible establecer una serie de medidas de mitigación de los impactos adversos detectados que aseguren la viabilidad de proyecto en un uso racional y sostenido de los recursos naturales.

## **CAPÍTULO VIII**

### **PRESUPUESTO**

#### **8.1 INTRODUCCION**

El objetivo de realizar un presupuesto es para ordenar y sistematizar la información de carácter monetario, en otras palabras determinar cuál será el costo total de la obra.

Es la predicción de un hecho futuro cuya magnitud debe representarse con toda la exactitud con que ella pueda determinarse

##### **8.1.1 ACTIVIDADES Y/O ÍTEMS DE OBRA**

Un ítem es una unidad de obra, parte de un proyecto con carácter propio, tanto de materiales como mano de obra, siendo su cantidad proporcional a la magnitud de la obra, cada ítem deberá ser hecho con criterio de separar todas las partes que sean susceptibles de costo distinto.

#### **8.2. CÓMPUTO MÉTRICO**

Por medio del cómputo métrico, se miden las estructuras que forman parte de una obra de ingeniería, con el objeto de:

- a.- Establecer el costo de la misma o de una de sus partes.
- b.- Determinar la cantidad de materiales necesarios para ejecutarla.

El cómputo métrico es un problema de medición de longitudes, áreas y volúmenes, que requiere el manejo de fórmulas geométricas, computar es entonces medir, computo, medición y cubicación son palabras equivalentes.

#### **8.3. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

##### **8.3.1 Definición**

El precio Unitario puede definirse como el importe de la remuneración o pago total, que debe cubrirse al contratista por unidad de obra de cada uno de los conceptos de trabajo que realice. Así mismo, unidad de obra puede definirse como la unidad de medición que se señala en las especificaciones técnicas, como base para cuantificar cada concepto de trabajo para fines de medición y pago. El concepto de trabajo o concepto de obra, podrá quedar definido como el conjunto de operaciones y materiales que, de acuerdo con las especificaciones respectivas,

integran cada una de las partes de una obra en que esta se divide convencionalmente para fines de medición y pago.

#### **8.4. MATERIALES**

Los materiales son los recursos que se utilizan en cada una de las actividades o ítems de la obra. Los materiales están determinados por las especificaciones técnicas, donde se define la calidad, cantidad, marca, procedencia, color, forma, o cualquier otra característica necesaria para su identificación.

#### **8.5. MANO DE OBRA**

Para hacer un análisis del rendimiento de la mano de obra, se debe tomar en cuenta el tiempo total de permanencia de un trabajador en una obra se aprovecha sólo parcialmente, pudiendo hacerse una subdivisión de su trabajo de la siguiente manera:

- Trabajo productivo: Actividad que aporta directamente a la producción, por ejemplo: La colocación de encofrado, hormigonado, vibrado, etc.
- Trabajo contributorio: Actividades de apoyo que deben ser realizadas para que el trabajo productivo se pueda hacer, por ejemplo: Traslado del encofrado a su lugar, limpieza de superficies para el hormigonado, etc.
- Trabajo no contributorio: Son todas las demás acciones que no se encuentran dentro las mencionadas anteriormente y que representan tiempos desaprovechados, por ejemplo: Espera de materiales faltantes, etc.

#### **8.6 PERSONAL DE PLANTA**

El personal de la planta debe estar constituido básicamente para labores y mantenimiento de la misma. Adicionalmente si las condiciones lo permiten, sería aconsejable contar con personal administrativo. El personal requerido en una planta en base a experiencias de proyectos similares puede ser el siguiente:

Un ingeniero (jornada parcial)

Tendrá a su cargo la planta de tratamiento, así como la coordinación con los operarios de las tareas de operación y mantenimiento del recinto.

Un operador

Será el encargado de realizar las tareas de control de la planta de tratamiento. Deberá tener conocimientos de mantenimiento y operación.

El manejo administrativo del proyecto estará a cargo de la entidad a cargo de los servicios básicos en el área del proyecto en este caso la Alcaldía Municipal de Bermejo.

