



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SANTIAGO DE CALPI -  
CANTÓN RIOBAMBA – PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:  
INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: LAURA LILIBETH ENRÍQUEZ COLIMBA**

**TUTORA: ING. MÓNICA ANDRADE ÁVALOS**

Riobamba – Ecuador

2015

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**El tribunal del proyecto** certifica que: El Trabajo de Titulación de un “**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SANTIAGO DE CALPI - CANTÓN RIOBAMBA – PROVINCIA DE CHIMBORAZO**” de responsabilidad de la señorita Laura Lilibeth Enríquez Colimba ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, quedando autorizado su presentación.

**NOMBBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Mónica Andrade Ávalos

**DIRECTORA DE TRAB. TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Danielita Borja

**COLAB. DEL TRAB. TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

DOCUMENTALISTA

**SISBIB ESPOCH**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, Laura Lilibeth Enríquez Colimba, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos, y el patrimonio intelectual del Proyecto de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

---

Laura Lilibeth Enríquez Colimba

## DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi papi Fausto quien amo, admiro y respeto, tú confiaste ciegamente en mí desde el primer instante que decidí estudiar la carrera de Ingeniería Química teniendo presente lo difícil que sería para ustedes en casa y para mi vivir lejos de tu nido.

Mi mami Laura que desde muy pequeña me enseñó a ser fuerte y enfrentar todos los problemas sin dejarse vencer de ellos y salir airoso de todos los obstáculos que se presenten en el camino de la vida.

Mi hermano Alejito que supo entender que mi ausencia de casa seria por poco tiempo y me brindaba su cariño y afecto cuando lo necesitaba, regalándome una sonrisa y llenándome de fortaleza para seguir adelante.

Mi Byron fuiste parte de mi crecimiento universitario y personal siempre estuviste cuidándome, alentándome; decías “lucha por lo que viniste, no renuncies, no regreses a casa sin tu profesión” palabras que jamás olvidaré.

Mis amigos y compañeros que siempre me brindaron su ayuda en todo momento, risas, tristezas, locuras fueron parte del día a día de este sueño cumplido.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por permitirme ver la luz del sol todos los días, regalándome el privilegio de la vida. El amigo incondicional que nunca abandona y que siempre está dispuesto a escucharme.

A mis padres que han sido el motor de mi vida; apoyo incondicional en aciertos y desaciertos, ustedes que me enseñaron que hay q luchar por los sueños y sobre todo me inculcaron buenos valores para ser una mujer de bien.

A mi hermano que es mi razón de superación día tras día.

A la Escuela de Ingeniería Química, de manera especial mi agradecimiento infinito a la Ing. Mónica Andrade y a la Ing. Danielita Borja quienes me colaboraron con sus conocimientos y profesionalismo para la realización de mi proyecto de investigación.

A la Junta Parroquial de Santiago de Calpi quienes permitieron que la investigación de mi proyecto sea posible. De manera especial al Lcdo. Antonio Jurado Presidente de la Junta Parroquial, por su paciencia y comprensión durante el tiempo de investigación.

## ABREVIATURAS

<b>A</b>	Área
<b><math>\delta</math></b>	Ángulo de inclinación de las barras
<b>hr</b>	Altura de reparto
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>w</b>	Ancho asumido
<b>h</b>	Altura del agua en el canal
<b>b</b>	Base del canal
<b>Cs</b>	Carga Superficial
<b>CEPIS</b>	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
<b>Q</b>	Caudal
<b>Qe</b>	Caudal del efluente
<b>Qw</b>	Caudal de fango purgado
<b>k</b>	Coefficiente de Manning
<b>So</b>	Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el afluente
<b>S</b>	Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente
<b>kd</b>	Coefficiente de degradación endógena
<b>X</b>	Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles
<b>Xw</b>	Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el tanque de aireación
<b>C vertedero</b>	Carga sobre el vertedero
<b>COV</b>	Carga volumétrica del digestor
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno
<b>D</b>	Diámetro
<b>Ec.</b>	Ecuación
<b>E</b>	Eficiencia
<b><math>\beta</math></b>	Factor dependiente de la forma de las barras
<b>F</b>	Factor de mayorización

<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramos por metro cúbico
<b>L/s*Ha</b>	Litros por segundo por Hectárea
<b>m</b>	Metros
<b>m/s</b>	Metros por segundo
<b>mg/L</b>	Miligramos por Litro
<b>mgSSV/mgDBO<sub>5</sub></b>	Miligramos de Sólidos Suspendidos Volátiles por Miligramos de Demanda Bioquímica de Oxígeno
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>OD</b>	Oxígeno Disuelto
<b>Px</b>	Producción diaria neta del fango activado
<b>Yobs</b>	Producción observada del fango
<b>Pw</b>	Potencia necesaria para cada soplante
<b>RH</b>	Radio Hidráulico
<b>F/M</b>	Relación Alimento por Microorganismo
<b>SST</b>	Sólidos Suspendidos Totales
<b>SS</b>	Sólidos en Suspensión
<b>Trh</b>	Tiempo de retención hidráulica
<b><math>\theta_c</math></b>	Tiempo medio de retención celular
<b>TULAS</b>	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario
<b>UFC/100ml</b>	Unidades Formadoras de Colonias/cien mililitros
<b>v</b>	Velocidad de flujo
<b>Vc</b>	Velocidad terminal
<b>Vi</b>	Volumen de cada muestra individual de la muestra compuesta
<b>hab</b>	Habitantes
<b>L sed1</b>	Longitud del Sedimentador 1

