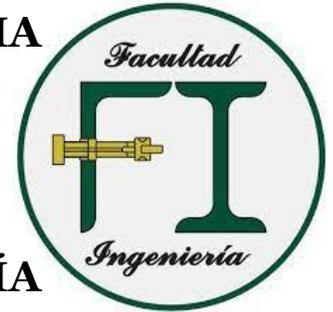




**UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE CHIAPAS.**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CAMPUS I**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE FILTROS  
PERCOLADORES PARA LAS AGUAS RESIDUALES  
DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CINTALAPA DE  
FIGUEROA, CHIAPAS**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE: MAESTRA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN  
EN CALIDAD DEL AGUA.

**PRESENTA:**

KENNIA RAQUEL MONTESINOS CÁRDENAS D060061

**DIRECTORA DE TESIS:**

DRA. DAISY ESCOBAR CASTILLEJOS

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; Abril del 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
15 de abril del 2024  
Oficio No. F.I.01.673/2024

**C. KENNIA RAQUEL MONTESINOS CÁRDENAS**  
**EGRESADA**  
**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:

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE FILTROS PERCOLADORES, PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CINTALAPA DE FIGUEROA, 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 Maestra 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 COURTOIS**  
**DIRECTOR**

  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**DIRECCIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García, Coordinador de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Campus I, UNACH.  
Archivo/minutorio  
OACCHMSG/lpg\*





Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

3

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

El (la) suscrito (a) Kennia Raquel Montesinos Cárdenas, Autor (a) de la tesis bajo el título de Propuesta De Diseño De Filtros Percoladores Para Las Aguas Residuales De La Cabecera Municipal De Cintalapa De Figueroa, Chiapas presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de Maestra en Ingeniería 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 21 días del mes de Abril del año 2024.

Kennia Raquel Montesinos Cárdenas.

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

## DEDICATORIA

- *A mis padres, por su amor y apoyo incondicional.*
- *A mi directora, que siempre estuvo para orientarme y darme animo.*
- *Querido Jorge, gracias por las risas y el trabajo en equipo.*

## AGRADECIMIENTOS

“Al ver el resultado logrado con este ambicioso proyecto, solamente se me ocurre una palabra: ¡Gracias!

5

### **A Dios**

Querido Dios, gracias por todo lo que has hecho por mí, ¡me emociona y hace que mi corazón rebose de alegría y agradecimiento!

### **A mi Directora**

“Le agradezco a la Dra. Daisy Escobar Castillejos, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta facultad.”

### **ooA mi coordinador y asesor.**

Al Dr. Carlos Ignacio López Bravo, coordinador de PIGA, por su apoyo, la transferencia de saberes y paciencia en este proyecto.

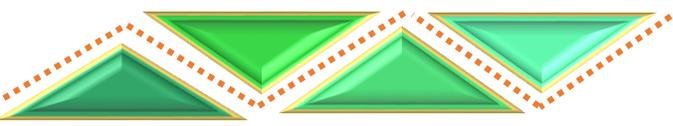
Al Dr. Omar Vargas, por su buen ánimo y acertadas sugerencias.

### **A mis padres y familia**

“Ustedes familia que han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo otro logro, les dedico a ustedes amados padres, esta meta conquistada. Que estén a mi lado en este momento tan importante me hacen la más feliz. Gracias por ser quienes son y por creer en mí”

### **A mis amigos**

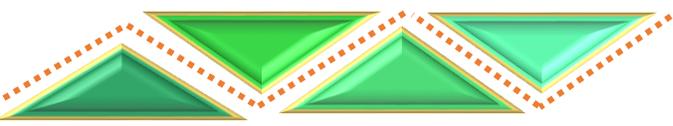
Hoy me toca cerrar un capítulo más en esta historia de vida y no puedo dejar de agradecerles por su apoyo y constancia, al estar en las horas más difíciles, por compartir horas de estudio, labor y animarme cuando era necesario. Gracias por estar siempre.



# Índice General

<b>RESUMEN.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
1.1. AGUAS RESIDUALES .....	17
1.2. FUENTES DE AGUAS RESIDUALES .....	18
1.3. LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA.....	18
1.4. DEFINICIONES.....	19
1.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA RESIDUAL .....	20
1.6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL.....	21
1.7. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL.....	21
1.8. PRINCIPALES PRUEBAS PARA LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO. ....	23
1.9. PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	24
1.10. FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO PERCOLADOR .....	26
<b>2. ANÁLISIS DE LA DESCRIPCION .....</b>	<b>27</b>
2.1. OROGRAFÍA.....	28
2.2. HIDROGRAFÍA .....	28
2.3. CLIMA .....	28
2.4. POBLACIÓN .....	28
2.5. VIVIENDA.....	29
2.6. SERVICIOS PÚBLICOS .....	29
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
3.1. DESCARGA DE EFLUENTES .....	33
3.2. CAUDALES DE PLANIFICACIÓN .....	34
3.3. GASTO MÁXIMO DIARIO Y HORARIO.....	35
3.4. CANAL DE ACCESO .....	36
3.5. REJILLAS.....	38
3.6. DISEÑO DE FILTRO PERCOLADOR .....	53
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
4.1. ESPECIFICACIONES. ....	56
4.2. CANAL DE ACCESO .....	57

4.3.	REJILLAS.....	58
4.4.	DESARENADOR-CANAL PARSHALL .....	59
4.5.	SEDIMENTADOR PRIMARIO. ....	60
4.6.	FILTRO PERCOLADOR (MEDIO PLÁSTICO) .....	61
4.7.	SEDIMENTADOR SECUNDARIO.....	62
4.8.	CALIDAD DEL EFLUENTE .....	63
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>64</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>65</b>

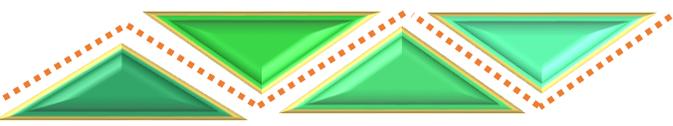


## Índice de Tablas

TABLA 1.....	18
TABLA 2 .....	19
TABLA 3 .....	21
TABLA 4 .....	22
TABLA 5 .....	23
TABLA 6 .....	24
TABLA 7.....	32
TABLA 8 .....	33
TABLA 9 .....	34
TABLA 10.....	36
TABLA 11 .....	37
TABLA 12.....	38
TABLA 13.....	41
TABLA 14.....	42
TABLA 15.....	43
TABLA 16.....	50
TABLA 17.....	52
TABLA 18.....	57
TABLA 19.....	58
TABLA 20 .....	59
TABLA 21.....	60
TABLA 22 .....	60
TABLA 23 .....	61
TABLA 24 .....	61
TABLA 25 .....	62
TABLA 26 .....	62
TABLA 27 .....	63

