



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DISEÑO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN PARA TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LOS BARRIOS  
(PARAÍSO, SAN JORGE, EL LLÍO Y SAN SEBASTIÁN) DEL  
CANTÓN “CHAMBO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: FERNANDO RENÉ ZAMBRANO QUIHUIRI**

**DIRECTOR: JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA DR.**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Fernando René Zambrano Quihuiri**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Fernando René Zambrano Quihuiri, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Aquellos textos de otras fuentes están correctamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos presentes en este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 1 de agosto de 2023



**Fernando René Zambrano Quihuiri**

060521717-3

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LOS BARRIOS (PARAÍSO, SAN JORGE, EL LLÍO Y SAN SEBASTIÁN) DEL CANTÓN “CHAMBO”**, realizado por el señor: **FERNANDO RENÉ ZAMBRANO QUIHUIRI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Guillermo Eduardo Davalos Merino <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-08-01
Dr. José Gerardo León Chimbolema <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-08-01
Ing. Juan Carlos González García <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-08-01

## **DEDICATORIA**

A mi familia que me apoyaron en todo el transcurso de mi vida estudiantil, los cuales son mi motivación para luchar, a mis padres los cuales me brindaron su apoyo incondicional. A los docentes los cuales tuvieron una participación en mi formación profesional, cuyo aprendizaje se ven reflejados en este trabajo, a mi director de Tesis que me guio y encamino para la finalización del presente.

Fernando

## **AGRADECIMIENTO**

Con un tremendo agradecimiento a Dios por haberme dado el don de la vida, a mi familia que me brindó su apoyo incondicional, el sacrificio y apoyo que me brindaron a lo largo de mi vida, los cuales han sabido educarme e inculcare valores y a todas esas personas que hicieron lo posible para que esta meta se haga realidad. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la cual me acogió en su tutela, dándome la oportunidad de adquirir conocimientos en sus instalaciones especialmente en la Facultad de Ciencias, y así formarme en un profesional. Un eterno agradecimiento a mi tutor del trabajo de titulación el Dr. José Gerardo León Chimbolema y al miembro del tribunal Ing. Juan Carlos González García. A todas las personas que tuvieron que ver con mi formación académica como los docentes los cuales me brindaron sus conocimientos, y todos los momentos que pude compartir con esas personas.

Fernando

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. <b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1 <b>Antecedentes</b> .....	2
1.2 <b>Justificación</b> .....	2
1.3 <b>Objetivos de la investigación</b> .....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivo específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

2. <b>MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1 <b>Agua residual</b> .....	4
2.1.1 <i>Clasificación de aguas residuales</i> .....	4
2.2 <b>Tratamientos de agua residual</b> .....	5
2.3 <b>Tratamiento primarios</b> .....	6
2.3.1 <b>Caudales</b> .....	6
2.3.1.1 <i>Vertederos</i> .....	6
2.3.1.2 <i>Volumétricos</i> .....	6
2.3.1.3 <i>Flotadores</i> .....	7
2.3.1.4 <i>Molinetes</i> .....	7
2.3.2 <b>Rejillas</b> .....	7
2.3.2.1 <i>Limpieza manual</i> .....	7
2.3.2.2 <i>Limpieza mecánica</i> .....	8
2.3.3 <b>Canal parshall</b> .....	8
2.3.4 <b>Desarenador</b> .....	10

2.3.4.1	<i>Desarenador longitudinal</i> .....	11
2.3.4.2	<i>Desarenador de flujo vertical</i> .....	12
2.3.4.3	<i>Desarenador de flujo</i> .....	12
2.4	<b>Tratamientos secundarios</b> .....	12
2.4.1	<b>Lagunas de oxidación</b> .....	12
2.4.1.1	<i>Anaerobia</i> .....	13
2.4.1.2	<i>Facultativa</i> .....	14
2.4.1.3	<i>Maduración</i> .....	16
2.4.1.4	<i>Factores que intervienen en los procesos de la laguna de oxidación</i> .....	16
2.5	<b>Tratamientos terciarios</b> .....	20
2.5.1	<i>Tratamientos convencionales</i> .....	20
2.5.2	<i>Efectividad de procesos terciarios en la depuración de agua residuales</i> .....	21
2.6	<b>Marco legal</b> .....	21

### CAPÍTULO III

3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	24
3.1	<b>Localización</b> .....	24
3.2	<b>Muestreo</b> .....	24
3.2.1	<i>Tipo de muestreo</i> .....	24
3.2.2	<i>Equipos y materiales de muestreo</i> .....	24
3.3	<b>Caracterización de aguas residuales</b> .....	25
3.3.1	<i>Método para la caracterización de aguas residuales</i> .....	25
3.3.1.1	<i>Límites permisibles para los parámetros</i> .....	25
3.3.1.2	<i>Métodos utilizados</i> .....	26
3.4	<b>Determinación de la población</b> .....	26
3.5	<b>Caudal</b> .....	27
3.5.1	<i>Medición del caudal</i> .....	27
3.5.2	<i>Materiales para la medición del caudal</i> .....	28
3.5.3	<i>Cálculo del canal</i> .....	28
3.5.3.1	<i>Caudal medio diario</i> .....	28
3.5.3.2	<i>Factor de mayorización</i> .....	29
3.5.3.3	<i>Caudal de infiltración</i> .....	29
3.5.3.4	<i>Caudal de conexiones erradas</i> .....	30
3.5.3.5	<i>Caudal máximo de diseño</i> .....	30
3.6	<b>Métodos de cálculo de diseño</b> .....	32

<b>3.6.1</b>	<b>Canal</b> .....	32
<b>3.6.1.1</b>	<i>Área l del canal</i> .....	32
<b>3.6.1.2</b>	<i>Altura del canal</i> .....	33
<b>3.6.1.3</b>	<i>Altura total del canal</i> .....	33
<b>3.6.2</b>	<b>Rejillas (cribado)</b> .....	33
<b>3.6.2.1</b>	<i>Radio hidráulico</i> .....	34
<b>3.6.2.2</b>	<i>Velocidad de aproximación</i> .....	34
<b>3.6.2.3</b>	<i>Numero de barras</i> .....	35
<b>3.6.2.4</b>	<i>Longitud de las barras</i> .....	35
<b>3.6.2.5</b>	<i>Pérdidas de carga</i> .....	36
<b>3.6.3</b>	<b>Canal parshall</b> .....	36
<b>3.6.3.1</b>	<i>Ancho se sección</i> .....	37
<b>3.6.3.2</b>	<i>Velocidad de aproximación</i> .....	37
<b>3.6.3.3</b>	<i>Carga hidráulica disponible</i> .....	38
<b>3.6.3.4</b>	<i>Altura en la zona de garganta</i> .....	38
<b>3.6.3.5</b>	<i>Velocidad de zona de garganta</i> .....	39
<b>3.6.3.6</b>	<i>Sumergencia</i> .....	39
<b>3.6.3.7</b>	<i>Número de froude</i> .....	39
<b>3.6.3.8</b>	<i>Altura de resalto en el punto 3</i> .....	40
<b>3.6.3.9</b>	<i>Velocidad de resalto en el punto 3</i> .....	40
<b>3.6.3.10</b>	<i>Altura de salida</i> .....	40
<b>3.6.3.11</b>	<i>Velocidad saliente</i> .....	41
<b>3.6.3.12</b>	<i>Pérdida de carga</i> .....	41
<b>3.6.4</b>	<b>Desarenador</b> .....	42
<b>3.6.4.1</b>	<i>Numero de Reynolds</i> .....	42
<b>3.6.4.2</b>	<i>Coeficiente de arrastre</i> .....	43
<b>3.6.4.3</b>	<i>Velocidad de sedimentación en la zona de transición</i> .....	43
<b>3.6.4.4</b>	<i>Volumen del desarenador</i> .....	44
<b>3.6.4.5</b>	<i>Área superficial del desarenador</i> .....	44
<b>3.6.4.6</b>	<i>Dimensiones del desarenador</i> .....	45
<b>3.6.4.7</b>	<i>El área transversal del desarenador</i> .....	45
<b>3.6.4.8</b>	<i>Altura de lodos</i> .....	46
<b>3.6.4.9</b>	<i>La longitud de transición del ingreso del desarenador</i> .....	47
<b>3.7</b>	<b>Diseño de lagunas de oxidación</b> .....	47
<b>3.7.1</b>	<b>Laguna anaerobia</b> .....	47
<b>3.7.1.1</b>	<i>Carga orgánica</i> .....	47

3.7.1.2	<i>Carga volumétrica de diseño</i> .....	48
3.7.1.3	<i>Remoción de DBO<sub>5</sub></i> .....	48
3.7.1.4	<i>Volumen de laguna</i> .....	48
3.7.1.5	<i>Área de laguna</i> .....	49
3.7.1.6	<i>Dimensionamiento de la laguna</i> .....	49
3.7.1.7	<i>Cálculo de la longitud superior de la laguna</i> .....	50
3.7.1.8	<i>Cálculo del área superficial</i> .....	50
3.7.1.9	<i>Tiempo de retención hidráulico</i> .....	51
3.7.1.10	<i>Concentración de DBO<sub>5</sub> en la laguna</i> .....	51
3.7.1.11	<i>Gasto en el efluente corregido por evaporación</i> .....	51
3.7.1.12	<i>Remoción de coliformes fecales por el factor de decaimiento</i> .....	52
3.7.1.13	<i>Coliformes fecales en el efluente de la laguna</i> .....	52
3.7.1.14	<i>Cálculo de la materia orgánica incluyendo la Evaporación</i> .....	52
3.7.1.15	<i>Coliformes fecales corregidos por evaporación</i> .....	53
3.7.2	<b><i>Laguna facultativa</i></b> .....	53
3.7.2.1	<i>Carga orgánica</i> .....	53
3.7.2.2	<i>Carga superficial de diseño</i> .....	54
3.7.2.3	<i>Área de la laguna facultativa</i> .....	54
3.7.2.4	<i>Volumen de la laguna</i> .....	54
3.7.2.5	<i>Dimensionamiento</i> .....	55
3.7.2.6	<i>Cálculo del área superficial</i> .....	56
3.7.2.7	<i>Tiempo de retención hidráulico</i> .....	57
3.7.2.8	<i>Gasto en el efluente</i> .....	57
3.7.2.9	<i>Remoción de coliformes fecales</i> .....	58
3.7.2.10	<i>Coeficiente de dispersión</i> .....	58
3.7.2.11	<i>Coeficiente de reducción bacteriana</i> .....	58
3.7.2.12	<i>Constante “a”</i> .....	59
3.7.2.13	<i>Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa</i> .....	59
3.7.2.14	<i>Coliformes fecales corregidos por evaporación</i> .....	59
3.7.2.15	<i>Concentración de la DBO<sub>5</sub> en la laguna</i> .....	60
3.7.2.16	<i>Concentración de la materia orgánica</i> .....	60
3.7.2.17	<i>Eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub></i> .....	60
3.7.2.18	<i>DBO corregida por evaporación</i> .....	61
3.7.3	<b><i>Laguna de maduración</i></b> .....	61
3.7.3.1	<i>Tiempo de retención hidráulica</i> .....	61
3.7.3.2	<i>Volumen</i> .....	61

3.7.3.3	<i>Área de laguna</i> .....	62
3.8	<b>Elaboración de planos</b> .....	62

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	63
4.1	<b>Localización</b> .....	63
4.2	<b>Muestreo</b> .....	64
4.3	<b>Caracterización del agua</b> .....	67
4.4	<b>Propuesta</b> .....	69
4.5	<b>Demografía</b> .....	69
4.6	<b>Caudal de diseño futuro</b> .....	72
4.7	<b>Cálculos de dimensionamiento</b> .....	75
4.7.1	<i>Canal rectangular</i> .....	75
4.7.2	<i>Rejillas</i> .....	76
4.7.3	<i>Canal parshall</i> .....	78
4.7.4	<i>Desarenador</i> .....	83
4.8	<b>Diseño de lagunas de oxidación</b> .....	88
4.8.1	<i>Diseño de laguna anaerobia</i> .....	88
4.8.2	<i>Diseño de laguna facultativa</i> .....	93
4.8.3	<i>Diseño de laguna de maduración</i> .....	101
4.9	<b>Eficiencia</b> .....	107
4.10	<b>Resumen de resultados</b> .....	108

## CAPÍTULO V

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	112
5.1	<b>Conclusiones</b> .....	112
5.2	<b>Recomendaciones</b> .....	113

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Selección de canaleta Parshall .....	9
<b>Tabla 2-2:</b> Valores de la exponente n y del coeficiente K.....	10
<b>Tabla 2-3:</b> Geometría del desarenador .....	11
<b>Tabla 2-4:</b> límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	22
<b>Tabla 3-1:</b> Parámetros y límites permisibles de las aguas residuales .....	25
<b>Tabla 3-2:</b> Parámetros utilizados para la caracterización .....	26
<b>Tabla 3-3:</b> Coeficiente de retorno .....	28
<b>Tabla 3-4:</b> Aportes de la recolección y evacuación para diseño para los canales .....	30
<b>Tabla 3-5:</b> Criterio de diseño para canales .....	32
<b>Tabla 3-6:</b> Características de rejillas de barras .....	34
<b>Tabla 3-7:</b> Criterios de diseño para desarenador rectangular .....	44
<b>Tabla 4-1:</b> Mediciones Caudal.....	64
<b>Tabla 4-2:</b> Resultados de los análisis de laboratorio.....	67
<b>Tabla 4-3:</b> Coeficiente de retorno .....	70
<b>Tabla 4-4:</b> Infiltración entre conexiones .....	71
<b>Tabla 4-5:</b> Parámetros para diseño del canal .....	76
<b>Tabla 4-6:</b> Características de las rejillas de limpieza manual.....	76
<b>Tabla 4-7:</b> Valores establecidos para el canal Parshall por el ancho de garganta en cm.....	79
<b>Tabla 4-8:</b> Material de la partícula.....	83
<b>Tabla 4-9:</b> Propiedades de la arena .....	83
<b>Tabla 4-10:</b> Propiedades del agua a 1 atm.....	83
<b>Tabla 4-11:</b> Propiedades del agua a 6 °C .....	84
<b>Tabla 4-12:</b> Parámetros de diseño para cargas volumétricas y remoción de DBO en función de la temperatura .....	88
<b>Tabla 4-13:</b> Eficiencia de la planta .....	107
<b>Tabla 4-14:</b> Valores de diseño del canal .....	108
<b>Tabla 4-15:</b> Valores de diseño de rejillas .....	108
<b>Tabla 4-16:</b> Valores de la canaleta Parshall .....	109
<b>Tabla 4-17:</b> Valores de diseño de desarenador .....	109
<b>Tabla 4-18:</b> Valores de Dimensionamiento de laguna anaerobia .....	110
<b>Tabla 4-19:</b> Valores de diseño para laguna facultativa .....	110
<b>Tabla 4-20:</b> Valores de diseño para laguna de maduración.....	111

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Rejillas de limpieza manual .....	7
<b>Ilustración 2-2:</b> Sistema de rejillas de sistema mecánico o automático.....	8
<b>Ilustración 2-3:</b> Nomenclatura del aforador Parshall.....	10
<b>Ilustración 2-4:</b> Laguna de oxidación (estabilización) .....	12
<b>Ilustración 2-5:</b> Laguna anaerobia.....	13
<b>Ilustración 2-6:</b> <i>Procesos de la laguna anaerobia</i> .....	14
<b>Ilustración 2-7:</b> Laguna facultativa .....	14
<b>Ilustración 2-8:</b> Procesos de la laguna facultativa.....	15
<b>Ilustración 2-9:</b> Laguna de maduración.....	16
<b>Ilustración 4-1:</b> Localización del cantón "chambo" .....	63
<b>Ilustración 4-2:</b> Caudal del día lunes.....	64
<b>Ilustración 4-3:</b> Caudal del día martes.....	65
<b>Ilustración 4-4:</b> Caudal día miércoles.....	65
<b>Ilustración 4-5:</b> Caudal día jueves.....	66
<b>Ilustración 4-6:</b> Caudal del día viernes.....	66
<b>Ilustración 4-7:</b> Caudales de los días de muestreo .....	67
<b>Ilustración 4-8:</b> Propuesta.....	69

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** DATOS ADICIONALES DE LA ARENA
- ANEXO B:** PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATM
- ANEXO C:** TÍPICOS VALORES COEFICIENTE MANNING
- ANEXO D:** VARIABLES DIMENSIONALES DEL CANAL PARSHALL
- ANEXO E:** DIMENSIONAMIENTO REJILLAS
- ANEXO F:** DIMENSIONAMIENTO CANAL PARSHALL
- ANEXO G:** DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR
- ANEXO H:** DIMENSIONAMIENTO LAGUNA ANAEROBIA
- ANEXO I:** DIMENSIONAMIENTO LAGUNA FACULTATIVA
- ANEXO J:** DIMENSIONAMIENTO LAGUNA DE MADURACIÓN

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento con base en lagunas de oxidación para aguas residuales generadas en los barrios (Paraíso, San Jorge, El Llio, San Sebastián) del Cantón “Chambo”, empleando instrumental básico para la medición de los caudales, para el punto de descarga por medio del método volumétrico, además, se recogió muestras de las aguas residuales para realizar análisis de caracterización física, química y biológica que se recogió in situ. Los resultados de los caudales tuvieron como mayor recolección del sistema de alcantarillado del agua residual con un promedio de 4.02 L/s el cual es fundamental para el diseño del sistema. La caracterización fisicoquímica así como la biológica fue realizada en los laboratorios de calidad de agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mostró resultados fuera de los límites permisibles según el acuerdo ministerial 097-A, los cuales fueron la demanda bioquímica de oxígeno con un valor de 182.75 mg/L, la demanda química de oxígeno con 388.19 mg/mL, sólidos suspendidos con 142.21 mg/L, y coliformes fecales con  $7.567 \cdot 10^6$  NMP/100 mL. Se diseñó un sistema de tratamiento en la cual se basa en lagunas de oxidación para dicho tratamiento, el cual tuvo una eficiencia total de la planta del 80% tomando como base la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en 5 días ( $DBO_5$ ) solubles, para de esta manera comprobar si los resultados de la concentración son correctos verificando así que se cumpla con la normativa ambiental. Se recomienda la implementación del sistema de tratamiento por parte del municipio del cantón Chambo para mejorar la calidad del agua que se descarga en el río Chambo.

**Palabras clave:** <LAGUNAS DE OXIDACIÓN>, <AGUAS RESIDUALES>, <MÉTODO VOLUMÉTRICO>, <CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA>, <CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA>, <DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO>, <DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO>.

1669-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

A treatment system based on oxidation ponds was designed for wastewater generated in the neighbourhoods (Paraíso, San Jorge, El Llío, San Sebastián) of the "Chambo" Canton, using basic instruments for flow measurement, for the point discharge by volumetric method. Wastewater samples were collected to conduct in situ physical, chemical, and biological characterization analyses. The results of the flows had a more significant collection of the sewage system of residual water with an average of 4.02 L / s, which is essential for the design of the system. The physicochemical, as well as biological characterization was carried out in the water quality laboratories of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. It showed results outside the permissible limits according to ministerial agreement 097-A, which were the biochemical oxygen demand with a value of 182.75 mg/L, the chemical oxygen demand of 388.19 mg/mL, suspended solids with 142.21 mg/ L, and faecal coliforms with  $7,567 \cdot 10^6$  MPN/100 mL. A treatment system was designed in which it is based on oxidation lagoons for said treatment, which had a total efficiency of the plant of 80% based on the removal of the biochemical oxygen demand in 5 days ( $BOD_5$ ) solubles; in this way, check if the results of the concentration are correct, thus verifying that environmental regulations are complied with. Implementing the treatment system by the municipality of the Chambo canton is recommended to improve the quality of the water discharged into the Chambo River.

**Keywords:** <OXIDATION PONDS>, <WASTEWATER>, <VOLUMETRIC METHOD>, <PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION>, <BIOLOGICAL CHARACTERIZATION>, <BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND>, <CHEMICAL OXYGEN DEMAND>.

1669-DBRA-UPT-2023



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

## INTRODUCCIÓN

El agua un recurso de gran importancia para las actividades diarias de los humanos, lo que nos lleva a buscar nuevos procedimientos para garantizar un manejo responsable, innovando y proponiendo nuevas técnicas de uso y cuidado del agua, sin embargo hay diferentes factores que son los responsables de la contaminación de este recurso (Ramos et al. 2021), con el pasar del tiempo se ha agravado la situación de las aguas residuales esto por un desinterés de los GADs municipales para dar un correcto tratamiento para su liberación en efluentes, teniendo consecuencias ambientales, afectando tanto a flora como fauna, la depuración natural no es suficiente por lo que estas aguas pueden generar daños considerables que puede afectar al equilibrio de la biodiversidad (Ome y Zafra, 2018).

La producción ganadera, así como la agrícola es la característica fundamental del cantón “Chambo” provincia de Chimborazo, y al no tener mucho sector empresarial es poco probable que las aguas residuales contengan contaminantes sumamente peligrosos (Sánchez y Champi, 2021).

Con el aumento de la demografía de las ciudades los pocos sistemas de tratamiento de aguas residuales van quedando obsoletas ya que su infraestructura no puede abastecer todos los desperdicios de la población, además muchas de estas no cuentan con un apropiado equipamiento para su funcionamiento, con el paso del tiempo estos sistemas se podrían catalogar como deficientes debido a sus características de construcción ya no tienen la eficiencia requerida en los parámetros tomados en cuenta para el diseño así como la proporción de remoción y la proporción de entrada del cuerpo de agua. Puede decir que una gran parte de las aguas residuales generadas no son tratadas y son vertidas hacia cuerpos de agua sin tener un procedimiento adecuado de tratamiento previo a su descarga en ríos cercanos.

Cada región o ciudad tienen sus características propias lo que hace que cada una de estas tengan que ser estudiadas para poder verificar las características fisicoquímicas que las componen, y poder determinar las mejores opciones para el caso ya sean métodos tradicionales o nuevos métodos de tratamiento.

Una opción de coste bajo y de eficiencia en el tratamiento de aguas residuales viene a ser las lagunas de oxidación ya que tiene varias ventajas que la hacen la opción más viable para el tratamiento de agua residual, característica más importante es el manejo y operación de la laguna de oxidación que eliminara en gran medida los contaminantes presentes en el agua (Hernández y Moreno, 2018).

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

El vertido de aguas servidas vine a ser considerado un problema ambiental para el sector, afectando directamente a la flora y fauna, así como diferentes problemas como la presencia de olores, incremento de insectos y por consecuencia un riesgo hacia la salud de la población, acarreando a más enfermedades que se pueden suscitar en los sectores aledaños y las orillas del río (Sánchez y Champi, 2021).

Esto puede ser la consecuencia de una mala administración de los municipios y las autoridades encargadas, éstas al no ser tratadas son un problema que puede atraer afectaciones considerables para el ambiente. Ya que esas aguas son ocupadas por los moradores del sector con desconocimiento del peligro al que se exponen (Sánchez y Champi, 2021).

En los barrios (Paraíso, San Jorge, El Llío y San Sebastián) genera aguas residuales y esta a su vez es transportada por la red de alcantarillado del cantón Chambo, pero no se da un tratamiento como tal por lo que se vierte las aguas servidas de manera directa al río Chambo, observando una presencia de olores en el transcurso que le toma al agua residual llegar desde el punto de descarga del alcantarillado hasta las orillas del río Chambo, este tramo se observa que el agua es utilizada para riego de los cultivos, además que el río abajo es utilizado para actividades como la ganadería.

#### 1.2 Justificación

Al ser Chambo un cantón que no tiene a su disposición un sistema de aguas residuales es un problema alarmante para la salud y la calidad de vida de las personas cercanas a los puntos de descarga de estas aguas, ya que en el sector se utiliza dicha agua para los riegos, así como la ganadería y actividades de la población cercana esto genera un peligro constante para la población y el ambiente aledaño.

Para realizar un tratamiento a las aguas residuales generadas por los barrios Paraíso, San Jorge, El Llío y San Sebastián con el fin de mejorar la calidad de vida de la población y el ecosistema que entra en contacto con dichas aguas, y rigiéndose a las normas de calidad del medio ambiente,

como son los límites permisibles de descarga de agua residual en cuerpos de agua dulce, por lo que el sistema que sea planteado tiene que cumplir estrictamente con los requerimientos y parámetros que exige el TULSMA Libro IV, Anexo 1, tabla 9 que hace referencia a los límites para poder descargar en efluentes de agua dulce.

Se inicia con un proceso de caracterización de la calidad de la agua residual para ver y determinar los parámetros en los que se desea tratar porque sobrepasan los límites permisibles, de tal manera que se pueda llegar a una decisión oportuna sobre un sistema de tratamiento que se adapte a la realidad que vive ese sector y pueda tratar dicha agua tomando en cuenta factores que pudieran afectar a su rendimiento para que su tiempo de vida útil se alargue de manera prolongada.

Estos procesos que se han puesto a consideración pueden aportar a la población en el tratamiento de las aguas residuales y disminuir la contaminación, de tal manera que puede viabilizar el proyecto que se está proponiendo.

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

- Diseñar lagunas de oxidación para tratamiento de aguas residuales generadas en los barrios (Paraíso, San Jorge, El Llio, San Sebastián) del Cantón “Chambo”.

#### ***1.3.2 Objetivo específicos***

- Analizar las características físico – química de las aguas residuales de los barrios céntricos, basadas en los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en base al acuerdo ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.
- Identificar las variables para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, realizando los cálculos correspondientes de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de agua residual mediante lagunas de oxidación.
- Diseñar lagunas de oxidación que funcionaran para el tratamiento de aguas residuales y disponer de la elección más viable y económica

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Agua residual

Se describe como agua residual a toda aquella que se utilizó para una actividad humana las cuales se llevan consigo diferentes contaminantes que al ponerse en contacto con el ambiente genera efectos negativos, siendo aguas que no tiene valor para un uso inmediato del recurso.

##### 2.1.1 Clasificación de aguas residuales

Las aguas residuales se clasifican según su la concentración de y tipo de sustancias químicas las cuales tienen características bacteriológicas, entre otras.