## CONTENIDO

EL TRIBUNAL DEL PROYECTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ABREVIATURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN .....	xviii
SUMMARY .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Agua Residual.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1 Características de las Aguas Residuales .....</b>	<b>5</b>
1.1.1.1 <i>Características Físicas.....</i>	5
1.1.1.2 <i>Características Químicas .....</i>	6
1.1.1.3 <i>Características Biológicas .....</i>	7
<b>1.2 Tratamiento de Aguas Residuales.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.1 Proceso del Tratamiento de Aguas Residuales .....</b>	<b>9</b>
1.2.1.1 <i>Pretratamiento .....</i>	9
1.2.1.2 <i>Tratamiento Primario.....</i>	10
1.2.1.3 <i>Tratamiento Secundario .....</i>	11
1.2.1.4 <i>Tratamiento Terciario .....</i>	12
1.2.1.5 <i>Tratamiento de Lodos.....</i>	14
<b>1.3 Población de diseño .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1 Población Actual .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2 Consumo de Agua o Caudal de Diseño .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.3 Rejillas .....</b>	<b>19</b>
1.3.3.1 <i>Rejillas de Limpieza Manual .....</i>	20
1.3.3.2 <i>Diseño del canal.....</i>	20
<b>1.3.4 Sedimentación .....</b>	<b>26</b>
1.3.4.1 <i>Tanques de Sedimentación .....</i>	26
1.3.4.2 <i>Consideraciones de Diseño .....</i>	28

<b>1.3.5</b>	<b><i>Lodos Activados</i></b> .....	34
1.3.5.1	<i>Principales Microorganismos del Fango Activo</i> .....	34
1.3.5.2	<i>Técnicas de Aireación</i> .....	36
1.3.5.3	<i>Consideraciones de Diseño</i> .....	36
<b>1.3.6</b>	<b><i>Sedimentación Secundaria</i></b> .....	42
1.3.6.1	<i>Consideraciones del Diseño</i> .....	44
<b>1.3.7</b>	<b><i>Desinfección</i></b> .....	47
1.3.7.1	<i>Química de la Cloración</i> .....	47
1.3.7.2	<i>Propiedades de los productos del cloro</i> .....	48
1.3.7.3	<i>Consideraciones de Diseño</i> .....	48
<b>1.3.8</b>	<b><i>Lecho de Secado</i></b> .....	50
1.3.8.1	<i>Diseño del lecho de Secado</i> .....	50
<b>1.4.1</b>	<b><i>Constitución de la República del Ecuador</i></b> .....	52
<b>1.4.2</b>	<b><i>Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente.</i></b> .....	53
<b>1.4.3</b>	<b><i>Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales.</i></b> .....	54
<b>1.4.5</b>	<b><i>Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)</i></b> .....	54
<b>1.4.6</b>	<b><i>Otras Normas</i></b> .....	55
<b>CAPITULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	56
<b>2.1</b>	<b>Localización y Duración del estudio</b> .....	56
<b>2.2</b>	<b>Muestreo</b> .....	57
<b>2.3</b>	<b>Plan de Muestreo</b> .....	57
<b>2.4</b>	<b>Sistema de Toma de muestras</b> .....	57
<b>2.5</b>	<b>Metodología</b> .....	58
<b>2.5.1</b>	<b><i>Reconocimiento del lugar de investigación</i></b> .....	58
<b>2.5.2</b>	<b><i>Determinación del Caudal</i></b> .....	58
<b>2.5.3</b>	<b><i>Métodos y Técnicas</i></b> .....	59
2.5.4.1	<i>Métodos</i> .....	59
2.5.4.2	<i>Técnicas</i> .....	60
<b>2.6</b>	<b>Datos Experimentales</b> .....	64
<b>2.6.1</b>	<b><i>Diagnóstico</i></b> .....	64
<b>2.6.2</b>	<b><i>Caracterización de las Aguas Residuales</i></b> .....	65
<b>2.6.3</b>	<b><i>Datos del Monitoreo del Caudal</i></b> .....	68

### CAPÍTULO III

<b>3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	75
<b>3.1 Dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual para la Parroquia Santiago de Calpi.</b> .....	75
<b>3.1 Cálculos</b> .....	75
<b>3.1.1 Población de Diseño</b> .....	75
<b>3.1.2 Caudal de Diseño</b> .....	76
<b>3.1.3 Cálculos para el Canal</b> .....	78
<b>3.1.4 Cálculos para las Rejillas</b> .....	79
<b>3.1.5 Cálculos para el Sedimentador Primario</b> .....	82
<b>3.1.7 Cálculos para el Sedimentador Secundario</b> .....	90
<b>3.1.8 Cálculos para el Tanque de Desinfección</b> .....	94
<b>3.1.9 Cálculos para el Diseño del Lecho de Secado</b> .....	96
<b>3.2 Resultados</b> .....	98
<b>3.2.1 Medición del Caudal</b> .....	98
<b>3.2.2 Tratamiento del agua residual</b> .....	102
3.2.2.1 <i>Resultado de la caracterización del tratamiento</i> .....	102
<b>3.2.3 Población de Diseño</b> .....	105
<b>3.2.4 Caudal de Diseño</b> .....	106
<b>3.2.5 Resultados del Dimensionamiento de la Planta de TAR.</b> .....	106
3.2.5.1 <i>Canal de Aguas Residuales</i> .....	106
3.2.5.2 <i>Rejillas para el Canal</i> .....	106
3.2.5.3 <i>Sedimentador circular primario para aguas residuales</i> .....	107
3.2.5.4 <i>Sistema de Lodos Activados</i> .....	108
3.2.5.5 <i>Sedimentador Secundario</i> .....	109
3.2.5.6 <i>Tanque de Desinfección</i> .....	109
3.2.5.7 <i>Lecho de Secado</i> .....	110