## Índice de Figuras

FIGURA 1	-----	27
FIGURA 2	-----	44
FIGURA 3	-----	45
FIGURA 4	-----	56

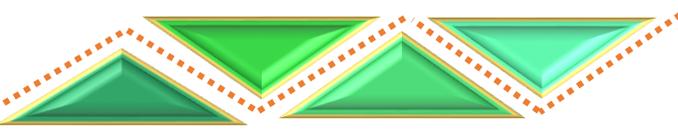


## RESUMEN

---

Las aguas residuales son líquidos resultantes de actividades humanas que contienen diversas sustancias contaminantes como químicos, bacterias y residuos orgánicos. Estas aguas son originadas en procesos tanto industriales como agrícolas y domésticos, y es necesario tratarlas antes de su vertido al ambiente para evitar la contaminación y salvaguardar la salud colectiva. El tratamiento de aguas residuales implica una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los agentes contaminantes y limpiar el agua. Este procedimiento puede involucrar la remoción de partículas en suspensión, la eliminación de microorganismos dañinos y la reducción de la carga de material orgánico. La gestión adecuada de las aguas residuales es fundamental para la protección del medio ambiente y la salud de las personas. Un tratamiento inadecuado puede tener graves consecuencias, como la contaminación de ríos, lagos y acuíferos, la propagación de enfermedades y el deterioro de los ecosistemas. Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue centrarse en el tratamiento del agua residual de la Cabecera Municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, el diseño se consideró el análisis del medio físico, natural y artificial. Se sugirió la instalación de un sistema de tratamiento que consta de un filtro percolador y un sedimentador secundario. En este estudio, se utilizó el método de investigación descriptiva, cuantitativa, cualitativa y analítica. Siguiendo lo mencionado en la sección teórica acerca del tratamiento de filtro percoladores, se procedió con el mismo enfoque de los autores citados. Para llevar a cabo el diseño de esta propuesta, fue fundamental abordar los puntos definidos y resolver las ecuaciones matemáticas presentadas por los autores involucrados en esta investigación. El resultado para solucionar la problemática de dos importantes descargas hacia el principal río, denominado La Venta, fue llevar a cabo la propuesta de la planta de tratamientos con los siguientes componentes: Emisor, canal de entrada, rejillas, desarenador, sedimentador primario, filtro percolador y tanque de contacto de cloro. Para el número de habitantes de esta cabecera, tanto las partes que conforman la PTAR, como las dimensiones, fueron las adecuadas, respecto a las normas vigentes. Los filtros percoladores son una alternativa viable y rentable para el tratamiento de aguas residuales, siempre y cuando se diseñen, operen y

mantengan correctamente de acuerdo a las necesidades y características del lugar donde se instalen. Es crucial revisar con frecuencia el desempeño de un filtro percolador para asegurar que funcione adecuadamente y prevenir posibles complicaciones como obstrucciones o acumulación de residuo.



## INTRODUCCIÓN

---

Por medio de la ciencia, el alcance a medios digitales, etc. en la actualidad tenemos acceso a información sobre los distintos tipos de contaminación que afectan al medio ambiente, siendo uno de los más preocupantes la contaminación del agua, que abarca afluentes y arroyos locales. Es fundamental garantizar el tratamiento adecuado de aguas residuales para proteger la salud pública, preservar el medio ambiente y asegurar el acceso a agua potable para todos. Se necesita invertir en infraestructura y tecnologías de tratamiento de aguas residuales para garantizar un saneamiento efectivo y sostenible.

13

Por ello, este estudio se enfoca en la recuperación del agua, con especial atención en el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas. Se propone la implementación de un sistema de tratamiento que incluye un filtro percolador y un sedimentador secundario, con el fin de eliminar la contaminación del agua y prevenir enfermedades gastrointestinales y la proliferación de vectores.

Este proyecto también tiene como beneficio la generación de empleo en la comunidad y la reducción de riesgos de enfermedades asociadas a la contaminación de las aguas residuales.

El propósito de este estudio es comprender el estado actual y proponer una solución para el tratamiento de aguas residuales urbana-doméstica en Cintalapa de Figueroa, Chiapas, así como presentar los cálculos y hallazgos correspondientes.

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 Cintalapa de Figueroa, 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 I. 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 Cintalapa de Figueroa.

En el capítulo II. De una manera general, encontramos el análisis del lugar que se centra en examinar y evaluar diferentes aspectos como, físico, natural y artificial. Este análisis incluye la ubicación de las descargas y la problemática expresada gráficamente.

En el capítulo III. 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 IV. 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.

Se pueden encontrar diversas tecnologías y métodos de tratamiento de aguas residuales que contribuyen a eliminar sustancias contaminantes y a disminuir el impacto ambiental generado por estas aguas. Para esta investigación como objetivo principal es realizar la **Propuesta De Diseño De Filtros Percoladores Para Las Aguas Residuales De La Cabecera Municipal De Cintalapa Figueroa, Chiapas.**

Es fundamental que la población tome conciencia sobre la relevancia de tratar de forma adecuada las aguas residuales, así como la importancia de invertir en infraestructuras de tratamiento de aguas residuales para preservar el entorno natural y garantizar el acceso a agua limpia para las próximas generaciones.

El gobierno es responsable de garantizar que se cumplan las normativas ambientales en el tratamiento de aguas residuales, con el fin de proteger la calidad del agua y evitar la contaminación. Además, debe asegurar que las plantas de tratamiento funcionen de manera eficiente y tomar medidas para reducir la generación de desechos y promover prácticas sostenibles, como parte de su papel en la gestión de aguas residuales para proteger la salud pública y el medio ambiente.

## 1. MARCO TEÓRICO

---

En la mayoría de las actividades humanas que requieren agua, se producen aguas residuales. Estas aguas residuales son cada vez más importantes debido al aumento de la demanda global de agua, por lo que es necesario tratarlas adecuadamente. Lamentablemente, en la mayoría de los países, excepto los más desarrollados, las aguas residuales se liberan directamente al medio ambiente sin recibir el tratamiento necesario. Esta falta de tratamiento tiene consecuencias negativas en múltiples aspectos, como la salud humana, la economía, la calidad de los recursos hídricos y los ecosistemas. A pesar de que las aguas residuales desempeñan un papel crucial en la gestión del ciclo del agua, a menudo se consideran una carga que debe ser eliminada o simplemente se ignoran como un problema.

Se espera que la demanda mundial de agua aumente considerablemente en las próximas décadas. Además del sector agrícola, al que se destina el 70% de las extracciones mundiales, se esperan aumentos importantes en la demanda de agua para la producción industrial y energética. La urbanización acelerada y el desarrollo de sistemas de suministro de aguas municipales y de saneamiento también contribuyen al aumento de la demanda. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2017)*. **Aguas Residuales**

**El Recurso Desaprovechado.**[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/)

En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2017)*. **Aguas Residuales El Recurso**

**Desaprovechado.**[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/)

### 1.1. AGUAS RESIDUALES

Estos residuos líquidos contienen una variedad de sustancias y elementos contaminantes, como productos químicos, bacterias y materia orgánica, que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana si no se gestionan de manera adecuada. Por lo tanto, es vital implementar sistemas de tratamiento y disposición adecuados para garantizar una gestión sostenible de los residuos líquidos y proteger nuestros recursos hídricos.

"Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales". *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos* (2017). **Aguas Residuales El Recurso Desaprovechado.**[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/)

"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)( p. 15).

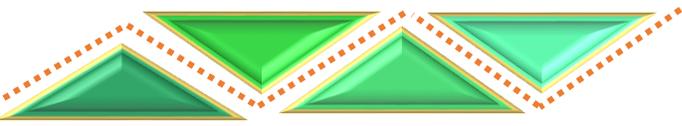
Los siguientes factores que contribuyen a la contaminación del agua:

- Aumento de la población.
- Diversidad y complejidad de procesos industriales.
- Producción de satisfactores y elementos de consumo en gran escala.
- Desecho de excretas a ríos, lagunas, esteros y litorales.

"En México se generan diariamente 2.5 millones de metros cúbicos de aguas negras. Algunos de los objetivos principales de la utilización de sistemas pequeños para el tratamiento de aguas residuales, como el que se pretende llevar a cabo dentro de la población, son "Ramalho Sette Rubens (1996) **Tratamiento De Aguas Residuales** ( p. 16)

- Proteger la salud pública.
- Proteger de la degradación o de la contaminación al ambiente receptor.
- Reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto de descarga para su reutilización.

"Para hablar de aguas residuales es indispensable conocer, en primera instancia, la fuente de las mismas y, consecuentemente, los componentes que la forman. 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 " Ramahlo Sette Rubens (1996) **Tratamiento De Aguas Residuales** ( p. 18).