- **Aguas residuales domésticas**

Son las aguas que se generan en las viviendas y núcleos urbanos, los cuales están ubicados locales de comercio y lugares que aportan al aumento del agua residual, y contienen un gran contenido de componentes orgánicas, que tienen sólidos sedimentables, así como en bacterias (López, 2021).

- **Aguas residuales industriales**

Son el resultado de los procesos industriales los cuales generan una gran contaminación ya que el agua desechada por estas fabricas proviene de la generación energética, producción de materiales o fabricación de productos, el agua residual industrial tiene una concentración elevada de químicos sintetizados y metales pesados (Iván, 2018).

- **Aguas residuales de la agricultura y ganadería**

Son los que provienen del sector agrícola en su materia por la ganadería y los residuos de la agricultura este tipo de agua no es muy producida ya que se reutilizan para el riego de los cultivos solo cuando este rebasa en consumo se considera aguas residuales ya que son enviadas al sistema de alcantarillado, teniendo una concentración excesiva de coliformes fecales y orines de origen animal (Vega, 2019).

- **Aguas residuales derivadas de la lluvia**

Es la contaminación que puede arrastrar las lluvias por el sistema de alcantarillado, provenientes del suelo, aire que pueden contaminar, además de combinarse con las diferentes aguas residuales.

## **2.2 Tratamientos de agua residual**

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso en el cual se tiene como objetivo la remoción de los contaminantes de carga orgánica presentes en la misma, esto por medio de procesos que están diseñados para remover dichos componentes ajenos al agua ya sea tomando principios como la sedimentación, la coagulación, floculación entre otros procesos es la combinación de estos ya sea de diferentes formas dependiendo del tipo de agua que se requiere tratar (Ramos et al. 2021).

Estos tratamientos se componen generalmente de tras paso los cuales son:

- **Pre- tratamiento**

Son los procesos por los cuales se le somete al agua residual al ingreso hacia la planta de tratamiento por lo que el objetivo principal es la remoción de los sólidos de tamaños considerables los que pudiera provocar un gran problema para el funcionamiento de los demás procesos. (Mora y Morales, 2022).

- **Tratamientos primarios**

Este tratamiento cumple con la finalidad de separación de los sólidos suspendidos por la utilización de procesos físicos ya que estos no pudieron ser removidos en el pretratamiento.

- **Tratamientos secundarios**

Tienen como objetivo la estabilización de la materia orgánica, esto con el metabolismo que realizan los microorganismos generalmente las bacterias, consumiendo los compuestos que se desean tratar para que estos los transformen en sólidos pueden ser estabilizados o mineralizados, en este tratamiento se puede segmentar en procesos anaerobios y aerobios por lo que en cada una se utilizara o no en presencia de oxígeno para la depuración del agua residual (Mora y Morales, 2022).

- **Tratamientos terciarios**

Es la combinación de distintas tecnologías estas se utilizan dependiendo de los procesos primarios y secundarios que se utilizó para dicha agua residual por lo que esta debe adaptarse a la calidad del agua cumpliendo la norma vigente (Valdivieso, 2022).

## **2.3 Tratamientos primarios**

### **2.3.1 Caudales**

Se considera caudal al volumen de agua que recorre una superficie el cual puede ser un río, canal, tubería, etc., en un tiempo específico.

Los efluentes de aguas residuales domesticas pueden ser mediadas todo en mediante la forma de descargas que tiene, para poder tomar la mejor alternativa de los diferentes métodos como:

- Vertederos
- Volumétricos
- Flotadores
- Molinete

#### **2.3.1.1 Vertederos**

Radica en la función que emplea una pared que está ubicada de forma transversal a un canal para para que el nivel del agua que atraviesa esta sección se pueda medir el caudal de esta, este tipo de medidores de caudal se utilizan generalmente para pequeños cursos de agua y de trayecto libre (Guallpa et al. 2022a).

#### **2.3.1.2 Volumétricos**

Es un método muy sencillo para la medición de caudales los cuales emplea básicamente la medición del tiempo en el cual un recipiente con un volumen conocido se demora en llenarse, hay que tener en que este método de medición no es posible en caudales donde sobrepase un cierto límite por lo que es tomado en cuenta para ser utilizado en caudales sumamente pequeños (Contreras, 2020).

### 2.3.1.3 Flotadores

Se caracteriza por ser utilizados en la medición de caudales de ríos en un tramo determinado, toma en la velocidad de la superficie del río utilizando flotadores, teniendo en el fundamento de que los objetos que flotan se ven movilizadados a la misma velocidad que el agua, este método mide en la línea de flujo del cauce del agua por la que se desplazan los flotadores (Santa, 2022).

### 2.3.1.4 Molinetes

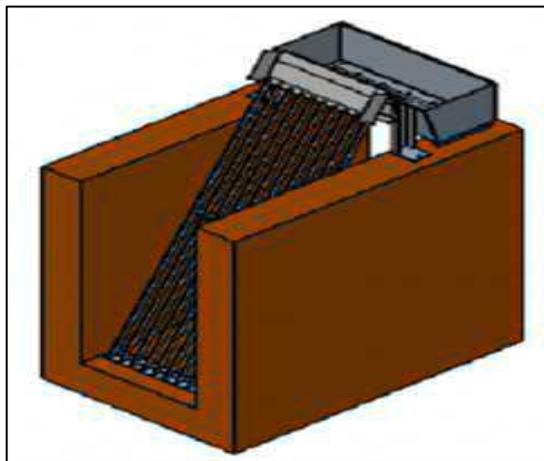
Se utiliza para conocer cuál es el caudal de un determinado cuerpo de agua conociendo la velocidad del agua al cual está fluyendo este, teniendo como principales componentes, un rotor y otros elementos que hacen posible el manejo (Pedroza, 2017).

## 2.3.2 Rejillas

Las aguas residuales al contener contaminantes es algo habitual que estas traigan consigo desechos voluminosos, los cuales se deben asegurar que estos no lleguen a el sistema de tratamiento siendo el primer proceso que debe pasar el agua residual (Alcazar, 2021).

Se clasifican de manera en la manera de limpieza que se aplica a al sistema de rejilla siendo:

### 2.3.2.1 Limpieza manual



**Ilustración 2-1:** Rejillas de limpieza manual

**Fuente:** (Emolatina, 2013)

Al ser rejillas de limpieza manual tiene una inclinación de las rejas de entre  $45^\circ$  a  $60^\circ$  esto con la finalidad de tener una forma de extraer la basura de manera más fácil, son utilizadas para remover desechos con caudales pequeños (Arias, 2017).

### 2.3.2.2 Limpieza mecánica



**Ilustración 2-2:** Sistema de rejillas de sistema mecánico o automático

**Fuente:** (Seftgroup, 2020)

Al ser mecánica la limpieza que se ejerce la pendiente de las rejillas pueden ser de entre  $75^\circ$  y  $90^\circ$  son utilizadas para plantas de tratamiento que trabajan con caudales grandes y los cuales la basura que llegan hasta la planta por lo que un sistema mecánico que ayude a la limpieza de del caudal para que no afecte a los sistemas que viene más adelante.

La selección adecuada para la planta de tratamiento depende esencialmente del caudal que se vaya a tratar, además de la cantidad de basura que pueda llegar acarreado por el agua residual (Alcazar, 2021).

### 2.3.3 Canal parshall

Considerados uno dispositivo de medición para flujos primarios de cuerpos de agua teniendo múltiples aplicaciones tanto para drenajes, medición de arroyos, plantas de tratamientos de aguas residuales entre otros, es utilizado prácticamente por la facilidad que puede brindar a los proyectos con datos como el cálculo hidráulico. (De La Cruz et al., 2022)

También conocidas como canaletas Parshall, se basan en tener una convergencia en un punto de la canaleta, lo cual se forma una inclinación hacia abajo y también hacia arriba, por la forma en

la que es diseñado el canal la zona de control para los canales Parshall vienen a ser en la zona donde converge el agua (Martinez, 2019).

Hay que tomar en las fórmulas para el diseño del canal Parshall los cuales se toman a partir de caudal que se utilizara para él la planta (Edmundo, 2001), dependiendo de este factor se determina los valores que se ajusta mejor a la cantidad de agua que ingresa a la planta tomando los valores de la tabla:

**Tabla 2-1:** Selección de canaleta Parshall

Ancho de garganta (W)		Caudal Q (L/s)	
Pulg	cm	Mínimo	Máximo
3"	7.6	0.85	53.8
6"	15.2	1.52	110.4
9"	22.9	2.55	251.9
1´	30.5	3.11	455.6
1 ½´	45.7	4.25	696.2
2´	61.0	11.89	936.7
3´	91.5	17.26	1426.3
4´	122.0	36.79	1921.5
5´	152.5	62.8	2422.0
6´	183.0	74.4	2929.0
7´	213.5	115.4	3440.0
8´	244.0	130.7	3950.0
10´	305.0	200.0	5660.0

Fuente: Oliveras, 2016

Realizado por: Zambrano F., 2023

Una vez tomado en las dimensiones de la garganta del canal Parshall y así poder aplicar la fórmula descrita por lo siguiente:

**Tabla 2-2:** Valores de la exponente n y del coeficiente K

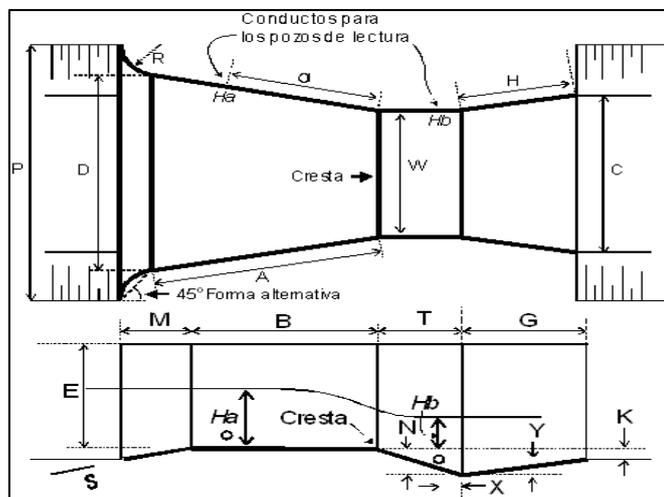
Unidades métricas		
Ancho de garganta (W)	K	n
3''	1.547	0.176
6''	1.580	0.381
9''	1.530	0.535
1'	1.522	0.690
1 ½'	1.538	1.054

Fuente: Oliveras, 2016

Realizado por: Zambrano F., 2023

Los demás valores para el dimensionamiento ya están determinados por un esquema (Edmundo 2001), por lo que los factores están descritos en la Tabla 4-36.

Al tener los valores de la Ilustración 2-1 se puede constatar la distribución de estas medidas en la Tabla 2-2 dependiendo del ancho de garganta que se estableció previamente.



**Ilustración 2-3:** Nomenclatura del aforador Parshall

Fuente: (Hidrojo, 2016)

### 2.3.4 Desarenador

Es una estructura el sur se ubica en el sistema de tratamiento de agua después de la captación del agua con el objetivo de extraer las partículas de grava, arena, arcillas entre otros materiales que son acarreados por el agua y los cuales deben ser eliminados del cauce del caudal para que estos

no interfieran en los demás procesos del tratamiento, se basa en la reducción de la velocidad (Marquina, 2020).

### Geometría del desarenador

Para un dimensionamiento de un desarenador es necesario tomarse en unas dimensiones como el largo, ancho, así como el tiempo de retención hidráulica entre otras más a considerar por lo que se basan en datos para el correcto diseño de desarenadores aireados en el siguiente:

**Tabla 2-3:** Geometría del desarenador

<b>característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor usual</b>
<b>Tiempos de retención para caudal pico</b>	min	2 – 5	3
<b>Dimensiones:</b>			
<b>Profundidad</b>	m	2 – 5	3
<b>Longitud</b>	m	7.5 - 20	12
<b>Ancho</b>	m	2.5 -	7 3.5
<b>Relación Ancho-Profundidad</b>	Razón	1:1 a 5:1	1.5:1
<b>Relación Largo-Ancho</b>	Razón	3:1 a 5:1	4:1
<b>Suministro de aire por unidad de longitud</b>	m <sup>3</sup> /m*min	0.18 – 0.45	0.3

Fuente: (ETAPA, 2023)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Estos desarenadores tienen varias versiones como:

#### 2.3.4.1 Desarenador longitudinal

Consta de una forma de doble tanque que se utiliza para la disminución del movimiento del agua tomando como principio la decantación por gravedad al estar en una velocidad baja contribuyen a que los sedimentos caigan hacia el fondo (Herlis y Vargas, 2019).

#### 2.3.4.2 *Desarenador de flujo vertical*

Son desarenadores que se utilizan cuando la disponibilidad de espacio es muy reducida, teniendo como función el ascender el flujo de agua de forma ascendente evitando que los sedimentos sigan el flujo de agua atrapándose en el fondo del desarenador (Estacio, 2022).

#### 2.3.4.3 *Desarenador de flujo*

Consiste en la ampliación del canal con el objetivo de que reduzca la velocidad del flujo de agua y por gravedad decanten en el fondo todas las partículas que se encuentran en dicha agua, en su mayoría se utiliza para el tratamiento de agua residual con su caudal pequeño que proveen de pueblos pequeños (Marquina, 2020).

### 2.4 **Tratamientos secundarios**

#### 2.4.1 *Lagunas de oxidación*



**Ilustración 2-4:** Laguna de oxidación (estabilización)

Fuente: (Ventura y Vela, 2015)

Las lagunas de oxidación las cuales también son conocidas como lagunas de estabilización son formaciones utilizadas para el tratamiento de aguas residuales con el objetivo de reducir el contaminante presente en el agua, además de ser sencillas, de bajo costo, abiertas al sol, el cual brinda un proceso de autodepuración o estabilización de los contaminantes de forma natural, teniendo como actores proceso físicos, químicos, y biológicos (Faife-Pérez et al. 2021).

Para determinar el cálculo de las lagunas de oxidación se tomó como referencia la siguiente ecuación las cuales determinaran para cada una de las lagunas que se deseara implementar ya se anaerobia, facultativa o de maduración.

**Ecuación 1**

$$T = \left(\frac{n}{k}\right) \left[ \left(\frac{C^o}{C^N}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

**Ecuación 2**

$$A = \frac{Q * T}{H}$$

**Ecuación 3**

$$V = Q * T$$

#### 2.4.1.1 Anaerobia



**Ilustración 2-5:** Laguna anaerobia

Fuente: (Tito, 2020)

Es un tipo de laguna que tiene como característica de ser utilizadas para la eliminación de un gran porcentaje de materia orgánica de aguas residuales, además de estas se limitan a la ausencia del oxígeno como factor principal para su funcionamiento, estas n con una profundidad que varía desde las 5 a 10 metros lo cual estas deben ser aisladas por lo que se toma un tiempo de retención hidráulica de entre 10 a 20 días (Giraldo, 2021).

Son lagunas que requieren de un pequeño espacio para que se pueda construir al tener una profundidad considerable esta hace que todas las bacterias, huevos de helminto y protozoarios sean depositados en el fondo de la laguna anaerobia, el tiempo de retención hidráulica es fundamental para este tratamiento funcione, con el propósito que este desbaste una gran cantidad de materia orgánica.

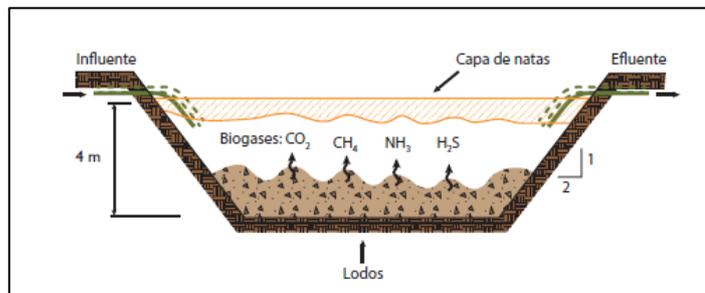
Al ser un proceso anaerobio esta tiende a generar malos olores porque en el fondo o se genera sulfuro de hidrogeno, hay procesos por los cuales pasa la materia orgánica una vez entrado en la laguna anaerobia y son.

- Licuefacción

Las bacterias presentes en la laguna comienzan con un proceso de hidrolisis con la materia orgánica presente, transformando los carbohidratos y gases en ácidos grasos por lo que no hay una remoción de materia orgánica en esta etapa.

- Gasificación

La remoción se lleva a cabo en esta etapa por lo que las bacterias anaerobias consumen esa materia para generar metano ( $CH_4$ ), y el ( $CO_2$ ) es producido a partir del carbono orgánico, por estos procesos es que se reduce la concentración de materia orgánica en el agua residual domestica tratada.



**Ilustración 2-6:** *Procesos de la laguna anaerobia*

Fuente:(Cortés Martínez et al. 2017)

#### 2.4.1.2 *Facultativa*



**Ilustración 2-7:** *Laguna facultativa*

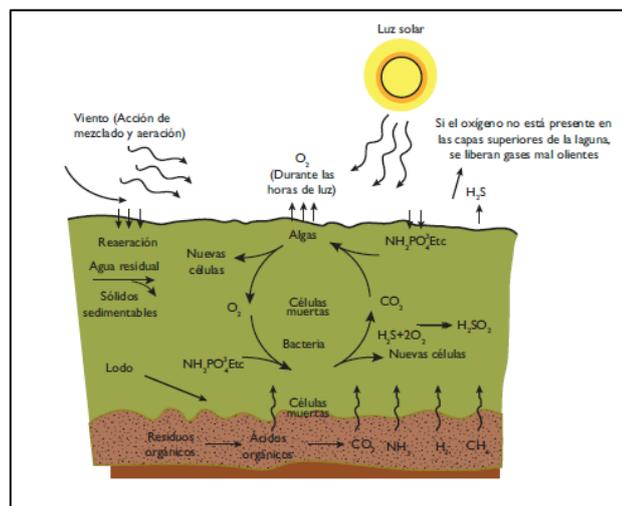
Fuente: (Seftgroup, 2020)

Esta laguna con tres fases que la completan una fase aerobia con la presencia de oxígeno disuelto, la facultativa o intermedia en la que existen bacterias anaerobias como aerobias teniendo condiciones similares y así realizando la remoción de la materia orgánica (DBO) y la zona

anaerobia que lleva a cabo una descomposición de forma fermentativa, teniendo como objetivo la estabilización de los compuestos orgánicos presentes mediante la oxigenación que brinda las algas presentes en el medio teniendo como resultado la uniformidad de la materia orgánica, y la degradación de dichos compuestos por organismos anaerobios en la parte más profunda del sistema de lagunaje además de la disminución de bacterias coliformes, así como las de nutrientes contenidos en el agua residual (Pacheco et al. 2022a).

Esto se logra gracias a la interacción simbiótica que hay entre las bacterias y las algas de tal manera que degraden todo lo orgánico siendo que las bacterias toman el oxígeno que producen las bacterias para su metabolismo y poder consumir los compuestos orgánicos en procesos aeróbicos, teniendo en un esquema de la actividad simbiótica de estos organismos en el tratamiento de aguas residuales y su metabolismo como especie (Pacheco et al. 2022a).

El pH es determinado por las condiciones de los factores ambientales que tiene la laguna como la concentración de oxígeno disuelto, la radiación solar, así como el tiempo de retención hidráulica determinando un grado de acidez o de alcalinidad dependiendo de estos factores cambien o no. La profundidad en la cual es recomendable la operación de esta laguna es de 1.5 m a 2.5 m lo que generan los contenidos de nitrógenos, fósforos, y carbono en el agua residual, las algas generan oxígeno disuelto por el proceso de la fotosíntesis, lo cual es utilizado por las bacterias para su metabolismo, eliminando el DBO y estas bacterias se genera gas carbónico para el uso de las bacterias para el desarrollo de las algas (Vázquez, 2016)



**Ilustración 2-8:** Procesos de la laguna facultativa

Fuente: (Cortés et al. 2017)

### 2.4.1.3 *Maduración*



**Ilustración 2-9:** Laguna de maduración

Fuente: (ETAPA, 2023)

La eliminación de bacterias que pueden ser patógenas es la función principal de esta laguna, además de la clarificación del efluente, además de proporcionar una buena oxigenación, el tiempo de retención hidráulica se establece de 5 a 10 días teniendo una profundidad que puede ir desde los 50 cm hasta 1 m (Talledo y Espejo, 2021).

Se le considera la laguna de maduración como el último paso al tratamiento que se da las aguas residuales ya que es la etapa final de las lagunas de oxidación después de la fase anaerobia, facultativa, aerobia. Las condiciones en las que opera esta laguna son totalmente aerobias por lo que su función principal es la reducción y coliformes fecales para poder estar por debajo de la norma de descarga de aguas residuales en cuerpos de agua dulce.

### 2.4.1.4 *Factores que intervienen en los procesos de la laguna de oxidación*

Hay factores que interactúan con los procesos que ocurren en las lagunas de oxidación como la intervención de la temperatura, microorganismos, clima, incidencia del sol, entre otros factores que ayudan o perjudican a los procesos.

#### **Factores climáticos**

- Temperatura

Todas las reacciones que se llevan a cabo en la laguna de oxidación tienen como principal factor la presencia de la temperatura, ya que esta puede mejorar o disminuir el rendimiento, teniendo como referencia la temperatura de 25 °C la cual puede ayudar de gran medida la degradación de los contaminantes, de igual manera esto se ve afectada por las bajas temperaturas que reducen estos

procesos, además del bajo metabolismo que presentaran las bacterias y reducción de las algas teniendo en que las temperaturas que son menores a los 17° C no son condiciones favorables para la fermentación de los lodos generadas en la planta de tratamiento (Ventura y Vela, 2015).

- Radiación solar

Es fundamental para el proceso de fotosíntesis que realizan las algas y otros procesos que requieren de su presencia ya que se refiere a la cantidad de radiación que puede penetrar la luz solar a través del agua, ya que la intensidad varía y no es constante a lo largo de un tiempo determinado, la forma en que se desarrollan las algas y demás varía dependiendo de la luz solar recibida (Gattorno, 2019).

El oxígeno disuelto y el potencial de hidrogeno son efectos que se generan por la presencia de radiación en las aguas residuales que se están tratando, tomando en que estos valores cambian a lo largo del día teniendo resultados bajos en las horas de la noche y valores máximos en las horas que hay máxima radiación. (Gattorno, 2019).

Este factor es de suma importancia para las lagunas tanto facultativas como las de maduración ya que estas dependen de la intensidad de la luz solar para la supervivencia de los organismos como los patógenos, la producción de algas y la concentración que tiene el agua residual de los contaminantes (Ventura y Vela, 2015).

- Viento

El viento que se encuentra en las lagunas de oxidación se considera un factor importante que ayuda a la mezcla vertical del recurso para una buena distribución del DBO y el oxígeno disuelto, algas, bacterias, que se encuentra presente, aumentando el grado de estabilización que la laguna puede conseguir (Vázquez, 2016).

- Evaporación

Aumenta la concentración de la salinidad presentes en los sólidos suspendidos por lo que la evaporación es un factor por considerar por lo perjudicial que puede ser al contacto de estos desechos con cultivos o en si la industria agropecuaria (Ventura y Vela, 2015).

- Precipitación

La precipitación es escasa o muy pocas no generan preocupaciones, pero al presentarse de manera constante estas pueden provocar efectos adversos a las lagunas, como la reducción del tiempo de retención hidráulica, teniendo que son las lluvias las causantes de una disolución de los componentes presentes en las lagunas, que por medio del escurrimiento de las lluvias acarrear la materia orgánica y los minerales (Zegarra et al. 2021).

Se afecta a él oxígeno disuelto y su concentración ya que las lluvias traen consigo más sedimentos y se mezclan en la columna de agua de la laguna.

### **Factores Físicos**

- Estratificación

La dureza que puede presentar el agua que se está tratando en las aguas residuales es inversamente proporcional a la temperatura que esté presente ya que al tener temperaturas bajas la dureza del agua aumenta, por otro lado, la temperatura alta de hace que el valor de la dureza baje. Por lo tanto, en el tiempo en el que la temperatura es mayores estas lagunas pueden mezclarse con mayor facilidad, ya que los vientos ayudan a que se originen corrientes en estas (Jordan, 2022).

- Flujo y tiempo de retención

La densidad, la velocidad, dirección del viento, entrada, salida, así como la forma y el tamaño de las aguas residuales afecta directamente a la circulación, pudiendo ser la principal causa de la formación de zonas muertas en las lagunas los cuales puede retener el agua por largos periodo de tiempo por lo que como consecuencia la eficiencia se reduce, para las lagunas anaerobias se toma en las carga volumétrica para obtener un valor para el tiempo de retención hidráulica, una desventaja de los tiempos bajos es la generaciones de malos olores, así como la baja disminución de la demanda bioquímica de oxígeno, baja calidad bacteriológica (Fernando et al. 2020).

- Profundidad

La profundidad de las lagunas de oxidación puede darles las características anaerobias, facultativas, o de maduración ya que a diferente profundidad donde cada una de las diferentes profundidades puede producir la degradación de los compuestos orgánicos y organismos que se

adaptan las diferentes profundidades, así como la presencia de oxígeno en la laguna. Con esto se pueden regresar a la capa superficial para una nueva contribución para la actividad biológica (Febles, 2010).

### **Factores bioquímicos y químicos**

- Oxígeno disuelto

Es fundamental para conocer el debido funcionamiento de las lagunas de oxidación, el oxígeno disuelto proviene esencialmente de la fotosíntesis y reaeración superficial, realizando procesos aerobios, tiene diferencia tomando en el clima, el tiempo la profundidad. Por lo que la concentración es máxima al atardecer y mínima al amanecer, la concentración de oxígeno es mayor en la superficie mientras que a medida que la que la profundidad aumenta esta va disminuyendo hasta no tener oxígeno conociéndose como oxipausa (Arévalo et al. 2017).

- Potencial de hidrogeno (PH)

El PH se obtiene por la interacción de los individuos fotosintéticos, además de la degradación de la materia orgánica generada por el metabolismo de las bacterias, por otro lado las algas tienden a consumir anhídrido carbónico dando un aumento del pH mientras que la degradación de la materia orgánica tiene como efecto la generación de dióxido de carbono y por consiguiente la disminución del pH, esto es afectado por la radiación solar el pH puede cambia a lo largo del día y todo el año se puede encontrar variaciones (Guevara et al. 2013).