### CAPÍTULO IV

<b>4. PROPUESTA</b> .....	113
<b>CONCLUSIONES</b> .....	120
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	121
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Contaminantes de importancia de Aguas Residuales .....	8
<b>Tabla 2-1:</b> Valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbana.....	8
<b>Tabla 3-1:</b> Objetivos de los procesos de Pre-tratamiento .....	9
<b>Tabla 5-1:</b> Operaciones o procesos unitarios según el nivel de tratamiento de aguas .....	12
<b>Tabla 6-1:</b> Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual.....	13
<b>Tabla 7-1:</b> Fuente de sólidos y de lodos en el TAR.....	14
<b>Tabla 8-1:</b> Población institucional del área de estudio cabecera cantonal datos obtenidos de las encuestas socio-económicas.....	15
<b>Tabla 9-1:</b> Parámetros para la población actual.....	16
<b>Tabla 10-1:</b> Dotaciones Recomendadas .....	17
<b>Tabla 11-1:</b> Parámetros para el dimensionamiento de rejillas .....	19
<b>Tabla 12-1:</b> Valores típicos de coeficientes de Rugosidad .....	22
<b>Tabla 13-1:</b> Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria.....	28
<b>Tabla 14-1:</b> Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario.....	29
<b>Tabla 15-1:</b> Velocidades terminales a caudal medio .....	30
<b>Tabla 16-1:</b> Velocidades terminales a caudal máximo .....	30
<b>Tabla 17-1:</b> Tiempo de retención .....	32
<b>Tabla 18-1:</b> Valores de las constantes empíricas, a y b a 20 ° C.....	33

<b>Tabla 19-1:</b> Composición de una bacteria de fango activo .....	34
<b>Tabla 20-1:</b> Componente biológico principal de los lodos activados .....	35
<b>Tabla 21-1:</b> Problemas biológicos producidos por Microorganismos filamentosos .....	35
<b>Tabla 22-1:</b> Datos de sedimentación de SSLM .....	38
<b>Tabla 23-1:</b> Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados .....	39
<b>Tabla 24-1:</b> Parámetros de diseño para procesos de lodos activados.....	40
<b>Tabla 25-1:</b> Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios.....	45
<b>Tabla 26-1:</b> Propiedades de los productos del cloro .....	48
<b>Tabla 27-1:</b> Criterios para el almacenamiento de productos desinfectantes .....	48
<b>Tabla 28-1:</b> Tiempo requerido para la digestión de lodos.....	51
<b>Tabla 29-1:</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	53
<b>Tabla 30-2:</b> Técnicas empleadas en el laboratorio.....	60
<b>Tabla 31-2:</b> Examen Físico .....	65
<b>Tabla 32-2:</b> Análisis físico – químico y microbiológico del AR de la Parroquia S.C.....	65
<b>Tabla 33-2:</b> Análisis físico – químicos de los parámetros a considerar .....	66
<b>Tabla 34-2:</b> Caracterización Físico-Químicos fuera de límite máximo permisible.....	67
<b>Tabla 35-2</b> Caracterización Microbiológica fuera de límite máximo permisible .....	67
<b>Tabla 36-2:</b> Caudal del día Lunes.....	68
<b>Tabla 37-2:</b> Caudal del día Martes .....	69
<b>Tabla 38-2:</b> Caudal del día Miércoles .....	70
<b>Tabla 39-2:</b> Caudal del día Jueves.....	71

<b>Tabla 40-2:</b> Caudal del día Viernes .....	72
<b>Tabla 41-2:</b> Caudal del día Sábado.....	72
<b>Tabla 42-2:</b> Caudal del día Domingo .....	73
<b>Tabla 43-2:</b> Caudal Semanal .....	74
<b>Tabla 44-1:</b> Resultado de la Medición del Caudal.....	99
<b>Tabla 45-3:</b> Variación de la concentración de DBO5 con el tiempo de aireación .....	100
<b>Tabla 46-3:</b> Variación de la concentración de DQO con el tiempo de aireación .....	101
<b>Tabla 47-3:</b> Caracterización final físico-químico del A.R de Santiago de Calpi .....	102
<b>Tabla 48-3:</b> Caracterización final microbiológica .....	105
<b>Tabla 49-3:</b> Resultado del cálculo de la población de diseño .....	105
<b>Tabla 50-3:</b> Resultado del cálculo de Caudales de diseño .....	106
<b>Tabla 51-3:</b> Resumen de dimensionamiento de las rejillas.....	106
<b>Tabla 52-3:</b> Resumen de dimensionamiento del Sedimentador Primario .....	107
<b>Tabla 53-3:</b> Resumen de dimensionamiento del Sistema de Lodos Activados .....	108
<b>Tabla 54-3:</b> Resumen de dimensionamiento del Sedimentador secundario .....	109
<b>Tabla 55-3:</b> Resumen de dimensionamiento del tanque de desinfección.....	110
<b>Tabla 56-3:</b> Resumen de dimensionamiento del tanque de desinfección.....	110
<b>Tabla 57-4:</b> Presupuesto de Rejillas .....	116
<b>Tabla 58-4:</b> Presupuesto de sedimentador primario .....	116
<b>Tabla 59-4:</b> Presupuesto de tanque de lodos .....	116
<b>Tabla 60-4:</b> Presupuesto de sedimentador secundario .....	117

<b>Tabla 61-4:</b> Presupuesto de tanque de desinfección .....	117
<b>Tabla 62-4:</b> Presupuesto de lecho de secado .....	117
<b>Tabla 63-4:</b> Presupuesto del Hipoclorito de Calcio .....	117
<b>Tabla 64-4:</b> Presupuesto de accesorios.....	118
<b>Tabla 65-4:</b> Resumen del Presupuesto de la planta de tratamiento .....	118

