



**Universidad Autónoma de Chiapas**  
Facultad de Ingeniería  
Campus I



**“Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales a base de filtro percolador y sedimentador secundario, para la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas”**

Tesis

Que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con formación  
en Calidad del Agua

PRESENTA:

**Jorge Alexander Posada Prieto C050066**

DIRECTORA DE TESIS:

**Dra. Daisy Escobar Castillejos**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Marzo 26 de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
15 de abril del 2024  
Oficio No. F.I.01.672/2024

**C. JORGE ALEXANDER POSADA PRIETO**  
EGRESADO  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CALIDAD DEL AGUA**  
**PRESENTE.**

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

**"DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE FILTRO PERCOLADOR Y SEDIMENTADOR SECUNDARIO, PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE BERRIOZÁBAL, CHIAPAS"**

**CERTIFICO** el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Calidad del Agua.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"**

  
**DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ CORTÉS**  
DIRECTOR





Cop. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García, Coordinador de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Campus I, UNACH.  
Archivo/instituto  
OMCCHMSG@ucg\*





Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

### CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) JORGE ALEXANDER POSADA PRIETO  
Autor (a) de la tesis bajo el título de "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE FILTRO PERCOLADOR Y SEDIMENTADOR SECUNDARIO, PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE BERRIOZÁBAL, CHIAPAS."  
presentada y aprobada en el año 20 24 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRIA EN INGENIERIA, CON FORMACIÓN EN CALIDAD DEL AGUA, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 17 días del mes de ABRIL del año 20 24.

  
JORGE ALEXANDER POSADA PRIETO

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

---

## AGRADECIMIENTOS

---

A Dios:

Por permitirme ver realizados mis sueños y esta nueva etapa con la luz de este nuevo día.

A mi Directora de Tesis:

Dra. Daisy Escobar Castillejos, por todo lo significativo que es en mi vida profesional y académica.

A PIGA:

Al Dr. Carlos Ignacio López Bravo, por su loable esfuerzo y dedicación en este curso.

A la Mtra. Claudia Olivia Ichin Gómez por esa dedicación y empeño a esta noble profesión.

A la Universidad Autónoma de Chiapas, en especial:

A la facultad de Ingeniería, por ser mi casa profesional y continuar con mi formación académica.

Y este último agradecimiento, aunque al final, pero más importante, a MI, por el esfuerzo y tiempo invertido en este curso, del cual aprendí muchas cosas y darnos cuenta que en la vida se debe seguir investigando.

---

## DEDICATORIA

---

- A mis padres, porque es donde comienza la vida y el amor nunca termina.
- A mi esposa, por su apoyo, paciencia y amor incondicional.
- A mis hijos, por sacrificar tiempos de convivencia, con la lección de que todo se puede lograr.
- A Kenia la África, por estar en esta aventura llamada Maestría.

# Índice General

<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
1.1. AGUAS RESIDUALES (AR).....	13
<i>Antecedentes .....</i>	<i>14</i>
<i>Terminología.....</i>	<i>15</i>
1.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) .....	17
<i>Definición .....</i>	<i>17</i>
<i>Antecedentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales .....</i>	<i>17</i>
<i>Función de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....</i>	<i>19</i>
1.3. MÉTODOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	22
<i>Filtros Anaerobios con Flujo Ascendente .....</i>	<i>22</i>
<i>Lodos Activados .....</i>	<i>23</i>
<i>Filtro Percolador .....</i>	<i>23</i>
<i>Reactor Anaerobio con Flujo Ascendente .....</i>	<i>24</i>
1.4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CABECERA MUNICIPIO DE BERRIOZÁBAL, CHIAPAS.....	25
<i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a base de Filtro Percolador y Sedimentador Secundario... ..</i>	<i>25</i>
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
2.1. DESCARGA DE EFLUENTES.....	29
2.2. CAUDALES DE PLANIFICACIÓN .....	30
2.3. GASTO MÁXIMO DIARIO Y HORARIO .....	31
2.4. CANAL DE ACCESO .....	32
2.5. REJILLAS .....	33
2.6. DESARENADORES .....	36
2.7. LODOS ACTIVADOS.....	42
2.8. SEDIMENTADOR SECUNDARIO CIRCULAR.....	46
2.9. FILTRO PERCOLADOR.....	49
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
3.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR O PRETRATAMIENTO .....	51
3.2. CANAL DE ACCESO .....	51
3.3. REJILLAS O DESBASTE.....	53
3.4. DESARENADOR – CANAL PARSHALL.....	55
3.5. SEDIMENTADOR PRIMARIO .....	56
3.6. FILTRO PERCOLADOR.....	57
3.7. SEDIMENTADOR SECUNDARIO.....	59
3.8. CALIDAD DEL EFLUENTE .....	60
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>63</b>

## Índice de tablas

TABLA 1:	28
TABLA 2:	29
TABLA 3:	30
TABLA 4:	31
TABLA 5:	32
TABLA 6:	33
TABLA 7:	36
TABLA 8:	37
TABLA 9:	38
TABLA 10:	44
TABLA 11:	46
TABLA 12:	52
TABLA 13:	54
TABLA 14:	55
TABLA 15:	56
TABLA 16:	58
TABLA 17:	59
TABLA 18:	60

## Índice de Figuras

FIGURA 1:	38
FIGURA 2:	39
FIGURA 3:	51
FIGURA 4:	53
FIGURA 5:	54
FIGURA 6:	55
FIGURA 7:	57
FIGURA 8:	58
FIGURA 9:	59

## Resumen

Para los especialistas en Calidad del Agua, el principal objetivo de estudio y preocupación es el abastecer y tratar el agua que ocupan las poblaciones con la finalidad de garantizar la calidad de las mismas, y evitar de esta manera problemas de salud y medioambientales; por esta razón la presente investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas por la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas. Las descargas domiciliarias que genera la población son llamadas aguas residuales y estas a través de descargas van a la alcantarilla, y deben ser tratadas antes de ser vertidas a los cuerpos de aguas nacionales. Las aguas residuales llegan a los ríos llevando consigo contaminantes químicos resultados de aguas jabonosas, bacterias producidas por la descomposición de los residuos orgánicos, entre otros. El tratamiento sugerido es un filtro percolador con sedimentador secundario. Para la realización de esta investigación se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos que requirieron del uso de información expedida por instituciones gubernamentales especialistas en tema de población, clima y geografía, así como de literatura e investigaciones realizadas con anterioridad con enfoque al tratamiento de aguas residuales. Para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la cabecera municipal se tiene la combinación de tratamientos físicos, químicos y biológicos, por lo que el presente trabajo se organiza en tres secciones, las cuales corresponden al tratamiento primario o también llamado pretratamiento, tratamiento secundario, tratamiento terciario antes de realizar la descarga al cauce del río o alguna derivación para una planta potabilizadora de agua (que para este caso de estudio no aplica la potabilización de agua). A lo largo del desarrollo de los capítulos de esta investigación observaremos características propias de la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, así como también el proceso detallado de la utilización y desarrollo de ecuaciones matemáticas las cuales fueron indispensables para el cálculo respectivo del diseño de este tratamiento que va, desde el pretratamiento, iniciando con el canal de acceso proveniente del emisor, pasando por las rejillas de la cual su función es el retener sólidos y así, evitar daños a los demás componentes electromecánicos de la planta, siguiendo el curso del sedimentador para eliminar los granos finos que quedaron aun en el agua residual, pasando por los tanques de filtro percolador y sedimentador secundario, hasta el tratamiento terciario. En conclusión, el diseño de esta planta de tratamiento nos ayuda a tratar las aguas de las comunidades para verterlos a los cuerpos de aguas nacionales tal y como lo solicitan las normas vigentes de nuestra entidad.

## Introducción

*“Hay mucha agua sin vida en el universo,  
pero en ninguna parte hay vida sin agua”.*

Sylvia A. Earle.

Hoy gracias a la tecnología y medios de comunicación, conocemos una variedad de tipos de contaminación a nuestro medio ambiente, uno de ellos y el que más afecta a la sociedad es la contaminación del agua de los afluentes y arroyos de nuestro estado; por esta razón esta investigación abordará el estudio para el tratamiento y adecuada disposición de este vital líquido. Esta investigación propone un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de filtro percolador y un sedimentador secundario para las aguas residuales generadas por la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas.

La finalidad de este sistema de tratamiento es eliminar la contaminación del agua, la prevención de enfermedades gastrointestinales y de vectores, así como habilitar zonas que pudieran fungir como centros recreativos y de convivencia de la población Berriozabalense. Por otra parte, otro de los beneficios que genera la construcción de estas obras son las fuentes de empleo para la comunidad.

Al mismo tiempo las personas de la localidad y las personas aledañas a esta, se beneficiarán evitando que se encuentren en riesgo de contraer enfermedades por la contaminación que provocan las aguas residuales.

El objetivo de esta investigación es conocer la situación, y plantear la solución, para el tratamiento de aguas residuales de la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, las cuáles son provenientes de las viviendas, así mismo plasmar cálculos y resultados necesarios para el diseño del tratamiento sugerido. Con la finalidad de proceder al diseño es necesario mencionar el contexto histórico del municipio.

El 23 de mayo de 1898, se elabora el proyecto para erigir el pueblo con el nombre de Aldama, pero “se congela”. El 27 de mayo del mismo año; mediante el decreto número cinco de la XX Legislatura del H. Congreso del Estado y para fines; se expide el decreto del gobernador del estado que dice: “Se erige en pueblo con el nombre de Berriozábal a la hacienda de don Rodrigo del municipio y departamento de Tuxtla, por orden de don Porfirio Díaz y a gestiones de don Francisco Castañón, para evitar la expulsión de 80 familias o sean 1400 habitantes”. Es entonces cuando se le denomina Berriozábal; en honor al ilustre liberal que combatió a los franceses: Felipe Benicio Berriozábal Basabe (Molina, 2020).

Molina (2020), hace mención que este municipio, aunque pequeño de población, pero con gran historia, hace mención que fue vinculo estrecho con la II guerra mundial, esto debido a que en este municipio existían asentamientos y fincas alemanes, donde cosechaban un grano de aroma excelso llamado café, el cual exportaban desde la finca alemana de este municipio.