- Nutrientes

Las aguas residuales tienen consigo diferentes tipos de nutrientes que son fundamentales que sirven para el desarrollo de bacterias y algas esto con las limitaciones de la concentración que contiene estas aguas (Polette et al. 2017).

- Sulfuros

Las concentraciones residuales de azufre en el recurso pueden afectar los procesos biológicos en la laguna, provocando un cambio de algas verdes a cianobacterias. Si se eleva el pH, el azufre reducido permanece en solución como iones de hidrosulfuro. Hay dos tipos de bacterias que pueden redox compuestos de azufre, algunas son bacterias incoloras que utilizan oxígeno

molecular como aceptor de electrones. Este tipo de bacteria es raro en piscinas estables y, si está presente, en su entorno. Los mejores están en la parte superior de la laguna. Un segundo tipo de bacterias son las bacterias fotosintéticas del azufre, que utilizan la luz solar y las concentraciones de sulfuro, así como el CO<sub>2</sub>, como aceptores de hidrógeno. Estas bacterias dan a los recursos un color rojizo cuando hay presencia de sulfuros y anaerobios. (Lázaro et al. 2020).

## **Factores Biológicos**

- Bacterias

Son organismos importantes para el tratamiento de aguas residuales a través de las lagunas de oxidación porque esta ayuda en la reducción de la concentración de materia por vía aerobia, además de anaerobia, para la desnitrificación, nitrificación, y acumulación de fósforo (Apaza y Karin, 2017).

- Algas

Al ser organismos fotosintéticos y unicelulares son utilizadas como fuente de oxígeno para estos tipos de sistema de depuración que no bajan las cantidades de la materia orgánica, solo la aumenta por la síntesis de minerales de carbono, para que estos organismos se desarrollen y mejoren su crecimiento se debe tener en la iluminación, la temperatura y la condición de los nutrientes. (Méndez, 2019).

## **2.5 Tratamientos terciarios**

Existen varios tratamientos terciarios que se pueden aplicar al tratamiento de aguas residuales, esto dependerá claramente de la caracterización de las aguas y los procesos anteriores que se le dé, la misma para poder escoger la combinación de todos los procesos que lleven a una calidad de agua tratada apta para que sea encausada a los efluentes naturales entre los cuales tenemos:

### ***2.5.1 Tratamientos convencionales***

Para el tratamiento de aguas residuales se considera como las primeras opciones tratamientos que aun en su mayoría son físicos y biológicos, teniendo manejos previos y posteriormente llegar a ciertas fases como reja, desarenadores, trampas de grasa, es los cuales está incluido el tratamiento primario (Sánchez Proaño, 2018).

### ***2.5.2 Efectividad de procesos terciarios en la depuración de agua residuales***

Los métodos terciarios son procedimientos que complementa los procesos anteriores en el tratamiento de aguas residuales por lo que, puesto a ser un proceso importante este no es muy aplicado no por su eficiencia sino por sus altos costos, (Ramos et al. 2021)), este tratamiento se aplica para la reducción de los contaminantes para que de esta manera se pueda verter en los cauces naturales, por lo general este proceso combina distintas tecnologías para obtener un máximo de remoción de los contaminantes, estas combinaciones depende mucho lo como es llevado los procesos anteriores a este (Valdivieso, 2022).

Al ser un proceso fisicoquímico este depende mucho de la precipitación, filtración, que se le pueda dar al agua en tratamiento esto con una complementación de la cloración para poder eliminar drásticamente un gran porcentaje sustancias inorgánicas como es el caso de los nitratos y fosfatos (Ramos et al. 2021).

## **2.6 Marco legal**

El agua residual tiene un inconveniente para su reutilización ya que esta contiene todo tipo de contaminantes dependiendo su procedencia esto si es que no se lleva a cabo un tratamiento que mitigue estos efectos adversos que puede generar dicha agua por lo que existen normas ambientales que regulan su descarga, imponiendo límites permisibles en los cuales están habilitadas para que sean descargadas a los cuerpos de agua dulce como ríos, lagunas, etc.

Por el cual tomando en la constitución en base a los **artículos 14, 71, 72, 73 y 72** de la constitución de la república del Ecuador las cuales son claras en el cuidado, tratamiento del ambiente y a su vez aportar un desarrollo sustentable y equilibrado para la sociedad.

El Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 en su objetivo 3:

**Garantiza el derecho a las actuales y futuras generaciones** atener un ambiente sano y equilibrado para lo cual puedan vivir de manera que se respete los recursos naturales ya sea el suelo, aire y agua ajenas de toda la biodiversidad que esta puede aportar al ambiente que se reacciona con las personas que en caso de ser contaminados estos puedan se regenerados de manera natural por procesos de los organismos que viven en el sector afectado.

Basándose en este concepto a continuación se presenta la Norma Ambiental aplicada durante el desarrollo de este trabajo: Acuerdo Ministerial N. ° 097-A. Tabla 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE de la Reforma del libro TULSMA.

**Tabla 2-4:** límite de descarga a un cuerpo de agua dulce

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/L	30,0
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0.5
Bario	Ba	mg/L	0.1
Boro total	B	mg/L	2.0
Cadmio	Cd	mg/L	2.0
Cianuro total	CN	mg/L	0.02
Cinc	Zn	mg/L	0.1
Cloro activo	Cl	mg/L	0.5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/L	0.1
Cloruros	Cl	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1.0
Cobalto	Co	mg/L	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP NMP/100 mL	Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	Unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0.2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/L	0.05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	Dbo5	mg/L	100.0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	5.0
Estaño	Sn	mg/L	5.0

Fluoruros	F	mg/L	10.0
Fosforo total	P	mg/L	10.0
Hierro total	Fe	mg/L	20.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	2.0
Manganeso total	Mn	mg/L	Ausencia
Materia flotante	Visibles	mg/L	0.005
Mercurio total	Hg	mg/L	2.0
Nitrógeno amoniacal	Ni	mg/L	30.0
Nitrógeno total	N	mg/L	50.0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0.05
Compuestos orgánicos fosforados	Organofosforados totales	mg/L	0.1
Plata	Ag	mg/L	0.1
Plomo	Pb	mg/L	0.2
Potencial de hidrogeno	pH	mg/L	5-9
Selenio	Se	mg/L	0.1
Solidos suspendidos totales	SST	mg/L	80.0
Solidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> -2	mg/L	1000
Sulfuros	S-2	mg/L	0.5
Temperatura	°C	mg/L	<35
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/L	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

Fuente:(MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)

Realizado por: Zambrano F., 2023

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Localización

La ubicación del proyecto se ubica en el barrio San Jorge, del cantón Chambo, provincia de Chimborazo, región sierra, este se coloca a 142´ 31 de la línea equinoccial y a 78 35´ 32´´ de la longitud occidental en la cual se encuentra tanto la zona de descarga del agua residual, así como el punto donde localizara el proyecto de diseño.

#### 3.2 Muestreo

Se tomó las muestras las cuales deben ser representativas basándose en las técnicas, las cuales tienen que dirigir a conocer los valores que tiene los componentes de las aguas residuales, para proponer una obtención de los datos de la forma más adecuada posible para que los datos sean referenciados por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998 Agua. Calidad del Agua. Muestreo - Técnicas de Muestreo, considerando la mejor opción el muestreo compuesto (Alex et al. 2022).

##### 3.2.1 *Tipo de muestreo*

El muestreo se realizó mediante la técnica de muestreo compuesta el cual se tomó en un tiempo de 8 horas con una frecuencia de una hora cada muestreo, por lo que se tomara cuatro muestras de manera inmediata, entre los cuales fueron también tomados en las horas críticas, esta fue recogida en frascos de plástico el cual tienen que estar correctamente etiquetados como los datos pertinentes como es la fecha y la hora de muestreo (Morales, 2023).

##### 3.2.2 *Equipos y materiales de muestreo*

- Envase de plástico de 16 L
- Envase de plástico estéril de 1000 mL
- Cámara fotográfica
- Hielera
- Guantes de látex
- Botas de caucho
- Mascarilla Mandil

### 3.3 Caracterización de aguas residuales

#### 3.3.1 Método para la caracterización de aguas residuales

##### 3.3.1.1 Límites permisibles para los parámetros

Para la caracterización del agua residual se toma la base en la norma que está actualmente vigente en el país, por lo que se toma en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que son producidas por los hogares, en otras palabras, de origen doméstico (Rivera, 2021).

**Tabla 3-1:** Parámetros y límites permisibles de las aguas residuales

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	30,0
Cloruros	Cl-	mg/L	1000
Coliformes Fecales	NMP/100	mL	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (días)	DBO	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Fósforo Total	P	mg/L	10,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/L	30,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	130
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/L	1000
Sólidos Totales	ST	mg/L	1600

Fuente:(Ministerio de Ambiente 2015)

Realizado por: Zambrano F., 2023

La caracterización de las muestras de agua residual que se tomó del afluente del sistema de alcantarillado, serán realizadas en el laboratorio de calidad de agua de la Facultad De Ciencias de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo (ESPOCH), Métodos Estandarizados APHA – 2005 (American Public Health Association), será la base de los métodos que utilizaran para el análisis de las muestras tomadas del agua residual.

### 3.3.1.2 Métodos utilizados

Para cada parámetro por analizar se toma un método de acuerdo con la necesidad de este:

**Tabla 3-2:** Parámetros utilizados para la caracterización

PARÁMETROS	MÉTODO UTILIZAR	POR
pH	4500-B	
Turbiedad	2130-B	
Nitrógeno Total	4500-N-B	
Nitrógeno Amoniacal	4500-NH3-B&C	
Fosforo Total	4500-P-E	
Sulfatos	4500-SO <sub>4</sub> -E	
DBO <sub>5</sub>	5210-B	
DQO	5220-D	
Sólidos Totales	PE-LSA-04	
Sólidos Suspendidos	2540-D	
Cloruros	3500-Cl-E	
Aceites y Grasas	EPA 418.1	
Coliformes Totales	9221-C	
Coliformes Fecales	9221-C	
Conductividad eléctrica		

Fuente: (American Water Works Association 1999)

Realizado por: Zambrano F., 2023

## 3.4 Determinación de la población

Utilizando el método geométrico se determinará la población futura este método es el más adecuado para tratar poblaciones de demografía pequeña, para esto hay que tomar los datos de los censos para poder saber la población del sector del cual y poder ver la tasa de crecimiento poblacional que tiene el sector (G Urriza. 2018).

El cálculo que se debe realizar para determinar la proyección de la población futura es con el fin de establecer un tiempo útil del sistema de tratamiento el cual se desea implementar y se realiza con la siguiente fórmula:

### Ecuación 4

$$Pf = P_a(1 + r)^n$$

Donde:

Pf: Población final

Pa: Población actual

n: Período de tiempo (año futuro – año actual)

r: Índice de crecimiento anual

### 3.5 Caudal

Al no tener un colector común sistema de alcantarillado para todo el cantón, a causa de esto se conoce varios puntos de descarga y para la determinación del caudal se utilizará el mejor método que esté acorde al caso dependiendo de la facilidad de acceso y las características que tiene ese punto de descarga (Energía, 2019) tomado como referencia a las normas de dimensionamiento.

#### 3.5.1 *Medición del caudal*

Para la medición del caudal se utilizara el **método volumétrico** el cual objetivo es de medir el tiempo que se demora en llenar un recipiente que recoja todo el flujo del cual se conozca el volumen con anterioridad, es muy utilizado para canales abierto o a su vez para tubería que tenga la posibilidad de interponer algún recipiente, al poner el recipiente se comienza con la tomada del tiempo que se toma en llenar el recipiente, para la realización de estos métodos hay que tomar en cuenta el clima en el que se pretende tomar los datos, por lo que se considera un día con tiempo seco para que el agua de lluvia no influya con los datos, (Gualpa et al. 2022b). Los datos que se obtienen son requeridos para el cálculo del caudal mediante la siguiente ecuación.

#### **Ecuación 5**

$$Q = V/t$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$t$  = Tiempo de recolección de agua (s)

$V$  = Volumen del agua ( $m^3$ )

Este método está considerado sencillo y a su vez es confiable siempre que se realice de una correcta forma, ya que al tener errores esto puede influir de manera grave a los cálculos del diseño y todo el proyecto.

### 3.5.2 *Materiales para la medición del caudal*

Para la medición del caudal se requerirá los siguientes materiales:

- Cronómetro
- Balde de 10 L
- Libreta de apuntes

### 3.5.3 *Cálculo del canal*

El caudal de diseño que se utilizara para el diseño de una planta de tratamiento tiene una relación con la población a la cual se va a favorecer con la planta de tratamiento y la aportación que hace cada uno de los individuos a la red de alcantarillado. Por lo que, para calcular los caudales de diseño, es necesario conocer la población actual del sector y el crecimiento poblacional de la misma para que el diseño sea válido para un periodo de 15 años además de otros datos que se obtienen mediante el cálculo a partir de datos experimentales (Valdivieso, 2019). El caudal de diseño máximo se calcula mediante la siguiente expresión:

#### 3.5.3.1 *Caudal medio diario*

El aforo que puede tener un sistema de tratamiento el transcurrir 24 horas se conoce como el caudal medio diario tomándose como fundamental para el cálculo de las caudales máximos además del mínimo del caudal (Valdivieso, 2019).

**Tabla 3-3:** Coeficiente de retorno

<b>Coeficiente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Retorno	%	75-85

Fuente:(Roman A 2017)

Realizado por: Zambrano F., 2023

$$Q_{med} = \frac{P_f * D * C}{86400}$$

Dónde:

$Q_{med}$ = Caudal medio de agua residual L/s

$P_f$ = Población futura (Hab)

$D$ = Dotación expresa la cantidad de agua que es destinada para cada habitante al día (L/Hab\*día)

$C$ = Coeficiente de retorno expresa la cantidad de agua que retorna a la red de alcantarillado después de haber sido ocupada (%) Tabla 2-1.

### 3.5.3.2 Factor de mayorización

La variación del consumo de agua de la población establece con el factor de mayorización por lo que se conoce que son inversamente proporcional a la población. (David et al. 2021) Este factor se establece para poblaciones entre 1000 a 100000 habitantes, dependiendo de la población la cual vamos a obtener el factor, utilizando la siguiente ecuación:

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P_f}{1000}}} =$$

Dónde:

$P_f$ = población futura (Hab)

### 3.5.3.3 Caudal de infiltración

Es el agua que ingresa al sistema de alcantarillado esto debido a las uniones defectuosas entre otros factores. En el cálculo se debe tener en qué tipo de infiltración tiene ese sistema de alcantarillado (Guevara, 2018).

**Tabla 3-4:** Aportes de la recolección y evacuación para diseño para los canales

Infiltración alta (Ls/. Ha)	Infiltración media (Ls/. Ha)	Infiltración baja (Ls/. Ha)
0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2

Fuente:(Benito y Eder 2020)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Ecuación 8

$$Qinf = I * Ha$$

Donde:

$Qinf$  = Caudal de infiltración (L/s)

$I$  = Infiltración (L/s\*ha) Tabla 3

$Ha$  = Tamaño del área de estudio (ha)

#### 3.5.3.4 Caudal de conexiones erradas

Son los aportes de las lluvias que provienen de conexiones de tejados patios, entre otros.(Pablo y Cataño 2021) Este caudal se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 9

$$QCE = 0,1(Qmed * F + Qinf)$$

Donde:

$QCE$  = Caudal de conexiones erradas (L/s)

$Qmed$ = Caudal medio de agua residual (L/s)

$F$  = Factor de mayorización (L/s)

$Qinf$ = Caudal de infiltración (L/s)

#### 3.5.3.5 Caudal máximo de diseño

Para una planta de tratamiento el caudal está en relación con la población y la cantidad de agua residual que desechan en el alcantarillado. Por lo que, para calcular los caudales de diseño, es necesario conocer la población actual del sector y el crecimiento poblacional de la misma para

que el diseño sea válido se necesita un periodo establecido de 20 años además de otros datos que se obtienen mediante el cálculo a partir de datos experimentales (Valdivieso, 2019).

El caudal de diseño máximo se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10

$$QDM = Qmed * F + Qinf + QCE$$

Dónde:

***QDM*** = Caudal de diseño máximo (L/s)

***Qmed*** = Caudal medio de agua residual (L/s)

***F*** = Factor de mayorización (L/s)

***Qinf*** = Caudal de infiltración (L/s)

***QCE*** = Caudal de conexiones erradas (L/s)

El caudal de diseño medio se obtiene por la ecuación:

Ecuación 11

$$QD = Qmed + Qinf + QCE$$

Dónde:

***QD*** = Caudal de diseño medio (L/s)

***Qmed*** = Caudal medio de agua residual (L/s)

***Qinf*** = Caudal de infiltración (L/s)

***QCE*** = Caudal de conexiones erradas (L/s)

### 3.6 Métodos de cálculo de diseño

#### 3.6.1 Canal

##### Ecuaciones de diseño de canales

Es importante el diseño de canales de ingreso de aguas residuales a su proceso de tratamiento. Generalmente se emplean canales de sección rectangular, además que para su diseño se precisa de los siguientes criterios:

**Tabla 3-5:** Criterio de diseño para canales

Parámetro	Valor o rango
Velocidad de flujo en el canal	0.6-1 m/s
Altura de seguridad	0.4-0.5 m
Base del canal	0.3-0.8 m
Pendiente del canal	0.0005-0.03 m/m

Fuente: (ETAPA, 2023)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Para el diseño del canal se tomó en para este canal de 0.3 m para el mejor aprovechamiento del demás dimensionamiento de todo el sistema además de una altura de seguridad de 0.45 m, además de la pendiente que medido por cotas tiene un valor de 1.02%.

##### 3.6.1.1 Área l del canal

Ecuación 12

$$Q = V * A$$

$$A = Q/V$$

Donde:

V = velocidad

A= área del canal

### 3.6.1.2 *Altura del canal*

Ecuación 13

$$A = b * h$$

$$h = A/b$$

Donde:

h= altura del canal

B= base del canal

A= área del canal

### 3.6.1.3 *Altura total del canal*

Para el dimensionamiento se tomó en una altura de seguridad del canal de 0.45 m

Ecuación 14

$$H = h + h_s$$

Donde:

H= altura total

h= altura

h<sub>s</sub>= altura de seguridad

### 3.6.2 *Rejillas (cribado)*

Rejillas de limpieza manual Es muy común este tipo de rejillas utilizarlas cuando se tienen pequeñas poblaciones ya que no requieren de estructuras mecánicas costosas y la remoción de los sólidos se realiza fácilmente manualmente al no tratarse de grandes cantidades. Los sólidos removidos por las rejillas se acumulan en bandejas para su deshidratación, (Molina Conzué Rolando Rivera Ponce Docente Guía y Navarro, 2022). Para su diseño se debe tener en que:

- Las rejas de limpieza manual se colocan a una inclinación entre 30 y 60° respecto a la horizontal.
- Las separaciones grandes entre rejillas son de 5 a 10 cm. y las pequeñas de 1 a 4 cm.
- Las rejillas deben limpiarse cuando el nivel del agua llega al máximo en el canal de llegada.

**Tabla 3-6:** Características de rejillas de barras

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras (e)	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 – 5,0 cm	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamiento (w)	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm 15 cm	15 cm

Fuente: (Sáenz 2018)

Realizado por: Zambrano F., 2023

### 3.6.2.1 Radio hidráulico

Ecuación 15

$$R = \frac{A}{b + 2h}$$

Donde:

R= radio hidráulico

A= área del canal

b= base del canal

h= altura del canal

### 3.6.2.2 Velocidad de aproximación

La velocidad de aproximación es importante para determinar si el agua residual está fluyendo de manera correcta en el canal para que no sedimente en punto donde no es necesario la velocidad se obtiene por el cálculo de la por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

S= pendiente

n= coeficiente de Manning

R= radio hidráulico

V= Velocidad de aproximación

### 3.6.2.3 *Numero de barras*

Para el diseño de rejillas se calculará: Para el cálculo del número de barras que se van a colocar en el canal se considera el ancho del canal y el espesor de las barras y se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{b}{e + W} - 1$$

Donde:

n = Número de barras

W = Separación entre barras (m) Tabla 5

e = Espesor de las barras (m) Tabla 5

b = Base del canal (m) Tabla 43

### 3.6.2.4 *Longitud de las barras*

Es posible calcular la longitud de las barras conociendo la altura del canal aplicando la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{H}{\text{sen } \emptyset}$$

Donde:

$Lb$  = Longitud de la barra (m)

$H$  = Altura del canal (m)

$\emptyset$  = Inclinación de las barras (°)

### 3.6.2.5 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga están relacionadas con la velocidad de aproximación y la velocidad de flujo que pasa a través de las rejillas, se pueden calcular empleando la siguiente ecuación en base a la forma de la barra:

$$Hf = \beta * \left(\frac{e}{W}\right)^4 * \frac{v^2}{2g} * \text{sen}\emptyset$$

Donde:

$H_f$  = Perdida de carga (m)

$\beta$  = Factor dependiente de la forma de las barras

$e$  = Espesor máximo de las barras (m) Tabla 5

$W$  = Separación entre barras (m) Tabla 5

$v$  = Velocidad del fluido (m/s)

$g$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

### 3.6.3 Canal parshall

Para iniciar el diseño de un medidor Parshall tomamos los datos de caula el cual se va a diseñar de esta manera se escoja la mejor fórmula de la **Ilustración 3-2** la cual determina los valores de diseños establecidos en la **Ilustración 4-2** donde la fórmula que se toma en es:

$$Q = K * (Ha)^n$$

Donde:

Q= caudal

K= coeficiente a partir del de las dimensiones de la canaleta Parshall

Ha=altura del resalto

n= coeficiente a partir del de las dimensiones de la canaleta Parshall

De esta manera se puede dimensionar la canaleta que se adapte de mejor manera para el caudal teniendo la **Ilustración 5-2** la que determina la ubicación de los diferentes valores establecidos previamente por la **Ilustración 4-2**.

### 3.6.3.1 Ancho se sección

La sección de ingreso del agua en el cuan comienza la convergencia de esta y esta se calcula con la siguiente ecuación.

$$D' = \frac{2}{3}(D - W) + W$$

Donde:

D'= ancho de sección

W= ancho de garganta

### 3.6.3.2 Velocidad de aproximación

La llegar el agua residual al punto de convergencia del canal Parshall hay que ver la velocidad con la que llega al canal esto mediante le siguiente ecuación:

$$V_1 = \frac{Q}{Ha * D'}$$

Donde:

V1= velocidad de aproximación

Q= caudal

Ha= altura de resalto

D'=ancho de sección

### 3.6.3.3 Carga hidráulica disponible

$$E_1 = \frac{V_0^2}{2g} + Ha + N$$

Donde:

E1=carga hidráulica disponible

V1= velocidad en la sección inicial

g= gravedad

Ha= altura

N= constante tomada de la tabla

### 3.6.3.4 Altura en la zona de garganta

$$E_2 = \frac{Q^2}{2w^2 h_2^2 g} + h_2$$

Donde:

E2 = carga hidráulica disponible 2

Q= caudal

W= ancho de garganta

h<sub>2</sub> =altura antes del resalto

### 3.6.3.5 *Velocidad de zona de garganta*

Ecuación 25

$$V_2 = \frac{Q}{Wh_2}$$

Donde:

V<sub>2</sub>= velocidad de garganta

W=ancho de garganta

H<sub>2</sub>= altura antes del resalto

### 3.6.3.6 *Sumergencia*

Ecuación 26

$$S = \frac{h_2}{h_a}$$

Donde:

S= sumergencia

H<sub>2</sub>= altura antes del resalto

H<sub>a</sub>= altura del resalto

### 3.6.3.7 *Número de froude*

Ecuación 27

$$F = \frac{V_2}{\sqrt{gh_2}}$$

Donde:

F= número de Froude

V1= velocidad en la sección inicial

g= gravedad

h1= altura de resalto inicial

### 3.6.3.8 *Altura de resalto en el punto 3*

Ecuación 28

$$h_3 = \frac{h_2}{2} (\sqrt{1 + 8(F)^2} - 1)$$

Donde:

H3=altura de resalto en el punto 3

H2=altura de resalto inicial

F= número de Froude

### 3.6.3.9 *Velocidad de resalto en el punto 3*

Ecuación 29

$$V_3 = \frac{Q}{Wh_3}$$

Donde:

V3= velocidad de resalto

### 3.6.3.10 *Altura de salida*

Ecuación 30

$$h_4 = h_3 - (N - K)$$

Donde:

$h_3$ = altura de tirante en la sección 3

$h_4$ = altura de tirante en la sección final

$N$ = constante tomada de la tabla 3-2

$K$ = constante tomada de la tabla 3-2

#### 3.6.3.11 *Velocidad saliente*

Ecuación 31

$$V_4 = \frac{Q}{Wh_4}$$

Donde:

$V_4$ = velocidad saliente

$W$ = ancho de la garganta

$H_4$ = altura de resalto en la sección final

#### 3.6.3.12 *Pérdida de carga*

Ecuación 32

$$P_c = H_o + K - h_4$$

Donde:

$P_c$ = Pérdida de carga

$H_o$ = altura

$K$ = constante tomando de la tabla 3-2

$H_4$ = altura de resalto en la sección final

### 3.6.4 Desarenador

#### Ecuaciones de diseño

Se debe tener en la relación que existe entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación de estas para esto se aplica las siguientes ecuaciones de acuerdo con el régimen de flujo de esta manera se puede ver la velocidad de sedimentación que tiene la partícula tomando datos de estas tablas y utilizándolas en la siguiente ecuación propuesta por Allen:

**Ecuación 33**

$$V = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} * g \right)^{2/3} * \left[ \frac{\phi}{\left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{1/3}} \right]$$

Donde:

$v_s$  = Velocidad de sedimentación (cm/s)

$\phi$  = Diámetro de la partícula (cm) Tabla 6

$\rho_a$  = Densidad de la arena (g/cm<sup>3</sup>) Tabla 7

$\rho$  = Densidad del agua (g/cm<sup>3</sup>) Tabla 8

$g$  = Gravedad (cm/s<sup>2</sup>) Tabla 7

$\mu$  = Viscosidad cinemática del agua (cm<sup>2</sup>/s)