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1-1:</b> Rejillas gruesas.....	19
<b>Figura 2-1:</b> Ábaco de la Fórmula de Manning .....	23
<b>Figura 3-1:</b> Factores de forma $\beta$ para barras de rejillas .....	26
<b>Figura 4-1:</b> Tanque Rectangular de decantación primaria.....	27
<b>Figura 5-1:</b> Tanque circular de decantación .....	28
<b>Figura 6-1:</b> Estanque de aireación.....	37
<b>Figura 7-1:</b> Estanque de aireación.....	41
<b>Figura 8-1:</b> Diagrama de flujo del proceso de lodos activados.....	43
<b>Figura 9-1:</b> Sedimentador secundario .....	44
<b>Figura 10-1:</b> Lecho de Secado .....	50
<b>Figura 11-2:</b> Localización Geográfica de la Parroquia Santiago de Calpi.....	56
<b>Figura 12-2:</b> Parámetros Físico-Químicos fuera de límite máximo permisible .....	67
<b>Figura 13-2:</b> Caracterización Microbiológica fuera de límite máximo permisible .....	68
<b>Figura 14-3:</b> Caudal Semanal de la Parroquia Santiago de Calpi .....	100
<b>Figura 15-3:</b> Caudal Semanal de la Parroquia Santiago de Calpi .....	101
<b>Figura 16-3:</b> Caudal Semanal de la Parroquia Santiago de Calpi .....	101
<b>Figura 17-3:</b> Análisis de la caracterización final del $\text{DBO}_5$ .....	102
<b>Figura 18-3:</b> Análisis de la caracterización final del DQO.....	103
<b>Figura 19-3:</b> Análisis de la caracterización final de los Sólidos Suspendidos .....	103

<b>Figura 20-3:</b> Análisis de la caracterización final de los Tensoactivos .....	104
<b>Figura 21-3:</b> Análisis de la caracterización final de las Grasa y Aceites .....	104
<b>Figura 22-3:</b> Caracterización final microbiológica.....	105
<b>Figura 23-3:</b> Diseño de una Planta de Tratamiento de A.R. para la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi .....	112
<b>Figura 24-4:</b> Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Santiago de Calpi.....	115
<b>Figura 25-4:</b> Área Total de la Planta de Tratamiento de Santiago de Calpi.....	119

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A** Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce

**ANEXO B** Norma Técnica Ecuatoriana

**ANEXO C** Análisis Microbiológico

**ANEXO D** Caracterización 1

**ANEXO E** Caracterización 2

**ANEXO F** Caracterización 3

**ANEXO G** Análisis del tratamiento de A.R de la P. Santiago de Calpi

**ANEXO H** Análisis Microbiológico

**ANEXO I** Agua Residual

**ANEXO J** Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

**ANEXO K** Sistema de Rejillas

**ANEXO L** Sedimentador Circular Primario

**ANEXO M** Tanque de Lodos Activados

**ANEXO N** Sedimentador Circular Secundario

**ANEXO O** Tanque de Desinfección

**ANEXO P** Tanque de Desinfección

## RESUMEN

Se diseñó una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi con el objetivo de evitar la contaminación al Río Chibunga y al medio ambiente. En este estudio se utilizó el muestreo compuesto para la caracterización de las aguas residuales. Esta caracterización demostró que las Coliformes Fecales, Sólidos Suspendedos, Tensoactivos, Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Turbidez fueron las variables que se pusieron a consideración para la elaboración del diseño del sistema de la planta, datos comparados con la normativa del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS). Esta planta de tratamiento está proyectada a 20 años para una población de 1887 habitantes y con un caudal de  $1479,6 \text{ m}^3/\text{día}$ . El sistema consta de un canal, sistema de rejillas de limpieza manual, seguido de un sedimentador primario, un tanque de lodos activados que va conjuntamente con un sedimentador secundario, un tanque de desinfección, cabe recalcar que los lodos generados en los sedimentadores necesitan un tratamiento y se propone 4 lechos de secado. Al realizar este proceso de depuración se logra obtener resultados con una Demanda Bioquímica de Oxígeno  $37 \text{ mg/L}$ , Demanda Química de Oxígeno  $59 \text{ mg/L}$ , Sólidos Suspendedos  $2 \text{ mg/L}$ , Tensoactivos  $0,4 \text{ mg/L}$ , Aceites y Grasas  $0,2 \text{ mg/L}$  y Coliformes fecales  $< 2 \text{ UFC}/100\text{ml}$  dichos resultados se encuentran acorde con la del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS), libro VI, Tabla 12- Descarga a un cuerpo de Agua Dulce. Se concluye que el sistema propuesto cumple con los objetivos planteados en el proyecto de investigación reduciendo la carga contaminante del mismo. Se recomienda la implementación del sistema de tratamiento de efluentes para mejorar la calidad de vida de la comunidad y del medio ambiente.

**Palabras claves:** <TULAS (TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA)>, <  $DBO_5$  (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO)>, < DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO) >, <TRATAMIENTO>, <SISTEMA>, <CONTAMINACIÓN>

## SUMMARY

A waste water Treatment Plant was designed to Santiago de Calpi with the objective of avoiding Chibunga River and the environment pollution. The compound for characterization of wastewater sampling was used in this study. This characterization showed that fecal coliform, suspended solids, surfactants, oils and fats, biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), Chemical Oxygen Demand (COD) and turbidity were the variables that were put to account for the development of system design the plant data compared with the rules of the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULAS). This treatment plant is projected to 20 years for a population of 1887 inhabitants and a flow rate of 1479.6 m<sup>3</sup> / day. The system consists of a channel grid system manual cleaning, followed by a primary sedimentation, sanitation, it should be emphasized that the sludge generated by the settlers need treatment and 4 proposes drying activated sludge tank that go together with a secondary sedimentation, sanitation, it should be emphasized that the sludge generated by the settlers need treatment and 4 proposes drying beds. By performing this process of purification is achieved to obtain results with a biochemical oxygen demand 37 mg / L, Chemical Oxygen Demand 59 mg / L, suspended solids 2 mg / L, Surfactants 0.4 mg / L, Oils and Fats 0, 2 mg / L and fecal coliforms < 2 CFU / 100 ml those results are consistent with the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULAS), Book VI, Table 12- Download a body of Freshwater. It is concluded that the proposed system meets the goals set in the research project reducing the pollution. System implementation effluent treatment is recommended to improve life quality of the community and the environment.