### **8.7. CARGAS SOCIALES**

A objeto de que el otorgamiento de los subsidios correspondientes al régimen de asignaciones familiares no tropiece con problemas interpretativos se ha consultado a los organismos respectivos su aplicación, debiendo tomar en cuenta la empresa el cumplimiento a las previsiones contenidas en la ley.

### **8.8. HERRAMIENTAS Y EQUIPO MENOR**

En este rubro se recalcula el porcentaje de las herramientas que se utilizan en la obra.

#### **8.8.1 GASTOS GENERALES**

En este rubro existen los gastos directos e indirectos, deberá tomarse con sumo cuidado que los gastos generales no es un porcentaje, se expresa como tal, solamente como un artificio matemático para distribuir el gasto en cada uno de los ítemes que compone el proyecto.

Son gastos no incluidos en los costos directos y son muy variables, dependiendo de aspectos como el lugar donde se debe realizar la obra.

#### **8.8.2 UTILIDAD**

Las utilidades deben ser calculadas en base a la política empresarial de cada empresa, al mercado de la construcción, a la dificultad de ejecución de la obra y a su ubicación geográfica (urbana o rural).

Para fines de cálculo se toma como base el **5-10% del costo sub total**, que resulta de la suma del costo directo más los gastos generales.

#### **8.8.3 IMPUESTOS**

En lo que se refiere a los impuestos, se toma el Impuesto al Valor Agregado (IVA) y el Impuesto a las Transacciones (IT). El impuesto IVA se refiere a toda la compra de bienes, muebles y servicios, estando dentro de estos últimos la construcción, su costo es el del 13%

sobre el costo total neto de la obra y debe ser aplicado sobre los componentes de la estructura de costos.

El IT se refiere a ingresos brutos obtenidos por el ejercicio de cualquier actividad lucrativa, su valor es el **del 3.09 % sobre el monto de la transacción** del contrato de obra.

### 8.9 Cómputos métricos

Se tienen los cómputos métricos para cada elemento de la planta, se muestran en las siguientes tablas

**Tabla 8.1 Cómputos métricos canal de acceso, desarenador y canal Parshall**

Canal de Acceso, desarenador y canal Parshall						
Nº	Concepto	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Total
1	Instalación de faenas	Pza.	1			1
2	Letrero de obra	Pza.	1			1
3	Limpieza del terreno	m <sup>2</sup>	7	2		14
4	Trazado y replanteo	m <sup>2</sup>	7	1		7
5	Excavación hasta 2.00 m (retro)	m <sup>3</sup>	7	1	0.6	4.2
6	Relleno y compactación del terreno en el canal	m <sup>3</sup>	3.08			3.08
7	Base del canal H°C° de 8 cm de espesor	m <sup>3</sup>	7	0.75	0.08	0.42
8	Paredes del canal de H°C° de 8 cm de espesor	m <sup>3</sup>	22	0.08	0.30	0.528
9	Suministro y colocación de rejillas de desbaste	Pza.	2			2
10	Colocación de compuertas	Pza.	3			3
11	Limpieza y retiro de escombros	Glb	1			1

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 8.2 Cómputos métricos tanque Imhoff**

Tanque de Sedimentación Imhoff						
N°	Concepto	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Total
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	12.10	4.3	5.86	270.56
2	H°A° muros y vigas	m <sup>3</sup>	12.10	0.25	10	30.25
3	H°A° losa de fondo	m <sup>3</sup>	12.10	4.3	0.2	10.406
4	Columna de apoyo central y viga central	m <sup>3</sup>	2.6			2.6
5	Cámara sedimentadora de H°A°	m <sup>3</sup>	6.99			6.99
6	Viga transversal de apoyo central	m <sup>3</sup>	0.89			0.89
7	Diafragmas sector superior	m <sup>3</sup>	0.67			0.67
8	Revoque con mortero de cemento	m <sup>2</sup>	26	10		260
Cámara						
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	0.77			0.77
2	Hormigón Armado	m <sup>3</sup>	0.02			0.02
3	Pared ladrillo	m <sup>2</sup>	2.55			2.55
4	Mampostería de piedra	m <sup>3</sup>	2.55			2.55
5	Tubería de PVC de 3 pulg	ml	1.2			1.2
6	Revoque interior	m <sup>2</sup>	1.44			1.44