Parte de la historia de Berriozábal es que en ese municipio tienen la fuente de origen del rio Sabinal, el cual atraviesa el municipio, este emblemático rio hace algunas décadas atrás, se encontraba lleno de vida y corría agua limpia y cristalina, en donde niños y adultos llegaban a bañarse, las mujeres aprovechaban para ir a lavar su ropa y los hombres daban de beber a sus bestias.

Por esta razón se realiza la presente investigación que nace de la necesidad para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales, para eso se realizó un recorrido para investigar donde están los puntos finales de descarga, para proponer la planta a las afueras del municipio y con esto evitar olores fétidos a la población.

Por otra parte, las personas de la localidad y las personas aledañas a esta, se beneficiarán evitando que se encuentren en riesgo de contraer enfermedades por la contaminación que provocan las aguas residuales.

Dentro de los objetivos de esta investigación es conocer la situación y plantear la solución, para tratar las aguas provenientes de las viviendas de la población del municipio de Berriozábal, esto con el propósito de plasmar cálculos y resultados de los procesos a utilizar, mediante la elección del sistema de saneamiento, apoyándose de una hoja de cálculo con apoyo de una hoja de Excel.

En el capítulo 1 nos adentraremos en el conocimiento de conceptos relacionados al tema de investigación de aguas residuales, con antecedentes y terminología de la misma, mencionaremos que es una planta de tratamiento y sus antecedentes, desde los primeros pobladores en el México antiguo hasta la actualidad, se hace referencia algunos de los métodos de tratamiento de agua residual, así como la descripción del sistema que se utilizó en el municipio de Berriozábal.

En el capítulo 2 se describe la metodología que se utilizó para la recopilación de información y de proyección, esto enriquecido con fórmulas para la proyección de la población a futuro, cálculo de gasto de aguas residuales, así como consideraciones para la extensión de terreno para la planta, hojas de cálculo para el procedimiento de que tipos de rejillas a utilizar, así como los cálculos para las secciones de canales de ingreso de aguas residuales e información fundamental extraída de los diferentes documentos y manuales.

Para el capítulo 3 en este apartado encontraremos los resultados obtenidos de las hojas de cálculo de la propuesta del sistema de tratamiento de agua residual, así como la cantidad de población que será beneficiada por este sistema.

## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

---

En el siguiente apartado nos adentraremos a conocer conceptos de vital importancia, como son definiciones y antecedentes históricos, referente al tema de tratamiento de aguas residuales, para la concientización del vital líquido.

### 1.1. Aguas Residuales (AR)

Agua Residual (AR): Son las aguas de composición variada provenientes de las descargas de los usos público urbano, domestico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Conagua, 2011).

Las cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales son: (1) aguas domesticas o urbanas, (2) aguas residuales industriales, (3) escorrentías de usos agrícolas, (4) pluviales (Ramalho, 1996).

Aguas domesticas: es el resultado del agua utilizada en domicilios, casa habitación o complejo de departamentos, los cuales incluyen: desechos de cocinas, baños, lavamanos, sanitarios y lavandería. El efecto de estas aguas en combinación de materia orgánica (materia fecal, restos de alimentos, agua de jabón, entre otras), hacen que le agua tome un color grisáceo, y al arrastre que lleva en las tuberías de drenaje, este color se torna a negro y con la descomposición de la mezcla durante el traslado a los pozos de alcantarilla desarrolla un olor fétido.

Aguas residuales industriales: este tipo de fuente su composición es diversa, ya que, esta está en función de los procesos industriales a los que son sometidas. Algunas de las funciones de este tipo de agua son de enjuague y por consecuencia llegarían a estar

relativamente limpias, a diferencia de aquellas que retornan cargadas de sustancias corrosivas, venenosas, inflamables o explosivas.

Aguas residuales agrícolas: por su nombre menciona son aquellas aguas que son utilizadas en el sector agrario (agrícola y agropecuaria), estas aguas incluyen desechos de animales y vegetales.

Por ultimo y este sector, aunque en la mayor parte es únicamente por temporada, igual genera agua residual, y estas son las aguas pluviales (agua de lluvia), ya que esta al precipitarse en sus distintas formas, arrastra materia orgánica, inorgánica y química, que se encuentran en las avenidas, calles y senderos por las que pasan dichas aguas y esta las conduce a los sistemas de drenaje.

### ***Antecedentes***

Todos los seres vivos estamos constituidos en mayor medida de agua, con lo que este vital líquido es un elemento primordial en nuestro entorno, para esto tenemos que consumirla de manera cotidiana para vivir. Por esta razón el hombre desde sus antepasados se ha dado a la tarea de ver la manera de almacenamiento, para su uso en general. Pero, este uso implica la limpieza y distribución.

Desde el crecimiento exponencial de la poblaciones, el hombre a coexistido de manera colectiva y junto con esto, con sus desechos que con lleva la convivencia, nuestros antepasados era común y muy recurrente el descargar los desechos domiciliarios a los patios traseros, pero a medida de que las comunidades crecían y las descargas aumentaban, la tierra no era suficiente para absorber las descargas, por lo que se optó por dirigir las descargas de aguas utilizadas en los domicilios a las afluentes de los ríos y por consecuencia iniciar con la contaminación del vital líquido.

## ***Terminología***

**Ambiente:** El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinado (LGEEPA, 2024).

**Contaminación:** La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico (LGEEPA, 2024).

**Contaminante:** Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural (LGEEPA, 2024).

**Aguas Pluviales:** Aquellas que precipitan de la atmósfera de forma natural, ya sea en forma de lluvias, nieve y/o granizo (NOM001, 2021).

**Aguas grises:** Son aquellas que salen por los desagües de bañeras, lavabos, pilas de la cocina, lavavajillas o lavadoras. Estas aguas, con un tratamiento sencillo, pueden ser fácilmente reutilizadas para diversidad de usos; el más común de estos usos es emplearla para rellenar las cisternas de los inodoros, que no requieren aguas de gran calidad (Borras, 2017).

**Aguas negras:** Se designan así a un líquido de composición variada compleja, procedente de los diferentes usos domésticos, comerciales, públicos e industriales, mezcladas o no con aguas de lluvias (Vázquez, 2003).

Demanda química de oxígeno (DQO): Corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido (Ramalho, 1996, p. 29).

Demanda biológica de oxígeno (DBO): Se usa como medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia (Ramalho, 1996, p. 34).

## **1.2. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)**

En la siguiente investigación nos adentraremos al tema de tratamiento de aguas residuales, el cual implica la remoción total o parcial de desechos orgánicos e inorgánicos, en dicha investigación nos apoyaremos de los siguientes documentos o teorías y normas establecidas por las dependencias gubernamentales encargadas de la revisión y supervisión del tratamiento de aguas residuales.

### ***Definición***

Como mencionamos con anterioridad el agua es un recurso indispensable para el ser humano, sin embargo, recordemos que es un recurso natural y que junto con la sobrepoblación y explotación lo estamos llevando a la exigüidad del mismo, ya que, este vital líquido es requerido para distintos usos de la vida. Gracias a este uso desmedido en el mundo se producen grandes cantidades de agua residual, no obstante, que hacemos para contrarrestar la situación, pues bien, el hombre en la necesidad de recuperar y continuar con el consumo de agua, encontró la manera de reutilizarla, mediante Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es aquella que nos da la posibilidad de recuperar y reutilizar el agua que se consume, y que, se utiliza para los fines que la población requiera, y esta está conformada por una diversidad de fases, la cual permiten todo tipo de agua residual (público urbano, domestico, agrícola, etc.).

### ***Antecedentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales***

Entre los años 1500 y 500 a.C., se tiene registro la utilización de alcantarillas, tuberías de barro hechas de piezas ensambladas, así como acueductos subterráneos de piedra basáltica labrada, los cuales para tener una unión impermeable utilizaron chapopote o mezcla de la época (CONAGUA, 2009, p.17).

En México con la necesidad de tener limpios los hogares, los desperdicios y el agua usada los desviaban mediante desagües subterráneos y estos conectaban con redes de canales de riego, las cuales servían para las parcelas.

Con este uso excesivo del agua los antiguos mexicanos, encontraron la manera de contrarrestar las aguas negras (aguas residuales), con el uso de chinampas, la cual consistía en un suelo artificial a base de tierra negra, sobre la laguna para su uso en cultivo intensivo, los desechos llegaban a topar con las chinampas y la materia orgánica palustre, eran utilizados como abono a las islas artificiales y como saneamiento a las aguas negras (CONAGUA, 2009).

Así fue como nuestros ancestros trataban y reutilizaban el agua, aunque con poco conocimiento de los sistemas, evitaban la propagación de enfermedades, aunado a eso, ellos mantenían una estricta higiene. A principios del siglo XIX fue entonces cuando se tomó en cuenta los sistemas de tratamiento.

También en el siglo XIX se inició el reúso del agua residual generada en la Ciudad de México. Ello ocurrió como resultado de las descargas del drenaje en el Valle de Tula; cabe señalar que el agua residual primero se reusó en 1889 para generar energía en dos plantas hidroeléctricas (Juandhó y La Cañada) y, posteriormente, en 1896, para el riego agrícola en Tlaxcoapan, Tlalhuellipan y Mixquiahuala. Cabe destacar que fue hasta 1912 cuando se creó formalmente un distrito de riego con agua residual, que después sería reconocido como uno de los más grandes del mundo en su género (Jiménez, 2004, p. 15-32).

En el pasado, la evacuación de las aguas residuales se llevaba a cabo en la mayoría de los municipios y comunidades de la manera más sencilla posible, sin tener en cuenta las desagradables condiciones que se daban en el lugar de vertido (Metcalf y Eddy, 1996).

El riego constituyó, probablemente, el primer método de evacuación de aguas residuales, aunque fue la dilución el primero en adoptarse de manera generalizada.

## ***Función de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.***

Los diferentes tipos de efluentes que existen y las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua residual, son datos indispensables para la correcta elección del tipo de tratamiento a utilizar (Vázquez, 2003).

### Pretratamiento

El propósito del pretratamiento es remover, reducir o modificar constituyentes del agua residual que puedan causar problemas operacionales o incrementar el mantenimiento de los equipos electromecánicos, por tal motivo es práctica común y recomendada que se encuentren previos a los equipos de bombeo (Rosas, 2020).