Keywords: TULAS (TEXT UNIFIED SCHOOL ENVIRONMENTAL LAW)>, < BOD5 (biochemical oxygen demand)>, < COD (Chemical Oxygen Demand)> Treatment> System> Pollution>

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los mayores recursos que ocupa el ser humano para sobrevivir, esta es llevada a diferentes actividades realizadas en el medio.

Estos efluentes al ser utilizados tienen un desecho directo al medio ambiente sin recibir ningún tipo de tratamiento lo cual está causando un problema grave al ecosistema.

Este tipo de residuos son generados en la utilización del agua en procesos domésticos o industriales, los cuales conllevan diferentes tipos de residuos de materia inorgánica y orgánica.

La descarga de estas aguas ha causado la generación de distintos tipos de contaminantes como: malos olores, enfermedades, sedimentos, bacterias, etc.

El tratamiento a estas aguas residuales se da con la eliminación de microorganismos patógenos; así evitando que lleguen a contaminar vertientes cercanas del lugar de desecho.

Mediante el estudio e investigación de estos efluentes se puede realizar un tratamiento que se está implementando en todos los países del mundo; permitiendo así que estos efluentes puedan ser reutilizados para riego de cultivos, crianza de animales e incluso para el consumo humano.

Todo este proceso se realiza con el fin de dar una mejor calidad de vida a los a la sociedad y cumpliendo con lo que dicta la norma (TULAS) de calidad del medio ambiente y descarga de efluentes libro VI, Tabla 12.

La Parroquia Santiago de Calpi se ha visto con la necesidad de realizar un “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales” por los diferentes problemas que está generado esta descarga directa al Río Chibunga. El cual está generando enfermedades a las comunidades que utilizan éste recurso.

Enfermedades como cólera, amebiasis, gardiasis entre otras son los causantes de que la población este con problemas de este tipo.

Otro agente perjudicado son los cultivos que posee esta Parroquia, estas aguas al ser utilizadas en el riego están causando la disminución en la producción de los variados sembríos de la zona como cultivos de papa, mellocos, choclos, etc. Los cuales están muy cercanos a la fuente de desembocadura y estos poseen residuos de fertilizantes, pesticidas provocando un impacto ambiental a fuentes cercanas del mismo.

Cerca del depósito de estas aguas se encuentra una lubricadora de autos, la cual genera diferentes tipos de residuos de hidrocarburos los cuales son desechados directamente a las tuberías de descarga de estas aguas.

En la zona existen grandes cultivos de papa, mellocos, choclos, etc. Los cuales están muy cercanos a la fuente de desembocadura y estos poseen residuos de fertilizantes, pesticidas provocando un impacto ambiental a fuentes cercanas del mismo.

El tratamiento consiste en la caracterización físico-química y microbiológica del efluente siguiendo los diferentes métodos de determinación, medición del caudal que genera la población, el estudio del proyecto se busca recolectar la información necesaria para el realizar el diseño de la planta de tratamiento brindando una eficiencia y accesibilidad económica de la misma.

## **ANTECEDENTES**

Santiago de Calpi es una de las parroquias más antiguas del Ecuador, ubicada en la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba. Antonio Clavijo fue uno de los precursores del asentamiento indígena en este territorio con 1575 habitantes desde ahí a la actualidad tiene 436 años de fundación española.

La mayoría de sus habitantes están dedicados a la agricultura ya que gracias a sus tierras por el clima y la altitud que posee los cultivos son una fuente de ingreso económico para la parroquia abasteciendo así a la demanda de las provincias más cercanas.

La parroquia Santiago de Calpi está ubicada a 15 km de la ciudad de Riobamba en la vía Panamericana que une el Sur de la Sierra con la Provincia de Bolívar con una extensión de 5353,366 y una altura 3200 msnm. Su topografía es irregular presentando un paisaje de montañas con curvas suavizadas por cuyas laderas se encuentran cultivos y quebradas de riachuelos que proveen de agua al consumo de animales y actividades domésticas.

Posee una población de 6469 habitantes distribuidos en 3457 mujeres y 3012 hombres, datos recogidos en el censo de población y vivienda del 2010.

La Parroquia de Santiago de Calpi se puede localizar muy cercanas a las comunidades de San Andrés, Gatazos, Licán y parroquia San Juan.

Una de las vertientes mas cercanas de la Parroquia es el Río Chibunga ubicado al sur de Santiago de Calpi.

Esta parroquia se divide en 11 barrios: el Progreso, las Fumarolas, los Pinos, la Nubecita, el Complejo, el Belén, Guayaquil, la Florida, Jesús del buen poder, el Panecillo, Barrio Central con una extensión de 664,663ha, conforman la cabecera parroquial de Santiago de Calpi lo cual nos da una superficie total de la Parroquia de 5353,366ha. (PDOT GADP de Santiago de Calpi, 2011)

## **JUSTIFICACIÓN**

El agua es uno de los recursos más utilizados por el ser humano y al ser un medio renovable no quiere decir que este no necesite de un tratamiento después de haber sido consumida y finalmente desechada al medio ambiente.

Con las diferentes actividades humanas, el agua al ser eliminada genera distintos tipos de contaminantes: sólidos, líquidos y gases; así formándose las llamadas aguas residuales las cuales perjudican y forman un daño irreparable al entorno.

Para este problema; que se ha generado con el agua residual se han adaptado diferentes tipos de tratamientos a la misma, los cuales ayudan a bajar el nivel de contaminación y permitiendo que ésta pueda ser reutilizada.