Fuente :(Elaboración propia)

**Tabla 8.2 Cómputos métricos tanque Imhoff (continuación)**

Tubería de extracción y lecho de secado de lodos						
N°	Concepto	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Total
1	Tubería de PVC de 6 pulg.	ml	32.5			32.5
2	Codos PVC de 6 pulg.	Pza.	6			6
3	Tee PVC de 6 pulg	Pza.	3			3
4	Llave de paso tipo cortina de 6 pulg.	Pza.	3			3
5	Base de hormigón pobre	m <sup>3</sup>	13.5	7.5	0.05	5.06
6	Excavaciones	m <sup>3</sup>	13.5	7.5	0.3	30.37
7	Cámara de inspección 0.8 x 0.8 x 1.25	Pza.	3			3
8	Arena de 0.5 a 1.5 mm	m <sup>3</sup>	13.5	7.5	0.10	10.12
9	Grava de 40 a 60 mm	m <sup>3</sup>	13.5	7.5	0.15	15.18

10	Ladrillo sobrepuestos	m <sup>2</sup>	13.5	7.5		101.3
11	Compuertas	Pza.		3		3

Fuente : (Elaboración propia)

Tabla 8.3 Cómputos métricos humedal

Humedal						
N°	Concepto	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Total
1	Trazado y replanteo	m <sup>2</sup>	35	25		714
2	Excavación con retroexcavadora	m <sup>3</sup>	35	25	0.6	428.4
3	Compactación e impermeabilización	m <sup>3</sup>	35	25	0.1	71.4
4	Hormigón pobre con piedra	m <sup>3</sup>	148	0.5	0.08	5.92
5	Tendido de cañería de PVC de 3"	ml	40			40
6	Llaves de paso de 3 pulg	Pza.	4			4
7	Accesorios de unión	Pza.	10			10
8	Tendido de material drenante (d=25 mm)	m <sup>3</sup>	34	21	0.6	428.4
9	Plantas sembrado cada 20 cm	Pza.	34	21	0.5	357
Cámara de recogida						
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	1.2	1.2	1	1.44
2	Hormigón Armado	m <sup>3</sup>	0.02			0.02
3	Pared ladrillo	m <sup>2</sup>		1.2	2	2.4
4	Tubería	ml	2			2
5	Revoque	m <sup>2</sup>		1.2	2	2.4

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 8.4 Cómputos métricos del tanque de contacto

Tanque de almacenamiento						
N°	Concepto	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Total
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	12	8	2.30	211.3
2	Hormigón Armado	m <sup>3</sup>	0.625			0.625
3	Pared ladrillo	m <sup>2</sup>		8	2.5	20
4	Tubería	ml	2			2
5	Revoque	m <sup>2</sup>		8	2.5	20

Fuente : (Elaboración propia)

### 8.5 Cómputos caseta de cloración

Caseta de cloración						
N°	Concepto	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Total
1	Replanteo de estructuras	m <sup>2</sup>	2.6	1.5		1.76
2	Base de hormigón pobre	m <sup>3</sup>	2.6	1.5	0.05	0.088
3	Cimiento de hormigón C°	m <sup>3</sup>	5.4	0.30	0.30	0.486
4	Sobrecimiento de H° C°	m <sup>3</sup>	5.4	0.20	0.15	0.162
5	Muro de ladrillo	m <sup>2</sup>	5.4		8	43.2
6	Puerta de madera	m <sup>2</sup>		0.9	2	1.8
7	Techo de calamina	m <sup>2</sup>	2.6	1.5		1.76

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 8.6 Cómputos métricos del cerco perimetral**

Cerco Perimetral							
N°	Concepto	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	N° de veces	Total
1	H°C° 50% de piedra desplazadora	m <sup>3</sup>	0.048			147	7.06
2	Excavación p/ estructuras	m <sup>3</sup>	0.26	0.26	0.6	147	5.96
3	Malla olímpica	ml	470			2	893.00
4	Alambre de púas	ml	470			2	940.00
5	Tubería de FG de 1" x 1 m	Pza.	1			147	147.00
6	Bisagras	Pza.	2			1	2.00
7	Cadena	m	0.4			1	0.40
8	Candado	Pza.	1			1	1.00

Fuente: (Elaboración propia)

### 8.10 Precios unitarios

Los precios unitarios se muestran a detalle en la parte de anexos.