### 1.2. Fuentes De Aguas Residuales

Existen varias fuentes de aguas residuales, entre las más reconocidas están:

- **Aguas residuales domesticas**
- **Aguas residuales industriales**
- **Las aguas residuales urbanas**

### 1.3. Los Principales Contaminantes Del Agua

Se integran en los siguientes ocho grupos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

CONTAMINANTES DEL AGUA	
<b>Sedimentos Y Materiales Suspendidos</b>	Partículas desprendidas del suelo y arrastradas a las aguas
<b>Microorganismos Patógenos</b>	son los diferentes tipos de microorganismos (bacterias, virus, protozoos y otros organismos microscópicos)
<b>Desechos Orgánicos</b>	son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc
<b>Sustancias Químicas Inorgánicas</b>	ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo
<b>Nutrientes Vegetales Inorgánicos</b>	Nitratos y fosfatos en cantidad excesiva. Inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos

<b>Compuestos Inorgánicos</b>	Moléculas inorgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc
<b>Sustancias Radiactivas</b>	Isotopos radiactivos solubles que se acumulan a lo largo de las cadenas tróficas
<b>Contaminación Térmica</b>	El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses

Elaboración propia con información de: Laura F. Zarza. ¿Qué es la contaminación del agua?  
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-agua>

#### 1.4. Definiciones

A continuación se presentan las definiciones más utilizadas dentro del campo del tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2

concepto	definición
<b>Contaminación hídrica</b>	La contaminación hídrica es la presencia de componentes químicos o de otra naturaleza en una densidad superior a la situación natural, de modo que no reúna las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural
<b>Contaminante</b>	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.
<b>Aguas negras</b>	que discurren por el sistema de alcantarillado, y en algunas comunidades se incluyen también las aguas procedentes de lluvias (pluviales) y de infiltraciones de terrenos, que requieren de un tratamiento que cumpla con las normativas vigentes

**Filtro**

Materia porosa, como el fieltro, el papel, la esponja, el carbón, la piedra, etcétera, o masa de arena o piedras menudas, a través de la cual se hace pasar un líquido para clarificarlo de los materiales que lleva en suspensión

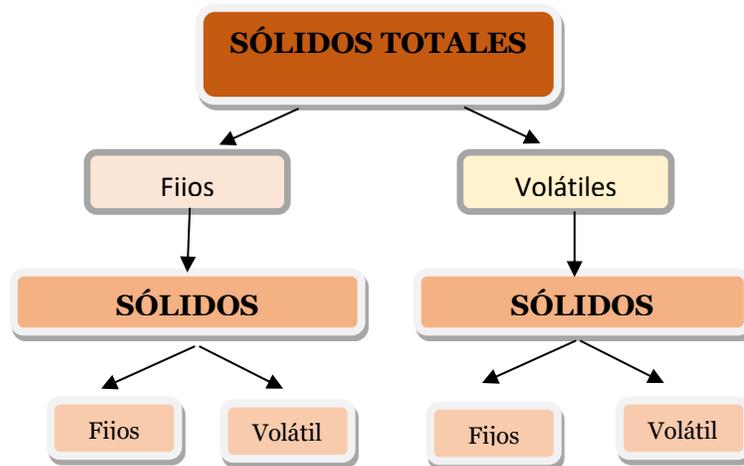
Elaboración propia con información de: *Laura F. Zarza*. **¿Qué son las aguas negras?**  
<https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-negras>

### 1.5. Características Físicas Del Agua Residual

Los componentes que se encuentran en el agua residual pueden ser clasificados en físicos, químicos y biológicos. Dentro de estos, hay cinco características físicas importantes que se pueden percibir fácilmente mediante los sentidos. Estas son las siguientes:

- TEMPERATURA
- SÓLIDOS

*Esquematización de sólido*



Fuente. Elaboración propia. Con información de Metlcaf y Edy

- GASES DISUELTOS
- TURBIEDAD
- COLOR

### 1.6. Características Químicas Del Agua Residual

"Una vez que se habló de las características físicas del agua residual, es necesario mencionar las propiedades químicas orgánicas. El agua residual contiene una cantidad significativa de sustancias químicas inorgánicas. Tales como:

- OXÍGENO DISUELTO (OD)
- DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) EN AGUAS RESIDUALE
- DUREZA
- NITRATOS
- ALCALINIDAD

### 1.7. Características Microbiológicas Del Agua Residual

Tabla 3

concepto	definición
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliformes como, organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar
<b>COLIFORMES FECALES</b>	Se definen como todos aquellos bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos, no esporulados capaces de producir aldehídos a partir de la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas en 24 hs a 45.5°C

Elaboración propia con información de: Metcalf y Eddy, (1985)( p. 56).

Cabe señalar que para el diseño de un tren de tratamiento, de aguas residuales, se debe considerar, la normatividad vigente.

Tabla 4

NORMA	CONCEPTO
NOM-001-ECOL-2021	 establece límites máximos de contaminantes en las aguas residuales.
NOM-002-ECOL-1996	 establece los límites de contaminación permitido en aguas residuales vertidas en los sistemas de alcantarillado urbano.
NOM-003-ECOL-1997	 establece el límite de contaminación permitido en aguas residuales tratadas con el fin de ser reutilizadas en servicios públicos.
NOM-004-ECOL-1998	 especifica y establece los límites de contaminación permitidos en los lodos provenientes de las plantas para el tratamiento de aguas residuales.

Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024)



## 1.8. Principales Pruebas Para La Elección Del Sistema De Tratamiento.

Tabla 5

concepto	Definición
a) <b>Demanda Química de Oxígeno (DQO).</b>	Parte de los materiales orgánicos no se pueden degradar biológicamente porque resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega a ser tan lenta que son considerados como no biodegradables. Estos materiales son los pesticidas, insecticidas y herbicidas. Para conocer la cantidad de este tipo de materiales orgánicos no biodegradables se hace la prueba de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Junto con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se puede calcular la cantidad de orgánicos biodegradables presentes en el agua
b) <b>Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>).</b>	Es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para llevar a cabo la reducción de la materia orgánica. La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante existente en las aguas residuales frescas.
c) <b>El carbono orgánico total (COT).</b>	El carbono orgánico total es una medida de la cantidad de compuestos orgánicos presentes en una muestra de agua

Elaboración propia con información de : Ramahlo Sette Rubens (1996) **Tratamiento De Aguas Residuales** (p. 35)

### 1.9. Proceso De Tratamiento De Las Aguas Residuales

Se ha observado un progreso notable en cuanto a la tecnología utilizada en el tratamiento de aguas residuales. Se han ideado diversas técnicas de tratamiento, siendo los métodos físicos, químicos y biológicos los más eficaces según estudios realizados. Estos métodos pueden ser combinados de diversas formas para formar sistemas físico-biológicos o bioquímicos. Los tratamientos físicos se basan en la aplicación de fuerzas físicas como el cribado, la sedimentación, la filtración, la flotación y la mezcla.

Es importante hacer mención de qué es lo que dicen los organismos locales al respecto. Los tipos de procesos a utilizarse están estipulados en el manual de normas técnicas para el proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales de la CNA. Dicho manual contempla las siguientes etapas: preliminar, primaria, secundaria, terciaria y purificación.

(<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro31.pdf>)

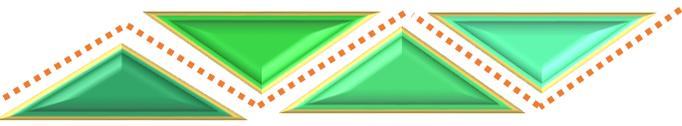
Se definen en la siguiente tabla el proceso de tratamiento.