Los constituyentes a remover en esta etapa consisten en sólidos gruesos, materiales inertes abrasivos, sólidos flotantes o grasas. Para Ramalho (1996) "El pretratamiento es el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga bien en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de una neutralización u homogenización" (p.91).

### Cribado por medio de rejillas

La operación de cribado se emplea para remover el material grueso, generalmente flotante, contenido en algunas aguas residuales crudas, que puede obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento; el cribado puede ser fino por medio de mallas de alambre grueso o por medio de rejillas (CONAGUA, 2009).

### Sedimentación

Esta etapa del tratamiento de aguas residuales su función específica es el separar o remover sólidos en suspensión (que se encuentran flotando), este funciona mediante gravedad. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaban en el depósito de las materias en suspensión (Ramalho, 1996).

Para Ramalho (1996), este proceso puede tomarse en cuenta 3 tipos de sedimentadores, esto dependerá de las características o naturaleza de los sólidos que se encuentren presentes en el agua residual (suspendidos).

1. Sedimentación discreta: Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, las propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico), no sufren alteraciones. La deposición de partículas de arena en los desarenadores es un ejemplo típico de sedimentación.
2. Sedimentación con floculación: La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios de densidad y velocidad de sedimentación. Un ejemplo claro de esto es clarificador o sedimentador primario.
3. Sedimentación por zonas: Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una interfase distinta con la fase líquida. Un ejemplo de este tipo de sedimentación son lodos activados en los clarificadores secundarios y la de flóculos de alúmina en los procesos de tratamiento de aguas residuales (p. 93).

## Desarenador

Esta estructura es la encargada de retener o eliminar las arenas o partículas que se encuentran en el agua residual; el desarenado es una parte importante del tratamiento de aguas residuales, evita la abrasión innecesaria y el desgaste de los equipos mecánicos, la deposición de arena en tuberías y canales, y la acumulación de arena en digestores anaerobios y tanques de aireación; además, reduce la frecuencia de limpieza del digestor causada por la acumulación excesiva de arena (CONAGUA, 2009).

## Rejillas finas

En este proceso del tratamiento se centra específicamente en remover los granos o partículas finas que no se lograron eliminar en el proceso anterior el cual consistía en el desarenado de las aguas negras.

Una de las operaciones unitarias, previos al proceso biológico, en una planta de tratamiento es el cribado fino. Las cribas son dispositivos manuales o mecanizados con aberturas de tamaño uniforme que retienen residuos de tamaño pequeño que son contenidos en el afluente. El cribado fino remueve materiales indeseables como fibras o sólidos pequeños, lo que protege los equipos e incrementa la eficiencia de los procesos subsecuentes en la planta (CONAGUA, 2009).

Un aspecto relevante es la disposición adecuada del material recolectado, dado que estos contienen organismos patógenos y atraen insectos y vectores; en consecuencia, las condiciones de higiene, seguridad y mantenimiento son factores importantes durante la selección del equipo adecuado para el logro de los objetivos de tratamiento (CONAGUA, 2009).

## Manejo de solidos

La cantidad de material retenido varía dependiendo del tipo de rejilla o criba, del espaciamiento o abertura, del sistema de alcantarillado y de la población aportante. Los valores sugeridos oscilan entre 3.5 – 37.5 mL/metro cúbico (CONAGUA, 2009, p. 35).

## Filtro rociador

En el proceso de filtración biológica, el agua residual se deja escurrir sobre un filtro empacado con piedra o con algún medio sintético. En la superficie del medio se desarrollan crecimientos que oxidan biológicamente los contaminantes orgánicos presentes en el agua; el efluente es colectado al fondo del filtro (CONAGUA, 2009, p. 37).

## Discos biológicos

El sistema tiene aplicaciones en tratamiento secundario y nitrificación. En estas aplicaciones los discos se posicionan dentro de los tanques, de tal forma que quede el 40 por ciento sumergido; los discos rotan lentamente (de 1 a 2 r/min, pero generalmente de 1.4 a 1.6 r/min) mientras están en contacto con el agua residual y la atmósfera al mismo tiempo (CONAGUA, 2009).

Esta acción hace que los microorganismos que se encuentran presentes naturalmente en el agua residual se adhieren al medio formando una capa delgada en todo el disco. El manual de CONAGUA (2009), la población biológica en el medio se acumula y se alimenta de los organismos que habitan en el agua residual. La turbulencia causada por la rotación de los discos mantiene la biomasa en suspensión. Los sólidos suspendidos son transportados con el agua residual a un sedimentador secundario (CONAGUA, 2009).

### **1.3. Métodos para Tratamiento de Aguas Residuales**

Como se describió con anterioridad el agua residual es un problema a nivel mundial y con esto conlleva a la escasez del vital líquido de consumo humano, para contrarrestar eso se tienen las plantas de tratamiento de aguas residuales, que estos se describieron en el apartado anterior, para este apartado se describirán los detalles de los métodos utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales y que son objeto de estudios para esta investigación.

#### ***Filtros Anaerobios con Flujo Ascendente***

El filtro anaerobio con flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido propuesto por Young y McCarty en 1969, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento anaerobio es el más sencillo de mantener pues la biomasa permanece como una película microbial adherida y el riesgo de taponamiento es mínimo dado que el flujo es ascensional (CONAGUA, 2009, p, 43).

El filtro anaerobio se compone por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soportar el crecimiento biológico anaerobio. El agua residual se pone en contacto con el crecimiento bacteriano anaerobio adherido al medio y como las bacterias son retenidas sobre el medio y no salen en el efluente, es posible la obtención de tiempos de retención hidráulica cortos, permitiendo así el tratamiento de aguas residuales de baja concentración a temperatura ambiente (CONAGUA, 2009, p. 44).

### ***Lodos Activados***

Esta etapa de la planta de aguas residuales, su función principal es la remoción total de materia orgánica y microorganismos de las aguas negras, a esta última mezcla se le llama Lodo Activado. La remoción de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) se logra por la conversión biológica, en presencia de oxígeno molecular, por microorganismos, de la DBO en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y en nuevas células de microorganismos. Los microorganismos formados se separan por sedimentación gravimétrica, una parte es reciclada como siembra para la continuación del proceso, y el resto se remueve. Los lodos en el reactor biológico están sujetos a un proceso de autooxidación, conocido como respiración endógena, proceso que también consume oxígeno (CONAGUA, 2009, p. 47).

### ***Filtro Percolador***

El filtro percolador, también llamado reactores de crecimiento biológico asistido; es una etapa de los procesos de tratamiento primario y secundario en el tratamiento de aguas residuales de conjunto de casa habitaciones, industria o sistemas municipales.

Los filtros percoladores pertenecen a este tipo de reactores de crecimiento asistido. El filtro percolador en su relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo; el agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo (Ramalho, 1996, p. 472).

### ***Reactor Anaerobio con Flujo Ascendente***

Esta tecnología ha sido utilizada para tratamiento de aguas municipales urbanas en sistemas centralizados, pero su aplicación en áreas rurales aun es limitada (CONAGUA 2015).

En esta etapa del proceso de tratamiento es el utilizar las bacterias para minimizar la carga orgánica de las aguas negras y el resultado de estas son convertidas en lodo, como dato curioso el lodo que se genera de este proceso no es un lodo solido como comúnmente se conoce (espeso), al contrario, este lodo es muy líquido.

En este proceso el agua residual entra por debajo del reactor, y el efluente tratado sale por la parte superior. El reactor no contiene ningún relleno para soportar el crecimiento biológico. El lodo conformado en el reactor puede considerarse dividido en dos zonas; zona 1, se llama lecho de lodo y la zona 2 es la manta de lodo (Ramalho, 1996, p. 520).

#### **1.4. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la cabecera municipio de Berriozábal, Chiapas.**

Para esta localidad se tomará en cuenta el proceso de tratamiento de aguas residuales el sistema a base de Filtro percolador con Sedimentador secundario, con la finalidad de acortar los costos de construcción y los costes de mantenimiento.

##### ***Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a base de Filtro Percolador y Sedimentador Secundario.***

En la actualidad la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, subsiste una limitación de interés relacionada con la calidad del agua. Los desechos del servicio de alcantarillado sanitario, son descargados directamente al río denominado "El Sabinal". Lo que ha propiciado que la población padezca infecciones gastrointestinales y provocando que elementos acuáticos estén contaminados. Para esta investigación y en especial para el tratamiento de aguas residuales de la localidad de Berriozábal, se describirán las fases para dicho tratamiento.

En la fase inicial del proceso, usualmente se utilizan métodos físicos, como aquellos en el que se utilizan la fuerza de la naturaleza para la neutralización de los contaminantes. Algunos de los métodos utilizados en este proceso son: filtrado, decantación, tamizado, separadores de peso, entre otros.

Como mencionan Metcalf y Eddy (1996), dado que el origen de estas operaciones se halla en la observación directa de fenómenos que se daban en la naturaleza, constituyen los primeros métodos de tratamiento empleados por el hombre. Gracias a esto se utilizarán como primera etapa del proceso y en este caso de estudio se utilizará un canal rectangular para la conducción del efluente.

El agua residual como tal con lleva solidos de diferentes tamaños, los cuales debe ser retenidos y desechados, para este proceso se utiliza desbastes o también llamadas rejillas con abertura. Tal como lo afirman Metcalf y Eddy (1996), la función que desempeñan

las rejas y tamices se conoce con el nombre de desbaste, y el material separado en esta operación recibe el nombre de basura o residuos de desbaste.

En el siguiente proceso, se utilizará el tercer tipo de sedimentación mencionado con anterioridad el cual consiste en sedimentación por zonas, para este proceso se utilizarán tanques circulares, de estos existen dos tipos, los de alimentación central y los de alimentación periférica.

El siguiente proceso en la planta de aguas residuales es el tratamiento secundario, el cual Ramalho (1996), lo menciona como aquellos procesos de tratamiento biológicos de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios. Por su parte Metclaf y Eddy (1996), menciona que “la principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma tanto coloidal, como en disolución”.