Es por ello que la Parroquia Santiago de Calpi ha creído necesario un estudio, investigación e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales; buscando una solución a este problema, el cual está perjudicando de una manera paulatina a las comunidades aledañas.

Esta investigación consiste en realizar el **Diseño de una planta de Tratamiento de Aguas Residuales** las cuales permitirán darle un previo proceso de depuración a las aguas sucias de la Parroquia, eliminando totalmente los desechos antes de ser descargadas a la vertiente más cercana.

Entonces así podríamos proporcionar a la comunidad una reutilización de la misma y disminuyendo la contaminación de lagos, ríos, etc.

El beneficio que este proyecto de tesis brindará a la Parroquia Santiago de Calpi será de gran importancia porque así se dará un mejor nivel de vida de cada uno de los habitantes de la Parroquia y Parroquias aledañas, sin olvidarnos del cuidado a la ecología que este proyecto también está dirigido.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- ✓ Diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Parroquia “SANTIAGO DE CALPI” – Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

### **ESPECIFICOS**

- ✓ Realizar un diagnóstico inicial mediante la caracterización Físico-Química y microbiológico según la norma del libro (TULAS) VI Descargas de efluentes – tabla 12.
- ✓ Identificar las variables del proceso adecuadas, para el diseño del sistema de aguas residuales.
- ✓ Validar el diseño propuesto mediante la caracterización Físico-Química y microbiológico según la norma del libro (TULAS) VI Descargas de efluentes – tabla 12.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Agua Residual

Se denomina agua residual a aquella en la que se encuentran presentes diferentes tipos de sustancias de composición físico - química y biológica los mismos que producen materiales contaminantes de manera líquida y sólida; resultado de la actividad humana y/ o industrial.

Dichas aguas residuales son transportadas por el alcantarillado de una ciudad y posteriormente tratadas en una planta de tratamiento municipal. (ROMERO J. 1999. p. 17)

#### 1.1.1 *Características de las Aguas Residuales*

Las aguas residuales tienen características físicas, químicas y biológicas las cuales deben evaluarse específicamente en un laboratorio, estas varían según su origen. (ROMERO J. 1999. p. 19)

La caracterización de esta agua residual es muy importante ya que gracias a este análisis se puede determinar el tratamiento del mismo.

##### 1.1.1.1 *Características Físicas*

Las características físicas que se encuentran presentes en el agua residual son:

**Sólidos totales:** En aguas residuales la presencia de sólidos es de gran importancia porque estos contienen diferentes componentes orgánicos los cuales dan lugar a la alta turbidez que presenta el agua. Se tienen diferentes tipos de sólidos en el agua residual como: sólidos sedimentales, sólidos disueltos, sólidos filtrables, sólidos suspendidos y sólidos coloidales.

**Olor:** El olor producido en el agua residual es debido a la descomposición orgánica que se da por el proceso anaerobio que realizan los microorganismos presentes en el agua por la actividad humana. Esta agua desprende gases producidos por sulfuro de hidrogeno y compuestos amoniacales.

**Temperatura:** puede variar la temperatura según la demografía del agua residual. En zonas de temperaturas frías se encuentra de 15° a 20° C, en zonas de clima cálido

**Color:** Por lo general el color de las aguas residuales varían según la composición de los desechos presentes en la misma. Un color café claro cuando la carga de solidos era baja y un color café intenso cuando dicha carga era de manera alta.

#### **1.1.1.2 Características Químicas**

**Materia Orgánica:** Se puede encontrar un 40% de compuestos orgánicos en el agua residual. Dichos compuestos orgánicos están formados por carbono, hidrogeno y oxígeno. También se encuentra grupos de sustancias como: proteínas, carbohidratos, grasas y aceites.

a) **Proteínas:** Componente orgánico que junto con la urea forman principalmente el nitrógeno formando olores desagradables en el agua residual.

b) **Carbohidratos:** Principalmente se encuentra la celulosa la cual es un componente del volumen y resistencia del agua residual.

c) **Aceites y Grasas:** Estos compuestos orgánicos se encuentran flotando en el agua residual tratando así de evitar la fotosíntesis, transpiración y respiración.

**Componentes Inorgánicos:** Generalmente este tipo de sustancias se encuentran presentes en aguas residuales industriales como: el nitrógeno, el azufre, algunos otros compuestos tóxicos inorgánicos y algunos metales pesados como el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, el cadmio, el cinc, el cobre, el hierro y el mercurio.

**Gases:** Los componentes que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales como: Oxígeno, Dióxido de Carbono, Sulfuro de Hidrógeno.

a) **Oxígeno Disuelto:** Es un elemento fundamental para que los microorganismos anaerobios puedan mantener su respiración en el agua residual; esto dependerá mucho de su temperatura y componentes químicos presentes en la misma.

b) **Sulfuro de Hidrógeno:** Es un gas el cual se torna en un olor desagradable al descomponerse sus sustancias orgánicas e inorgánicas que presentan azufre.

c) **Dióxido de Carbono:** Mediante las fermentaciones de los compuestos orgánicos se produce este gas.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo2.pdf)

**Demanda Química del Oxígeno (DQO):** Es utilizado para medir la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica. Para obtener la demanda química de oxígeno se utiliza un catalizador para realizar el ensayo en el laboratorio el cual tarda 3 horas en salir el resultado. Aguas residuales urbanas contienen un DQO entre 250 a 1000.

**Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO):** Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable. Es uno de los parámetros más importantes en aguas residuales porque mediante la medición de este se puede determinar el tratamiento biológico y la eficiencia del tratamiento que se le da a una AR.

**Tensoactivos:** Son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes solubles en agua que tienen la facilidad de disminuir la tensión superficial de los líquidos. También se los conoce como detergentes: este tipo de contaminante se encuentra de una manera considerable en el agua residual doméstica.