### 8.11 Presupuesto

El presupuesto total del diseño de la planta de tratamiento de agua residual es el siguiente:

**Tabla 8.7 Presupuesto canal de acceso, desarenador y canal Parshall**

Nº	Descripción Ítem	Unidad	Cantidad	P.U. Bs	P. Parcial Bs
1	Instalación de Faenas	Pza.	1.00	1602.51	1602.51
2	Letrero de obra	Pza.	1.00	957.62	957.62
3	Limpieza del terreno	m <sup>2</sup>	14.00	49.65	695.1
4	Trazado y Replanteo	m <sup>2</sup>	7.00	30.78	215.46
5	Excavación con retroexcavadora	m <sup>3</sup>	4.2	31.18	130.956
6	Relleno y compactación del terreno en el canal	m <sup>3</sup>	3.08	51.18	157.63
7	Base del canal H°C° de 8 cm de espesor	m <sup>3</sup>	0.42	2351.60	987.67
8	Paredes del canal de H°C° de 8 cm de espesor	m <sup>3</sup>	0.528	2351.60	1241.64
9	Suministro y colocación de rejillas de desbaste	Pza.	2.00	442.32	884.64
10	Colocación de compuertas	Pza.	3.00	80	240.00
11	Limpieza y retiro de escombros	Glb	1.00	225.09	225.09
				<b>Total</b>	<b>6798.316</b>

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 8.8 Presupuesto tanque Imhoff**

Nº	Descripción Ítem	Unidad	Cantidad	P.U. Bs	P. Parcial Bs
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	270.56	31.18	8436.06
2	H°A° muros y vigas	m <sup>3</sup>	30.25	3236.48	97903.52
3	H°A° losa de fondo	m <sup>3</sup>	10.41	3130.51	32588.60
4	Columna de apoyo central y viga central	m <sup>3</sup>	2.60	3130.51	8139.326
5	Cámara sedimentadora de H°A°	m <sup>3</sup>	6.99	3130.51	21882.26
6	Viga transversal de apoyo central	m <sup>3</sup>	0.89	3236.48	2880.467
7	Diafragmas sector superior	m <sup>3</sup>	0.67	3130.51	2097.441
8	Revoque con mortero de cemento	m <sup>2</sup>	260.00	121.52	31595.2

Fuente:(Elaboración propia)

**Tabla 8.8 Presupuesto tanque Imhoff (continuación)**

<b>Cámara de recogida</b>					
<b>Nº</b>	<b>Descripción Ítem</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U. Bs</b>	<b>P. Parcial Bs</b>
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	0.77	31.18	24.008
2	Hormigón Armado	m <sup>3</sup>	0.02	3130.51	62.610
3	Pared ladrillo	m <sup>2</sup>	2.55	158.88	405.144
4	Mampostería de piedra	m <sup>3</sup>	2.55	422.57	1077.55
5	Tubería de PVC de 3 pulg	ml	1.2	112.27	134.724
6	Revoque interior	m <sup>2</sup>	1.44	121.52	174.988
<b>Tubería de extracción y lecho de secado de lodos</b>					
1	Tubería de PVC de 6 pulg.	ml	32.5	155	5037.50
2	Codos PVC de 6 pulg.	Pza.	6	28	168.00
3	Tee PVC de 6 pulg	Pza.	3	80	240.00
4	Llave de paso tipo cortina de 6 pulg.	Pza.	3	440	1320.00
5	Excavaciones	m <sup>3</sup>	30.37	31.18	946.936
6	Cámaras de inspección	Pza.	3	883.91	2651.73
7	Arena de 0.5 a 1.5 mm	m <sup>3</sup>	10.12	367.23	3716.36
8	Grava de 40 a 60 mm	m <sup>3</sup>	15.18	367.23	5574.55
9	Compuertas	Pza.	3	80	240.00
				<b>Total</b>	<b>227296.97</b>