La última estación de la planta es el tratamiento terciario, en la cual el agua residual llega a la etapa final y lista para el proceso de desinfección, tal y como lo enuncia Metcalf y Eddy (1996), “el tratamiento secundario convencional se define como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje y la sedimentación”. Por su parte Ramalho (1996), reconoce al tratamiento terciario como tratamiento avanzado, el cual son una serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior al tratamiento secundario convencional.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

---

Para Lafuente (2008), la investigación científica es una tarea que tarde o temprano se enfrenta con el desarrollo de la carrera académica y en ocasiones también con el desarrollo del trabajo profesional. Por esta razón iniciamos con esta investigación con la intención de resolver el problema que acaece a la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas.

Desde un punto de vista científico, la investigación es un proceso que nos permite aplicar el método y las técnicas científicas adecuadas para encontrar la respuesta al problema inicialmente planteado. El uso de unas técnicas u otras define el tipo de investigación que estamos realizando (Lafuente, 2008). En esta investigación se utilizaron métodos tanto cualitativos como cuantitativos.

Para la parte cualitativa de la investigación se emplearán métodos de recopilación de información expedidos por las dependencias gubernamentales especializados en el tema de estudio, exponiéndonos temas de diseño y comparativa con diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales.

En el tema cuantitativo, se abordan métodos de recopilación de datos existentes de otros investigadores, los cuales nos presentan, expresiones matemáticas, ecuaciones aplicadas al campo de investigación, así como, tesis y bibliografía enfocada en el tema, para la obtención de resultados los cuales puedan ser comparados.

La problemática de la contaminación de los mantos acuíferos y cuerpos de agua superficiales, debido a las descargas de aguas contaminadas, es una asignatura pendiente en nuestro estado, por esta razón la intención de la presente investigación es diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, con la finalidad de evitar la contaminación de los cuerpos de agua y erradicar de esta manera enfermedades producidas por aguas contaminadas y por vectores.

Para el desarrollo de diseño de esta propuesta, es importante definir los siguientes puntos y resolver las ecuaciones matemáticas referenciadas por los autores, incluidos en esta investigación.

Se utilizó una memoria de cálculo de Excel (Hernández, 2023) para generar datos cuantitativos suficientes para proyección del proceso para la población antes mencionada, y así plantearla en esta investigación.

Para el diseño del tren de tratamiento de aguas residuales propuesto en la investigación como primeros pasos se tiene que obtener datos básicos de proyecto en los que se incluyen, población de proyecto, localidad, tasa de crecimiento, clase socioeconómica, entre otros.

Tal como refiere CONAGUA (2009), la población actual se obtiene de los datos censales que proporciona el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el año en que se hizo el levantamiento de la información. Este dato refiere a la población que vive en la actualidad en el municipio, mismo que servirán para el diseño del sistema que se esté proyectando.

**Tabla 1:**

*En la siguiente tabla se representa datos básicos a utilizar en este proyecto de tren de tratamiento.*

<b>DATOS GENERALES</b>	
<b>Proyecto:</b>	Tren de Tratamiento de Aguas Residuales
<b>Módulo:</b>	PTAR
<b>Localidad:</b>	0001 Berriozábal
<b>Municipio:</b>	0012 Berriozábal
<b>Estado:</b>	07 Chiapas
<b>Población 2023:</b>	64,632
<b>Tasa crecimiento en %:</b>	3.15
<b>Clase socioeconómica:</b>	Media
<b>Aportación %:</b>	75

*Nota:* Datos de proyecto, elaboración propia, con adaptación de Hernández (2023).

Para obtener la población de diseño se aplicó el método geométrico, para el número de pobladores para proyección a futuro, la cual es conocida como método de interés compuesto y esta se basa en la siguiente ecuación matemática:

$$P_d = P_a(1 + r)^t \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

$P_d$ = Población de diseño (hab.)

$P_a$ = Población actual (hab.)

$r$ = Tasa de crecimiento anual (%)

$t$ = Periodo de diseño (años)

## 2.1. Descarga de efluentes

Como parte del diseño para el tratamiento de aguas residuales, se tomará en cuenta los parámetros de clima, necesarios para conocer los procesos de evapotranspiración del agua a tratar.

En este sentido para la cabecera municipal de Berriozábal, se tiene un promedio de temperatura de 24.8°C, lo que nos permite ubicar al municipio en un sistema de clima cálido, tal como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 2:**

*Se observan las clasificaciones de climas por su temperatura.*

CLASIFICACION DE CLIMAS POR SU TEMPERATURA	
Temperatura media anual en °C	Tipo de clima
Mayor que 22.1	Cálido
De 18 a 22	Semicálido
De 12 a 17.9	Templado
De 5 a 11.9	Semifrío
Menor que 5	Frío

*Nota:* El clima se selecciona en función de la temperatura media anual, creación propia adaptado de CONAGUA (2011).

Para CONAGUA (2009), los consumos domésticos per cápita, se toman a partir del desglose de la siguiente tabla, tomando en cuenta el clima promedio anual.

**Tabla 3:**

*Consumos domésticos per cápita.*

CLIMA	CONSUMO POR CLASE SOCIECONOMICA		
	(litros/habitantes/día)		
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
CALIDO	400	230	185
SEMICALIDO	300	205	130
TEMPLADO	250	195	100

*Nota:* Para este caso de estudio y tomando en cuenta la temperatura promedio anual, se obtiene que la cabecera municipal tiene clima cálido, elaboración propia con información de CONAGUA (2009).

## 2.2. Caudales de planificación

Corresponde al valor deducido del total del caudal de agua entregado en 24 horas, este también conocido como gasto medio diario (CONAGUA 2019).

$$Q_{med} = \frac{P \times Ap}{86,400} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

$Q_{medio}$  = *gasto medio*

$P$  = *población*

$Ap$  = *aportación*

### 2.3. Gasto máximo diario y horario

Para satisfacer la necesidad de una población es indispensable conocer ciertos datos, tales como, gasto máximo diario y máximo horario, para saber los consumos máximos en un año, respectivamente CONAGUA (2019).

Para tal calculo se utilizaron las siguientes expresiones matemáticas:

$$Q_{Md} = CV_d Q_{med} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

$$Q_{Mh} = CV_h Q_{Md} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

$Q_{md}$ = gasto máximo diario

$Q_{mh}$ = gasto máximo horario

$CV_d$ = coeficiente de variación diaria

$CV_h$ = coeficiente de variación horaria

$Q_{med}$ = gasto medio diario

Al mencionar coeficientes en la expresión matemática se refieren a datos constantes establecidos, tal como lo menciona CONAGUA (2019), que toma valores emitidas por el IMTA (1993), los cuales se representan en la siguiente tabla.

**Tabla 4:**

*Coeficiente de variación diaria y horaria*

Concepto	Valor
Coeficiente de variación diaria ( $CV_d$ )	1.20 a 1.40
Coeficiente de variación horaria ( $CV_h$ )	1.55

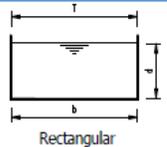
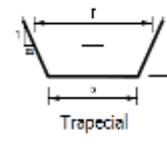
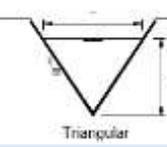
## 2.4. Canal de acceso

Para el ingreso del caudal al tren de tratamiento, se requiere de una conducción del flujo de agua y esto se realiza mediante un canal de acceso. Como menciona Rodríguez (2008), existen elementos geométricos de las secciones transversales más frecuentes de canales tipo.

A continuación, se representan los tipos de canales con las respectivas fórmulas para el diseño.

**Tabla 5:**

*Elementos geométricos de las secciones transversales más frecuentes de canales tipo.*

SECCION	AREA	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	ANCHO SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD HIDRAULICA
 <p>Rectangular</p>	$b * d$	$bd + 2d$	$\frac{bd}{b + 2d}$	$T$	$d$
 <p>Trapezial</p>	$b * d + md^2$	$b + 2d\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{bd + md^2}{b + 2d\sqrt{1 + m^2}}$	$b + 2md$	$\frac{bd + md^2}{b + 2md}$
 <p>Triangular</p>	$md^2$	$2d\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{md}{2\sqrt{1 + m^2}}$	$2md$	$\frac{d}{2}$

*Nota:* En la tabla se aprecian los diferentes tipos de canales más usados, elaboración propia, con información de Rodríguez (2008).

## 2.5. Rejillas

Teniendo en cuenta el ingreso del caudal a la planta proveniente del emisor, este procede al primer paso en la etapa de pretratamiento, el cual consiste en procesos físicos, de los cuales el más habitual es el uso de rejillas de desbastes, las cuales son las encargadas de eliminar sólidos gruesos.

Para Metcalf y Eddy (1996) las rejas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores, los cuales consisten en desechos tales como piedras, ramas, trozo de chatarra, papel, entre otros.

Para tal caso suelen utilizarse dos tipos de rejillas las de limpieza manual y las de limpieza mecánica, por condiciones de población, cuándo se supera una población mayor a los 10,000 habitantes se recomienda utilizar rejillas de limpieza mecánica. En la siguiente tabla se observan ciertas características para el diseño de rejillas.

**Tabla 6:**

*En la siguiente tabla se observan características entre los dos tipos de rejillas.*

Características	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Anchura de barra	5-15	5-15
Profundidad de barra	25-37.5	25-37.5
Separación entre barra	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical	25-50	50-82.5
Velocidad de aproximación	150	150
Perdida de carga admisible	150	150

Para este diseño de tratamiento de aguas residuales y tomando en cuenta las recomendaciones de la literatura, se utilizará rejillas con limpieza mecánica, toda vez que la población en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, es de más de 10,000 habitantes.

Para el uso de rejillas o cribas en el proceso de pretratamiento involucra el cálculo de pérdida de energía a través de la unidad y este cálculo de pérdida se realiza por separado para el proceso de rejas y rejillas CONAGUA (2019).

Este cálculo para pérdidas de carga a través de las barras se obtiene mediante la siguiente expresión matemática:

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \text{ Ecuación 1.5}$$

Donde:

$h_L$  = pérdida de carga

0.7 = coeficiente de descarga empírico que considera las pérdidas por turbulencia y remolinos

$V$  = velocidad de flujo a través de la apertura de las rejas

$v$  = velocidad de acercamiento en el canal aguas arriba

$g$  = aceleración debida a la gravedad

Una vez obtenida la pérdida de carga, se procede a realizar el cálculo de la longitud de barra, así como del número de barras necesarias para las rejillas que se va a utilizar en este tema de investigación, todos estos cálculos son realizados mediante las siguientes expresiones matemáticas.