#### 3.6.4.1 Numero de Reynolds

El número de Reynolds es utilizado para determinar el tipo de flujo de un fluido utilizando la viscosidad cinemática y diámetro de la partícula y otros valores obtenidos anteriormente y se calcula con la siguiente expresión:

**Ecuación 34**

$$Re = \frac{v_s \phi}{\mu}$$

Donde:

$Re$  = Número de Reynolds

$\mu$  = Viscosidad cinemática del agua (cm<sup>2</sup> /s)

$\emptyset$  = Diámetro de la partícula (cm)

$v_s$  = Velocidad de sedimentación (cm/s)

#### 3.6.4.2 Coeficiente de arrastre

El coeficiente de arrastre se calcula con la relación del número de Reynolds para encontrar con la siguiente ecuación:

Ecuación 35

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

Donde:

$CD$  = Coeficiente de arrastre representa el arrastre de las partículas en función de régimen de flujo de estas

$Re$  = Número de Reynolds

#### 3.6.4.3 Velocidad de sedimentación en la zona de transición

En base al número de Reynolds y al coeficiente de arrastre la velocidad de sedimentación crítica en las zonas de transición de las partículas para nuestro diseño está definida por la siguiente ecuación:

Ecuación 36

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} + (\rho_a - 1) * \emptyset}$$

Donde:

$v_s$  = Velocidad de sedimentación (cm/s)

$\emptyset$  = Diámetro de la partícula (cm) Tabla 6

$\rho_a$  = Densidad de la arena (g/cm<sup>3</sup>) Tabla 7

$CD$  = Coeficiente de arrastre

#### 3.6.4.4 Volumen del desarenador

El diseño de un desarenador se debe realizar en base al caudal máximo y la geometría de este está definida por la siguiente tabla además que la eficiencia de un desarenador está en función de su longitud es decir que mientras mayor sea su longitud mejor será la sedimentación del desarenador:

**Tabla 3-7:** Criterios de diseño para desarenador rectangular

Parámetro	Unidad	Dimensiones
Tiempo de retención	Min	2-5
Profundidad del desarenador	m	1.5-4
Relación Largo – Ancho	Razón	2.5:1 – 5:1
Relación Ancho – Profundidad	Razón	1:1 – 5:1
Angulo de divergencia	°	12.3
Pendiente del fondo	%	5-10
Ancho de vertedero de descarga	m	< al ancho del desarenador

Fuente:(Paola Sanchez Gutierrez et al. 2018)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Para el diseño del desarenador se toma en la **Tabla 2-8** y así poner ocupar la siguiente ecuación:

Ecuación 37

$$V_D = Q * T_R$$

Donde:

$V_D$ = volumen del desarenador

$Q$ = caudal

$T_R$ = tiempo de retención hidráulica

#### 3.6.4.5 Área superficial del desarenador

El área superficial del desarenador se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$As_D = \frac{V_D}{H_D}$$

Donde:

$As_D$  = Área superficial del desarenador ( $m^2$ )

$V_D$  = Volumen del desarenador ( $m^3$ )

$H_D$  = Profundidad del desarenador (m) Tabla

#### 3.6.4.6 Dimensiones del desarenador

Para las dimensiones del desarenador se tomó una relación largo ancho 5:1 además de la relación que tiene el área para poder calcular con la siguiente ecuación:

$$\frac{Bd}{Ld} = \frac{1}{5}$$

$$5Bd = Ld$$

$$AsD = Ld * Bd$$

$$AsD = 5Bd^2$$

$$Bd = \sqrt{\frac{AsD}{5}}$$

Donde:

Bd= ancho del desarenador

Ld= largo del desarenador

AsD= área superficial del desarenador

#### 3.6.4.7 El área transversal del desarenador

El área transversal del desarenador se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 40

$$A_{TD} = B_D * H_D$$

Donde:

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

$H_D$  = Profundidad del desarenador (m)

$B_D$  = Ancho del desarenador (m)

#### 3.6.4.8 *Altura de lodos*

Ecuación 41

$$Hl = S * LD$$

Donde:

Hl= altura de lodos

S= pendiente

LD= largo del desarenador

La velocidad horizontal de desplazamiento del agua se determina mediante la siguiente expresión:

Ecuación 42

$$v_h = \frac{Q_{DM}}{A_{TD}}$$

Donde:

$v_h$  = Velocidad horizontal de desplazamiento del agua (m/s)

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

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

Si al concluir se obtiene que  $v_a > v_h$  se puede decir que el desarenador fue diseñado correctamente.

### 3.6.4.9 *La longitud de transición del ingreso del desarenador*

La longitud de transición del ingreso del desarenador se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 43

$$L_g = \frac{B_D - b}{2tg\theta}$$

Donde:

$b$  = Ancho del canal (m)

$L_g$  = Longitud de transición (m)

$B_D$  = Ancho del desarenador (m)

$\theta$  = Angulo de divergencia que expresa el ángulo de abertura del canal (°)

## 3.7 **Diseño de lagunas de oxidación**

Para el diseño de las lagunas de oxidación se toma en las concentraciones a demanda bioquímica de oxígeno presente en el agua residual por lo que se toma en las fórmulas descritas por el IMTA, tomando en el modelo racional para el dimensionamiento por el método de (**Marais Y Flujo Disperso**), que distribuyen los correctos cálculos para el diseño de las lagunas de estabilización (anaerobias, facultativas y maduración) (Cortés Martínez et al. 2017).

### 3.7.1 *Laguna anaerobia*

La laguna aerobia es un tratamiento que se basa en la ausencia de oxígeno para el metabolismo de organismos anaerobios por eso las dimensiones de profundidad que son importantes para este tipo de lagunas, utilizando las fórmulas de diseño del IMTA (Cortés Martínez et al. 2017).

#### 3.7.1.1 *Carga orgánica*

La cantidad de carga orgánica que contiene agua residual que llega al punto de descarga por lo que se determina con la siguiente formula:

$$Co = \frac{Q * DBO}{1000}$$

**Donde:**

Co= carga orgánica

Q=Caudal medio

DBO= demanda bioquímica de oxígeno

1000= factor de conversión

### 3.7.1.2 Carga volumétrica de diseño

Se establecerá con los parámetros establecidos por el IMTA, tomando valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura más baja del año

### 3.7.1.3 Remoción de DBO5

Al tener que trabajar con una temperatura el porcentaje de remoción se ve afectada por esta, es por esto por lo que se refiere a la tabla de los parámetros que establece el porcentaje de remoción de DBO en función de la temperatura.

### 3.7.1.4 Volumen de laguna

$$Va = \frac{LiQi}{\lambda v}$$

Donde:

Va = volumen es (m<sup>3</sup>)

$\lambda v$ = carga orgánica volumétrica

Qi= caudal

### 3.7.1.5 Área de laguna

Para el diseño se toma como referencia los parámetros de dimensionamiento de lagunas anaerobias con una profundidad recomendada de 3 m a 5 m determinado por el **IMTA**

Ecuación 46

$$Aa = \frac{Va}{Z}$$

**Donde:**

Aa = área de la laguna en (m<sup>2</sup>)

Va= volumen es (m<sup>3</sup>)

Z=profundidad

### 3.7.1.6 Dimensionamiento de la laguna

Se considera una relación largo-ancho  $x = 2$ .

Ecuación 47

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{Aa}{x}}$$

**Donde:**

Aa= área de la laguna en m<sup>2</sup>

B<sub>prom</sub>= ancho promedio de la laguna en m

X= relación larga ancho=2

Para la longitud promedio se tiene:

Ecuación 48

$$L_{prom} = \frac{A_{prom}}{B_{prom}}$$

**Donde:**

$L_{prom}$  = largo promedio de la laguna

$A_{prom}$  = área de la laguna

$B_{prom}$  = ancho promedio de la laguna

Para obtener el ancho superior de la laguna anaerobia se ejecuta mediante:

Ecuación 49

$$B_{sup} = B_{prom} + Z_{talud}$$

**Donde:**

$B_{sup}$  = ancho superior de la laguna

$B_{prom}$  = ancho de la laguna

Z = profundidad

3.7.1.7 *Cálculo de la longitud superior de la laguna*

Ecuación 50

$$L_{sup} = L_{prom} + Z_{talud}$$

**Donde:**

$L_{sup}$  = largo superior de la laguna

$L_{prom}$  = largo de la laguna

Z = profundidad

3.7.1.8 *Cálculo del área superficial*

Ecuación 51

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup}$$

**Donde:**

$A_{sup}$  = área superficial

$B_{sup}$  = ancho superior de la laguna

$L_{sup}$  = largo superior de la laguna

*3.7.1.9 Tiempo de retención hidráulico*

El tiempo de retención hidráulica para el diseño de lagunas anaerobias se establece y por los parámetros determinados por el IMTA.

*3.7.1.10 Concentración de DBO<sub>5</sub> en la laguna*

Ecuación 52

$$DBO_e = (100 - \%DBO_{removido})DBO_i$$

**Donde:**

$DBO_e$  = concentración de DBO en la salida

$\%DBO_{removido}$  = porcentaje de DBO<sub>5</sub> removido

$DBO_i$  = concentración de DBO<sub>5</sub> en la entrada

*3.7.1.11 Gasto en el efluente corregido por evaporación*

Ecuación 53

$$Q_e = Q_i - 0.001Aa ev$$

**Donde:**

$Q_e$  = caudal en el afluente de la laguna

$Q$  = caudal del efluente

$A_{sup}$  = Área superior de la laguna

$E_v$  = evaporación en mm/día

3.7.1.12 *Remoción de coliformes fecales por el factor de decaimiento*

Ecuación 54

$$Kt(d^{-1}) = 2.6(1.19)^{T-20}$$

**Donde:**

Kt=Constante de decaimiento global en (d-1)

T=temperatura

3.7.1.13 *Coliformes fecales en el efluente de la laguna*

Ecuación 55

$$N_e = \frac{N_i}{1 + Kt Trh} =$$

**Donde:**

Ne=Coliformes fecales en la salida del estanque en (NMP/100 mL).

Ni=Coliformes fecales en la entrada del estanque en (NMP/100 mL).

Trh tiempo de retención hidráulica

Kt=Constante global de decaimiento en (d-1)

3.7.1.14 *Cálculo de la materia orgánica incluyendo la Evaporación*

Ecuación 56

$$DBO_{corr} = \frac{DBO_e Q_i}{Q_e}$$

**Donde:**

DBO<sub>corr</sub>= demanda bioquímica corregida por evaporación

DBO<sub>e</sub> = concentración de DBO en la salida

Q=caudal a la entrada de la laguna

Q<sub>e</sub>=caudal a la salida de la laguna

### 3.7.1.15 Coliformes fecales corregidos por evaporación

Ecuación 57

$$N_{ecorr} = \frac{N_e Q_i}{Q_e}$$

**Donde:**

$N_{ecorr}$ = Coliformes fecales corregidos por evaporación

$N_e$ = coliformes fecales en la salida de la laguna

$Q_i$ =caudal a la entrada de la laguna

$Q_e$ =caudal a la salida de la laguna

### 3.7.2 Laguna facultativa

El cálculo de la laguna facultativa es en base a los parámetros y formulas propuestas por el manual de dimensionamiento de lagunas de estabilización establecido por el IMTA- México (Cortés Martínez et al. 2017).

#### 3.7.2.1 Carga orgánica

Ecuación 58

$$C_o = \frac{Q * DBO}{1000}$$

**Donde:**

$C_o$ = carga orgánica

$Q$ =Caudal medio

$DBO$ = demanda bioquímica de oxígeno

1000= factor de conversión

### 3.7.2.2 Carga superficial de diseño

Ecuación 59

$$\lambda S = 200 (1.05)^{T - 20}$$

**Donde:**

$\lambda S$  = carga orgánica superficial

T = temperatura en el mes más frío

### 3.7.2.3 Área de la laguna facultativa

Ecuación 60

$$A_f = \frac{10(DBO)Q_{med}}{\lambda S}$$

**Donde:**

$A_f$  = área laguna facultativa

$DBO_5$  = demanda bioquímica de oxígeno corregida

$Q_{med}$  = caudal medio

$\lambda S$  = carga orgánica superficial

### 3.7.2.4 Volumen de la laguna

Ecuación 61

$$V = A_f Z$$

**Donde:**

V = volumen de laguna facultativa

$A_f$  = área laguna facultativa

Z = profundidad

### 3.7.2.5 Dimensionamiento

ANCHO

Ecuación 62

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_f}{x}}$$

**Donde:**

B<sub>prom</sub>= ancho de la laguna

A<sub>f</sub>= área de la laguna facultativa

X= relación larga/ancho =3 m

LARGO

Ecuación 63

$$L_{prom} = \frac{A_f}{B_{prom}}$$

**Donde:**

L<sub>prom</sub>= largo de la laguna

A<sub>f</sub>= área de la laguna facultativa

B<sub>prom</sub>= ancho de la laguna

Considerando un talud 2:1 por parámetros de diseño

**Ancho superior**

Ecuación 64

$$B_{sup} = B_{prom} + Z \text{ talud}$$

**Donde:**

Bsup= ancho superior de la laguna

Bprom= ancho de la laguna

Z=profundidad

**Largo superior**

Ecuación 65

$$Lsup = Lprom + Z talud$$

**Donde:**

Lsup= largo superior de la laguna

Lprom =largo de la laguna

Z=profundidad

3.7.2.6 *Cálculo del área superficial*

Ecuación 66

$$Asup = Bsup Lsup$$

**Donde:**

Asup= área superior de la laguna

Bsup= ancho superior de la laguna

Lsup= largo superior de la laguna

Ecuación 67

$$Binf = Bprom - Z talud$$

**Donde:**

B<sub>inf</sub>= ancho inferior de la laguna

Bprom= ancho de la laguna

Z=profundidad

$$L_{inf} = L_{prom} - Z \text{ talud}$$

**Donde:**

$L_{inf}$ = largo inferior de la laguna

$L_{prom}$ = largo de la laguna

$Z$ =profundidad

3.7.2.7 *Tiempo de retención hidráulico*

$$Trh = \frac{V}{Q_{med}}$$

**Donde:**

$Trh$ = tiempo de retención hidráulico

$V$ = volumen

$Q_{med}$ = caudal medio

3.7.2.8 *Gasto en el efluente*

$$Q_e = Q_i - 0.001 A_{sup} ev$$

**Donde:**

$Q_e$ = caudal en el afluente de la laguna

$Q$ =caudal del efluente

$A_{sup}$  =Área superior de la laguna

$Ev$ = evaporación en mm/día

### 3.7.2.9 Remoción de coliformes fecales.

Ecuación 71

$$x = \frac{L_{prom}}{B_{prom}}$$

**Donde:**

x= relación largo ancho

L<sub>prom</sub>= largo de la laguna

B<sub>prom</sub>= ancho de la laguna

### 3.7.2.10 Coeficiente de dispersión

Ecuación 72

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 x + 1.0136 x^2}$$

**Donde:**

d= factor de dispersión adimensional

x= largo ancho

### 3.7.2.11 Coeficiente de reducción bacteriana

Ecuación 73

$$K_b = 0.841 (1.075)^{T - 20}$$

**Donde:**

K<sub>b</sub>=coeficiente de decaimiento bacteriano

T =temperatura

### 3.7.2.12 Constante "a"

Ecuación 74

$$a = \sqrt{1 + 4 Kb * Trh * d}$$

#### **Donde:**

a= constante sin dimensiones

Trh= tiempo de retención hidráulica

Kb= coeficiente de decaimiento bacteriano

d= factor de dispersión adimensional

### 3.7.2.13 Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa

Ecuación 75

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 a e^{(1 - a^2 d)}}{(1 + a)^2}$$

#### **Donde:**

Nf/No=Coeficiente de coliformes fecales remanentes en el efluente

a= constante sin dimensiones

e= 2.71828

d= factor de dispersión adimensional

### 3.7.2.14 Coliformes fecales corregidos por evaporación

Ecuación 76

$$Necorr = \frac{Ne Qi}{Qe}$$

#### **Donde:**

Necorr= Coliformes fecales corregidos por evaporación

Ne= coliformes fecales en la salida de la laguna

Q=caudal a la entrada de la laguna

Qe=caudal a la salida de la laguna

### 3.7.2.15 Concentración de la DBO<sub>5</sub> en la laguna

Ecuación 77

$$Kf = \frac{1.2}{(1.085)^{35-T}}$$

**Donde:**

Kf= constante de decaimiento a una temperatura

T temperatura

### 3.7.2.16 Concentración de la materia orgánica

Ecuación 78

$$DBO_e = \frac{DBO_i}{Kf \theta_f + 1}$$

**Donde:**

DBO<sub>e</sub> = concentración de DBO en la salida

DBO<sub>i</sub>= concentración de DBO en la entrada

Kf= constante de decaimiento a una temperatura

Trh= tiempo de retención hidráulico

### 3.7.2.17 Eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>

Ecuación 79

$$\% = \frac{DBO_i - DBO_e}{DBO_i} * 100$$

**Donde:**

% = Eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>

DBO<sub>e</sub> = concentración de DBO<sub>5</sub> en la salida  
DBO<sub>i</sub> = concentración de DBO<sub>5</sub> en la entrada

### 3.7.2.18 DBO corregida por evaporación

Ecuación 80

$$DBO_{corr} = \frac{DBO_e Q_i}{Q_e}$$

**Donde:**

DBO<sub>corr</sub> = demanda bioquímica de oxígeno corregida por evaporación

DBO<sub>e</sub> = concentración de DBO en la salida

Q = caudal a la entrada de la laguna

Q<sub>e</sub> = caudal a la salida de la laguna

### 3.7.3 Laguna de maduración

#### 3.7.3.1 Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención se tomó en el parámetro establecido por el IMTA tomando a 10 días como el tiempo establecido para este diseño.

#### 3.7.3.2 Volumen

Ecuación 81

$$V = Q_i Trh$$

**Donde:**

V = volumen en (m<sup>3</sup>)

Trh = tiempo de retención hidráulico

Q = caudal

### 3.7.3.3 Área de laguna

Ecuación 82

$$Am = \frac{V}{Z}$$

**Donde:**

Am= área de laguna de maduración en m<sup>2</sup>

V= volumen en (m<sup>3</sup>)

Z = profundidad

Para todos los valores de dimensionamiento toma en las mismas ecuaciones de la laguna facultativa desde el literal de **dimensionamiento** hasta el **DBO corregida por la evaporación** se utilizan las mismas ecuaciones.

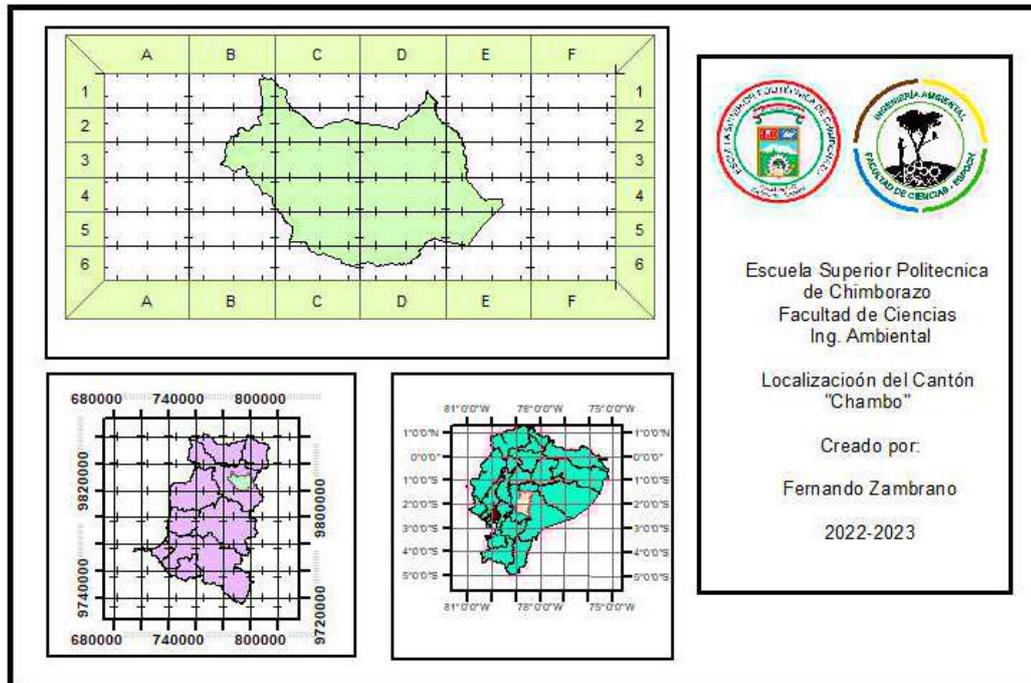
### 3.8 Elaboración de planos

A partir de los datos obtenidos de los cálculos previamente calculados se procede a utilizar el software AutoCAD, tomando en diferentes aspectos que son fundamentales para el diseño como la topografía del terreno, la inclinación que esta tiene, así como la escala, la planimetría, vista planta y cortes de cada unidad que compone las lagunas de oxidación del diseño especificadas en las normas del EX-IEOS.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Localización



**Ilustración 4-1:** Localización del cantón "chambo"

Realizado por: Zambrano F., 2023

El cantón Chambo se encuentra a una altura aproximada que va desde los **2.400 a 4.730 m.s.n.m.** en la provincia de Chimborazo se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM: 768875,60 X ;9808319,20 Y, se logró ubicar el punto de descarga además del lugar donde se desarrollará el proyecto de diseño, siendo a las orillas del río Chambo en el barrio San Jorge.

## 4.2 Muestreo

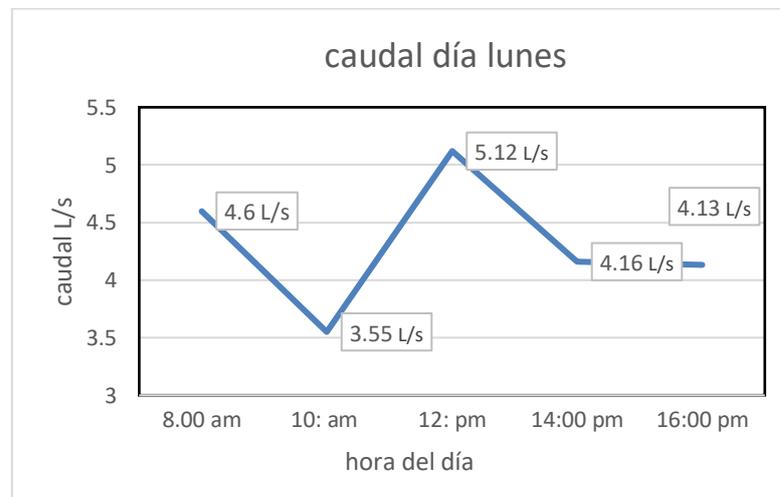
- Caudal

**Tabla 4-1:** Mediciones Caudal

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	PROMEDIO
<b>8:00 am</b>	4,6	4,33	4,44	4,9	4,12	4.02 L/s
<b>10: 00 am</b>	3,55	3,56	3,66	3,25	3,78	
<b>12:00 pm</b>	5,12	4,10	5,31	4,61	4,05	
<b>14:00 pm</b>	4,16	3,99	3,13	3,13	3,53	
<b>16:00 pm</b>	4,13	3,47	3,88	3,67	4,07	
<b>PROMEDIO</b>	4,312	3,89	4,084	3,912	3,91	

Realizado por: Zambrano F., 2023

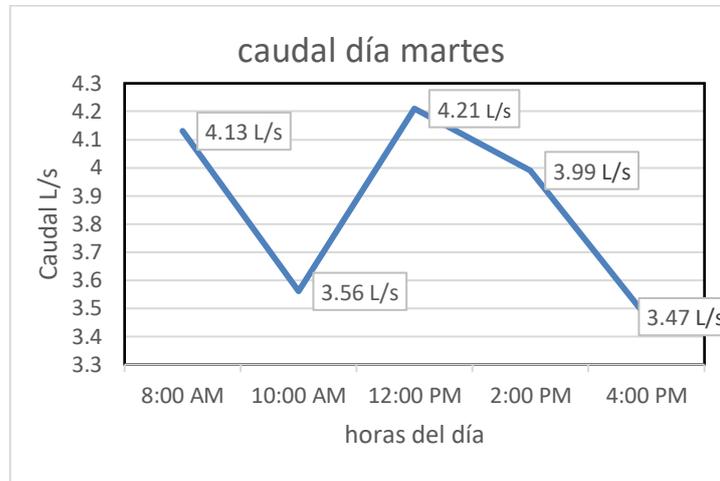
Los caudales obtenidos de forma experimental nos muestra que los mayores caudales que se puesta al medo día esto puede deberse a que el sector tomado en es un zona residencial y no hay empresas por lo que hay tres periodos de tiempo en los cuales hay un aumento del caudal esto cuando la población está en sus hogares a las horas de la mañana, medio día y tarde, ya que su presencia a otras horas es relevante y el caudal no es muy elevado a diferencia de esas horas ya que la población no se encuentra en sus hogares por motivos de trabajo, estudio, entre otras actividades que pueden realizar esa población, a diferencia de los caudales obtenidos otro estudio (Rodríguez Calapiña, 2015) los cuales tuvieron un caudal de 8.43 L/s esto debido a que la red de alcantarillado que descarga en ese punto tiene un mayor número de población comprendida por más barrios haciendo que su caudal sea mayor.



**Ilustración 4-2:** Caudal del día lunes

Realizado por: Zambrano F., 2023

EL caudal del día lunes se nota que el caudal es más prominente es de 5.12 L/s esto al medio día, y al contrario es de 3.55 L/s es el dato más bajo en el día, se debe a la ausencia de las familias en los hogares ya sea por los trabajos o estudios de la población del sector.