Tabla 6

concepto	Definición
<b>Pretratamiento</b>	El pretratamiento establece un orden de módulos de preparación para los siguientes procesos de saneamiento para las aguas residuales, los cuales son métodos mecánicos como por ejemplo: rejas, desmenuzadores, desarenadores y tanques de remoción de grasas y aceites.
<b>Tratamiento primario</b>	En el caso del tratamiento primario, la CNA instituye que el propósito primordial del mismo es remover los sólidos finos sedimentables y que esto se puede lograr por medio de sedimentación simple, filtración, tanques sépticos o bien con un tanque Imhoff o con lagunas de estabilización anaerobia.
<b>Tratamiento secundario</b>	Por lo que respecta al tratamiento secundario, la CNA establece que su objetivo es remover o estabilizar materias que puedan descomponerse (putrefacción) y que estén suspendidas, en

	<p>estado coloidal o en solución. Para lograr esto, la CNA considera factibles los mecanismos de filtración y tratamiento biológico por contacto. Es significativo resaltar que los organismos indican los métodos de filtración biológica, la de lodos activados y las lagunas aerobias, anaerobias y facultativas, así como las zanjas de oxidación.</p>
<p><b>Tratamiento terciario</b></p>	<p>Son procesos destinados a conseguir una calidad de efluente superior al convencional. El tratamiento conclusivo más utilizado es la cloración, con lo que se tendrá un tratamiento parcialmente completo. Se dice que está parcialmente completo debido a que los metales pesados y sustancias tóxicas inorgánicas que se encuentran disueltas y no suspendidas no han sido eliminados aun.</p>

Elaboración propia con información de: CONAGUA (s.f) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro31.pdf>



## 1.10. Funcionamiento del Filtro Percolador

Los filtros percoladores son un tipo de sistema de tratamiento, que se utiliza para eliminar contaminantes y sólidos suspendidos en el agua. Estos filtros consisten en una serie de capas de material granular como grava, arena y carbón activado, a través de las cuales el agua atraviesa lentamente, permitiendo la filtración y la degradación de los contaminantes.

Los filtros percoladores funcionan a partir de un proceso de filtración donde el agua contaminada se filtra a través de un medio poroso, generalmente grava o arena, para eliminar impurezas y residuos. El agua pasa a través de capas de material filtrante que retienen partículas sólidas y microorganismos, permitiendo que el agua limpia se filtre hacia abajo.

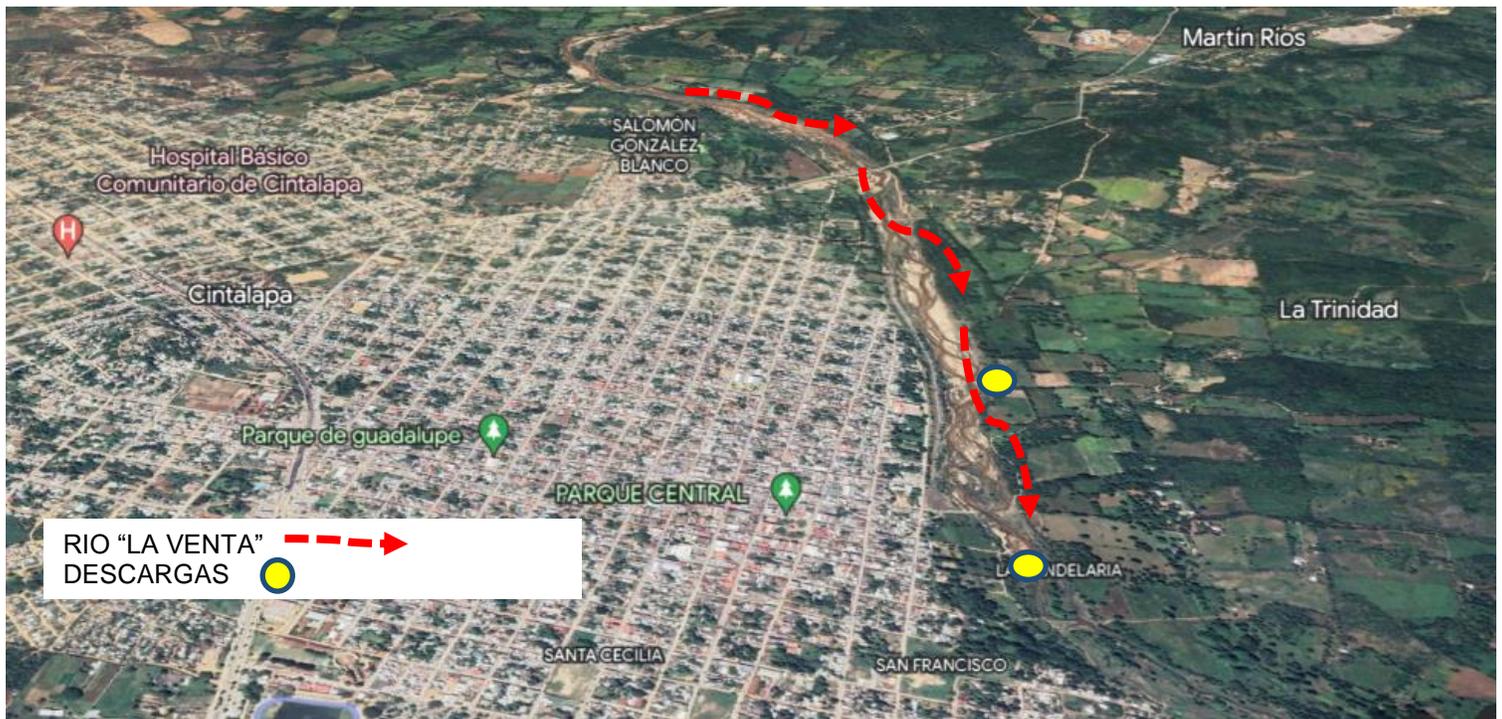
El principio de funcionamiento de los filtros percoladores se basa en la acción de la gravedad y la acción de los microorganismos que se encuentran en el medio filtrante, que se encargan de descomponer la materia orgánica presente en el agua. Estos filtros eliminan diferentes contaminantes, como sólidos suspendidos, materia orgánica, microorganismos patógenos, nutrientes y metales pesados.

Es importante contar con un adecuado mantenimiento de los filtros percoladores para garantizar su correcto funcionamiento, ya que su eficiencia puede disminuir si se obstruyen o saturan con residuos. Además, es necesario monitorear la calidad del agua tratada para asegurar que cumple con los estándares de potabilidad y salud.

## 2. ANÁLISIS DE LA DESCRIPCIÓN

“Cintalapa, ubicado en la parte occidental del Estado, tiene una altitud de 540 metros sobre el nivel del mar y está limitado al norte por Tecpatán, al oeste por Belisario Domínguez y Oaxaca, al este por Jiquipilas y Ocozocoautla de Espinosa, y al sur por Arriaga. Con una extensión de 2,404.6 km<sup>2</sup>, representa el 19% del territorio de la región Centro y el 3.18% de la superficie estatal”. **Camacho Felipe** (2011) p.13  
*Plan de desarrollo municipal.*  
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/>

Figura 1



Cabecera municipal Cintalapa de Figueroa, Chiapas. Localización de descargas.

### 2.1. Orografía

“En la Sierra Madre de Chiapas, se observan dos contrafuertes que emergen en la zona conocida como "La Jineta". Uno de ellos se extiende hacia el noroeste y culmina en las orillas del río Grijalva, en el Cañón del Sumidero, destacando las alturas de Chilillo, Nanchital y Mono Pelado. El otro contrafuerte se dirige hacia el norte y finaliza frente a Pichucalco, identificándose los levantamientos de Cinco Cerros, Tierra Blanca, La Colmena, Tsutsiaquioxmó (con 1715 metros de altura), La Niebla, Chichonal (volcán), Ixtapangajoya y el Chiquihuite”. **Camacho Felipe** (2011) p.15 *Plan de desarrollo municipal*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/>

### 2.2. Hidrografía

“Los principales ríos que hay en el municipio son: Cintalapa, Negro y La Venta; otras corrientes son los arroyos: Cubelete, San Miguel, Tenochtitlan, La Providencia, Macuilapa, Jardín, Cuajilote, San Mateo y Cárdenas”. **Camacho Felipe** (2011) p.15 *Plan de desarrollo municipal*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/>

### 2.3. Clima

“El clima predominante es semicálido subhúmedo, en la cabecera municipal la temperatura media anual es de 24.5 °C con una precipitación pluvial de 800 milímetros anuales”. **Camacho Felipe** (2011) p.15 *Plan de desarrollo municipal*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/>