**Potencial de Hidrogeno:** Representa la concentración del ion hidrógeno en el agua, si el pH es menor de seis beneficia al tratamiento biológico gracias a los hongos presentes sobre las bacterias. El valor del pH en aguas residuales puede estar de 6 a 9 que es lo que normalmente presenta un Agua Residual. (ROMERO J. 1999, pp. 38, 55, 66)

### **1.1.1.3 Características Biológicas**

Se pueden encontrar diferentes tipos de organismos en el agua residual como:

**Bacterias:** Tipo de bacterias de origen fecal o de degradación de materia orgánica; especies de *Escherichia*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Nocardia*, bacterias coliformes que son desechadas por el ser humano diariamente pueden presentarse en aguas residuales.

**Protozoos:** Son aquellos que están constituidos por una sola célula (eucariota) como por ejemplo amebas, flagelados, y ciliados libres, fijos y reptantes.

**Hongos:** Son organismos multicelulares aerobios que se alimentan de materia orgánica inerte. Este tipo de eucariotas ayudan en los procesos de degradación de la materia orgánica.

**Virus:** Son parásitos que se encuentran presentes en otros organismos, estos se pueden hallar en aguas residuales por la deposición de un animal o persona infectada, siendo así un peligro para la salud.

**Tabla 1-1:** Contaminantes de importancia de Aguas Residuales

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>PARÁMETRO TÍPICO DE MEDIDA</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>
<b>Materia orgánica biodegradable</b>	DBO, DQO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables.
<b>Materia suspendida</b>	SST, SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.
<b>Patógenos</b>	CF	Hace el agua insegura para consumo y recreación.
<b>Amoníaco</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	Desoxigena el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas.
<b>Fósforo</b>	Ortofosfatos	Puede estimular el crecimiento de algas.
<b>Materiales tóxicos</b>	Como cada material tóxico específico.	Peligroso para la vida vegetal y animal.
<b>Sales inorgánicas</b>	SDT	Limita los usos agrícolas e industriales del agua.
<b>Energía térmica</b>	Temperatura	Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua acelera el crecimiento de organismos acuáticos.
<b>Iones hidrógeno</b>	pH	Riesgo potencial para organismos acuáticos.

Fuente: ROMERO. J., Tratamiento de aguas residuales., 2000

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 2-1:** Valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbana

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>CONTAMINACIÓN FUERTE</b>	<b>CONTAMINACIÓN MEDIA</b>	<b>CONTAMINACIÓN LIGERA</b>
Sólidos en Suspensión (mg/L)	350	220	100
DBO5 (mgO <sub>2</sub> /L)	400	220	110
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	1000	500	250

Nitrógeno (mg N/L)	85	40	20
Fósforo (mg P/L)	15	8	4
Grasas y aceites (mg/L)	150	100	50
Coliformes fecales (UFC/100ml)	106 – 108	106 - 107	105 – 107

**Fuente:** METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas residuales., 1995  
**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

## 1.2 Tratamiento de Aguas Residuales

### 1.2.1 Proceso del Tratamiento de Aguas Residuales

Hay varios tipos de tratamientos para aguas residuales, antes de realizar el diseño del sistema de tratamiento se tiene q analizar varias posibilidades brindando así; salud y bienestar a la sociedad y al medio ambiente.

#### 1.2.1.1 Pretratamiento

En este tratamiento o pre-tratamiento su función es evitar el paso de materiales de gran tamaño como basura, plásticos, arena los que podrían provocar daños a los equipos siguientes en el proceso. En esta etapa pueden usarse varios tipos de materiales como: rejas, tamices, desarenadores, desengrasadores, etc. (ROMERO J. 1999. p. 287)

**Tabla 3-1:** Objetivos de los procesos de Pre-tratamiento

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre-aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico.

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015  
**FUENTE:** CEPIS/OPS-OMS, Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

### **1.2.1.2 Tratamiento Primario**

Es también conocido como clarificación primaria cuyo objetivo principal es la de eliminar sólidos en suspensión fácilmente sedimentables mediante de diferentes procesos como:

Fosa séptica: son tanques diseñados para la eliminación y sedimentación de flotantes actuando como digestores. Esta fosa séptica está compuesta por diferentes elementos: trampa de grasas, tanque séptico, caja de distribución, campo de oxidación o infiltración y pozo de absorción.

Este tipo de tratamiento es recomendado para aquellas comunidades de baja población; que no posean alcantarillado.

Tanques del tipo imhoff: Este tipo de tanques pueden existir de forma rectangular, circular siempre presentando cámaras las cuales realizan la función de sedimentación y digestión anaerobia. Este tanque puede ser parte de un sistema de tratamiento el cual debe contar con proceso de eliminación de lodos.

En este tipo de tratamiento pueden generarse espuma o nata presentándose por el resultado de condiciones acidas proporcionando una variación del pH, también debemos tomar en cuenta que este tanque debe ser vigilado diariamente.

Sedimentadores primarios: Se utiliza la gravedad para separar partículas de alta densidad hasta llevar a un tanque de almacenamiento, debe poseer efectos como: turbulencia, rozamiento, repulsión electrostática, corrientes de convección, etc.

- a) Sedimentadores horizontales
- b) Sedimentación vertical con manto de fangos
- c) Sedimentador con carga solida artificial

Reactor anaerobio de flujo ascendente: La principal característica en este tipo de reactor es la de formar un manto de lodo floculento o granular en el cual se realiza la actividad biológica. Es recomendable para tratamiento de residuos cloacales en climas tropicales.

- a) Reactor anaerobio de flujo ascendente
- b) Reactor UASB (Reactor de flujo ascendente y manto de lodos)

Coagulación y floculación: generalmente se lo realiza después de homogenizar el agua, esta es retenida por un tiempo determinado según el dimensionamiento y la velocidad a la que pasa el agua. Mediante este proceso se logra que las bacterias y materia suspendida formen grandes masas de flóculos, aquellas aguas que poseen un pH de 5,8 y 6,4 se coagulan mediante procesos restringidos pero si se tiene un pH de 6,8 hasta 7,8 su coagulación es más fácil de realizarla.