**Ilustración 4-3:** Caudal del día martes

Realizado por: Zambrano F., 2023

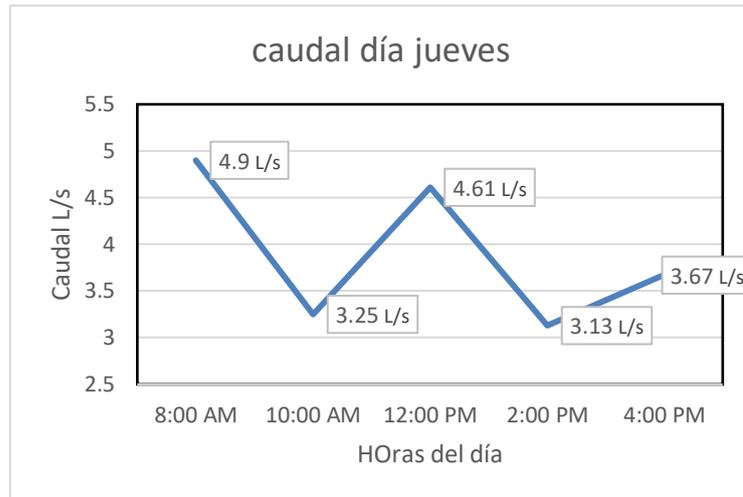
De la misma manera que el día anterior se puede denotar como el caudal llegar a un punto máximo al medio día mientras que a las 10 de la mañana esta tiende a ver su caudal más bajo.



**Ilustración 4-4:** Caudal día miércoles

Realizado por: Zambrano F., 2023

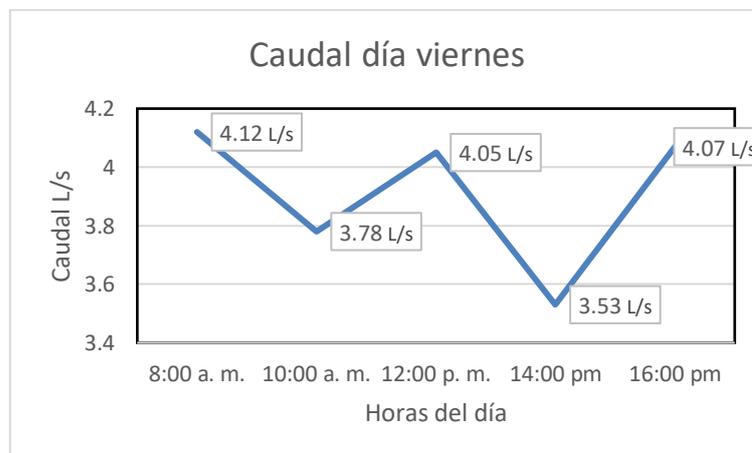
La medición tomada el día miércoles tuvo cambios notando un caudal bajo de 3.13 L/s los cuales se obtuvieron a las dos de la tarde, mientras que como los días anteriores el mayor caudal se generó en el medio día.



**Ilustración 4-5:** Caudal día jueves

Realizado por: Zambrano F., 2023

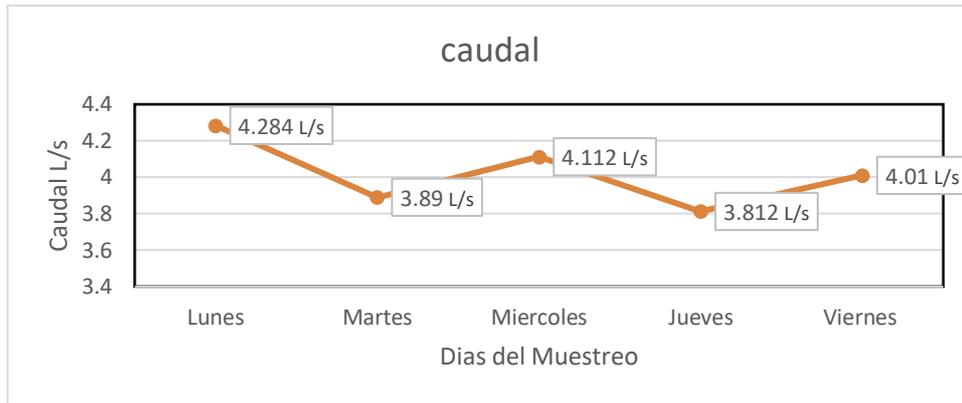
El día jueves se inició con la medición más alta de 4.9 L/s esto en el inicio del día mientras que el valor más bajo es de 3.13 L/s haciendo notar que el patrón del caudal se repite de forma similar para todos los días.



**Ilustración 4-6:** Caudal del día viernes

Realizado por: Zambrano F., 2023

Para el día jueves la similitud de los datos con los otros días se hace evidente siendo un valor máximo de 4.12 L/s y 3.53 L/s siendo el menor dando a notar los momentos del día en los que se ve claramente un aumento del caudal



**Ilustración 4-7:** Caudales de los días de muestreo

Realizado por: Zambrano F., 2023

Para ver como el caudal varía entre los días se obtuvieron un promedio de los días y podemos notar los valores que más destacan como los mayores y menores los cuales son 4.112 L/s y 3.812 L/s respectivamente.

### 4.3 Caracterización del agua

**Tabla 4-2:** Resultados de los análisis de laboratorio

	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Limite permisible
<b>PH</b>	-	8.24	8.19	8.22	8.216	6-9
<b>Turbiedad</b>	-	100.1	118.3	109.1	109.17	-
<b>Fosfatos</b>	mg/L	5.2	5.16	4.82	5.06	10
<b>Sulfatos</b>	mg/L	23	23	23	23	1000
<b>DBO5</b>	mg/L	220.24	186	142	182.746	100
<b>DQO</b>	mg/L	414	369.5	381.07	388.19	200
<b>Solidos Totales</b>	mg/L	480	500	388	456	1600
<b>Solidos Suspendidos</b>	mg/L	134	160.03	133.2	142.41	130
<b>Cloruros</b>	mg/L	2	2.2	2.3	2.16	1000
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP/100 mL	9.48* 106	5.518* 106	7.8* 106	7.567*106	2000
<b>Coliformes Totales</b>	mg/L	INCONTABLES				Remoción al 99%
<b>Conductividad Eléctrica</b>	mg/L	460.6	467.0	464.04	463,88	-
<b>TDS (solidos totales suspendidos)</b>	mg/L	280.7	279.3	280.9	280.3	400

Fuente: (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Se realizó la caracterización comprobando que la mayoría de los parámetros que se tomaron en cuenta no superan los límites permisibles establecidos por la norma siendo estos: TDS (sólidos totales suspendidos), Cloruros, Sólidos Totales, Fosfatos, Sulfatos, PH, mientras que los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos y coliformes fecales superan los límites permisibles.

Los sólidos suspendidos sobrepasan los límites permisibles debido los residuos que son acarreados por el sistema de alcantarillado aumentando la posibilidad de que llegue a el sistema de tratamiento residuos pueden afectar a la eficiencia del mismo, en este caso este supera con mínimo la norma por lo que se ve contraste con otras investigaciones donde este parámetro no lo supero como (Rodríguez Calapiña 2015) lo que nos indica que hay la presencia de una causa que hace que este parámetro aumente con relación al estudio anterior como el hecho de canales abiertos para el lavado de verduras que no existe en la red de alcantarillado del otros estudio.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) así como la demanda química de oxígeno (DQO) son parámetros que se analizan de la mano, debido que son influenciadas a la par, esto genera un decaimiento de la vida que se genera en el efluente donde se quiere disponer finalmente dicha agua, que supone una similitud con los estudios realizados por (NIAMA MONTOYA, 2016) los cuales corroboran los resultados ya que son del mismo cantón donde se llevaron a cabo dichas pruebas.

Los coliformes fecales proviene de todos los hogares específicamente de los baños trayendo consigo heces fecales que aportan al aumento de dicho parámetro y se vuelva un problema que solucionara el sistema de tratamiento, este resultado tiene un gran contraste con los resultados mostrados por (NIAMA MONTOYA, 2016) ya que supone una elevada concentración del parámetro a diferencia de dicho resultado, dándonos a entender que hay un factor exterior, como la presencia de establos en la ruta del alcantarillado provocando que aumenta de gran medida la concentración de coliformes fecales para nuestra caracterización.

Esto puede deberse a la procedencia de las aguas y las actividades para las cuales fueron utilizadas antes de ser evacuadas por el sistema de alcantarillado, al prevenir de hogares es comprensible que la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual sea mayor y superé lo límites establecido así con la presencia de coliformes fecales estos provienen de los mismos hogares los cuales desechan de igual manera al alcantarillados las heces fecales de la población, las causas más probables para dar respuesta a los parámetros que sobrepasan los límites

permisibles y para los cuales se debe tomar en un tratamiento para mitigar sus consecuencias en los efluentes de agua dulce.

#### 4.4 Propuesta

Tras las pruebas de laboratorio y los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual proveniente de los barrios: EL Paraíso, San Sebastián, Llio, y San Jorge del cantón Chambo se propone un sistema de tratamiento de aguas residuales con la aplicación principal de las lagunas de oxidación.



**Ilustración 4-8:** Propuesta

Realizado por: Zambrano F., 2023

#### 4.5 Demografía

- Población actual

Al no tener datos de la población actual se estimó una proyección de trece años para las fechas actuales y así comparara datos de caudal por cálculos y do obtenidos de forma directa, utilizando la *ecuación 4*.

$$Pf_{2023} = Pa_{2010}(1 + r)^n$$

$$Pf_{2023} = 685(1 + 0.003)^{13}$$

$$Pf_{2023} = 712 \text{ hab}$$

Para corroborar se calcula el caudal medio actual

- Caudal medio actual

**Tabla 4-3:** Coeficiente de retorno

Coeficiente	Valor
Retorno	80 %

Fuente: (Sierra y Galindo, 2020)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Se tomó a considerar la población, así como la dotación y el coeficiente de retorno para tomar la fórmula de la *ecuación 6*.

$$Q_{med}(act) = \frac{Pf * D * Cr}{86400 \frac{s}{día}}$$

$$Q_{med} = \frac{712 \text{ hab} * \frac{120L}{día} * 0.8}{86400 \frac{s}{día}}$$

$$Q_{med} = 0.69 \text{ L/s}$$

- Factor de mayorización

Para encontrar este factor se tomó la *ecuación 7* que establecerá variación el consumo de agua de la población.

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{Pf / 1000}}$$

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{712 / 1000}}$$

$$F = 3.79$$

$$Q_{med} = 0.69 \frac{L}{s} * 3.79$$

$$Q_{med} = 2.61 \text{ L/s}$$

- Caudal de infiltración actual

**Tabla 4-4:** Infiltración entre conexiones

<b>Infiltración media en conexiones (L/s. Ha)</b>
0.1

Fuente:(Sierra y Galindo 2020)

Realizado por: Zambrano F., 2023

El área estudiada en los barrios tomados en cuenta para el diseño corresponde a 12.5 L/s para lo cual se utiliza la **ecuación 8**.

$$Q_{inf} = I * Ha$$

$$Q_{inf} = 0.1 \frac{L}{S. ha} * 12.5ha$$

$$Q_{inf} = 1.25 L/s$$

El caudal de infiltración que ingresa al sistema de alcantarillado y que aporta al aumento del canal tiene un valor de 1.35 L/s.

- Caudal de conexiones erradas actual

Se toma el cálculo de esta sección se utiliza la **ecuación 9**.

$$Q_{CE} = 0.1(Q_{med} + Q_{inf})$$

$$Q_{CE} = 0.1(3.07 L/s + 1.35 L/s)$$

$$Q_{CE} = 0.39L/s$$

El valor del caudal de conexiones erradas es de 0.39 l/s

- Caudal máximo de diseño actual

Se toma la **ecuación 10** para el diseño del caudal máximo.

$$Q_{DM} = Q_{med} + Q_{inf} + Q_{CE}$$

$$Q_{DM} = 3.07 + 1.25L/s + 0.442L/s$$

$$Q_{DM} = 4.24 L/s$$

$$QDM = 4.24 \frac{L}{s} = 0.00424 \frac{m^3}{s} = 115.26 \frac{m^3}{h} = 366.34 \frac{m^3}{dia}$$

La proyección actual corrobora con los datos de caudales obtenidos de 4.02 l/s medidos y los datos calculados de 4.24 l/s por lo que es acertada la proyección establecida dando paso a la proyección para el dimensionamiento del sistema de lagunaje en un estimado de 20 años, tomando en consideración que los datos obtenidos se llevaron a cabo en tiempo de lluvias lo que provocó una variabilidad del caudal experimental con el calculado.

- Población futura

Con la comprobación del caudal comenzamos a la proyección de la población futuro y utilizamos la **ecuación 4**.

$$Pf_{2043} = Pa_{2023}(1 + r)^n$$

$$Pf = 712(1 + 0.003)^{20}$$

$$Pf = 756 \text{ hab}$$

Con la proyección demográfica establecida para 20 años, se persigue con el dimensionamiento del sistema de tratamiento teniendo una población de 756 habitantes.

#### 4.6 Caudal de diseño futuro

- Dotación de agua

Según la panificación para la dotación (D) de agua se recomienda que sea de 120 L/Hab/día a nivel nacional establecido por el gobierno.

- Caudal medio

El caudal medio se lo calcula tomando en el coeficiente de retorno, además de la población y la dotación el cual son determinadas previamente se puede establecer el valor con la **ecuación 6**, además de la **tabla 3-25**.

$$Qmed = \frac{Pf * D * Cr}{86400 \frac{s}{dia}}$$

$$Q_{med} = \frac{756 \text{ hab} * \frac{120L}{\text{hab}} * \frac{\text{dia}}{\text{dia}} * 0.8}{86400 \frac{s}{\text{dia}}}$$

$$Q_{med} = 0.84 \text{ L/s}$$

- Factor de mayorización

De igual manera el factor de mayorización para lo cual se utiliza la **ecuación 7**.

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{Pf / 1000}}$$

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{756} / 1000}$$

$$F = 3.88$$

$$Q_{med} = 0.84 \frac{L}{s} * 3.88$$

$$Q_{med} = 3.26 \text{ L/s}$$

- Caudal de infiltración

La infiltración en las redes de alcantarillado es un factor que aumenta el caudal que se desea tratar para este tipo de alcantarillado la infiltración se toma el valor de la **tabla 26-3**. El área estudiada en los barrios tomados en cuenta para el diseño corresponde a 13.5 ha tomado la **ecuación 8**.

$$Q_{inf} = I * Ha$$

$$Q_{inf} = 0.1 \frac{L}{S \cdot ha} * 13.5ha$$

$$Q_{inf} = 1.35 \text{ L/s}$$

Se obtuvo un caudal de infiltración de 1.35 l/s

- Caudal de conexiones erradas

Tomando como datos válidos para este caudal se toma en los valores del caudal medio y caudal de infiltración calculados previamente con la **ecuación 9**.

$$QCE = 0.1(Qmed + Qinf)$$

$$QCE = 0.1(3.26 \text{ L/s} + 1.35 \text{ L/s})$$

$$QCE = 0.461 \text{ L/s}$$

El caudal de las conexiones erradas se determinó en 0.461 l/s.

- Caudal máximo de diseño

Se toma el punto máximo que podrá soportar el sistema de tratamiento por lo que se tomará como fundamental para el diseño, con la intervención de todos los canales ya antes calculados con la **ecuación 10**.

$$QDM = Qmed + Qinf + QCE$$

$$QDM = 3.26 + 1.35 \text{ L/s} + 0.461 \text{ L/s}$$

$$QDM = 5.071 \text{ L/s}$$

$$QDM = 5.071 \text{ L/s} = 0.005071 \text{ m}^3/\text{s} = 18.268 \text{ m}^3/\text{h} = 438.13 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para el caudal máximo de diseño se pudo ver un resultado de 5.071 l/s o 438.13 m<sup>3</sup>/día

- Caudal medio de diseño

Se utilizará la **ecuación 11**.

$$QD = Qmed + Qinf + QCE$$

$$QD = 3.26 \text{ L/s} + 1.35 \text{ L/s} + 0.461 \text{ L/s}$$

$$QD = 5.071 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.005071 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{438.13 \text{ m}^3}{\text{día}}$$

Para el diseño se toma un caudal establecido de 4389.13 m<sup>3</sup>/día.

A partir de los datos obtenidos por parte de la población actual y futura se propone un estimado de vida útil de operación de la planta de tratamiento de 20 años teniendo un detalle de los datos obtenidos:

## 4.7 Cálculos de dimensionamiento

### 4.7.1 Canal rectangular

Para calcular la velocidad de entrada se tomo una inclinación del 1.02 %. Para obtener las dimensiones del canal rectangular según parámetros de diseño establece que el valor de la velocidad que puede tener un canal esta entre los 0.6 L/s y 1 L/s por lo que se tomó en una velocidad de 0.6 m/s para los canales abiertos y el caudal de diseño 5.071 L/s.

- Área del canal

Para el cálculo del área del canal se ocupa la **ecuación 12** y el caudal ocupado así con la velocidad con la que ingresa al canal el agua residual, tomado por los parámetros de diseño que va desde los 0.6 m/s a 1 m/s siendo ocupado 0.6 m/s para este diseño.

$$Q = V * A$$
$$A = Q/V$$
$$A = \frac{0.005071 \frac{m^3}{s}}{0.6 \frac{m}{s}}$$
$$A = 0.008452 m^2$$

El área en el canal se establece en 0.008452 m<sup>2</sup>

- Altura del canal

En base a los parámetros de diseño la base de un canal debes estar entre 0.3 hasta llegar a varios metros dependiendo del caudal con el que se maneje tomado a consideración entonces para que la base del canal sea efectiva para el canal la cual es igual a 0.3 m por lo que para la altura será descrita por la siguiente expresión con la **ecuación 13**:

$$A = b * h$$
$$h = A/b$$
$$h = 0.008452 m^2 / 0.3m$$
$$h = 0.03$$

Para construcción se tomará el valor de 0.05 m.

- Altura de seguridad

Para los diseños de canales abiertos se toma un valor de altura de seguridad detiene un intervalo que puede variar entre los 0.3 a 1 m y para el diseño de este canal se tomó el valor de:

$$h_s = 0.45 \text{ m}$$

- Altura total

Con la **ecuación 14** y la altura de seguridad se calcula la altura final que tendrá en canal:

$$H = h + h_s$$

$$H = (0.05 + 0.45)m$$

$$H = 0.5 \text{ m}$$

La altura total para el canal se toma para el diseño de 0.5 m.

#### 4.7.2 *Rejillas*

Para metros para el diseño de canales se tomó los siguientes valores para el sistema de rejillas.

**Tabla 4-5:** Parámetros para diseño del canal

Parámetro	Valor
Altura se seguridad	0.45 m
Base del canal	0.3 m
Pendiente del canal	0.03 m/m
Coficiente de Manning para concreto (n)	0.013

Fuente:(Pacheco et al, 2022b)

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Diseño De Rejillas

**Tabla 4-6:** Características de las rejillas de limpieza manual

Características	Valor
Ancho de barras	1,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 cm
Pendiente con la vertical	45°

Fuente:(Pacheco et al. 2022b)

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Velocidad de aproximación a las rejillas

Para encontrar la velocidad de aproximación necesitamos conocer el radio hidráulico por lo que utilizamos la **ecuación 15**.

$$R = \frac{A}{b + 2h}$$

$$R = \frac{0.008452 \text{ m}^2}{0.3 \text{ m} + 2(0.03)}$$

$$R = 0.024$$

Una vez obtenido el resultado del resalto hidráulico de 0.024, podemos calcular la velocidad de entrada, teniendo en cuenta el coeficiente, y la pendiente que tiene el terreno con la **ecuación 16**.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0.013} (0.024)^{\frac{2}{3}} (0.0102)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.646 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad obtenida está dentro de los parámetros aceptables para el diseño siendo de 0.646 m/s.

- Longitud de barras

Al ser unas rejillas de limpieza manual esta se toma en cuenta un ángulo de 45° tomando la **ecuación 18**.

$$Lb = \frac{H}{\text{sen}\phi}$$

$$Lb = \frac{0.5}{\text{sen}(45^\circ)}$$

$$Lb = 0.71 \text{ m}$$

La longitud de barras para este sistema es de 0.70 m

- Número de barros

Para el diseño del número de barros se utilizará la *ecuación 17*.

$$n = \frac{b}{e + W} - 1$$

$$n = \frac{0.3 \text{ m}}{0.015 \text{ m} + 0.025 \text{ m}} - 1$$

$$n = 6.5 = 7 \text{ barras}$$

La construcción se llevará a cabo con 7 barras (rejillas).

- Pérdida hidráulica

Una vez teniendo estos valores podemos calcular las pérdidas con la *ecuación 19*.

$$H_f = \beta * \left(\frac{e}{W}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } \phi$$

$$H_f = 1.79 * \left(\frac{0.015 \text{ m}}{0.025}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{(1.31 \text{ m/s})^2}{2 \left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}\right)} * \text{sen}(45^\circ)$$

$$H_f = 0.056 \text{ m}$$

La pérdida de carga es 0.056 m para el canal

#### 4.7.3 Canal parshall

Tomando en el caudal de diseño el cual es: 0.005071 m<sup>3</sup>/s se ubica la mejor fórmula de la tabla 2-3 la cual nos muestra el ancho de garganta de 3 pulgadas aporta unos valores para K y con la *ecuación 20*.

$$Q = K * (Ha)^n$$

$$Ha = \left(\frac{0.005071}{0.1760}\right)^{\frac{1}{1.547}}$$

$$Ha = 0.1009 \text{ m}$$

La altura del resaltó se establece en 0.1009 m

Tomando en el caudal podemos fácilmente determinar los valores de diseño, tomando las medidas establecidas con el valor de la garganta esto se toma de la **tabla 4-2**, Tomando los siguientes valores tomados por la relación con el ancho de garganta teniendo los valores en mm.

**Tabla 4-7:** Valores establecidos para el canal Parshall por el ancho de garganta en cm

W	A	a	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y
7.6	46.6	31.1	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	2	4

Fuente:(Ramos et al. 2021)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Para comprobar la eficiencia de la canaleta Parshall tenemos las siguientes expresiones:

- Ancho de sección

Se tomará valores de la **tabla 29-3** y la **ecuación 21** para este cálculo.

$$D' = \frac{2}{3}(D - W) + W$$

$$D' = \frac{2}{3}(0.259 \text{ m} - 0.076 \text{ m}) + 0.076 \text{ m}$$

$$D' = 0.198 \text{ m}$$

El ancho de sección de la canaleta se establece en 0.198 m.

- Velocidad de aproximación

Para este cálculo se utilizará la **ecuación 22** así como valores de la **Tabla 3-29**.

$$V_1 = \frac{Q}{Ha * D'}$$

$$V_1 = \frac{0.005071 \text{ m}^3/\text{s}}{0.1009 \text{ m} * 0.98 \text{ m}}$$

$$V_1 = 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El valor de aproximación con el que llega a la canaleta es aceptable en un valor de 0.25 m/s.

- Carga hidráulica disponible ( $E_1$ )

Para la carga hidráulica disponible se toma en la **ecuación 23** y valores de la Tabla 3-29.

$$E_1 = \frac{V_1^2}{2g} + Ha + N$$

$$E_1 = \frac{(0.25^2)}{2(9.81)} + 0.1009 \text{ m} + 0.057 \text{ m}$$

$$E_1 = 0.16$$

La carga hidráulica disponible es de 0.16 m.

Energía antes del resalto  $E_1=E_2$ .

- Altura en zona de garganta

Para el cálculo de la altura 2 se utiliza la **ecuación 24**.

$$E_2 = \frac{Q^2}{2w^2h_2^2g} + h_2$$

$$Q^2 = 2E_2w^2h_2^2g - 2w^2h_2^3g$$

$$2w^2h_2^3g - 2E_2w^2h_2^2g + Q^2 = 0$$

$$2(0.076)^2h_2^3(9.8) - 2(0.16)(0.076)^2h_2^2(9.8) + (0.005071)^2 = 0$$

$$h_2 = 0.05$$

- Velocidad de zona de garganta

Se utiliza la **ecuación 25** para el cálculo de la velocidad de la garganta.

$$V_2 = \frac{Q}{Wh_2}$$

$$V_2 = \frac{0.005071 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0076 \text{ m} * 0.05}$$

$$V_2 = 1.33 \text{ m/s}$$

- Sumergencia

Se toma en cuenta la **ecuación 26** para el cálculo de la sumergencia

$$S = \frac{h_2}{ha}$$

$$S = \frac{0.05}{0.1009}$$

$$S = 0.49$$

- Número de Froude

Tomando la **ecuación 27** se podrá calcular el número de Froude.

$$F = \frac{V_2}{\sqrt{gh_2}}$$

$$F = \frac{1.33 \text{ m/s}}{\sqrt{(9.81) * 0.05m}}$$

$$F1 = 1.9$$

Se obtuvo un valor de 1.9 para el número de Froude.

- Altura del después resalto en el punto 3

Se tomará la **ecuación 28** además de los valores de altura inicial y número de Froude.

$$h_3 = \frac{h_2}{2} (\sqrt{1 + 8(F)^2} - 1)$$

$$h_3 = \frac{0.05}{2} (\sqrt{1 + 8(1.9)^2} - 1)$$

$$h3 = 0.112 \text{ m}$$

La altura de resalto en el punto 3 de la canaleta es de 0.112 m.

- Velocidad de resalto en el punto 3

Para el cálculo de la velocidad de resalto 2 se ocupa la **ecuación 29**.

$$V_3 = \frac{Q}{Wh_3}$$

$$V_3 = \frac{0.005071}{0.076(0.112m)}$$

$$V_3 = 0.6 \text{ m/s}$$

La velocidad de resalto en el punto crítico de la canaleta teniendo una velocidad de 0.6 m/s.

- Altura de salida
- 

La altura final con la que sale el agua se calcula con la **ecuación 30**.

$$\begin{aligned}h_4 &= h_3 - (N - K) \\h_4 &= 0.112 \text{ m} - (0.057 - 0.025) \\h_4 &= 0.08 \text{ m}\end{aligned}$$

La altura con la que sale el caudal de la canaleta es de 0.08 m.

- Velocidad saliente

Para la velocidad final de la canaleta Parshall se utiliza la **ecuación 31**.

$$\begin{aligned}V_4 &= \frac{Q}{Wh_4} \\V_4 &= \frac{0.005071}{0.076 * 0.1 \text{ m}} \\V_4 &= 0.83 \text{ m/s}\end{aligned}$$

La velocidad de salida es de 0.83 m/s.

- Pérdida de carga

La pérdida de carga se calcula con la **ecuación 32** y parámetros ya calculados anteriormente.

$$\begin{aligned}P_c &= H_o + K - h_4 \\H_p &= 0.100.9 + 0.025 - 0.08 \text{ m} \\H_p &= 0.0459\end{aligned}$$

La pérdida de carga que se calculó para la canaleta es de 0.0459.