### 2.4. Población

La población total de Cintalapa en 2020 fue 88,106 habitantes, siendo 50.4% mujeres y 49.6% hombres. Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 5 a 9 años (8,877 habitantes), 10 a 14 años (8,583 habitantes) y 0 a 4 años (8,416 habitantes). Entre ellos concentraron el 29.4% de la población total. ( INEGI 2020)

## 2.5. Vivienda

Existe un total de 10,052 viviendas habitadas con un promedio de ocupación de 4.15 habitantes por vivienda, distribuidas en la ciudad con distintas tipologías: residencial, medio, institucional, popular de autoconstrucción, tradicional y precaria. En la medida en que nos alejamos del centro urbano hacia las zonas periféricas, son más frecuentes las nuevas viviendas populares de autoconstrucción, ubicándose la vivienda precaria al final de la periferia urbana. En la actualidad existe un déficit de 663 viviendas, determinándose las necesidades a futuro en 1,435, 3,000 y 6,334 viviendas, para los años 2012, 2018 y 2030, respectivamente.(PDUC). **Camacho Felipe** (2022) p.17 *Plan de desarrollo municipal*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/>

## 2.6. Servicios públicos

AGUA POTABLE. “Las principales fuentes de abastecimiento de agua potable son las galerías filtrantes y los pozos semiprofundos que ya son insuficientes para dotar a la población. Actualmente se tiene un déficit de 35.78 lps. Para el horizonte 2030 se estima un gasto máximo horario de 292.40 lps. Ello implicaría la necesidad de contar con nuevas fuentes para atender las necesidades futuras de la población. No obstante, con el debido mantenimiento de las fuentes de abastecimiento, equipos de bombeo, líneas de conducción, tanques de regularización, red de distribución y tomas domiciliarias, se podría hacer más eficiente el sistema y disminuir las pérdidas, lo cual nos llevaría a garantizar el suministro de la demanda media de la población a largo plazo”. **Camacho Felipe** (2022) p.18 *Plan de desarrollo municipal*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/>

“ Las colonias que cuentan con el servicio de agua potable son 30 (58.82%), con una longitud de tubería instalada de 141,728.94 m (80.24%) y las colonias donde no se cuenta con el servicio son 21 (41.18%) con una longitud de tubería por instalar de 34,907.84 m (19.76%), esto nos indica que existe un déficit en la cobertura de este servicio, fundamentalmente en la periferia urbana, donde el servicio se obtiene de manera no apropiada (a través de mangueras conectadas a la red). (PDUC)”.

Camacho Felipe (2022) p.19 Plan de desarrollo municipal.  
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/>

Alcantarillado sanitario. “El servicio de alcantarillado sanitario es deficiente, debido a que desde su construcción no se le ha dado mantenimiento, provocando que existan tuberías y pozos de visita dañados y azolvados. La longitud estimada de la red es de 138,446.46 m (78.38%), en tubería de concreto simple, faltando por instalar 38,190.32 m (21.62%). Igual que con el agua potable, el servicio es inexistente en la periferia urbana. En la actualidad no se cuenta con un sistema de saneamiento que permita dar un tratamiento previo a las aguas antes de ser vertidas al río Cintalapa, provocando problemas de salud y contaminación del medio ambiente”. Camacho Felipe (2022) p.19 Plan de desarrollo municipal.  
[http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/)

### 3. METODOLOGIA

---

Con el objetivo principal de realizar, la **Propuesta De Diseño de Filtros Percoladores para las Aguas Residuales de la Cabecera Municipal De Cintalapa De Figueroa, Chiapas**. Se desarrolla la siguiente metodología.

Cantor (2002), refiere que en las últimas décadas se ha determinado la conveniencia de aplicar distintos paradigmas metodológicos en el análisis de una misma realidad social. Su tema de investigación confirma que la triangulación metodológica, se materializa en el manejo conjunto de diversas fuentes de información (información cuantificable – información no cuantificable).

Para la parte cualitativa de la investigación, se utilizarán técnicas de recopilación de información proporcionadas por entidades gubernamentales especializadas en el área de estudio, que abordan temas de diseño y comparación de diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales.

En cuanto al enfoque cuantitativo, se analizarán métodos de recolección de datos ya existentes de otros estudios, que incluyen fórmulas matemáticas, ecuaciones aplicadas al campo de investigación, así como tesis y bibliografía especializada en el tema, con el objetivo de obtener resultados que puedan ser contrastados. La preocupación por la contaminación de los mantos acuíferos y cuerpos de agua en nuestro estado, causada por la liberación de aguas contaminadas, sigue sin resolverse. Por eso es importante presentar este tipo de temas.

En el proceso de diseño de esta propuesta, es fundamental clarificar los puntos mencionados por los autores y abordar las ecuaciones matemáticas establecidas en la investigación.

Se utilizó una memoria de cálculo en Excel desarrollada por Hernández en (2023) para recopilar datos cuantitativos necesarios para proyectar el proceso de tratamiento de aguas residuales para la población mencionada anteriormente. Estos

datos fundamentales permitieron establecer las bases del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto en la investigación, incluyendo la población proyectada, la ubicación, la tasa de crecimiento, la clasificación socioeconómica, entre otros aspectos relevantes.

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.

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

Tabla 7

DATOS GENERALES	
Proyecto:	Tren de Tratamiento de Aguas Residuales
Módulo:	PTAR
Localidad:	0001 Cintalapa
Municipio:	0017 Cintalapa
Estado:	07 Chiapas
Población 2023:	88,106
Tasa crecimiento en %:	1.12
Clase socioeconómica:	Media
Aportación %:	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:

### Ecuación 1.1

$$P_d = P_a(1 + r)^t$$

Donde:

$P_d$ = Población de diseño (hab.)

$P_a$ = Población actual (hab.)

$r$ = Tasa de crecimiento anual (%)

$t$ = Periodo de diseño (años)

#### 3.1. Descarga de efluentes

En la planificación del tratamiento de aguas residuales, se considerarán los datos climáticos necesarios para comprender cómo se evapora y transpira el agua a tratar. En el caso de la cabecera municipal de Cintalapa, se registra una temperatura promedio de 24.62°C, lo que indica que se encuentra en una zona con clima cálido, según se muestra en la tabla adjunta.

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

Tabla 8

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 adaptada 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.

*Consumos domésticos per cápita.*

Tabla 9

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).

**3.2. 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).

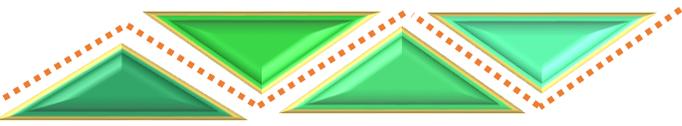
$$Q_{med} = \frac{P \times Ap}{86,400} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

$Q_{medio}$ = *gasto medio*

$P$ = *población*

$Ap$ = *aportación*



### 3.3. Gasto máximo diario y horario

Para poder atender la demanda de la población, es esencial contar con información precisa como el gasto diario y horario máximo, con el fin de determinar los consumos máximos anuales, según CONAGUA (2019).

Se emplearon fórmulas matemáticas específicas para llevar a cabo estos cálculos.

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

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

Donde:

$Q_{md}$ = gasto máximo diario

$Q_{mh}$ = gasto máximo horario

$C_{vd}$ = coeficiente de variación diaria

$C_{vh}$ = coeficiente de variación horaria

$Q_{med}$ = gasto medio diario

Cuando se habla de coeficientes en una ecuación matemática, se hace referencia a valores constantes previamente establecidos, según lo explicado por CONAGUA (2019), quienes utilizan los datos proporcionados por el IMTA (1993), los cuales están presentados en el siguiente cuadro.

### *Coefficiente de variación diaria y horaria*

Tabla 10

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

#### **3.4. Canal de acceso**

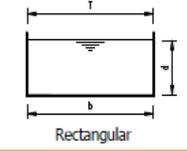
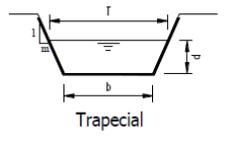
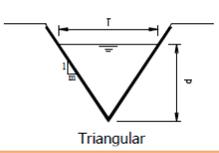
Para que el flujo de agua ingrese al tren de tratamiento, es necesario contar con un conducto que permita dirigir el caudal, conocido como canal de acceso. Según Rodríguez (2008), hay formas geométricas comunes en las secciones transversales de este tipo de canales.