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 8.9 Presupuesto humedales**

<b>Nº</b>	<b>Descripción Ítem</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U. Bs</b>	<b>P. Parcial Bs</b>
1	Trazado y replanteo	m <sup>2</sup>	714.00	30.78	21976.92
2	Excavación con retroexcavadora	m <sup>3</sup>	428.4	31.18	13357.52
3	Compactación e impermeabilización	m <sup>3</sup>	71.4	232.60	16607.64
4	Hormigón pobre con piedra	m <sup>3</sup>	5.92	68.57	405.934
5	Tendido de cañería de PVC de 3"	ml	40	112.27	4490.8
6	Llaves de paso de 3 pulg	Pza.	2	180	360.00

7	Accesorios de unión	Pza.	10	10.50	105.00
8	Tendido de material drenante (d=25 mm)	m <sup>3</sup>	428.4	159.71	68419.764
9	Plantas sembrado cada 20 cm	Pza.	357.00	63.73	22751.61

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 8.10 Presupuesto humedales (continuación)**

Cámara de recogida					
Nº	Descripción Ítem	Unidad	Cantidad	P.U. Bs	P. Parcial Bs
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	1.44	31.18	44.899
2	Hormigón Armado	m <sup>3</sup>	0.02	3130.51	62.6102
3	Pared ladrillo	m <sup>2</sup>	2.88	158.88	457.574
4	Tubería	ml	2	112.27	224.54
5	Revoque	m <sup>2</sup>	2.88	121.52	349.977
<b>Total</b>					<b>149615.788</b>
<b>Total</b>					<b>598463.15</b>

Serán 4 celdas de humedales

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.11 Presupuesto tanque de contacto**

Nº	Descripción Ítem	Unidad	Cantidad	P.U. Bs	P. Parcial Bs
1	Excavaciones	m <sup>3</sup>	211.3	31.18	6888.334
2	Hormigón Armado	m <sup>3</sup>	0.625	3130.51	1956.568
3	Pared ladrillo	m <sup>2</sup>	20	158.88	3177.6
4	Tubería	ml	2	112.27	224.54
5	Revoque	m <sup>2</sup>	20	121.52	2430.4
<b>Total</b>					<b>14677.44</b>

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 8.12 Presupuesto caseta de cloración**

Nº	Descripción Ítem	Unidad	Cantidad	P.U. Bs	P. Parcial Bs
1	Replanteo de estructuras	m <sup>3</sup>	1.76	31.18	54.876
2	Base de hormigón pobre	m <sup>3</sup>	0.088	68.57	6.034
3	Cimiento de hormigón ciclópeo	m <sup>3</sup>	0.486	2351.60	1142.87

4	Sobrecimiento de H° C°	m <sup>3</sup>	0.162	2351.60	380.959
5	Muro de ladrillo	m <sup>2</sup>	43.2	158.88	6863.61
6	Puerta de madera	m <sup>2</sup>	1.8	792.42	1426.365
7	Techo de calamina	m <sup>2</sup>	1.76	318.83	561.14
<b>Fuente: Elaboración propia</b>				<b>Total</b>	<b>10435.854</b>

**Tabla 8.13 Presupuesto cerco perimetral**

N°	Descripción Ítem	Unidad	Cantidad	P.U. Bs	P. Parcial Bs
1	H°C° 50% de piedra desplazadora	m <sup>2</sup>	1.76	2351.60	4138.816
2	Excavación p/ estructuras	m <sup>3</sup>	5.96	70.29	418.928
3	Malla olímpica	ml	893.00	53.53	47802.29
4	Alambre de púas	ml	940.00	0.68	639.2
5	Poste de tubería de FG de 1" x 1 m	Pza.	147.00	255.51	37559.97
6	Bisagras	Pza.	2.00	11	22
7	Cadena	m	0.40	25	10
8	Candado	Pza.	1.00	95	95
<b>Fuente: (Elaboración propia)</b>				<b>Total</b>	<b>90686.204</b>