Para el canal Parshall se pudo denotar los valores de diseño tomando en cuenta el caudal de entrada para así poder comparar con los diseños preestablecidos.

#### 4.7.4 Desarenador

- Determinación de la velocidad de sedimentación

**Tabla 4-8:** Material de la partícula

Material de la partícula	Diámetro de la partícula
Arena gruesa	0.020 cm

Fuente:(Paola Sanchez Gutierrez et al. 2018)

Realizado por: Zambrano F., 2023

**Tabla 4-9:** Propiedades de la arena

Parámetro	Valor
Densidad de la arena	2.65 g/cm <sup>3</sup>
Gravedad	980 cm/s <sup>2</sup>

Fuente:(Paola Sanchez Gutierrez et al. 2018)

Realizado por: Zambrano F., 2023

**Tabla 4-10:** Propiedades del agua a 1 atm

Parámetro	Valor
Temperatura	15°
Densidad	999.1 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad cinemática	1.139 m <sup>2</sup> /s*10 <sup>-6</sup>

Fuente:(San et al. 2021)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Para encontrar la velocidad de sedimentación tomamos la relación entre las partículas y la velocidad de sedimentación de la arena en lo que se expresa con la **ecuación 33**:

$$v_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\phi}{(\mu\rho)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 0.22 \left( \frac{\frac{2.65g}{cm^3} - \frac{0.9991g}{cm^3}}{\frac{0.9991g}{cm^3}} * 980m/s^2 \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{0.02}{\left( \frac{0.01139cm^2/s}{0.9991g/cm^3} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 2.696 = 2.7 \frac{cm}{s} = 0.022696 \frac{m}{s}$$

La velocidad de sedimentación de la arena se establece en 2.7 cm/s.

- Número de Reynolds

Para el cálculo del número de Reynolds se tomó en cuenta el diámetro de la partícula de la **tabla 28-3**, además de la viscosidad cinemática que tiene el agua a 6 °C de la **tabla 31-3** Reemplazándolos en la **ecuación 34**.

**Tabla 4-11:** Propiedades del agua a 6 °C

Temperatura (C°)	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-6</sup>
6	1.4716

Fuente: (San et al. 2021)

Realizado por: Zambrano F., 2023

$$Re = \frac{vs\phi}{\mu}$$
$$Re = \frac{2.7 \frac{cm}{s} * 0.02cm}{0.014716cm^2/s}$$
$$Re = 3.66$$

El número de Reynolds se estableció en 3.66 para el diseño de la planta.

- Coeficiente de Arrastre

Para obtener este coeficiente se utiliza el número de Reynolds previamente obtenido utilizando la **ecuación 35**.

$$CD = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$
$$CD = \frac{24}{3.66} + \frac{3}{\sqrt{3.66}} + 0.34$$
$$CD = 8.47$$

El coeficiente de arrastre que se determinó bajo el cálculo antes propuesto es de 8.47.

- Velocidad de sedimentación en la zona de transición

Para este cálculo se toma la **ecuación 36** y los valores obtenidos previamente.

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} + (\rho_a - 1) * \phi}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{980 \frac{cm}{s^2}}{8.47} * \left(2.65 \frac{g}{cm^3} - 1\right) * 0.02cm}$$

$$v_s = 5.09 \frac{cm}{s} = 0.0509 \frac{m}{s}$$

Tenemos una velocidad de transición de 5.09 cm/s.

- Volumen del desarenador

Para el cálculo del volumen del desarenador se tomó un tiempo de retención 4 min= 240 s que esta estableció en un rango de 2 min a 5 min por el manual de desarenadores y sedimentadores(Organización Panamericana de la Salud, 2005) además de la **ecuación 37**.

$$V_D = Q * T_R$$

$$V_D = 0.005071 \frac{m^3}{s} * 240s$$

$$V_D = 1.213 m^3$$

Para el desarenador tenemos un volumen de 1.213 m<sup>3</sup>.

- Área superficial

Para el cálculo del área superficial se tomó una profundidad de 1 m Hd este valor se tomó a partir de los parámetros de diseño de desarenadores y sedimentadores que esta entre 1 m - 2.5 m para el diseño (ETAPA, 2023) y se utiliza la **ecuación 38**.

$$AS_D = \frac{V_D}{H_D}$$

$$AS_D = \frac{1.213 m^3}{1. m}$$

$$AS_D = 1.213 m^2$$

El área superficial para el diseño del desarenador se toma el siguiente valor: 1.213 m<sup>2</sup>.

- Dimensiones del desarenador

Para el dimensionamiento del desarenador se tomará una razón largo ancho 5:1 y la **ecuación 39**.

$$\frac{BD}{LD} = \frac{1}{5}$$

$$5BD = LD$$

$$AsD = LD * BD$$

$$AsD = 5BD^2$$

$$BD = \sqrt{\frac{AsD}{5}}$$

$$BD = \sqrt{\frac{1.213 \text{ m}^2}{5}}$$

$$BD = 0.493\text{m} = 0.5 \text{ m}$$

$$5(0.5 \text{ m}) = LD$$

$$LD = 2.5 \text{ m}$$

Por la relación que tienen largo y ancho del desarenador además de su relación con el área superficial se pudo determinar los valores para el largo y ancho, siendo 2.5 m y 0.5 m respectivamente.

- Área transversal

La **ecuación 40** es la que determinara el área transversal del desarenador tomando en cuenta los parámetros de diseño para la profundidad del desarenador que va a razón de 1:1 a 5:1 por lo que la profundidad que se asume es de 1 m:

$$A_{TD} = BD * HD$$

$$A_{TD} = 0.5 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$A_{TD} = 0.5 \text{ m}^2$$

Al área transversal que recorre el desarenador es de 0.5 m<sup>2</sup>.

- Altura de lodos

Para parámetros de diseño se establece una pendiente que va desde los 5% a 10 % (Organización Panamericana de la Salud, 2005) por lo que para este diseño se tomo un valor de 10 %, utilizando la **ecuación 41**.

$$\begin{aligned}
 Hl &= S * LD \\
 Hl &= 0.1 * 2.5 \text{ m} \\
 Hl &= 0.25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Altura total

$$\begin{aligned}
 Ht &= Hl + HD \\
 Ht &= 1 \text{ m} + 0.25 \text{ m} \\
 Ht &= 1.25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Velocidad horizontal del fluido en el desarenador

Se tomará la **ecuación 42** para el cálculo de la velocidad horizontal.

$$\begin{aligned}
 v_h &= \frac{Q_{DM}}{A_{TD}} \\
 v_h &= \frac{0.005071 \text{ m}^3/\text{s}}{0.5 \text{ m}^2} \\
 v_h &= 0.01110 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

El resultado de la velocidad horizontal de flujo es de 0.0111 m/s.

- Longitud de transición de ingreso al desarenador

Angulo de divergencia: 12.5° es asumido es asumido del manual de diseño de desarenadores y sedimentadores y se ocupa la **ecuación 43**.

$$\begin{aligned}
 Lg &= \frac{BD - b}{2tg\theta} \\
 Lg &= \frac{0.5 \text{ m} - 0.3}{2tg(12.3)}
 \end{aligned}$$

$$Lg = 0.45m = 0.5 m$$

El largo que debe pasar el caudal para ingresar al desarenador es de 0.5 m.

El desarenador tiene una estructura rectangular calculada con los parámetros que se establecieron para dicho caso teniendo una eficacia considerable para el sistema.

#### 4.8 Diseño de lagunas de oxidación

Para iniciar con los cálculos del sistema de lagunaje comenzamos con los siguientes valores caudal (Q)= 438.13 m<sup>3</sup>/s, DBO= 182.75 mL/L coliformes fecales de 5.56\*10<sup>-6</sup> NMP/mL.

##### 4.8.1 Diseño de laguna anaerobia

- Carga orgánica

El cálculo de la carga orgánica que contendrá la laguna anaerobia se calcula con la **ecuación 44**.

$$Co = \frac{Q * DBO_5}{1000}$$

$$Co = \frac{438.13 \frac{m^3}{día} * 182.75 \frac{ml}{L}}{1000}$$

$$Co = 80.06 \frac{kg}{m^3 día}$$

- Carga volumétrica de diseño

**Tabla 4-12:** Parámetros de diseño para cargas volumétricas y remoción de DBO en función de la temperatura

Temperatura °C	Carga volumétrica (g DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> *día)	Remoción del DBO%
<10	100	40
10-20	20 T-100	2 T+ 20
>20	300	60

Fuente: (Cortés Martínez et al. 2017)

Realizado por: Zambrano F., 2023

Para nuestro diseño se tomó la carga volumétrica de 100 (g DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>\*día) y un porcentaje de remoción del 40% ya que la temperatura medida en el mes más frío del sector es de 6.8 °C.

- Remoción de DBO<sub>5</sub>

$$\%DBOremovido = 40 \%$$

La remoción fue establecida en los 40 % es tomado de los parámetros de la **Tabla 3-34**.

- Volumen de laguna

Para el cálculo del volumen se utilizará la **ecuación 45** y usa valores del caudal inicial, carga volumétrica del agua residual.

$$Va = \frac{BBO5 * Qi}{\lambda v}$$
$$Va = \frac{182.75 \text{ ml/l} * 438.13 \text{ m}^3/\text{día}}{100 \text{ g/m}^3 \text{ día}}$$
$$Va = 800.682 \text{ m}^3$$

- Área de laguna

Para el diseño se tomó una profundidad recomendada de 3 a 5 m se tomó 4 m por los parámetros de diseño, además de utilizar la **ecuación 46**.

$$Aa = \frac{Va}{Z}$$
$$Aa = \frac{800.682 \text{ m}^3}{4 \text{ m}}$$
$$Aa = 200.17 \text{ m}^2$$

- **Dimensionamiento de la laguna**

Se considera una relación largo-ancho x: 2, además de utilizar la **ecuación 47** para determinar el ancho de la laguna.

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{Aa}{x}}$$

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{200.17 \text{ m}^2}{2}}$$

$$B_{prom} = 10 \text{ m}$$

El ancho de la laguna anaerobia se establece en 10 m.

- Longitud promedio

La ecuación que se utilizará será la 48 además de los valores del área y el ancho calculados previamente.

$$L_{prom} = \frac{Aa}{B_{prom}}$$

$$L_{prom} = \frac{200.17 \text{ m}^2}{10 \text{ m}}$$

$$L_{prom} = 20.17 \text{ m}$$

Para el diseño se toma el valor de 20 m en la longitud de la laguna.

- Ancho superior de la laguna anaerobia

Se calcula con la **ecuación 49** el ancho de la laguna.

$$B_{sup} = B_{prom} + Z_{talud}$$

$$B_{sup} = 10 \text{ m} + 4 * 1$$

$$B_{sup} = 14 \text{ m}$$

Se establece que el ancho de la laguna es de 14 m.

- Cálculo de la longitud superior de la laguna

Se toma la **ecuación 50** para el cálculo de la longitud superior.

$$L_{sup} = L_{prom} + Z \text{ talud}$$

$$L_{sup} = 20 \text{ m} + 4 * 1 \text{ m}$$

$$L_{sup} = 24 \text{ m}$$

La longitud superficial es de 24 m para la laguna anaerobia.

- Cálculo del área superficial

Para el cálculo del área superficial de la laguna anaerobia se tomó la **ecuación 51** para su cálculo.

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup}$$

$$A_{sup} = 14 \text{ m} * 24 \text{ m}$$

$$A_{sup} = 336 \text{ m}^2$$

La laguna al no tener talud de inclinación tiene un área superficial de 336 m<sup>2</sup>.

- Tiempo de retención hidráulico

Según los parámetros de diseño propuestos por el IMTA se definirá un tiempo de retención hidráulica de 20 días.

- Concentración de la DBO<sub>5</sub> en la laguna

Se utiliza la ecuación, así como el porcentaje remoción, así como la concentración de DBO<sub>5</sub> inicial y la **ecuación 52**.

$$DBO_e = (100 - \%DBO_{removido}) DBO_i$$

$$DBO_e = \left( \frac{100 - 40}{100} \right) 182.75 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$DBO_e = 109.65 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Con la corrección del DBO<sub>5</sub> por la evaporación se obtuvo un valor de 109.65 mg/L.

- Gasto en el efluente corregido por evaporación

El gasto del efluente se calcula con la **ecuación 53**, utilizando el área de la laguna y el factor de evaporación.

$$Q_e = Q_i - 0.001Aa \text{ ev}$$

$$Q_e = \frac{438.13 \text{ m}^3}{\text{día}} - 0.001 * 200.17 \text{ m}^2 * 0.0058 \frac{\text{m}}{\text{día}}$$

$$Q_e = 438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

La corrección del efluente por la evaporación se determinó en 438.12 m<sup>3</sup>/día.

- Factor de decaimiento

El factor de decaimiento de los coliformes fecales se calcula con la **ecuación 54**.

$$Kt(d^{-1}) = 2.6(1.19)^{T-20}$$

$$Kt(d^{-1}) = 2.6(1.19)^{6.8-20}$$

$$Kt(d^{-1}) = 0.261 \text{ d}^{-1}$$

El factor de decaimiento se establece en un valor de: 0.261 d<sup>-1</sup>.

- **Coliformes fecales en la laguna**

Los coliformes fecales se pueden determinar mediante **la ecuación 55**, tomando el tiempo de retención hidráulica y el factor de decaimiento.

$$N_e = \frac{N_i}{1 + Kt \text{ Trh}}$$

$$N_e = \frac{7.56 \times 10^6}{1 + 0.261 \text{ d}^{-1} * 20 \text{ día}}$$

$$N_e = 1215434.084 \frac{\text{NMP}}{\text{mL}}$$

Los coliformes fecales que se determinan tras tomar en el tiempo de retención hidráulica y el factor de decaimiento de establecer en 1215434.084 NMP/mL.

- Demanda bioquímica de oxígeno con la Evaporación

Para determinar la concentración del DBO tomando en la **ecuación 56**, así como los caudales iniciales y finales para esta laguna.

$$DBO_{corr} = \frac{DBO_e Q_i}{Q_e}$$

$$DBO_{corr} = \frac{109.65 \frac{mg}{l} * 438.13 \text{ m}^3/\text{día}}{438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$DBO_{corr} = 109.7 \frac{mg}{L}$$

- Coliformes fecales corregidos por evaporación

Los coliformes fecales, así como el debo se corrige con la evaporación por lo que sutaliza los caudales y la **ecuación 57**.

$$Necorr = \frac{Ne Q_i}{Q_e}$$

$$Necorr = \frac{1215434.084 \frac{NMP}{mL} * 438.13 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$Necorr = 1215461.83 \frac{NMP}{mL}$$

El resultado del cálculo de los coliformes fecales y se calculó teniendo un resultado 1215461.83 NMP/mL.

Al finalizar el dimensionamiento de la laguna anaerobia se tomó los siguientes valores para el diseño de la laguna facultativa como el caudal Q: 438.12 m<sup>3</sup>/día, un DBO<sub>5</sub>: 109.65 mg/L además de una concentración de coliformes fecales: 1215461.83 NMP/mL.

#### 4.8.2 Diseño de laguna facultativa

- Carga orgánica

Para e cálculo de la laguna facultativa se tomó la **ecuación 58**.

$$C_o = \frac{Q * DBO_5}{1000}$$

$$C_o = \frac{438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 109.65 \text{ mg/L}}{1000}$$

$$C_o = 48.3 \text{ kg/día}$$

La carga orgánica que tiene el efluente que ingresa a la laguna facultativa es de 48.3 Kg/día.

- Carga superficial de diseño

Para el cálculo de la carga superficial que tiene la laguna se toma la **ecuación 59**.

$$\lambda S = 200 (1.05)^{T - 20}$$

$$\lambda S = 200 (1.05)^{6.8 - 20}$$

$$\lambda S = 105.03 \frac{\text{kg}}{\text{ha} * \text{día}}$$

La carga superficial con la que llega a la laguna facultativa es de 105.03 kg/(ha\*día).

- Área de la laguna facultativa

El área de la laguna se calcula con la **ecuación 60**, tomando también en cuenta y caudal, la concentración de DBO.

$$A_f = \frac{10 * DBO_5 * Q_{med}}{\lambda S}$$

$$A_f = \frac{10(109.65 \text{ mg/L})(438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}})}{105.03 \frac{\text{kg}}{\text{ha} * \text{día}}}$$

$$A_f = 4573.92 \text{ m}^2$$

El área de la laguna se ve con un valor de 4573.92 m<sup>2</sup>.

- Volumen de la laguna

Asumimos una profundidad de  $z = 2 \text{ m}$  y utilizamos la **ecuación 61** para el cálculo del volumen de la laguna.

$$V = A_f Z$$

$$V = 4573.92 \text{ m}^2 * 1.5 \text{ m}$$

$$V = 6860.88 \text{ m}^3$$

El volumen que receptorá esta laguna será de 6860.88 m<sup>3</sup>

- Dimensionamiento

Ancho

Para el ancho de la alguna se toma la relación largo-ancho de 3 m, así como el área de la laguna y la **ecuación 62**.

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{Af}{x}}$$
$$B_{prom} = \sqrt{\frac{4573.92 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}}$$
$$B_{prom} = 39 \text{ m}$$

El ancho de la laguna facultativa se establece en 39 m para el diseño.

Largo

Una vez teniendo el ancho y el área se puede tener el largo por lo que se toma la **ecuación 63**.

$$L_{prom} = \frac{A_{prom}}{B_{prom}}$$
$$L_{prom} = \frac{4573.92 \text{ m}^2}{39 \text{ m}}$$
$$L_{prom} = 117.28 \text{ m}$$

El largo de la laguna facultativa se establece en 117.28 m.

Ancho superior

Para verificar el área superior se considera un talud 2:1 y se calcula con la **ecuación 64**.

$$B_{sup} = B_{prom} + Z \text{ talud}$$
$$B_{sup} = 39 \text{ m} + 1.5 \text{ m}(2)$$
$$B_{sup} = 42 \text{ m}$$

El ancho superior de la laguna está en 42 m.

Largo superior

Para determinar el largo superior se toma la **ecuación 65**.

$$\begin{aligned}Lsup &= Lprom + Z talud \\Lsup &= 117.28 m + 1.5m(2) \\Lsup &= 120.28 m\end{aligned}$$

El largo superior para la laguna es de 120.28 m.

- Cálculo del área superficial

Para el área superior se toma el largo y ancho superior y la **ecuación 66**.

$$\begin{aligned}Asup &= Bsup Lsup \\Asup &= 42 m * 120.28 m \\Asup &= 5051.76 m^2\end{aligned}$$

Ancho inferior

Para calcular el ancho inferior se toma la **ecuación 67**.

$$\begin{aligned}Binf &= Bprom - Z talud \\Binf &= 39 m - 1.5m(2) \\Binf &= 36 m\end{aligned}$$

El valor del ancho inferior de la laguna es de 36 m.

Largo inferior

Para el cálculo del largo inferior se ocupa la **ecuación 68**.

$$\begin{aligned}Linf &= Lprom - Z talud \\Linf &= 117.28 m - 1.5m(2)\end{aligned}$$

$$Linf = 114.28 \text{ m}$$

El largo inferior de la laguna es de 114.28 m.

- Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención que tendrá esta laguna se calculará con el volumen y el caudal antes calculados utilizando la **ecuación 69**.

$$Trh = \frac{Va}{Qi}$$

$$Trh = \frac{6860.88 \text{ m}^3}{438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}$$

$$Trh = 15.66 = 16 \text{ dia}$$

El tiempo que se estableció es de 15.66 días por lo que está dentro del parámetro

- Gasto en el efluente

Para el cálculo del gasto del efluente de la laguna facultativa se toma los valores del área superficial y el factor de evaporación utilizándolo en l **ecuación 70**.

$$Qe = Qi - 0.001 Asup ev$$

$$Qe = 438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} - 0.001(5051.76 \text{ m}^2) * 0.0058 \frac{\text{m}}{\text{dia}}$$

$$Qe = 438.09 \text{ m}^3/\text{dia}$$

El caudal una vez visto con la corrección de la evaporación es de 438.09 m<sup>3</sup>/día.

- **Coefficiente de dispersión**

Se ocupa la **ecuación 71**.

$$x = \frac{Lprom}{Bprom}$$

$$x = \frac{117.28 \text{ m}}{39 \text{ m}}$$

$$x = 3$$

Para el cálculo del coeficiente de dispersión se toma en la **ecuación 72**.

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 x + 1.0136 x^2}$$

$$d = \frac{3}{-0.26118 + 0.25392 (3) + 1.0136 (3)^2}$$

$$d = \frac{3}{-0.26118 + 0.76176 + 9.1224}$$

$$d = 0.3117$$

El coeficiente de dispersión tiene un valor de 0.3117.

- Coeficiente de reducción bacteriana

El coeficiente de reducción bacteriana se puede calcular con la **ecuación 73**.

$$Kb = 0.841 (1.075)^{T - 20}$$

$$Kb = 0.841 (1.075)^{6.8 - 20}$$

$$Kb = 0.323$$

El valor calculado para el coeficiente de reducción bacteriana es de 0.323.

- **Constante “a”**

La constante a se expresa mejor por la relación del cálculo para los coliformes fecales en la laguna utilizando la **ecuación 74**.

$$a = \sqrt{1 + 4 Kb * Trh * d}$$

$$a = \sqrt{1 + 4 (0.323) * 15.66 \text{ dia} * 0.3117}$$

$$a = 2.70$$

El valor de la constante a es de 2.70.

- Coliformes fecales en la laguna facultativa

Los coliformes fecales de la laguna se calculan con la **ecuación 75**.

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 a e^{(1-a/2d)}}{(1 + a)^2}$$

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4(2.70) e^{(1-(2.70)/2(0.3117))}}{(1 + 2.70)^2}$$

$$\frac{Nf}{No} = 0.0516$$

$$Ne = 0.0516 * 1215461.83 \frac{\text{NMP}}{\text{mL}}$$

$$Ne = 62717.83 \frac{\text{NMP}}{\text{mL}}$$

Los coliformes fecales tienen un resultado de 62717.83 NMP/mL.

- Coliformes fecales corregidos por evaporación

Para el cálculo de los coliformes fecales con la **ecuación 76**.

$$Necorr = \frac{Ne Qi}{Qe}$$

$$Necorr = \frac{62717.83 \frac{\text{NMP}}{\text{mL}} * 438.12 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}{438.09 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$Necorr = 62722.13 \frac{\text{NMP}}{\text{mL}}$$

El valor de los coliformes fecales que salen de la laguna facultativa es de 62722.13 NMP/mL.

- Concentración de la DBO<sub>5</sub> en la laguna

Para obtener el resultado de la concentración de DBO en la laguna se utiliza la **ecuación 77**.

$$Kf = \frac{0.12}{(1.085)^{10-T}}$$

$$Kf = \frac{1.2}{(1.085)^{10-6.8}}$$

$$Kf = 0.092428$$

El factor kf se obtuvo un valor de 0.092428.

La concentración se calcula con la **ecuación 78**

$$DBOe = \frac{DBOi}{Kf Trh + 1}$$

$$DBOe = \frac{109.65 \text{ mg/L}}{0.0924328 (15.66 \text{ dia}) + 1}$$

$$DBOe = 44.8 \text{ mg/L}$$

La concentración de DBO de la laguna es de 44.8 mg/L.

- Eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>

Una vez calculado la concentración de DBO se puede calcular el porcentaje de remoción con la **ecuación 79**.

$$\% = \frac{DBOi - DBOe}{DBOi} * 100$$

$$\% = \frac{109.65 \text{ mg/L} - 44.8 \text{ mg/L}}{109.65 \text{ mg/L}} * 100$$

$$\% = 59.14 \%$$

El porcentaje de remoción se establece en 59.14 %.

- DBO corregida por evaporación

Para finalizar se corrige la concentración de DBO por la evaporación que sufre la laguna con la **ecuación 80**.

$$DBOcorr = \frac{Qi DBOe}{Qe}$$

$$DBOcorr = \frac{438.12 \frac{m^3}{dia} * 44.8 \text{ mg/L}}{438.09 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$DBOcorr = 44.9 \text{ mg/L}$$

El DBO final que sale de la laguna facultativa es de 44.89 mg/L.

Al finalizar el dimensionamiento de la laguna facultativa se tomó los siguientes valores para el diseño de la laguna de maduración como el caudal Q: 438.09 m<sup>3</sup>/día, un DBO<sub>5</sub>: 71.28 mg/L además de una concentración de coliformes fecales: 62722.13 NMP/mL los cuales serán los parámetros más influyentes para dicho dimensionamiento.

#### 4.8.3 *Diseño de laguna de maduración*

- Tiempo de retención hidráulica

Es tiempo estimado para lagunas de maduración es de 10 días.

- Volumen

Para el cálculo del volumen de la laguna de maduración se ocupa el tiempo de retención hidráulica, así como la **ecuación 81**.

$$\begin{aligned}V &= Q_i Trh \\V &= 438.09 \text{ m}^3/\text{dia} * 10 \text{ dia} \\V &= 4380.9 \text{ m}^3\end{aligned}$$

El volumen que maneja esta laguna es de 4380.9 m<sup>3</sup>.

- Área de laguna

La altura por parámetro de diseño se establece en un rango de 1- 1.5 m por lo que se consideró la profundidad de la laguna de 1 m y el volumen en la **ecuación 82**.

$$\begin{aligned}Am &= \frac{V}{Z} \\Am &= \frac{4380.9 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} \\Am &= 4380.9 \text{ m}^2\end{aligned}$$

El valor de área de la laguna es de 4380.9 m<sup>2</sup>.

- Dimensionamiento

Largo

Se considera el ancho de la laguna facultativa para ahorrar gasto y se toma las mismas ecuaciones del dimensionamiento de las lagunas facultativas para el diseño de las lagunas de maduración siendo un ancho de 39 m y luego utilizamos en la **ecuación 63**.

$$L_{prom} = \frac{A_{prom}}{B_{prom}}$$

$$L_{prom} = \frac{4380.9 \text{ m}^2}{39 \text{ m}}$$

$$L_{prom} = 112.33 \text{ m}$$

El largo promedio de la laguna es de 112.33 m para el diseño.