El canal de acceso de una planta de tratamiento es una estructura de entrada que permite el paso de agua y residuos hasta las instalaciones de tratamiento. Suele ser una estructura abierta y de gran tamaño que conecta la fuente de agua con las áreas de procesamiento de la planta. Es un componente crucial en el funcionamiento de una planta de tratamiento, ya que facilita la entrada de materiales y controla el flujo de agua en todo el sistema.

A continuación se presentan los diferentes tipos de canales junto con las ecuaciones necesarias para su diseño.

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

Tabla 11

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).

### 3.5. Rejillas

Considerando la entrada del flujo de agua a la planta desde el emisor, se lleva a cabo la primera fase del pretratamiento, que implica procesos físicos, siendo el más común el uso de rejillas de desbaste para la eliminación de sólidos grandes.

Para Metcalf y Eddy (1995) 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

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

Tabla 12

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 Cintalapa de Figueroa, 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

Después de calcular la pérdida de carga, se continúa con la determinación de la longitud y cantidad de barras requeridas para las rejillas utilizadas en este estudio, utilizando las ecuaciones matemáticas correspondientes.

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

$h_b$  = bordo libre

$\theta$  = 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

Las arenas son tan pequeñas que pueden pasar a través de las rejillas de los sólidos gruesos, por lo que se necesitan desarenadores para eliminarlas. La elección de un desarenador para el tratamiento de agua residual depende de la cantidad, composición y efecto en los procesos. Se consideran factores como la pérdida de carga, los espacios necesarios y el presupuesto. En este caso, se ha optado por un desarenador horizontal de tipo gravedad con dos canales en el diseño del tratamiento de agua residual.

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.

### Fórmulas para canales Parshall

Tabla 13

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.

## Dimensiones del canal Parshall

Tabla 14

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.

## Nomenclatura para el canal Parshall

Tabla 15

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

Representación gráfica de la nomenclatura del canal Parshall.

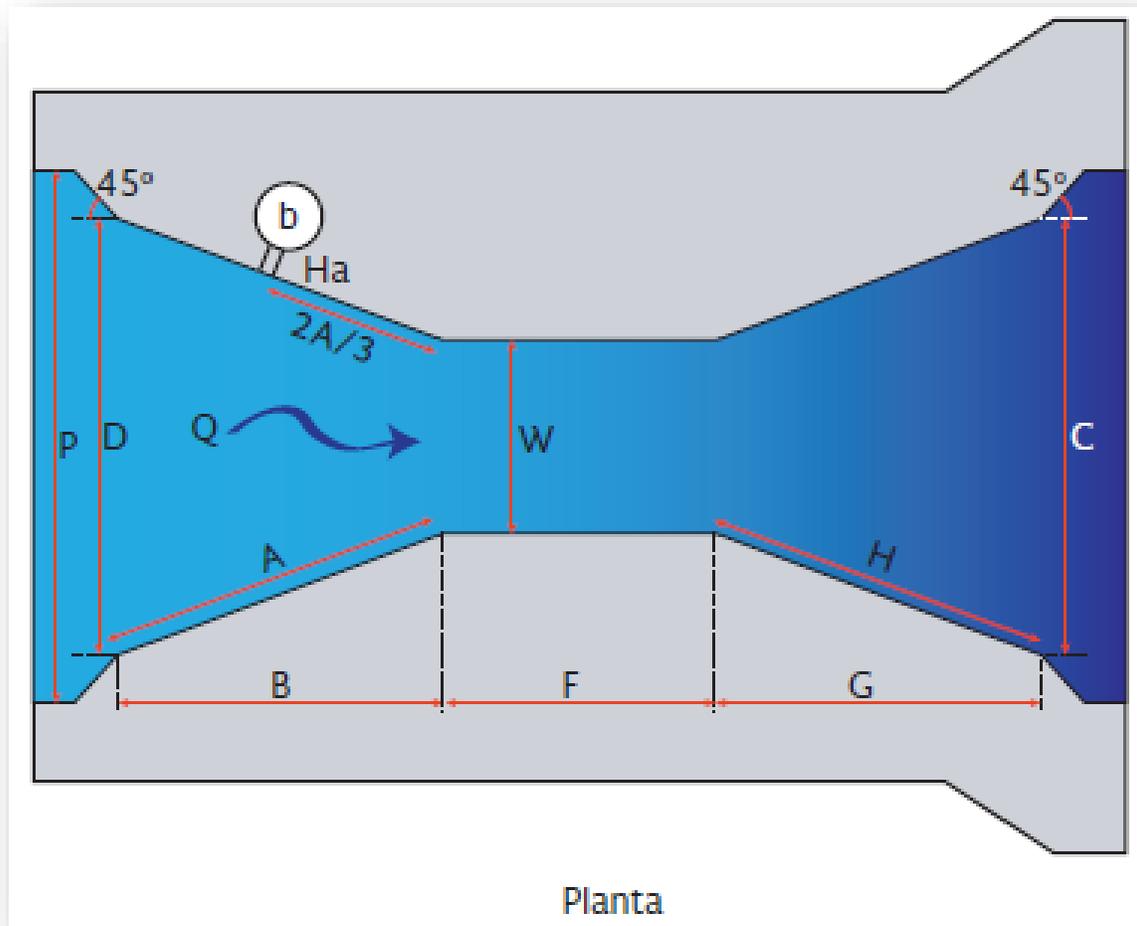


Figura 2

Nota: adaptado de CONAGUA (2019).

### Representación de elevación del canal Parshall.

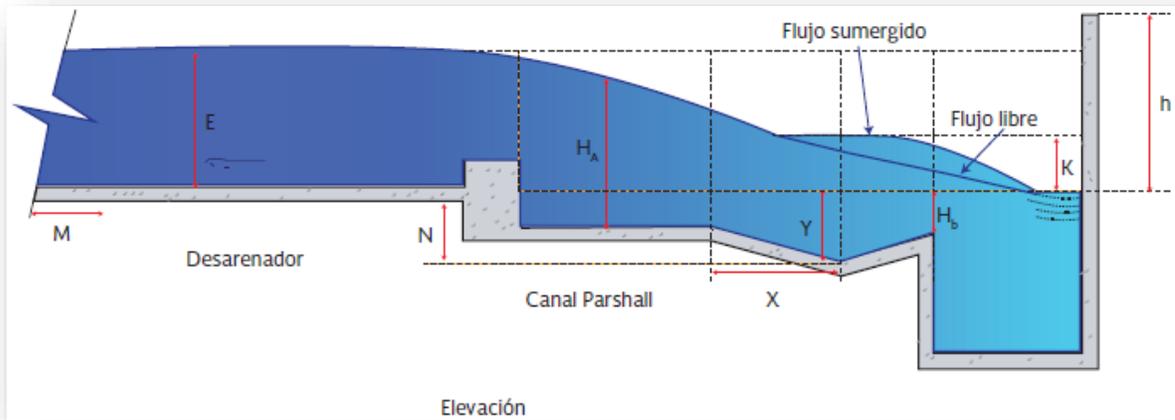


Figura 3

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

Para Ramalho (1995), 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 (1995), 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<sub>5</sub>.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente y la falta de pruebas de tratamiento en esta investigación, se seguirán las recomendaciones de los autores de emplear un sedimentador primario circular. Para el diseño de dicho sedimentador, se utilizará el caudal medio calculado a lo largo de 10 años, siguiendo las ecuaciones matemáticas mencionadas.