Cálculo de longitud de rejilla.

$$L = \frac{h+h_b}{\text{sen}\theta} \text{ Ecuación 1.6}$$

Donde:

L= longitud de reja

h= tirante hidráulico

h<sub>b</sub>= bordo libre

θ= ángulo de inclinación

Cálculo de número de barras.

$$n = \frac{W-C}{C+d_b} \text{ Ecuación 1.7}$$

Donde:

C= claro de barras

W= ancho de canal

n= número de espacios

n-1= número de barras

d<sub>b</sub>= espesor de la barra

Para el cálculo del ancho del canal de las rejillas se emplea la siguiente ecuación.

$$B_r = (n + 1)b + ns \text{ Ecuación 1.8}$$

Donde:

B<sub>r</sub>= ancho del canal

n= número de celdas

b= separación entre barras

s= ancho

## 2.6. Desarenadores

Las arenas al ser un material demasiado pequeño, logra atravesar las rejillas de solidos gruesos, para la eliminación de este tipo se requieren el uso de desarenadores, el uso de este proceso es considerado a partir de la cantidad, composición y su efecto en los procesos del tratamiento de agua residual, estos métodos de desarenador se seleccionan con base a la perdida de carga, espacios mínimos requeridos y presupuesto de la obra. Para este diseño de tratamiento de agua residual se opta por tener un desarenador horizontal tipo gravedad, el cual consisten en tener 2 canales.

Para el control de flujo del agua residual entrante a los desarenadores se utiliza un canal Parshall, estos regularmente se utilizan cuando en el sistema de tratamiento se tienen desarenadores horizontales tipo gravedad y que al menos contienen al menos dos canales (CONAGUA 2019).

Para CONAGUA (2019), nos sugiere realizar el diseño del canal Parshall de acuerdo con los criterios de las siguientes tablas.

**Tabla 7:**

*Fórmulas para canales Parshall*

Ancho de la garganta (W) (cm)	Ecuación	Capacidad (L/s)
5	$Q = 0.110H_a^{1.5}$	0.6-13
7.6	$Q = 0.110H_a^{1.547}$	0.8-55
15.2	$Q = 0.110H_a^{1.58}$	1.5-110
22.9	$Q = 0.110H_a^{1.53}$	2.5-250
30.5	$Q = 0.110H_a^{1.522}$	3.1-455
45.7	$Q = 0.110H_a^{1.538}$	4.3-700
61.0	$Q = 0.110H_a^{1.55}$	12-950

*Nota:* Elaboración propia, extracto y adaptación de CONAGUA (2019).

Obteniendo el caudal pico se procede a la configuración del canal Parshall, se basa en la siguiente tabla, la cual proporciona CONAGUA (2019), para una mejor configuración predeterminada.

**Tabla 8:**

*Dimensiones del canal Parshall*

W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	40.6	30.5	76.8	2.5	3.8
15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4	40.6	30.5	90.2	5.1	7.6
22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4	40.6	30.5	108.0	5.1	7.6
30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	149.2	5.1	7.6
45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	167.6	5.1	7.6
61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	185.4	5.1	7.6
91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	38.1	222.3	5.1	7.6
122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	271.1	5.1	7.6
152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	308.0	5.1	7.6
182.8	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	344.2	5.1	7.6

*Nota:* las dimensiones presentadas están de acuerdo con la figura siguiente, donde se especifica que corresponde cada literal expuesta en esta tabla, elaboración propia, con fragmento de CONAGUA (2019).

Para el correcto diseño del canal Parshall, se presenta la nomenclatura expuesta en la tabla 8, las cuales indican la descripción de cada literal, así como la posición en el canal.

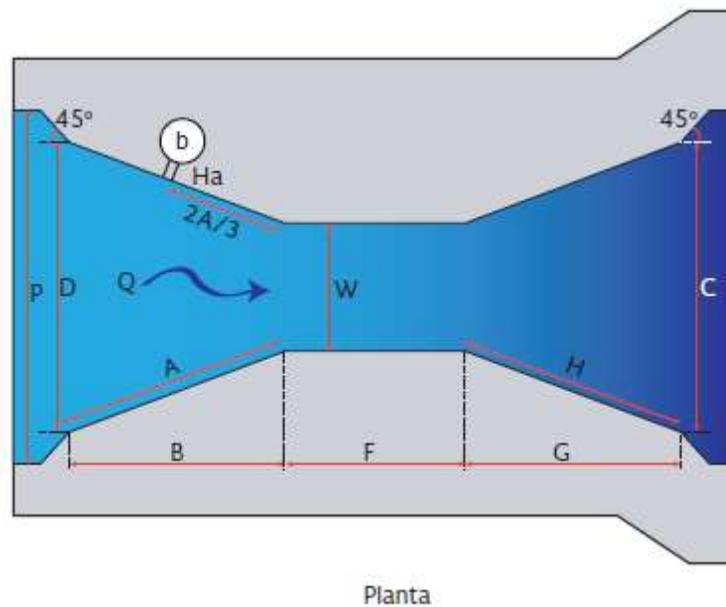
**Tabla 9:**

*Nomenclatura para el canal Parshall*

Nomenclatura	
W = Ancho de la garganta	H = Longitud de las paredes de la sección divergente
A = Longitud de las paredes de la sección convergente	K = Diferencia de la elevación entre la salida y la cresta
B = Longitud de la sección convergente	M = Longitud de la transición de entrada
C = Ancho de salida	N = Profundidad de la cubeta
D = Ancho de entrada de la sección convergente	P = Ancho de la entrada de la transición
E = Profundidad total	R = Radio de curvatura
F = Longitud de la garganta	X = Abscisa del punto de medición $H_b$
G = Longitud de la sección divergente	Y = Ordenada del punto de medición

**Figura 1:**

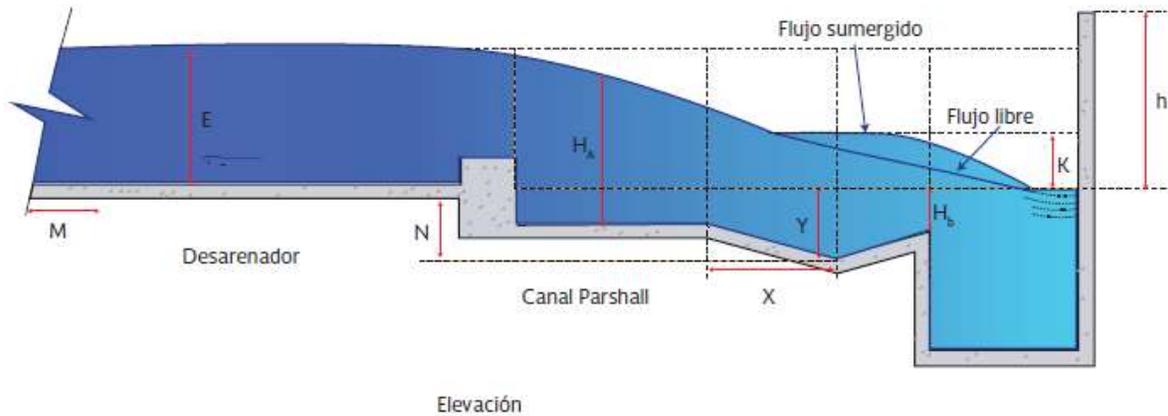
*Representación gráfica de la nomenclatura del canal Parshall.*



*Nota:* adaptado de CONAGUA (2019).

**Figura 2:**

*Representación de elevación del canal Parshall.*



*Nota:* Representación de un corte, para la correcta apreciación de las nomenclaturas, adaptado de CONAGUA (2019).

Para Ramalho (1996), los clarificadores primarios se diseñan para una separación determinada que van normalmente desde un 40% hasta un 60% de los sólidos que se encuentran en suspensión.

Por su parte Metcalf y Eddy (1996), nos presenta que hay dos tipos de formas de tanque de sedimentación primaria rectangulares y circulares, esto independientemente del tamaño de la planta. Estos cuando se tienen bien dimensionados y trabajando con eficiencia eliminan entre el 50% hasta 70% de los sólidos suspendidos y entre un 25% hasta un 40% de la  $DBO_5$ .

De todo lo anterior y considerando que en esta investigación no se cuenta con pruebas de tratabilidad se tomaran las sugerencias de los autores de utilizar un sedimentador primario circular, para el diseño del sedimentador se utilizara el gasto medio calculado a 10 años, con las siguientes ecuaciones matemáticas.

Cálculo de factor de carga del efluente.

$$F_c = \frac{F_{cs}}{F_s} \text{ Ecuación 1.9}$$

Donde:

$F_c$ = factor de carga del efluente

$F_{cs}$ = factor de carga superficial

$F_s$ = factor de seguridad

Cálculo del gasto del efluente (rebosadero del clarificador).

$$Q_e = \frac{Q_0(X_u - X_0)}{X_u - X_e} \text{ Ecuación 1.10}$$

Donde:

$Q_0$ = gasto de diseño

$X_0$ = sólidos en suspensión en el efluente

$Q_e$ = gasto del efluente en el rebosadero del clarificador

$X_e$ = sólidos en suspensión que permanecen en el líquido clarificado

$Q_u$ = gasto del caudal que sale del clarificador

$X_u$ = sólidos en suspensión del caudal separado

Cálculo de las dimensiones de la estructura.

Para obtener la dimensión del área.

$$A = \frac{Q_e}{F_c} \text{ Ecuación 1.11}$$

Donde:

$Q_e$ = gasto del efluente en el rebosadero del clarificador

$F_c$ = factor de carga

Cálculo de diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \text{ Ecuación 1.12}$$

Donde:

A= área del sedimentador

Cálculo de la altura

$$H = \frac{Q_0 t}{A} \text{ Ecuación 1.13}$$

Donde:

$Q_0$ = gasto de diseño

t= tiempo de retención

A= área del sedimentador

## 2.7. Lodos activados

Para realizar el cálculo del volumen del reactor se utilizará la ecuación de Lawrence y Mc Carty, la cual está representada por la siguiente expresión matemática.