Ancho superior

Con un talud 2:1 determinado en el manual de dimensionamiento de lagunas y la **ecuación 64**.

$$B_{sup} = B_{prom} + Z \text{ talud}$$

$$B_{sup} = 39 \text{ m} + (1 * 2 \text{ m})$$

$$B_{sup} = 41 \text{ m}$$

El resultado para el ancho superior es de 41 m.

Largo superior

El cálculo del largo superior de la laguna se toma en la **ecuación 65**.

$$L_{sup} = L_{prom} + Z \text{ talud}$$

$$L_{sup} = 112.33 \text{ m} + (1 * 2)$$

$$L_{sup} = 114.33 \text{ m}$$

El largo superior se establece en un valor de 114.33 m.

- Cálculo de área superficial

Para el cálculo del área superficial se toma en el largo y ancho superior en la **ecuación 66**.

$$A_{sup} = B_{sup} L_{sup}$$

$$A_{sup} = 41 \text{ m} * 114.33 \text{ m}$$

$$A_{sup} = 4687.5 \text{ m}^2$$

El área superficial para la laguna es de 4687.5 m<sup>2</sup>.

Ancho inferior

Para calcular en ancho inferior de la laguna es necesario aplicar la **ecuación 67**.

$$B_{inf} = B_{prom} - Z \text{ talud}$$

$$B_{inf} = 39 \text{ m} - (1 * 2\text{m})$$

$$B_{inf} = 37 \text{ m}$$

El ancho inferior en la laguna es de 37 m.

Largo inferior

El largo inferior se calcula con la **ecuación 68**.

$$L_{inf} = L_{prom} - Z \text{ talud}$$

$$L_{inf} = 112.33\text{m} - (1 * 2\text{m})$$

$$L_{inf} = 110.33 \text{ m}$$

Gasto en efluente

Se obtiene con los datos del área superficial de la laguna aso como el valor de la evaporación del agua en la **ecuación 69**.

$$Q_e = Q_i - 0.001 A_{sup} ev$$

$$Q_e = 438.09 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} - 0.001 (4687.5) * 0.0058$$

$$Q_e = 438.06 \frac{m^3}{dia}$$

El valor del gasto del efluente es de 4368.06 m<sup>3</sup>/día.

- Remoción de coliformes fecales

$$x = \frac{L_{prom}}{B_{prom}}$$

$$x = \frac{112.33m}{39m}$$

$$x = 2.88 m$$

Para el factor de decaimiento se utiliza a la **ecuación 70**.

$$d = \frac{2.88 m}{-0.26118 + 0.25392 (2.88 m) + 1.0136 (2.88 m)^2}$$

$$d = \frac{2.88}{-0.26118 + 0.73 + 8.41}$$

$$d = 0.224$$

El valor obtenido es de 0.324.

- Coeficiente de reducción bacteriana

Este parámetro se calcula mediante la **ecuación 71** y la temperatura propuesta al inicio.

$$Kb = 0.841 (1.075)^{T - 20}$$

$$Kb = 0.841 (1.075)^{6.8 - 20}$$

$$Kb = 0.324d^{-1}$$

El valor de la constante de reducción bacteriana es de 0.324.

- Constante “a”
- 

Esta constante al estar en relación con los coliformes fecales es la cual se utiliza la **ecuación 72**.

$$a = \sqrt{1 + 4 Kb * Trh * d}$$

$$a = \sqrt{1 + 4(0.224 d^{-1}) * 10 dia * 0.324}$$

$$a = 1.97$$

El valor de la constante a es de 2.33

- Coliformes fecales en la laguna de maduración

Para el cálculo de los coliformes fecales es necesario ocupar los valores de la constante “a” así como la constante de decaimiento en la **ecuación 73**.

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 a e^{(1 - a / 2 d)}}{(1 + a)^2}$$

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 (1.97) e^{(1 - (1.97) / 2 (0.224))}}{(1 + 1.97)^2}$$

$$\frac{Nf}{No} = 0.01176 * 62722.13 \frac{NMP}{mL}$$

$$\frac{Nf}{No} = 737.61 \frac{NMP}{mL}$$

El resultado de los coliformes fecales en la laguna de maduración es de 6773.99 NMP/mL.

- Coliformes fecales corregidos

Las correcciones de los coliformes fecales es necesario aplicar la **ecuación 74** así como los caudales con los que se tomó la iniciación del diseño para esta laguna.

$$Necorr = \frac{Ne Qi}{Qe}$$

$$Necorr = \frac{737.61 \frac{NMP}{mL} * 438.09 \frac{m^3}{dia}}{438.06 \frac{m^3}{dia}}$$

$$Necorr = 737.66 \frac{NMP}{mL}$$

- Concentración de la DBO<sub>5</sub> en la laguna

Para el cálculo de la constante kf es tomo a considerar la **ecuación 75**.

$$Kf = \frac{Kf10}{(1.085)^{10-T}}$$

$$Kf = \frac{0.12}{(1.085)^{10-T}}$$

$$Kf = \frac{0.12}{(1.085)^{45-6.8}}$$

$$Kf = 0.092428$$

El valor de la constante se determinó en 0.092428.

- DBO saliente

Para el cálculo de la concentración de DBOe se aplica a la ecuación **76**.

$$DBOe = \frac{DBOi}{Kf Trh + 1}$$

$$DBOe = \frac{44.8 - 71.28 \text{ mg/L}}{0.0924328 * 10 + 1}$$

$$DBOe = 23.28 \text{ mg/L}$$

La concentración que sale de la laguna es de 23.28 mg/L.

- Eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>

Una vez terminada se ve el porcentaje con la cual la laguna removió el DBO utilizando la **ecuación 77**.

$$\% = \frac{DBOi - DBOe}{DBOi} * 100$$

$$\% = \frac{71.28 \text{ mg/L} - 23.28 \text{ mg/L}}{71.28 \text{ mg/L}} * 100$$

$$\% = \mathbf{46.88\%}$$

El porcentaje de remoción del DBO<sub>5</sub> se estableció en un 46.88 % de remoción

- DBO corregida por evaporación

Para el cálculo de la se utilizará la **ecuación 78** así como los caudales iniciales y corregidos para esta laguna.

$$DBO_{corr} = \frac{Q_i DBO_e}{Q_e}$$

$$DBO_{corr} = \frac{438.09 \frac{m^3}{día} * -23.28 \quad mg/L}{4438.06 \frac{m^3}{día}}$$

$$DBO_{corr} = 23.29 \quad mg/L$$

La demande bioquímica de oxígeno el final del tratamiento y con la corrección por evaporación de agua se establece en los 23.29 mg/L.

#### 4.9 Eficiencia

Al finalizar todos los diseños podemos constatar que el sistema cumple con la función para la cual se planeó por lo que los parámetros que se tomaron en cuenta se corrigieron hasta tener valores que no superan los límites permisibles lo que se puede observar en la siguiente tabla, de tal manera que se puede establecer una eficiencia de 87.26 % del sistema de tratamiento propuesto, para lo cual se tomara un espacio de una hectárea, tomando en cuenta los límites permisibles del acuerdo al acuerdo ministerial 097-A.

**Tabla 4-13:** Eficiencia de la planta

Parámetros	Afluente	Efluente	Limite permisible
<b>DBO<sub>5</sub></b>	182.75 mg/L	23.29 mg/L	100 mg/L
<b>Coliformes Fecales</b>	7.567*10 <sup>6</sup> NMP/mL	736.66 NMP/mL	2000 NMP/mL
<b>DQO</b>	388.19 mg/L	49.46 mg/L	200 mg/L
<b>Solidos Suspendidos</b>	142.41 mg/L	99.69 mg/L	130 mg/L

Fuente: (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)

Realizado por: Zambrano F., 2023

#### 4.10 Resumen de resultados

- Dimensionamiento del canal

**Tabla 4-14:** Valores de diseño del canal

<b>Parámetros</b>	<b>Valores calculados</b>
Área del canal	0.008452 m <sup>2</sup>
Base del canal	0.3 m
Altura de canal	0.05 m
Altura total	0.5 m
Grosor del concreto	0.1 m

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Dimensionamiento de rejillas

**Tabla 4-15:** Valores de diseño de rejillas

<b>Parámetros</b>	<b>Valores calculados</b>
Ancho de barras	1.5 cm
Abertura o espaciamiento	2.5 cm
Pendiente con la vertical	45°
Longitud de barras	0.7 m
Numero de barras	7 barras
Grosor del concreto	0.1 m

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Dimensionamiento de la canaleta Parshall

**Tabla 4-16:** Valores de la canaleta Parshall

<b>Parámetros</b>	<b>Valores calculados</b>
Altura del resalto	0.1009 m
Altura de sección 2	0.05 m
Altura de sección 3	0.0112 m
Altura de sección 4	0.08 m
Ancho de garganta W	0.076 m
Grosor del concreto	0.1 m
A	0.466 m
B	0.457 m
C	0.178 m
D	0.259 m
E	0.381 m
F	0.152 m
G	0.305 m
K	0.025 m
N	0.057 m
R	0.41 m
M	0.3 m
X	0.02 m
Y	0.04 m

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Dimensionamiento del desarenador

**Tabla 4-17:** Valores de diseño de desarenador

<b>Parámetros</b>	<b>Valores calculados</b>
Área superficial	1.213 m <sup>2</sup>
Largo	2.5 m
ancho	0.5 m
Área transversal	0.5 m <sup>2</sup>
Altura	1 m
Altura de lodos	0.025 m
Longitud de transición de ingreso al desarenador	0.5 m
Grosor del concreto	0.1 m

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Dimensionamiento de la laguna anaerobia

**Tabla 4-18:** Valores de Dimensionamiento de laguna anaerobia

<b>Parámetros</b>	<b>Valores calculados</b>
Volumen de laguna	800.682 m <sup>3</sup>
Área de laguna	200.17 m <sup>2</sup>
Ancho prom	10 m
Largo prom	20 m
Ancho superior	14 m
Largo superior	24 m
Ancho inferior	6 m
Largo inferior	16 m

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Dimensionamiento de laguna facultativa

**Tabla 4-19:** Valores de diseño para laguna facultativa

<b>Parámetros</b>	<b>Valores calculados</b>
Área de la laguna facultativa	4573.92 m <sup>2</sup>
Volumen de la laguna	6860.88 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención hidráulico	15.66=16 día
Ancho prom	39 m
Largo prom	117.28 m
Ancho superior	42 m
Largo superior	120.28 m
Área superior	5051.76 m <sup>2</sup>
Ancho inferior	36 m
Largo inferior	114.28 m
Eficiencia de remoción de la DBO <sub>5</sub>	59.14 %
DBO corregida por evaporación	44.9 mg/L

Realizado por: Zambrano F., 2023

- Dimensionamiento de laguna de maduración

**Tabla 4-20:** Valores de diseño para laguna de maduración

<b>Parámetros</b>	<b>Valores calculados</b>
Tiempo de retención hidráulica	10 días
Volumen	4380.9 m <sup>3</sup>
Área	4380.9 m <sup>2</sup>
Ancho prom	39 m
Largo prom	112.33 m
Ancho superior	41 m
Largo superior	114.33 m
Área superior	4687.5 m <sup>2</sup>
Ancho inferior	37 m
Largo inferior	110.33 m
Eficiencia de remoción de la DBO <sub>5</sub>	46.88 %
DBOcorr	23.29 mg/L

**Realizado por:** Zambrano F., 2023

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Las aguas residuales iniciales que se tomaron del punto de descarga de los barrios EL Paraíso, San Sebastián, Llio, y San Jorge, en la caracterización de los parámetros físico, química, y microbiológicos al comparar con el acuerdo ministerial 097-A, Anexos de Normativa, se pudo determinar que los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos y Coliformes fecales son los que no cumplen con los límites permisibles para descarga de aguas residuales en cuerpos de agua dulce, teniendo valores de 182.75 mg/L, 388.19 mg/L, 142.41 mg/L, y  $7.567 \cdot 10^6$  NMP/100 MI respectivamente, mientras que los otros parámetros como pH, turbiedad fosfatos sulfatos, sólidos totales, cloruros no sobrepasan los límites permisibles.
- Se diseñó lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas residuales de los barrios EL Paraíso, San Sebastián, Llio, y San Jorge del cantón Chambo, además de las lagunas esta consta de otros elementos que ayudan al desempeño de estas como las rejillas, desarenador, y las lagunas mencionadas las cuales son la anaerobia, facultativa, y de maduración las que conforma todo el sistema de tratamiento, esto con una proyección de vida útil de 20 años, teniendo una eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales del 75.58 % con la implementación de todos los procesos mencionados.
- Se ejecutó los cálculos para el dimensionamiento de las lagunas de oxidación se tomó en parámetros que se obtuvieron con antelación en la caracterización de las aguas residuales, tomándolas como variables de diseño como el Caudal, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes fecales y sólidos suspendidos los más importantes para el diseño del sistema de tratamiento.
- Los equipos diseñados y que conformaran el sistema de tratamiento que tratara las aguas residuales domesticas de los barrios, EL Paraíso, San Sebastián, Llio, y San Jorge se realizaron con cálculos de ingeniería obtenidos en la carrera por lo que se tomaron para cada quipo y su respectivo diseño ocupando una superficie total de 1 hectárea de terreno para su implementación.

## 5.2 Recomendaciones

- Buscar la implementación de la planta de tratamiento mediante lagunas de oxidación por parte del municipio de Chambo para que este pueda reducir los impactos del agua residual doméstica que es descargada en el río “Chambo”.
- La infraestructura que confirma la planta de tratamiento de aguas residuales propuesto debe tener un mantenimiento constante en lapsos de tiempo establecidos para que su operación no se vea afectada.
- Utilizar de formas alternativas los lodos acumulados de la planta de tratamiento, teniendo como opciones como el mejoramiento del suelo por medio del acondicionamiento de los lodos, o su utilización para rellenos sanitarios.
- La limpieza de externa es importante porque puede ser la causa de averías y obstrucciones en el sistema por lo que se recomienda a ver una limpieza periódica para evitar estos inconvenientes.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACUERDO MINISTERIAL MINISTERIO DE AMBIENTE 97-A.** [en línea]. 2015 [consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf).

**ALCAZAR, L.M.** *Técnicas de mitigación de olores en plantas de aguas residuales domesticas: una revisión sistemática.* 2021 [en línea], [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/83430>.

**AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1999. S.l.

**APAZA, C. & KARIN, G.** Resistencia a antibióticos ya metales pesados en bacterias coliformes aisladas de la laguna de oxidación Espinar de la ciudad de Puno. 2017 [en línea], [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_8497721a7eb839c05cbaabaca42d68d3](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_8497721a7eb839c05cbaabaca42d68d3).

**ARÉVALO, M.** Análisis espacial-temporal de procesos relacionados con concentraciones de oxígeno disuelto en lagunas de maduración. *publicaciones.ucuenca.edu.ec* [en línea], 2017 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1550>.

**ARIAS, A.** Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *scielo.org.co* [en línea], 2017, vol. 15, [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe/v15nspea04.pdf>.

**BENITO, B. & EDER, C.** DE LAS DIMENSIONES DE LAS ZANJAS PARA EL DISEÑO DE INFILTRACIÓN, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICA [en línea], 2020 [consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3357>.

**CASTILLO, N.; et al.** Uso de humedales artificiales para el tratamiento de efluentes de ganado porcino: Revisión de Literatura. [en línea], 2021 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6772>.

**CATAÑO, M.** Determinación de caudales de diseño y la sostenibilidad de proyectos de alcantarillado en zonas rurales, departamento de Apurímac, periodo 2019-2020. [en línea], 2021 [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65795>.

**CONTRERAS, C.** Optimización de la herramienta de medición utilizada en el método volumétrico para la cuantificación de metano a través del uso de estrategias de instrumentación. [en línea], 2020, [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/6944>.

**CORTÉS, F.; et al.** *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*. S.l.: 2017. ISBN 9786079368579.

**DE LA CRUZ VEGA, S.; et al.** Diseño de canaleta Parshall. *dialnet.unirioja.es* [en línea], 2022, vol. 3, [consulta: 25 abril 2023]. ISSN 2697-3650. DOI 10.47460/minerva.v3i7.53. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8422804>.

**ENERGÍA A.R.** Módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID. *revistas.utm.edu.ec* [en línea], 2019, vol. 4, no. 2, [consulta: 27 abril 2023]. ISSN 2588-0721. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2196>.

**ESTACIO, J.** Análisis hidráulico del flujo en un desarenador para la Central Hidroeléctrica de Huantán. [en línea], 2022 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18727>.

**ESTEPA, R. & GUATO, E.** *Proyecto de acreditación del Departamento de Control de Calidad del Agua–EPMAPS en muestreo de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito*. [en línea], 2022 [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26530>.

**FAIFE, E.; et al.** Revisión sistemática: Disminución de fosfatos en cuerpos de agua para reducir la eutrofización. [en línea], 2021 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72875>.

**FEIBLES, J.** Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. *redalyc.org* [en línea], 2010 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46715068006.pdf>.

**GIRALDO.** Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. *revistas.uniandes.edu.co* [en línea], 2021 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.16924/riua.v0i14.538>.

**GUALLPA, M.; et al.** Efecto del coeficiente teórico de descarga de vertederos sobre la medición de caudales en pequeños ríos Andinos. *scielo.senescyt.gob.ec* [en línea], 2022, vol. 36, no. 2, [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S139085962022000200075&script=sci\\_arttext](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S139085962022000200075&script=sci_arttext).

**GUEVARA, E.J.** Influencia de la longitud de diseño del sistema de drenaje tipo horizontal para un modelamiento físico bidimensional en presas de material homogéneo no cohesivo y. *revistas.uss.edu.pe* [en línea], 2018, vol. 10, no. 2, [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/829>.

**GUEVARA, J.J.; et al.** Efecto de la temperatura y del pH sobre el crecimiento de Pseudomonas aeruginosa MBLA-04 en solución mínima de sales con detergente Ace. *revistas.unitru.edu.pe* [en línea], 2013 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbciol/article/view/167>.

**HERLIS, B. & VARGAS, S.H.** Construcción y evaluación de un hidrociclón para la remoción de arenas residuales en el desarenador en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totora”. [en línea], 2019 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3421>.

**HERNÁNDEZ, A. & MORENO, J.C.** Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *rinderesu.com* [en línea], 2018, vol. 2, no. 1, [consulta: 30 abril 2023]. ISSN 2500-7211. Disponible en: <http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/27>.

**HIGUERA S.M.** Caracterización de tecnologías aplicadas al tratamiento de agua residual industrial textil. *revistas.unilibre.edu.co* [en línea], 2018, vol. 2, [consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/5770>.

**JORDAN, J.C.** Determinación de la efectividad entre los métodos de Lagunas de Estabilización aerobias y anaerobias para la reducción de Materia Orgánica. [en línea], 2022, [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/2599>.

**GATTORNO.** Vista de Comportamiento de la estratificación térmica en una laguna de estabilización facultativa. *Agua, Saneamiento & Ambiente* [en línea], 2019, vol. 14, [consulta: 24 abril 2023]. ISSN 2222 2499. Disponible en: <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1208/804>.

**LÁZARO, V.** Monitoreo de dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno generados por las lagunas de oxidación del barrio San Luis. *dicyt.uajms.edu.bo* [en línea], 2020 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/odontologia/article/view/79>.

**LOPEZ, D.** Mejora del proceso de fabricación de una planta de tratamiento de agua residual doméstica bajo el enfoque de PMBOK. [en línea], 2021 [consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28944>.

**MARQUINA, F.Q.** Calidad ambiental y tratamiento de agua de quebradas destinadas al consumo humano: una revisión sistemática. [en línea], 2020 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26201>.

**MARTINEZ, P.** SEPARATA DE PROBLEMAS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS TEMA : MEDIDORES PARSHALL. [en línea], 2019 [consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: [www.ingenieriahidraulica.net.pe](http://www.ingenieriahidraulica.net.pe).

**MENDEZ, J.P.** FORMULACION DE ALTERNATIVAS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y OPTIMIZACION DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION EN EL MUNICIPIO DE CURUMANI. [en línea], 2019 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/1969>.

**MOLINA, ROLANDO; et al.** RECOMENDACIONES SOBRE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL Y PROCEDIMIENTOS CLÍNICOS ODONTOLÓGICOS EN CONTEXTO. *repositoriobibliotecas.uv.cl* [en línea], [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: [http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/6611/tesisC%C3%A1rdenas\\_noaccesible\\_.pdf?sequence=1](http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/6611/tesisC%C3%A1rdenas_noaccesible_.pdf?sequence=1).

**MORALES, G.** Muestreo y Calidad del Agua. *fondoeditorialfk.org* [en línea], 2023, vol. 10, no. 1, [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: <https://www.fondoeditorialfk.org/index.php/fondoeditorial/article/view/35>.

**MORA, E. & MORALES, N.** Diseño hidráulico de un sistema de tratamiento secundario tomando en cuenta la calidad del agua de las aguas residuales domésticas del barrio San Bernardino de. [en línea], 2022 [consulta: 14 junio 2023]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/27869>.

**NIAMA, G.** Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el barrio en El Carmen en el cantón Chambo. [en línea], 2016 [consulta: 11 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6513>.

**OME, Ó. & ZAFRA, C.** Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales. Una revisión. *UDCA Actualidad & Divulgación Científica* [en línea], 2018, vol. 21, no. 2, [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262018000200573](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262018000200573).

**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.** GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES. 2005.

**PACHECO, M.; et al.** Eficiencia de los métodos para el tratamiento de aguas residuales de la industria pesquera: Revisión sistemática. [en línea], 2022 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/105014>.

**PAREDES, G., & TORRES, C.** Impacto de reducir la deriva máxima de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) en las secciones transversales de vigas y columnas de edificios de hormigón. [en línea], 2021 [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/11498>.

**PEDROZA, E.** El molinete, importancia, fundamentos y buenas prácticas. [en línea]. 2017 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/molinete/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/molinete/files/assets/common/downloads/publication.pdf).

**POLETTE, S.; et al.** *EFICIENCIA DE LA MICROALGA *Chlorella* sp. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE MANTA.* [en línea], 2017 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/98>.

**RAMOS, Y.; et al.** Revisión sistemática: *eficiencia de las tecnologías del tratamiento de aguas residuales domésticas en los últimos 10 años.* [en línea], 2017 [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/77671>.

**REGISTRO OFICIAL ACUERDOS MINISTERIO DEL AMBIENTE 0.83-B, 0.97-A, 140 .** [en línea]. 2015 [consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf).

**RIVERA, M.** *La calidad de las aguas residuales domésticas.* [dialnet.unirioja.es](http://dialnet.unirioja.es) [en línea], vol. 6, no. 3, 2021 [consulta: 27 abril 2023]. DOI 10.23857/pc.v6i3.2360. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>.

**RODRÍGUEZ, W.** *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el cantón Chambo – provincia de Chimborazo.* [en línea]. S.l.: 2015. [consulta: 5 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/4738>.

**ROMAN A.** Coeficiente de Retorno | PDF | Aguas residuales | Población. [en línea]. [consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/351473131/Coeficiente-de-Retorno>.  
**SÁENZ, R.-J.C.,** 2018. Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema anaerobio para comunidades rurales. *investigacion.utmachala.edu.ec* [en línea], vol. 2, no. 1, [consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/336>.

**SAN, D.; et al.** Propiedad de aguas y adaptación: el Canal de Las Mercedes, Chile 1967-1981. [en línea], 2021 [consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/26676>.

**SÁNCHEZ, J.; et al.** *Estudio del porcentaje de eficiencia de la remoción de arenas en desarenadores de flujo horizontal construidos respecto a teorías de diseño.* [en línea], 2018 [consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1337&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1337&context=ing_civil).

**SÁNCHEZ, P. & CHAMPI, L.** Revisión Sistemática: compuestos odorantes emitidos en el tratamiento de aguas residuales, y su efecto en la salud comunitaria. *revistas.cientifica.edu.pe* [en línea], 2021 [consulta: 30 abril 2023]. DOI 10.21142/SS-0101-2020-004. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64900>.

**SÁNCHEZ, R.** Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *scielo.senescyt.gob.ec* [en línea], 2018, vol. 27, no. 1, [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-85962018000100103&script=sci\\_arttext](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-85962018000100103&script=sci_arttext).

**SANTA, L.** Análisis de factibilidad para el reúso de aguas servidas tratadas con aplicación en riego en Chile. [en línea], 2022 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186624>.

**SIERRA, M. & GALINDO, R.** Determinación del coeficiente de retorno para el diseño de alcantarillado sanitario a través del monitoreo en tiempo seco de la cuenca “la chivera” en la ciudad San. [en línea], 2020 [consulta: 7 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/4551>.

**TALLEDO, R. & ESPEJO, L.** Uso de micro/nanoburbujas para el tratamiento de efluentes contaminados: una revisión sistemática y metaanálisis. [en línea], 2021 [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91229>.

**URRIZA.** Expansión urbana en ciudades intermedias de crecimiento demográfico bajo: el caso de Bahía Blanca, Argentina. *upcommons.upc.edu* [en línea], 2018 [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/134596>.

**VALDIVIESO, A.** ¿Qué es un tratamiento terciario de aguas residuales? | iAqua. [en línea]. 2022 [consulta: 13 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-tratamiento-terciario-aguas-residuales>.

**VALDIVIESO, J.** De remoción de contaminantes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de tipo anaeróbica, que trata un caudal medio diario (q cmd) de 25 m<sup>3</sup> [en línea], 2019 [consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: [https://www.lareferencia.info/vufind/Record/EC\\_78c93f49712e335f99c58c6cb75afa05](https://www.lareferencia.info/vufind/Record/EC_78c93f49712e335f99c58c6cb75afa05).

**VÁZQUEZ, F.** Lagunas de estabilización. [en línea], 2019 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/48188>.

**VEGA, M.** Calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa, México. *scielo.org.mx* [en línea], 2019, vol. 37, no. 2, [consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792019000200185&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792019000200185&script=sci_arttext).

**VENTURA, C. & VELA, D.** Evaluación de la variación de los parámetros para agua residual doméstica, en la interacción de macrofitas en una laguna de oxidación en el distrito de Soritor. [en línea], 2015 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/255>.