Calculo 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).

$$Q_e = \frac{Q_o(X_u - X_o)}{X_u - X_e} \text{ Ecuación 1.10}$$

Donde:

$Q_o$ = gasto de diseño

$X_o$ = solidos en suspensión en el efluente

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

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

$Q_u$ = gasto del caudal que sale del clarificador

$X_u$ = solidos 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

Diseño de lodos activados (reactor biológico) + Sedimentador secundario (circular)

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

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

Donde:

V= volumen del reactor

$S_0$ = substrato soluble y biodegradable en el influente ( $DBO_5$ )

S= substrato soluble en el efluente ( $DBO_5$  soluble)

$\theta_c$ = tiempo de retención celular

Q= caudal del influente

Y= coeficiente de crecimiento, producción de células removidas

$K_d$ = coeficiente de decaimiento endógeno

X= concentración de células en el reactor

Identificando el valor del sustrato 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:

$$SSVef = 0.8(SSTef) \text{ Ecuación 1.15}$$

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

$$SSVef.bio = 0.65(SSVef) \text{ Ecuación 1.16}$$

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

$$DBO_u, SSeff = 1.42(SSVef.bio) \text{ Ecuación 1.17}$$

Si la DBO<sub>5</sub> se encuentra entre el rango de 0.45 a 0.68 de DBO<sub>u</sub>, entonces asumiremos el valor máximo para el cálculo.

$$DBO_5, SSeff = 0.68(DBO_u, SSeff) \text{ Ecuación 1.18}$$

Por lo tanto, para encontrar la DBO<sub>5</sub> soluble, se necesita la siguiente ecuación:

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

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

Las condiciones del sistema de aireación, la transferencia de oxígeno y el mezclado son aspectos fundamentales para determinar  $X$ , junto con la temperatura y la cantidad de sólidos adecuada para los sedimentadores secundarios.

Para Ramalho (1995), 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:

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

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 (1995).

### Valores predeterminados para los coeficientes

Tabla 16

Valores cinéticos	
$\theta_c$	5-15 días
Y	0.6 mg SSV/mg DBO <sub>5</sub>
X	1,500 – 3,000 mg/l
Kd	0.06 d <sup>-1</sup> (T=20 °C)

*Nota:* elaboración propia, adaptado de Metcalf y Eddy (1995).

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

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

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

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

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

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

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

Calculo 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.

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

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

Requerimiento real de oxígeno.

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

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

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

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

Diseño del sedimentador secundario circular

Para Metcalf y Eddy (1995), un sedimentador después de lodos activados se debe considerar los siguientes valores.

*Información típica de diseño para decantadores secundarios*

Tabla 17

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 (1995).

### 3.6. Diseño de filtro percolador

Debido a que las propiedades de los medios plásticos son mas predictibles y se tienen registrados datos para predecir el funcionamiento y rendimiento de los filtros percoladores con rellenos de material plástico, para tal calculo se tiene la siguiente expresión matemática propuesta por Eckenfelder, Germain y Schultz, Metcalf y Eddy (1995).

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

Donde:

S<sub>e</sub>= DBO5 total del efluente del filtro sedimentado

S<sub>i</sub>= DBO5 total del agua residual aplicada al filtro

K<sub>20</sub>= constante de tratabilidad correspondiente a la profundidad media del filtro a la temperatura de 20°C

D= profundidad del filtro

Q<sub>v</sub>= 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

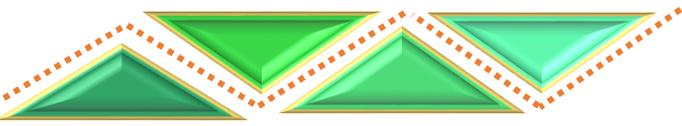
$$AFP = Q_d \left[ \frac{-\log(S_e/S_i)}{K_t * HFP} \right]^{\frac{1}{n}} \text{ Ecuación 1.38}$$

Calculo de constante de tratabilidad

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

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

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

54

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.

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

Diseño del sedimentador secundario circular.

Área necesaria para la clarificación con base a la carga hidráulica, para este cálculo de 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.

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

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

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

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

Cálculo del diámetro del sedimentador secundario

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

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.

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

$$Vt = (Q.l.r.)(T) \text{ Ecuación 1.5}$$

## 4. RESULTADOS

En definitiva, el tratamiento de aguas residuales es fundamental para salvaguardar la salud de las personas, cuidar el medio ambiente y fomentar prácticas sostenibles en la gestión de los recursos hídricos. Contribuye a evitar la contaminación de ríos y mares, protegiendo la fauna acuática y garantizando la calidad de los cuerpos de agua para la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas.

Partimos de las necesidades del sitio de estudio, con la problemática de dos importantes descargas hacia el principal río, denominado LA VENTA, para llevar a cabo esta propuesta de planta de tratamientos con el sistema de filtros percoladores.

En seguida, se presenta el producto de los cálculos del diseño, citados en el Marco Metodológico, donde señala dimensiones de todas las partes que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

### 4.1. Especificaciones.

Esta propuesta incluirá un sedimentador primario circular, que se utilizará para proporcionar un tiempo de retención y reducir la cantidad de elementos constituyentes en el agua.

En la imagen adjunta, se muestra el proceso de tratamiento del tren propuesto.

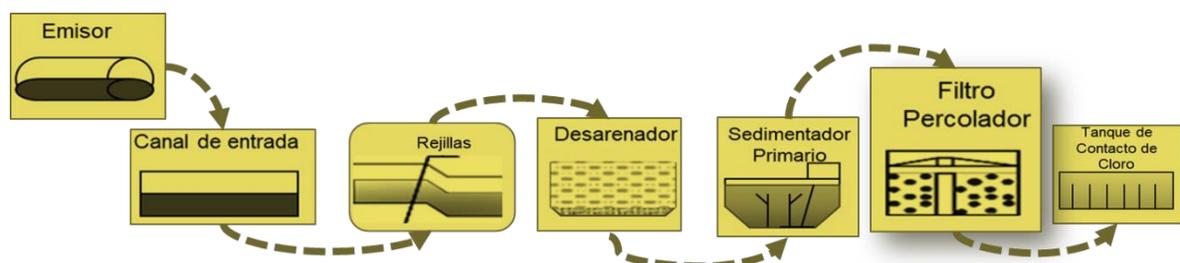


Figura 4

○ *Elaboración propia con información de Melcaft y Eddy (1996)*

En la etapa inicial se utilizan métodos físicos como la decantación, levitación, tamizado, filtrado y separadores de peso para eliminar los contaminantes.

#### 4.2. Canal de acceso

En este proyecto, se propuso el uso de un conducto con sección transversal de canal rectangular. Se sugiere también la utilización de una caja de recepción para recibir el caudal que proviene del emisor, aunque en este caso particular no sería necesario. Se necesitará la construcción de una estructura civil al inicio del pretratamiento, donde llegará el agua residual procedente del emisor.

En nuestro estudio, empleamos un canal artificial con el objetivo de reducir la presión en el extremo del conducto principal hacia la planta, de modo que se lograra homogeneizar la velocidad del efluente. Los datos recopilados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 18

DATOS	VALOR	UNIDAD
Área sección transversal	0.539	M <sup>2</sup>
Volumen de canal (VC)	0.810	M <sup>3</sup>
Ancho de canal (VC)	0.50	M
Número de canales (N.C)	1	NA
Ancho de muro (Am)	0.15	M
Ancho de canal (L)	0.50	M
Tirante hidráulico (y)	1.08	M
Bordo libre (B.L)	0.40	M
Profundidad total del canal (H)	1.48	M

- *Nota: Dimensionamiento del canal de acceso, elaborado a partir de los resultados obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.4.*

### 4.3. Rejillas

Tienen la función de facilitar el paso del agua y evitar que objetos grandes puedan pasar a través de ellas, por lo que es necesario limpiarlas al menos una vez al día. Según los cálculos realizados para determinar el número de barras, se determinó que nuestra rejilla de desbaste estará compuesta por 13 barras. Para este diseño se tomaron en cuenta dos secciones de rejillas que están unidas por un muro de concreto de 0.15 metros de espesor, por lo que este dato también se suma al ancho total de la rejilla, resultando en un ancho total de 1.15 metros.