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_0 - S)}{X(1 + K_d \theta_c)} \quad \text{Ecuación 1.14}$$

Donde:

V= volumen del reactor

S<sub>0</sub>= substrato soluble y biodegradable en el influente (DBO<sub>5</sub>)

S= substrato soluble en el efluente (DBO<sub>5</sub> soluble)

θ<sub>c</sub>= tiempo de retención celular

Q= caudal del influente

Y= coeficiente de crecimiento, producción de células removidas

K<sub>d</sub>= coeficiente de decaimiento endógeno

X= concentración de células en el reactor

Identificando el valor del substrato soluble en el efluente (S) y la eficiencia biológica, y asumiendo que el 80% de los SST del efluente son orgánicos (volátiles); se obtiene la siguiente ecuación matemática:

$$SSV_{ef} = 0.8(SST_{ef}) \quad \text{Ecuación 1.15}$$

Considerando que el 65% de los biosólidos son biodegradables se tiene:

$$SSV_{ef.bio} = 0.65(SSV_{ef}) \quad \text{Ecuación 1.16}$$

Assumiendo que 1.42 mg de O<sub>2</sub> son consumidos por cada 1 mg de células oxidadas, se obtiene lo siguiente:

$$DBO_w, SS_{ef} = 1.42(SSV_{ef.bio}) \quad \text{Ecuación 1.17}$$

Si la  $DBO_5$  se encuentra entre el rango de 0.45 a 0.68 de  $DBO_u$ , entonces asumiremos el valor máximo para el cálculo.

$$DBO_{5,SSef} = 0.68(DBO_u,SSef) \text{ Ecuación 1.18}$$

Por lo tanto, para encontrar la  $DBO_5$  soluble, se necesita la siguiente ecuación:

$$S = DBO_{5sol.ef.} = DBO_5 - DBO_{5,SSef} \text{ Ecuación 1.19}$$

Por último, la eficiencia del tratamiento biológico se determinará con la siguiente expresión matemática.

$$E = \frac{(S_0 - S)100}{S_0} \text{ Ecuación 1.20}$$

En el siguiente apartado encontraremos  $\theta_c$  que es el parámetro que relaciona el tiempo de residencia con la cinética y estequiometría del proceso, la selección de X depende de la transferencia de oxígeno y las características del mezclado el cual provee el sistema de aireación, así como la temperatura y la carga de sólidos aceptable para los sedimentadores secundarios.

Para Ramalho (1996), el sistema convencional de lodos activados X se recomienda en el rango de 1,500 a 3,000 mg/l, por su parte la concentración de sólidos en el lodo extraído del sedimentador secundario varía desde los 8,000 hasta los 15,000 mg/l.

Para la determinación del caudal de diseño y porcentaje de recirculación se emplea la siguiente expresión matemática.

$$X(Q + Qr) = SSIsed(Qr) \text{ Ecuación 1.21}$$

De la ecuación 1.21 se despeja  $Qr$  y asumiendo que los valores de  $X$  están en el rango de 3,000 mg/l y la  $SSIsed$  es igual a 8,000 mg/l, se obtiene lo siguiente:

$$Qr = \frac{XQ}{SSIsed - X} \quad \text{Ecuación 1.22}$$

Los coeficientes cinéticos de crecimiento ( $Y$ ) y el coeficiente de decaimiento endógeno ( $Kd$ ), estos se determinan mediante la realización de pruebas de tratabilidad de biodegradación aerobia, para este caso de investigación, no se tienen pruebas de tratabilidad, por lo tanto, se seleccionan los siguientes valores extraídos de Metcalf y Eddy (1996).

**Tabla 10:**

*Valores predeterminados para los coeficientes*

Valores cinéticos	
$\theta_c$	5-15 días
$Y$	0.6 mg SSV/mg $DBO_5$
$X$	1,500 – 3,000 mg/l
$Kd$	0.06 $d^{-1}$ (T=20 °C)

*Nota:* elaboración propia, adaptado de Metcalf y Eddy (1996).

Por lo tanto, el volumen requerido será expuesto por la siguiente expresión matemática:

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_0 - S)}{X(1 + Kd\theta_c)} \quad \text{Ecuación 1.23}$$

Para la determinación de la masa de lodo residual, la cual es generada diariamente se obtiene:

$$Y_{observada} = \frac{Y}{1 + Kd\theta_c} \quad \text{Ecuación 1.24}$$

$$P = \frac{Y_{obs} Q (S_0 - S)}{1000} \quad \text{Ecuación 1.25}$$

En el caso del aumento diario de partículas suspendidas en la mezcla ( $Pss$ ), la cual está dada en kilogramos por día, se obtiene lo siguiente:

$$P(ss) = \frac{P}{SSVLM/SSLM} \text{ Ecuación 1.26}$$

Cálculo de masa diaria de lodo residual (MI.r)

$$MI.r = P(ss) - \frac{QSSTe}{1000} \text{ Ecuación 1.27}$$

Caudal de lodo residual (QI.r)

$$QI.r = \frac{MI.r}{SSIsed} \text{ Ecuación 1.28}$$

Determinación del tiempo de retención hidráulico en la unidad, tomando en cuenta el rango de este que oscila entre 4 y 8 horas.

$$\theta = \frac{V}{Q} \text{ Ecuación 1.29}$$

Determinación del equilibrio entre los microbios y la comida ( $\frac{F}{M}$ ), que para tal caso son los desechos orgánicos, este parámetro se encuentra en el rango de 0.2 a 0.4.

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta X} \text{ Ecuación 1.30}$$

Determinación de la carga orgánica volumétrica.

$$COV = \frac{S_0 Q}{V} \text{ Ecuación 1.31}$$

Determinación del requerimiento de oxígeno.

$$\text{Masa de } DBO_{\text{última}} = \frac{Q(S_0 - S)}{0.68} \text{ Ecuación 1.32}$$

$$DBO_{\text{última de nuevas células}} = 1.42P \text{ Ecuación 1.33}$$

Requerimiento real de oxígeno.

$$Kg \frac{O_2}{d} = \text{Masa de } DBO_{\text{última}} - DBO_{\text{última de nuevas células}} \text{ Ecuación 1.34}$$

Determinación de la cantidad de aire requerido para la aireación del agua.

$$Q_{\text{aire teórico}} = \frac{Kg \ O_2/d}{0.232 \ \gamma_{\text{aire}}} \text{ Ecuación 1.35}$$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{aire teórico}}}{0.07} \text{ Ecuación 1.36}$$

## 2.8. Sedimentador secundario circular

Para Metcalf y Eddy (1996), un sedimentador después de lodos activados se deben considerar los siguientes valores.

**Tabla 11:**

*Información típica de diseño para decantadores secundarios*

Carga de superficie (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	Carga de solidos (kg/m <sup>2</sup> /h)	Profundidad (m)
Gasto Medio	Gasto Medio	3.6 - 6.0
0.678 – 1.356	3.90 – 5.85	

*Nota:* Elaboración propia con extracto de Metcalf y Eddy (1996).

Para calcular el área necesaria para la clarificación con base a la carga hidráulica, para este cálculo se realiza con la siguiente ecuación matemática.

$$Acl = \frac{Q_d}{qh} \text{ Ecuación 1.46}$$

Donde:

Acl= área del clarificador

Qd= carga de diseño

qh= carga hidráulica

Para determinar la profundidad de la zona de la clarificación ( $h_1$ ) y de la zona de separación ( $h_2$ ) por recomendación de la literatura se propone una  $h_2$  de 0.5 metros y tomando en cuenta un tiempo de retención de 2 horas, se requiere de la siguiente ecuación.

$$h_1 = qh * t \text{ Ecuación 1.47}$$

Profundidad de la zona de acumulación de lodos  $h_3$ , esta se da si la concentración de sólidos que entra al sedimentador se estima es de 29.2 mg/l o 0.0292 kg/m<sup>3</sup> y considerando que el 90% de los sólidos quedan retenidos en la unidad, por lo tanto, el lodo residual se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Sólidos en el sedimentador} = (Q_{med})[(\text{Conc. de Sol.})(\%)] \text{ Ecuación 1.48}$$

$$h_3 = \frac{(2)(Mlr)}{(Acl)(SSTl.sed.)} \text{ Ecuación 1.49}$$

Para el cálculo de la profundidad total del sedimentador (H), esta se realiza mediante la siguiente expresión matemática.

$$H = h_1 + h_2 + h_3 \quad \text{Ecuación 1.50}$$

Cálculo del diámetro del sedimentador secundario

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ecuación 1.51}$$

Considerando que la concentración de lodo es del 2% y el valor de  $\gamma = 1 \text{ ton/m}^3$ , el gasto del lodo y el volumen de la tolva esta expresada mediante la siguiente expresión algebraica.

$$Q.l.r. = \frac{M.l.r.}{(C_{lodo})(\gamma)} \quad \text{Ecuación 1.52}$$

$$Vt = (Q.l.r.)(T) \quad \text{Ecuación 1.53}$$

## 2.9. Filtro percolador

Debido a que las propiedades de los medios plásticos son más predecibles y se tienen registrados datos para predecir el funcionamiento y rendimiento de los filtros percoladores con rellenos de material plástico, para tal cálculo se tiene la siguiente expresión matemática propuesta por Eckenfelder, Germain y Schultz, Metcalf y Eddy (1996).

$$\frac{S_e}{S_i} = \exp[-KS_a^m D(Q_v)]^{-N} \quad \text{Ecuación 1.37}$$

Donde:

$S_e$ = DBO5 total del efluente del filtro sedimentado

$S_i$ = DBO5 total del agua residual aplicada al filtro

$K_{20}$ = constante de tratabilidad correspondiente a la profundidad media del filtro a la temperatura de 20°C

$D$ = profundidad del filtro

$Q_v$ = caudal volumétrico aplicado por unidad de área del filtro

$Q$ = caudal aplicado al filtro sin recirculación

$A$ = área transversal del filtro

$n$ = constante experimental, normalmente tiene valor de 0.5

Cálculo de área del filtro percolador

$$AFP = Q_d \left[ \frac{-\log(S_e/S_i)}{K_t * HFP} \right]^{\frac{1}{n}} \quad \text{Ecuación 1.38}$$

Cálculo de constante de tratabilidad

$$K_t = K_{20} \beta^{(T-20)} \quad \text{Ecuación 1.39}$$

Determinación del volumen del filtro percolador

$$VFP = AFP * HFP \text{ Ecuación 1.40}$$

Determinación del diámetro del filtro percolador

$$DFP = \left( \frac{4 AFP}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ Ecuación 1.41}$$

Comprobación de la carga hidráulica

$$qHFP = \frac{Q_d}{AFP} \text{ Ecuación 1.42}$$

Comprobación de la carga orgánica.

$$qOFP = \frac{Q_d * DBO_5}{VFP} \text{ Ecuación 1.43}$$

Determinación de la ventilación que es la altura de presión resultante de la diferencia de temperaturas.

$$VNA = 3.53 * \left( \frac{1}{T_{me}} - \frac{1}{T_{ma}} \right) HFP \text{ Ecuación 1.44}$$

Determinación de la velocidad de rotación del distribuidor giratorio.

$$n = \frac{1.66 * qHFP}{NBD * D} \text{ Ecuación 1.45}$$

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

---

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el diseño del tren de tratamiento de la cabecera municipal de Berriozábal, los cuales fueron obtenidos de la aplicación de las fórmulas establecidas en la bibliografía técnica y especializada en el tema de tratamiento de aguas residuales seleccionado, obteniéndose los siguientes parámetros de diseño.