**ZEGARRA, V.; et al.** Revisión sistemática: Disminución de fosfatos en cuerpos de agua para reducir la eutrofización. [en línea], 2021 [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72875>.



## ANEXOS

### ANEXO A: DATOS ADICIONALES DE LA ARENA

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	2.65
Gravedad	cm/s <sup>2</sup>	980

Fuente: (Paola Sanchez Gutierrez et al. 2018)

Realizado por: Zambrano F., 2023

### ANEXO B: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATM

Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-6</sup>
6	999	1.4716
5	1000.0	1.519
10	999.7	1.306
15	999.1	1.139
20	998.2	1.003
25	997.0	0.893

Fuente: (San et al. 2021)

Realizado por: Zambrano F., 2023

### ANEXO C: TÍPICOS VALORES COEFICIENTE MANNING

Materia	Coefficiente de Manning (n)
Asbesto – Cemento	0.012
Concreto Simple	0.013
Vidrio (laboratorio)	0.011
Madera (duelas)	0.012
Concreto (cimbra madera)	0.015
Plástico (PVC)	0.009
Latón	0.011
Cobre	0.011
Concreto (cimbra metálica)	0.011
Hierro fundido	0.012
Acero Corrugado	0.012

Fuente: (Sáenz 2018)

Realizado por: Zambrano F., 2023

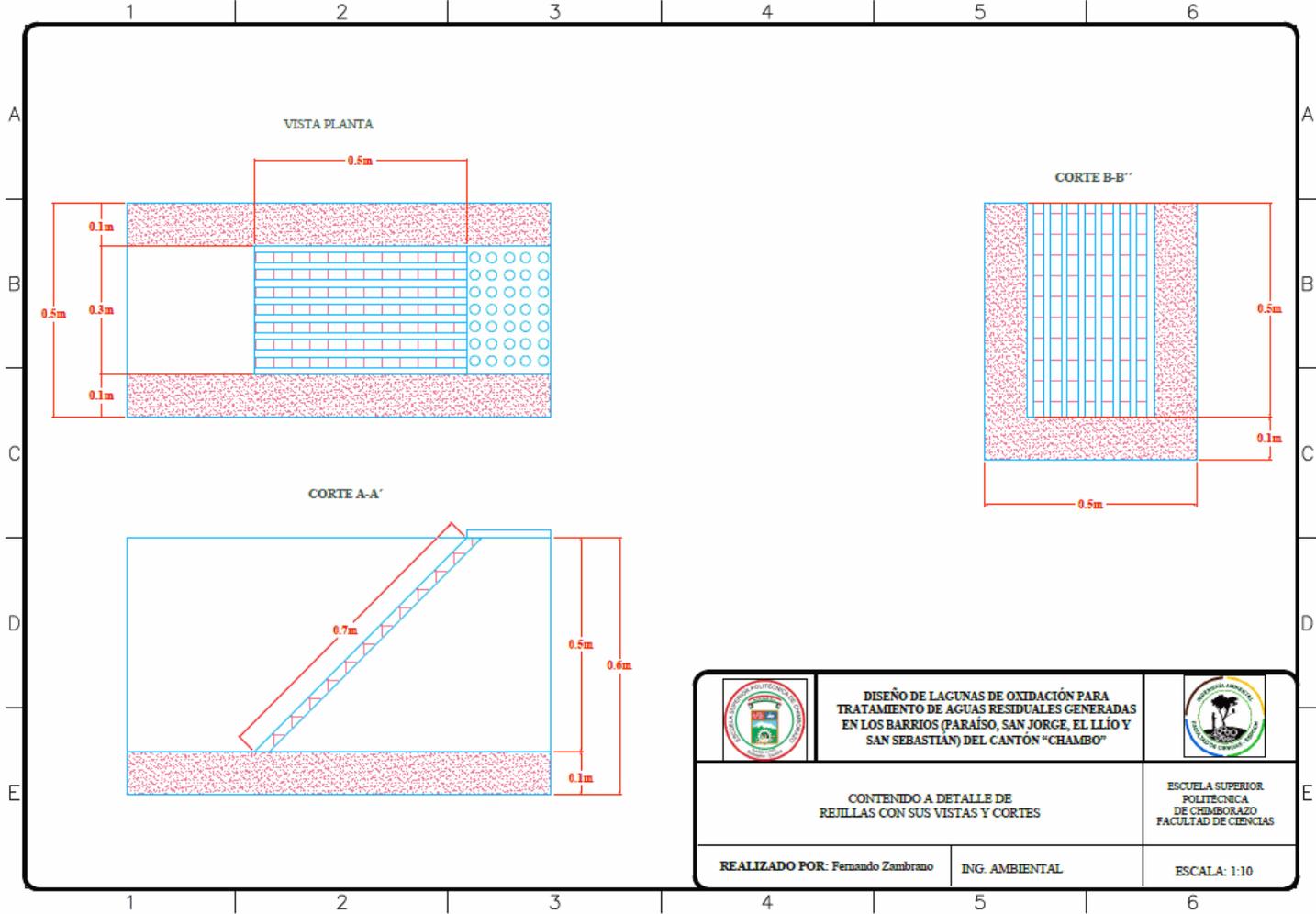
**ANEXO D: VARIABLES DIMENSIONALES DEL CANAL PARSHALL**

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
25.4	363	242	356	93	167	229	76	203	19	-----	29	-----	-----	8	13
50.8	414	276	406	135	214	254	114	254	22	-----	43	-----	-----	16	25
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	-----	57	-----	-----	25	36
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	487	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
0.3048	1.372	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.610	0.914	0.076	0.318	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.448	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.610	0.914	0.076	0.318	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.524	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.610	0.914	0.076	0.318	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9114	1.676	1.118	1.645	1.219	1.572	0.911	0.610	0.914	0.076	0.318	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.829	1.219	1.974	1.524	1.937	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076
1.5240	1.981	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.134	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	.286	1.524	2.242	2.438	3.032	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.3484	2.438	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.7432	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152	-----	0.343	-----	-----	0.305	0.229
3.6580	3.0480	2.032	4.877	4.480	5.607	1.524	0.914	2.438	0.152	-----	0.343	-----	-----	0.305	0.229
4.5720	3.5052	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.229	-----	0.457	-----	-----	0.305	0.229
6.0960	4.2672	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305	-----	0.686	-----	-----	0.305	0.229
7.6200	5.0292	3.353	7.620	8.941	10.668	2.134	1.829	3.962	0.305	-----	0.686	-----	-----	0.305	0.229
9.1440	5.7912	3.861	7.925	10.566	12.131	2.134	1.829	4.267	0.305	-----	0.686	-----	-----	0.305	0.229
12.1920	7.3152	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305	-----	0.686	-----	-----	0.305	0.229
15.2400	8.8392	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.96	0.305	-----	0.686	-----	-----	0.305	0.229

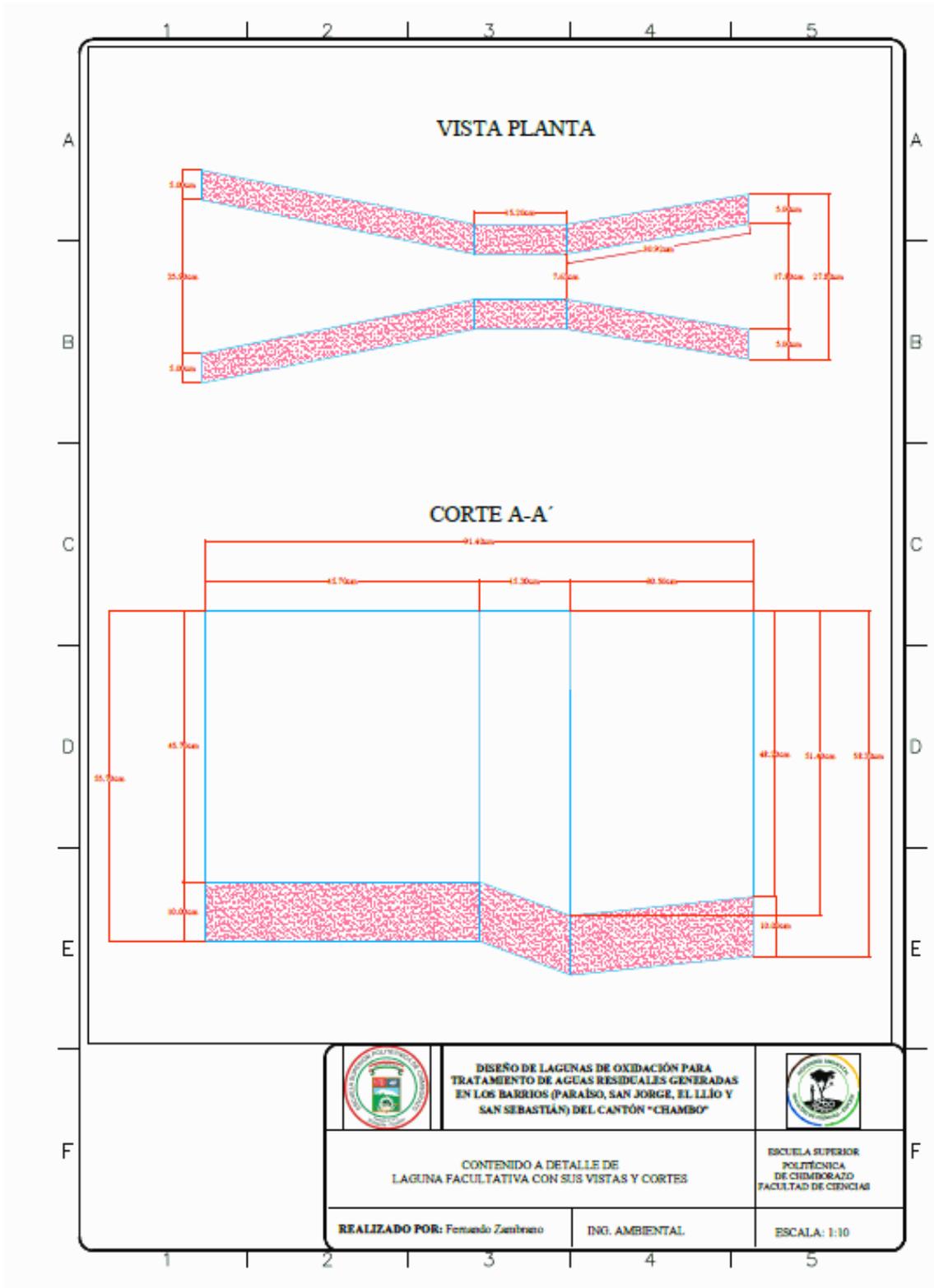
Fuente: (Oliveras, 2016)

Realizado por: Zambrano F., 2023

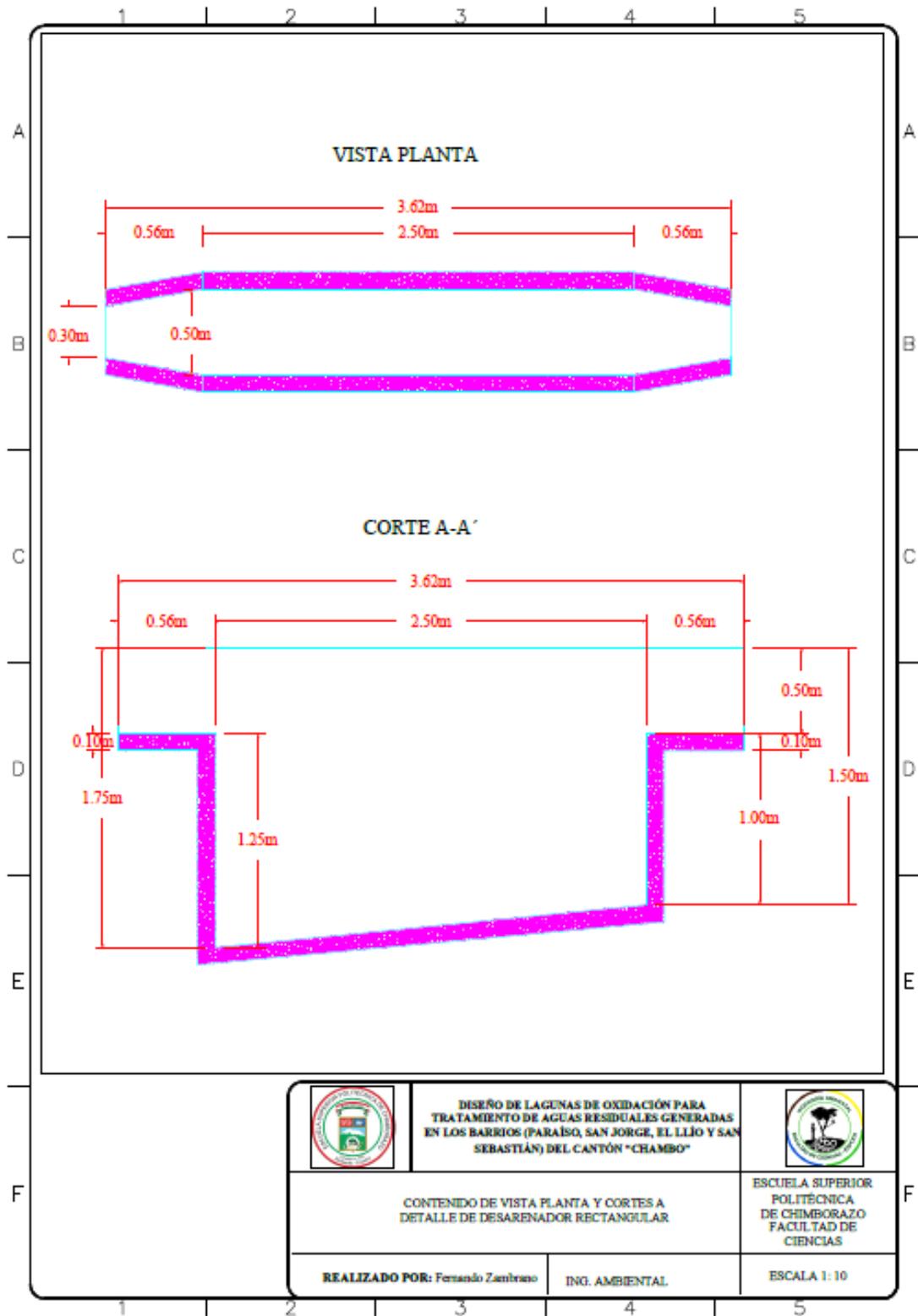
**ANEXO E: DIMENSIONAMIENTO REJILLAS**



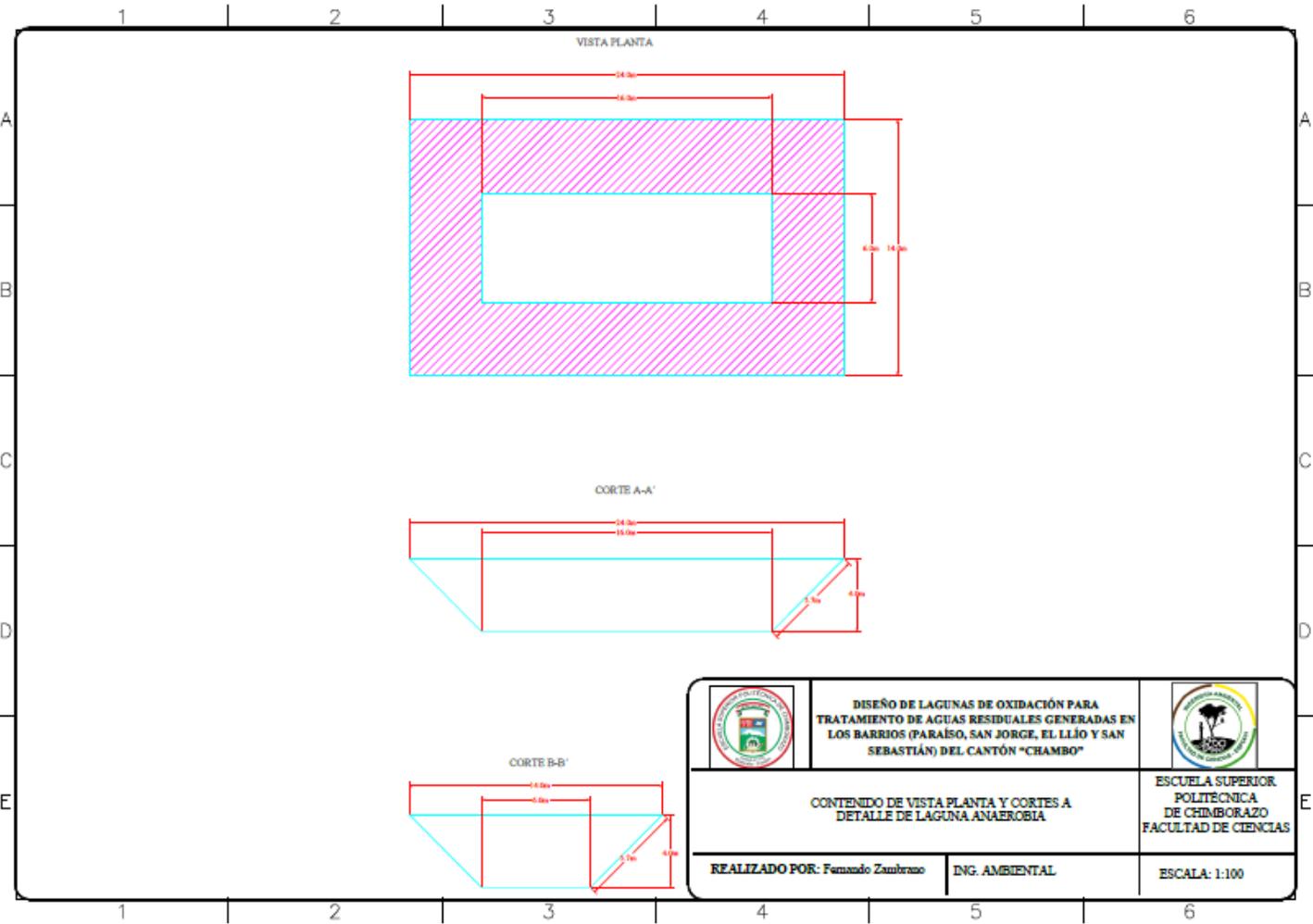
**ANEXO F: DIMENSIONAMIENTO CANAL PARSHALL**



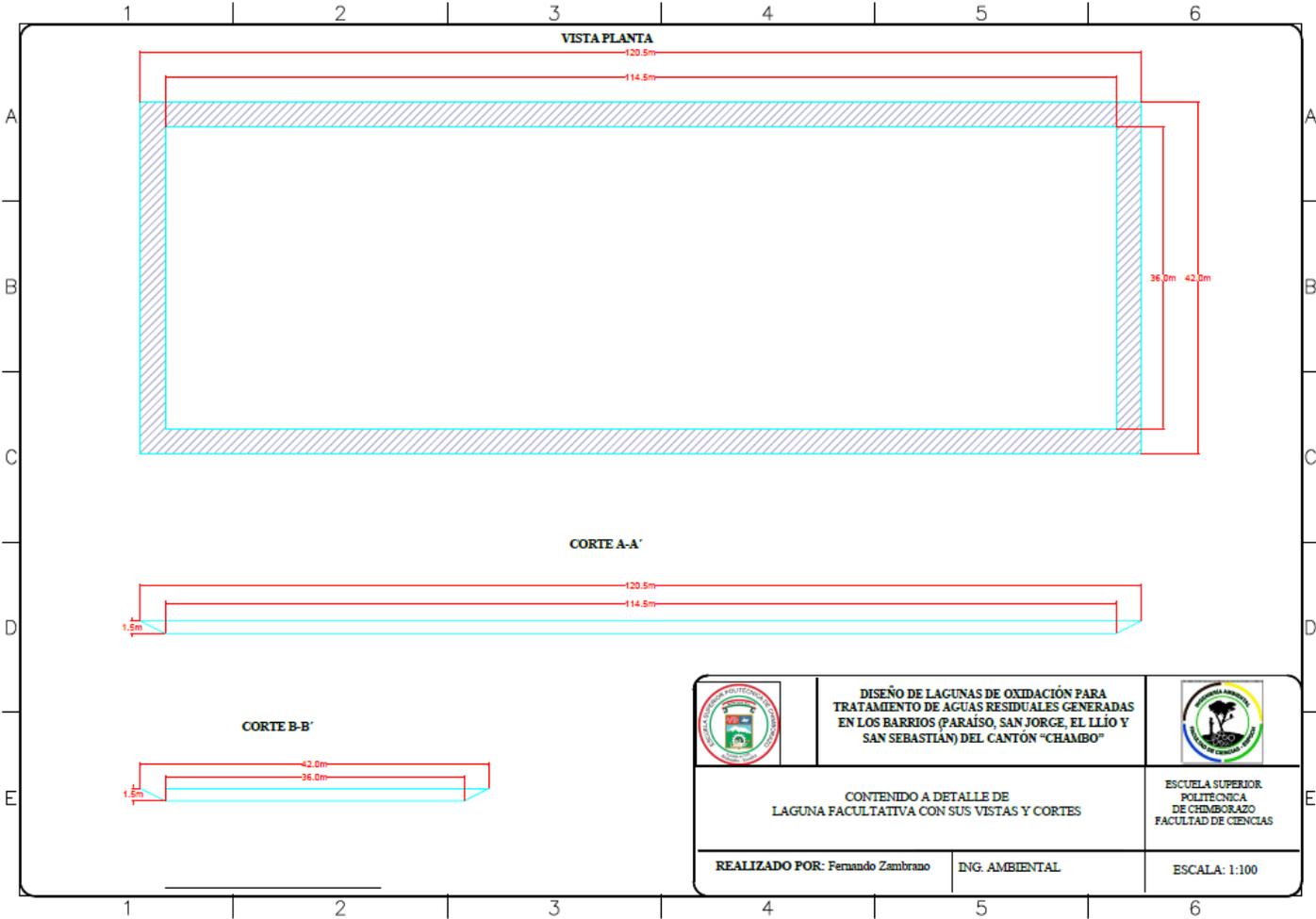
**ANEXO G: DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR**



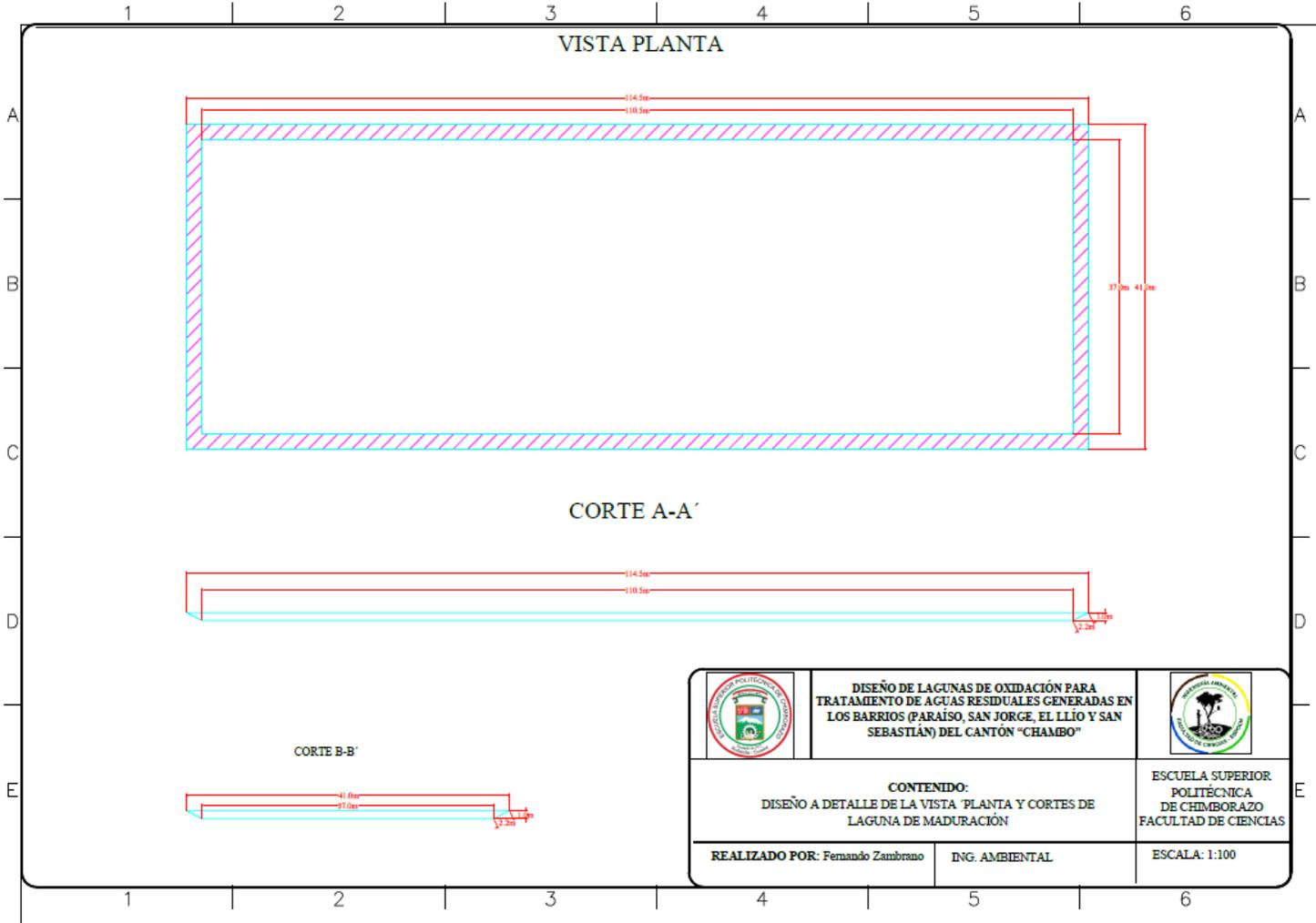
**ANEXO H: DIMENSIONAMIENTO LAGUNA ANAEROBIA**



**ANEXO I: DIMENSIONAMIENTO LAGUNA FACULTATIVA**



**ANEXO J: DIMENSIONAMIENTO LAGUNA DE MADURACIÓN**





**epoch**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 20/ 09 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Fernando René Zambrano Quihuiuri
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1669-DBRA-UPT-2023