Tabla 19

DATOS	VALOR	UNIDAD
Numero de barra (n)	13.00	Celdas
Ancho de barra (o)	0.010	M
Profundidad de barra (z)	0.06	M
Separación entre barra (b)	0.04	M
Factor de forma de barra	1.67	Na
Ancho de canal de rejilla (br)	1.15	M
Ancho de canal de rejilla	0.50	M
Tirante hidráulico (y)bordo libre (BL)	0.66	M
Bordo libre	0.30	M
Profundidad total del canal (H)	1.38	M
L1	0.89	M
L2	0.45	M
L3	0.37	M
L4	0.80	M
L5	1.00	M
Longitud total (lt)	3.51	M
Material retenido en la rejilla	0.53	Ton/d

- *Nota: Dimensionamiento de rejillas, elaborado a partir de los resultados obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.5.*

#### 4.4. Desarenador-Canal Parshall

Se utiliza para controlar y regular el flujo de agua, lo que contribuye a un tratamiento más eficiente y efectivo antes de ser devuelta al medio ambiente.

Para este caso son 2 cámaras, con un tirante hidráulico de 0.72 m, un ancho de 2.06 m, una longitud de 14.9 m y el tiempo de sedimentación calculado de 31.14 segundos.

Tabla 20

CONCEPTO	VALOR	UNIDAD
Numero de cámaras	2	pzas
Numero de canal parshall	2	pzas
<b>Dimensiones</b>		
Tirante hidráulico (h)	0.72	M
Ancho (T)	2.06	m
Tiempo de sedimentación (t)	31.147	Seg
Longitud (LT)	14.9	M
Velocidad horizontal (V1)	0.30	m/s
Velocidad de asentamiento (Vs)	0.0218	m/s
Volumen de arena (Va)	1.296	m <sup>3</sup> /d

- *Nota: Dimensionamiento de canal Parshall, elaborado a partir de los resultados obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.5.*

#### 4.5. Sedimentador primario.

Para este estudio, se propuso el diseño de un sedimentador primario circular con el objetivo de brindar un tiempo de retención adecuado. Posteriormente, se procedió con la instalación de un filtro percolador que opera como un tratamiento biológico utilizando filtros plásticos para lograr una mayor eliminación de contaminantes. Este filtro forma una capa delgada de microorganismos que luego se trasladan al sedimentador secundario.

A continuación, se exhiben los resultados obtenidos de las operaciones unitarias necesarias para tratar las aguas residuales de Cintalapa, tomando en cuenta un tiempo de retención de 0.525 horas, un diámetro del sedimentador de 11 m y una altura del sedimentador de 2 m.

Tabla 21

CONCEPTO	VALOR	UNIDAD
Gasto del afluente	4,247.21	M <sup>3</sup> /día
Gasto del efluente	4,203.09	M <sup>3</sup> /día
Tiempo de retención	0.525	horas
Peso de la materia seca	472.08	g/día

- Nota: Datos para sedimentador primario, obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.5.

Tabla 22

DIMENSIONES		
Arena de sedimentador (A)	90.36	M <sup>2</sup>
Diámetro del sedimentador (D)	11.00	M
Altura del sedimentador (H)	2.00	M
módulos (M)	4.00	

- Nota: Dimensionamiento sedimentador primario, elaborado a partir de los resultados obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.5.

#### 4.6. Filtro percolador (Medio plástico)

El próximo paso implica el uso de un filtro percolador, el cual actúa como un tratamiento biológico. Este método implica el uso de un filtro plástico para lograr una mayor eliminación de impurezas, creando una capa delgada de microorganismos que luego se trasladan al sedimentador secundario.

Para el diseño del filtro percolador se optará por utilizar el método de Melcaft y Eddy (1996), de acuerdo a las ecuaciones que se detallan en el punto 3.4 y 3.5 del marco metodológico; derivado de la utilización de estas formulas obtuvieron los resultados que se detalla en la siguiente tabla.

Las dimensiones del filtro consta de, un área de 48.60 m<sup>2</sup>, que recibe 291.60 m<sup>3</sup>, por la profundidad de 8 m.

Tabla 23

CONCEPTO	VALOR	UNIDAD
Eficiencia de remoción para el tratamiento de biológico (DBO)	65.00	%
carga hidráulica superficial	87.40	M <sup>3</sup> /M <sup>2</sup> *dia
Carga orgánica	2.24	Kg DBO/m <sup>3</sup> *dia
Ventilación natural del aire	0.88	Mm de agua
Velocidad de rotación del distribuidor	0.30	rpm

- Nota: Datos para filtro percolador, obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.5.

Tabla 24

Dimensione		
Are del filtro percolador (AFP)	48.60	M <sup>2</sup>
Volumen del filtro percolador (VFP)	291.60	M <sup>3</sup>
Diámetro del filtro percolador (DFP)	6.10	M
Profundidad del filtro percolador (HFP)	8.00	M
Modulo (M)	4.00	

- Nota: Dimensionamiento de filtro percolador, elaborado a partir de los resultados obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.5.

#### 4.7. Sedimentador secundario.

El objetivo del sedimentador secundario es mejorar la calidad del agua antes de su descarga final.

Tabla 25

Sedimentador secundario circular ( después de filtros percoladores)		
Área de clarificación (Acl)	261.01	M <sup>2</sup>
Profundidad de la zona de clarificación (h1)	1.36	M
Profundidad de la zona de separación (h2)	0.50	M
Tiempo de retención (T)	2.00	HoraS
Profundidad de la zona de acumulación de lodos (h3)	0.08	m

- Nota: Datos de sedimentador secundario, obtenidos en el marco metodológico.

Tabla 26

Dimensiones		
Profundidad total del tanque de sedimentación (H)	2.00	M
Diámetro del sedimentador secundario (D)	18.00	M
Volumen de la tolva (Vt)	0.86	M
Modulo (M)	4.00	M

- Nota: Dimensionamiento sedimentador secundario, elaborado a partir de los resultados obtenidos del marco metodológico, en el apartado 3.1.5.

#### 4.8. Calidad del efluente

Después de llevar a cabo las etapas anteriores, se observan los siguientes datos sobre la eliminación de los indicadores necesarios para lograr la calidad de agua deseada, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tomando estos datos y parámetros, el vital líquido tratado puede ser vertido al cuerpo de agua seleccionado, de acuerdo a la normatividad vigente NOM001.

Tabla 27

Eficiencia de remoción de alternativa							
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)	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	220	30.00	154.00	65.00	53.90	30.00	37.37
<b>DQO</b>	500	30.00	350.00	65.00	122.50	30.00	85.75
<b>SST</b>	220	50.00	110.00	65.00	38.50	50.00	19.25
<b>PT</b>	8	10.00	7.20	8.00	6.62	10.00	5.96
<b>N-org</b>	15	10.00	13.50	15.00	11.48	10.00	10.33
<b>NH<sub>3</sub>-N</b>	25	0.00	25.00	8.00	23.00	0.00	23.00

- o Nota: elaboración propia, con datos de los resultados obtenidos, de las fórmulas de cada aspecto de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Una vez realizados los cálculos para el diseño de las plantas de tratamiento se espera presentar la propuesta ante las autoridades correspondientes para su análisis de pertinencia y factibilidad.

## 5. CONCLUSIÓN

---

El diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales es indispensable para la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, toda vez que, por normas que nos rigen en el estado, las aguas residuales tienen que ser tratadas antes de ser vertidas a los cuerpos de aguas nacionales.

En este estudio se determina que la utilización de filtros percoladores y sedimentadores secundarios es una opción viable y costo-efectiva, siempre y cuando sean diseñados, operados y mantenidos correctamente según las especificidades del lugar donde se ubiquen. Es ineludible realizar una supervisión y monitoreo periódico del funcionamiento de los filtros percoladores, para asegurar su eficacia y prevenir posibles obstrucciones o acumulaciones de lodos.

## 6. BIBLIOGRAFIA

---

- 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.