En la siguiente figura se presenta el esquema de seguimiento del tren de tratamiento propuesto:

**Figura 3:**

*Tren de tratamiento propuesto*



*Nota:* Elaboración propia

### 3.1. Tratamiento preliminar o pretratamiento

Es la fase inicial. Generalmente se trata de procedimientos físicos, es decir por la acción de fuerzas naturales para la eliminación de los contaminantes. Entre estos métodos se incluyen: decantación, levitación, tamizado, filtrado, equilibrio del flujo, separadores de peso, y más.

### 3.2. Canal de acceso

Para este Proyecto de Investigación se sugirió un conducto y la sección transversal de canal rectangular. También se puede emplear una caja de recepción, para recibir el

afluente que descarga el emisor que para el caso de este tema de estudio no aplica. Para esto se requiere de una obra civil ubicada al inicio del pretratamiento, en esta llega el agua residual que proviene del emisor.

Para Rodríguez (2008), los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de gravedad, y estas a su vez se clasifican de acuerdo a su origen en dos tipos: Canales naturales y Canales artificiales.

Para el caso de estudio que tenemos, utilizamos canal artificial, esto con la intención de frenar la presión al final del colector principal a la planta, esto para unificar la velocidad del efluente, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 12:**

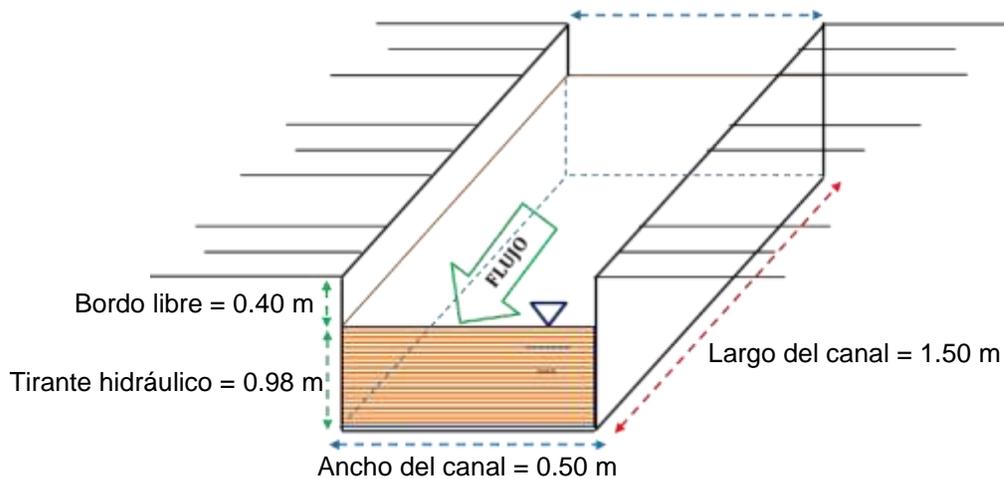
*Resultados obtenidos para la construcción del canal de entrada*

DATOS	VALOR	UNIDAD
Área sección transversal	0.492	m <sup>2</sup>
Volumen de canal	0.735	m <sup>3</sup>
Ancho del canal	0.50	m
Número de canales	1.00	NA
Ancho de muro	0.15	m
Largo del canal	1.50	m
Tirante hidráulico	0.98	m
Bordo libre	0.40	m
Profundidad total del canal	1.38	m

*Nota:* las siglas NA hacen referencia a que No Aplica.

**Figura 4:**

*Representación del canal de acceso*



*Nota:* En la figura representada se observa que la profundidad total del canal es de 1.38 m, esto se debe a la suma del borde libre más el tirante hidráulico, elaboración propia con información de Hernández (2019).

### **3.3. Rejillas o desbaste**

La función de estas es permitir el paso del agua, y evitar que otros componentes grandes pasen a través de ellas, es requerido darles limpieza al menos una vez al día. Aplicando los cálculos para la determinación de número de barras, se obtuvo que nuestra reja desbaste tendrá 13 barras.

Para este diseño se consideró dos secciones de rejillas, por lo tanto, los diseños de rejillas de desbastes están unidos por un muro de concreto de 0.15 m de espesor, por lo que también este último dato se suma al ancho total de la rejilla obteniendo un total de 1.15 m de ancho.

**Tabla 13:**

*Dimensionamiento para la construcción de rejillas o desbaste*

DATOS	VALOR	UNIDAD
Numero de barra	13.00	Celdas
Ancho de barra	0.01	m
Profundidad de barra	0.06	m
Separación entre barra	0.04	m
Factor de forma de barra	1.79	NA
Ancho de canal de rejilla total	1.15	m
Ancho de canal de rejilla individual	0.50	m
Tirante hidráulico	0.98	m
Bordo libre	0.30	m
Profundidad total del canal	1.28	m
L1	0.89	m
L2	0.45	m
L3	0.34	m
L4	0.80	m
L5	1.00	m
Longitud total	3.48	m
Material retenido en la rejilla	0.47	Ton/d

*Nota:* en las unidades de medida Ton/d, significa toneladas por día, elaboración propia con información de Hernández (2019).

**Figura 5:**

*Representación de rejillas*



*Nota:* La letra Z, representan la altura de las barras, la S, el ancho de la barra y la b, la separación entre ellas. Elaboración propia.

### 3.4. Desarenador – Canal Parshall

Dimensionamiento del canal para desarenador Parshall el cual es el encargado de mantener el flujo constante dentro del desarenador.

**Tabla 14:**

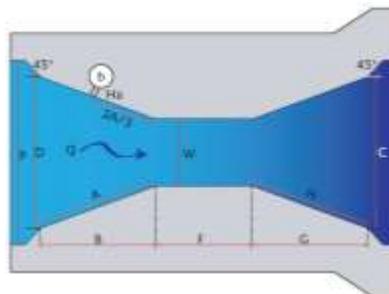
*Dimensiones obtenidas para la construcción del desarenador y canal Parshall*

CONCEPTO	VALOR	UNIDAD
Número de cámaras	2	Pzas
Número de canal Parshall	2	Pzas
<b>DIMENSIONES</b>		
Tirante hidráulico	0.68	m
Ancho	1.99	m
Tiempo de sedimentación	29.358	Seg
Longitud	14	m
Velocidad horizontal	0.30	m/s
Velocidad de asentamiento	0.0218	m/s
Volumen de arena	1.123	m <sup>3</sup> /d

*Nota:* Elaboración propia con información de Hernández (2023).

**Figura 6:**

*Vista en planta del canal Parshall*



*Nota:* Tomado de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario, Libro 26 (p. 23), por CONAGUA (2019).

### 3.5. Sedimentador primario

Para esta investigación se planteó un sedimentador primario circular, con el fin de proporcionar un tiempo de retención, así mismo se continua con un filtro percolador, el cual funciona como un tratamiento biológico, esta consistirá en un método de filtro plástico, para la obtención de un porcentaje mayor de remoción, formando una capa delgada de microorganismos, que, posteriormente pasa al sedimentador secundario.

A continuación, se presentan los valores obtenidos correspondientes a cada una de las operaciones unitarias requeridas para el tratamiento de las aguas residuales de la cabecera municipal de Berriozábal.

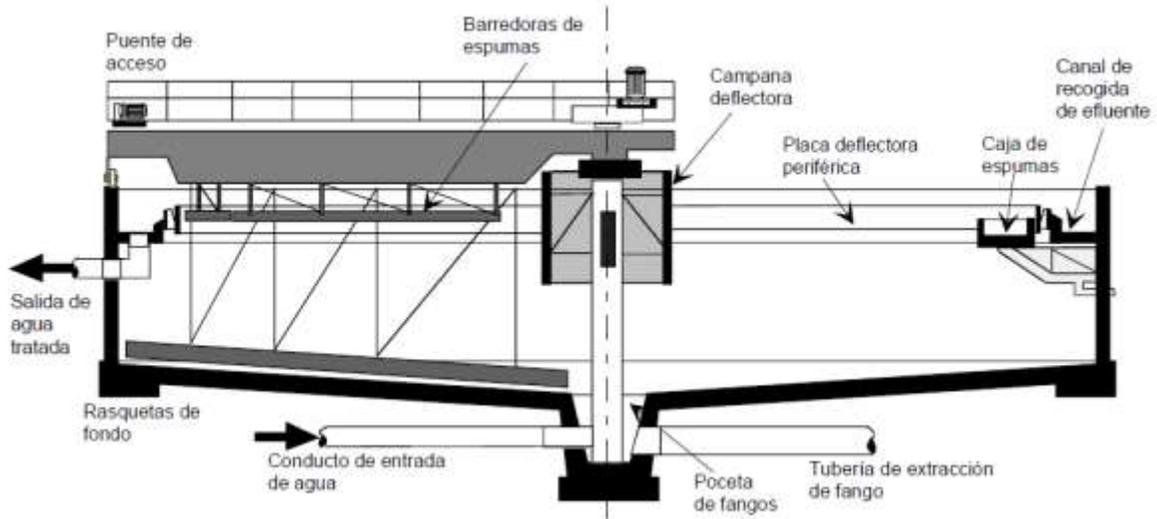
**Tabla 15:**

*Dimensionamiento del sedimentador primario circular*

CONCEPTO	VALOR	UNIDAD
Gasto del afluente	3,800.74	m <sup>3</sup> /día
Gasto del efluente	3761.26	m <sup>3</sup> /día
Tiempo de retención	0.525	horas
Peso de la materia seca	422.44	kg/día
DIMENSIONES		
Arena de sedimentador	69.31	m <sup>2</sup>
Diámetro del sedimentador	9.00	m
Altura del sedimentador	2.00	m
Módulos	4.00	

**Figura 7:**

*Diseño geométrico del sedimentador primario circular*



*Nota:* La altura del sedimentador será de 2 m y un diámetro de 9 m, tomado de Ramalho (1996).