El presupuesto para la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas en la comunidad de Colonia Linares oscila entre 948347.934 Bs, esto equivale en dólares a 136652.887 \$us. A continuación se expresa en forma literal ambos precios:

**Son: Novecientos cuarenta y ocho mil trescientos cuarenta y siete 93/100 Bs.**

**Son: Ciento treinta y seis mil quinientos veintiséis 88/100 Dólares**

## CAPÍTULO X

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- 1.- Con la futura implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad de colonia lineares se lograra mitigar los impactos negativos al medio ambiente generados actualmente por un tratamiento inadecuado de las aguas residuales.
- 2.- Al realizar un tratamiento completo al agua residual se reducirán notablemente enfermedades bacteriológicas y virus generados por el vertido indiscriminado de las mismas, es decir se contrarrestara los problemas de salud que afecta a la población de la comunidad.
- 3.- Se logró diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas cumpliendo con las normas sanitarias vigentes establecidas en nuestro país, como es la ley 1333 del medio ambiente en su reglamento de materia en contaminación hídrica.
- 4.- Para la frecuencia de retiro de lodos en el Tanque Imhoff de acuerdo a la temperatura media que se presenta en la zona de proyecto se deberá realizar por lo menos una vez cada dos meses, los mismos que deben ser dispuestos al lecho de secado de lodos.
- 5.- En cuanto al costo de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad se puede notar que no es muy elevado, ya que como se mencionó las unidades de tratamiento empleadas no requieren de personal muy calificado puesto que las operaciones son muy sencillas.
- 6.- La metodología de diseño aplicada y la implementación de la misma corresponde de manera adecuada, ya que se logró obtener significativos porcentajes de remoción en cuanto se refiere a los parámetros más contaminantes como ser DBO, DQO, COLIFORMES Y SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.
- 7.- Por todo lo mencionado en el presente trabajo a cerca de la producción de biogás en el Tanque Imhoff y por las experiencias que se tiene, no se hace factible incluir un quemador de gases puesto que solo un 50% y hasta un 60% de todo el biogás corresponde a metano, otro de los factores es porque el Tanque Imhoff no está diseñado para quemar gases, además que se debe analizar una fuente de energía y personal capacitado para la operación de dicho quemador, lo cual tampoco se cuenta con experiencia.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Se debe realizar un mantenimiento periódico a cada una de las unidades que comprende la planta de tratamiento, esto con el fin de lograr los porcentajes de remoción descritos en el trabajo.
- 2.- Elaborar un plan de educación sanitaria ambiental para las diferentes etapas de implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, esto con la finalidad de garantizar la vida útil de la misma.
- 3.- La construcción y el manejo de la planta de tratamiento deben estar a cargo de personal con experiencia y previamente capacitado que garantice un correcto funcionamiento de la planta, y así evitar problemas posteriores.
- 4.- Es necesario aclarar que el presente trabajo se llevo a cabo basándose en factores empíricos como ser: eficiencias de remoción, datos de la población beneficiada. Por lo tanto es indispensable, una vez puesta en marcha la implementación de la planta, verificar si los datos obtenidos son correctos y de ser necesario realizar algún ajuste correspondiente.
- 5.- En cuanto a la vegetación elegida para el diseño, se hace necesario para futuros trabajos hacer investigaciones más detalladas de la misma y tener la certeza correcta de las características desinfectantes que tiene esta planta que es propia de nuestro medio.
- 6.- Si es posible realizar talleres de capacitación en la comunidad, esto con la finalidad de crear consciencia en la población que vive en la comunidad sobre el buen manejo y disposición de las aguas residuales, además de dar a conocer los beneficios que trae al medio ambiente la implementación de una planta de tratamiento para la comunidad.
- 7.- En el caso que se presente problemas con el tratamiento terciario que corresponde a la desinfección, se recomienda realizar el diseño de una laguna facultativa, ya que este sistema es muy eficiente en cuanto a la depuración en materia microbiológica que presentan las aguas residuales.