### 3.6. Filtro Percolador

El siguiente proceso es con un filtro percolador, el cual funciona como un tratamiento biológico, esta consistirá en un método de filtro plástico, para la obtención de un porcentaje mayor de remoción, formando una capa delgada de microorganismos, que, posteriormente pasa al sedimentador secundario.

Para Hernández (2023), propone 2 métodos para el cálculo del dimensionamiento de filtro percoladores, por una parte, propone el análisis por medio del manual de la CNA (2009) y el otro método es la propuesta por Melcaft y Eddy (1996), para este caso de estudio se tomará el método de Melcaft y Eddy (1996), la cual se representa en la siguiente tabla.

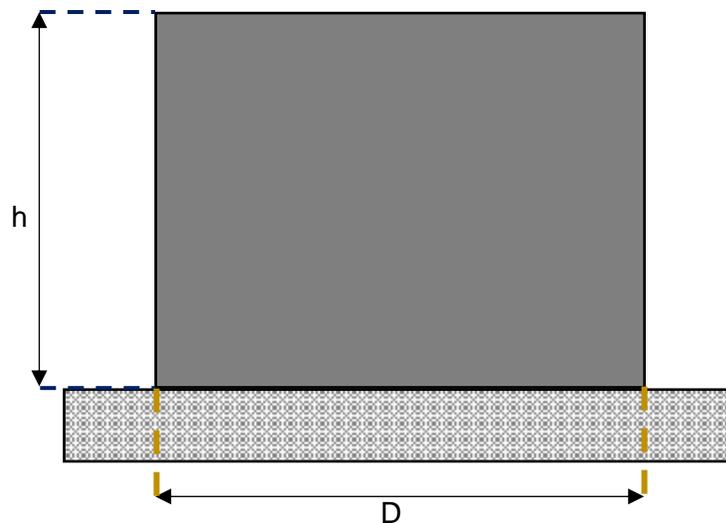
**Tabla 16:**

*Extensión del filtro percolador para su construcción.*

CONCEPTO	VALOR	UNIDAD
Eficiencia de remoción para el tratamiento de biológico (DBO)	65.00	%
Carga hidráulica superficial	88.39	$m^3/m^2 \cdot día$
Carga orgánica	2.27	$Kg\ DBO/m^3 \cdot día$
Ventilación natural del aire	1.09	mm de agua
Velocidad de rotación del distribuidor	0.31	r.p.m.
DIMENSIONES		
Área del filtro percolador	43.00	$m^2$
Volumen del filtro percolador	258.00	$m^3$
Diámetro del filtro percolador	7.40	m
Profundidad del filtro percolador	6.00	m
Módulos	4.00	

**Figura 8:**

*Representación geométrica del filtro percolador.*



*Nota:* La literal h, representa la altura del filtro y la literal D, representa el diámetro del filtro percolador, elaboración propia.

### 3.7. Sedimentador Secundario

En la siguiente tabla, se presenta los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sedimentador secundario

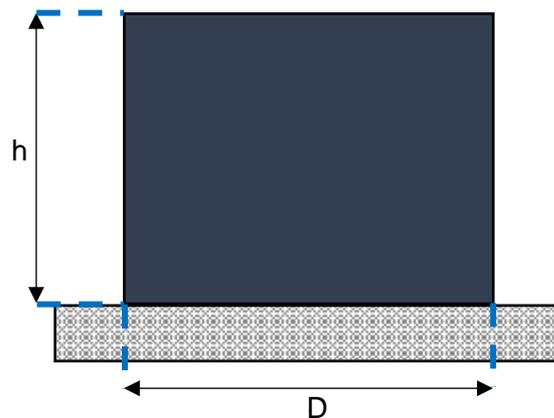
**Tabla 17:**

*Presentación de dimensionamiento del sedimentador secundario*

<b>Sedimentador secundario circular (después de filtros percoladores)</b>		
Área de clarificación	233.58	m <sup>2</sup>
Profundidad de la zona de clarificación	1.36	m
Profundidad de la zona de separación	0.50	m
Tiempo de retención	2.00	hrs
Profundidad de la zona de acumulación de lodos	0.08	m
<b>Dimensiones</b>		
Profundidad total del tanque de sedimentación	2.00	m
Diámetro del sedimentador secundario	17.00	m
Volumen de la tolva	0.76	m <sup>3</sup>
Modulo	4.00	

**Figura 9:**

*Vista frontal del sedimentador secundario*



*Nota:* La literal h, representa la altura del filtro y la literal D, representa el diámetro del filtro percolador, elaboración propia.

### 3.8. Calidad del efluente

Posterior a los procesos desarrollados con anterioridad, se obtienen los siguientes resultados en la remoción de los parámetros, para la obtención de la calidad de agua que se requiere, estos resultados se presentan a continuación en la tabla siguiente.

**Tabla 18:**

*Datos obtenidos del agua tratada*

Eficiencia de remoción							
Composición del agua residual (mg/l)		% de remoción del sedimentador primario		% de remoción del filtro percolador		% de remoción del sedimentador secundario	
Contaminante	(mg/l)	%	efluente (mg/l)	%	efluente (m/l)	%	efluente (mg/l)
DBO <sub>5</sub>	220	30	154.00	65	53.90	30	37.73
DQO	500	30	350.00	65	122.50	30	85.75
SST	220	50	110.00	65	38.50	50	19.25
PT	8	10	7.20	8	6.62	10	5.96
N-org	15	10	13.50	15	11.48	10	10.33
NH <sub>3</sub> -N	25	0	25.00	8	23.00	0	23.00

*Nota:* Elaboración propia con información de Hernández (2019).

Una vez obtenidos los parámetros de diseños, se espera que las autoridades tomen en cuenta esta propuesta para el tratamiento de las aguas residuales de la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas.

Para esta investigación planteada, no se tomará en cuenta el rubro de discusión, puesto que, esta está basada en un diseño para una planta de tratamiento de aguas residuales y

por consecuencia no se van a realizar comparativas de resultados con alguna otra planta de tratamiento.

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN

---

El objetivo de esta investigación fue la propuesta de diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas con la finalidad de contribuir a la solución de la problemática existente sobre la contaminación de los cuerpos de agua superficiales por descargas de aguas residuales sin tratamiento alguno; se determinó que el tipo de tratamiento propuesto cumple con los requisitos establecidos por las dependencias gubernamentales, toda vez que las aguas provenientes de alcantarillados tienen que ser tratados antes de descargarlos a los cuerpos de aguas nacionales.

Es de vital importancia hacer la siguiente aclaración, el diseño de la planta de tratamiento se llevó a cabo basándonos en los factores climáticos de la región, la población proyectada, los caudales a tratar, las características de las aguas residuales, extraída de la literatura, y lo solicitado en la norma vigente en nuestro estado, para descargas de aguas residuales a cuerpos de agua nacionales. Las condiciones y expresiones matemáticas utilizadas fueron extraídas de literatura especializada en tratamientos de aguas residuales, así mismo se realizaron los cálculos mediante una hoja de cálculo de Excel.

En el estado se ha observado que las plantas de tratamiento de agua residual trabajan de manera distintas dependiendo del lugar, condiciones climatológicas, tipo de agua a tratar lo que condiciona su adecuado funcionamiento, en otros casos las plantas de tratamiento construidas no están en operación derivado de una serie de cuestiones dignas de otro trabajo de investigación. Por lo antes mencionado, se espera que la presente propuesta de diseño sea considerada por las autoridades correspondientes con la finalidad de contribuir en el saneamiento de las aguas residuales de la zona de estudio, asimismo y en el caso que se realice la construcción del sistema de tratamiento de agua residual propuesto será indispensable conocer la ubicación propuesta por las autoridades y en función de ello realizar las adecuaciones necesarias a los cálculos obtenidos.

## Referencias

- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado* (Vol. Libro 4). Ciudad de México, Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente* (Vol. Libro 29). Ciudad de México, Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario* (Vol. Libro 26). Ciudad de México, Ciudad de México, México. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente* (Vol. Libro 28). Ciudad de México, Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales* (Vol. Libro 25). Ciudad de México, Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Rociadores* (Vol. Libro 52). Ciudad de México, Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lodos Activados* (Vol. Libro 51). Ciudad de México, Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos Anaerobios* (Vol. Libro 49). Ciudad de México, Ciudad de México, México:

Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>

IMTA. (2007). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas, Lodos Activados y Filtros Rociadores* (1ª ed.). Progreso, Jiutepec, Morelos, México: ©Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

INEGI. (2022). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado el 27 de Enero de 2022, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=Berriozábal>

Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización (Vol. 1)* (3ª ed., Vol. 1). (A. García Brage, Ed., & J. d. Montsoriu, Trad.) Aravaca, Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A.

Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización (Vol. 2)* (3ª ed., Vol. 2). Aravaca, Madrid, España: McGraw-Hill, Inc.

Rodríguez Ruiz, P. (2008). *Hidráulica II: Hidráulica de Canales*. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Recuperado el 29 de Abril de 2019, de [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com)

Sette Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales* (2ª ed.). España: Reverté, S. A. Recuperado el 22 de Abril de 2022, de <https://www.libreriaingeniero.com/2020/07/tratamiento-de-aguas-residuales-rubens-s-ramalho.html>

UNACH. (2019). *Apuntes de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Terán, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Facultad de Ingeniería. UNACH.