Se lo realiza especialmente para disminuir la turbidez y el color, estos parámetros físicos en aguas residuales son importantes dentro del tratamiento. (Calvache et al., 2002. pp.1-6)

### **1.2.1.3 Tratamiento Secundario**

En esta etapa del tratamiento del agua residual se realiza un tratamiento biológico en el que se pueden utilizar diferentes opciones de depuración con el propósito de eliminar los microorganismos presentes en el AR.

Lodos activados: en este tipo de tratamiento se pone en contacto el floc-biológico. Se define como la materia orgánica e inorgánica muerta formada por microorganismos, estos adsorben materia suspendida y coloidal. Luego q el lodo deja de ser activo tiene que ser aireado se emplea por oxidación y síntesis para estimular la capacidad adsortiva.

Aireación: Consiste en proporcionar oxígeno al agua realizando el proceso biológico del mismo. Se requiere concentraciones de oxígeno de 0,2 a 2,0 mg/L cuyo fin es la de proporcionar oxígeno a los microorganismos responsables de este proceso. La remoción del CO<sub>2</sub> es importante porque se reduce cal y corrosividad del agua en un 70 a 90%. Disminuye el hierro, manganeso, metano, cloro, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles y ácido sulfhídrico.

Lagunaje con aireación: Se la conoce como laguna aerobia, posee una potencia alta para mantener los sólidos en suspensión, facultativas o de mezcla incompleta. El objetivo de este tratamiento es la de generar una turbulencia con el oxígeno realizando así la sedimentación de sólidos.

Filtros biológicos: También se lo conoce como bio-filtro, su diseño consiste en un lecho de piedras; este actúa como biomasa en el proceso, haciendo que los microorganismos crezcan fácilmente. Su objetivo principal es la de reducir la materia orgánica presente en el AR.

Discos biológicos: Consiste en un reactor de película fija, este disco está rotando dentro del agua residual generando oxígeno, el agua va de manera paralela o perpendicular permitiendo que los microorganismos se desarrollen en este disco cumpliendo como tratamiento secundario. (ROMERO J. 1999. pp. 38, 55, 66)

#### 1.2.1.4 Tratamiento Terciario

El objetivo de este proceso es el de eliminar la carga orgánica que no se logró desechar en el tratamiento secundario y otros tipos de contaminantes como el fosforo, nitrógeno y nutrientes. También se lo puede definir como un tratamiento biológico o físico- químico, procesos como:

**Intercambio Iónico:** es el reemplazo de un ion por otro de su misma especie con diferente número de oxidación. Su función es la utilización de resinas de intercambio iónico, estas tratan de unificar los iones en la superficie del agua evitando dureza.

**Adsorción:** Se utiliza un material de tipo adsorbente por ejemplo el carbón activado (más utilizado), eliminando las sustancias solubles en el agua residual. Este proceso de adsorción sirve para eliminar: fenoles, aromáticos nitrados, derivados clorados, color, olor y sabor.

**Microfiltración y ultrafiltración:** Es la determinación de los sólidos disueltos, turbidez y microorganismos. Estos residuos presentan diferente diámetro en micrómetros para esto es necesario este proceso.

**Osmosis inversa:** Se aplica una presión osmótica superior a la normal, este proceso ayuda a eliminar las sales presentes en el agua residual.

**Electrodesinfección:** Su función es la de emplear ánodos con alto poder de oxidación realizándose de forma indirecta, dichos ánodos pueden ser: cloro, ozono, radicales o peróxidos. Mediante este proceso se eliminan virus, bacterias y parásitos.

**Membranas cerámicas:** Presentan una estabilidad química y térmica que ayuda a la esterilización con productos químicos agresivos. Su mantenimiento es de bajo costo, debido a que su limpieza es por el material que posee.

**Oxidación avanzada:** Su objetivo principal es la eliminación de compuestos no biodegradables en el agua residual. El hidróxido es utilizado como oxidante en condiciones de presión y temperaturas normales pero con un alto nivel de efectividad. Este proceso es de mayor utilización en las industrias. (Torres, L. 2015. <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario/oxidacion-avanzada/>)

**Tabla 4-1:** Operaciones o procesos unitarios según el nivel de tratamiento de aguas

TIPO DE TRATAMIENTO	OPERACIONES O PROCESOS UNITARIOS
	Dilaceración, desbaste, filtración, flotación, remoción por gravedad, tanque Imhoff, filtración por membrana,

<b>Preliminares</b>	remoción de grasas y aceites, tamizado grueso y fino, y microtamizado.
<b>Primarios</b>	Tamizado, sedimentación primaria.
<b>Secundarios</b>	Lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje, sedimentación secundaria, desinfección.
<b>Terciarios</b>	Coagulación química, floculación, sedimentación seguida de filtración y carbón activado. Intercambio iónico, ósmosis inversa, electrocoagulación.

Fuente: CRITES, R. - Otros., Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones., 2001.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 5-1:** Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual.

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO, OPERACIÓN O PROCESO UNITARIO</b>
<b>Sólidos en suspensión</b>	Desbaste y dilaceración, desarenado, sedimentación, filtración, flotación, adición de polímeros, sistemas naturales (tratamiento de evacuación al terreno), coagulación/sedimentación.
<b>Materia orgánica Biodegradable</b>	Variantes de fangos activados, película fija: filtros percoladores y biodiscos, variantes de lagunaje, filtración intermitente en arena, sistemas físico – químicos, sistemas naturaleza.
<b>Compuestos orgánicos volátiles</b>	Arrastre por aire, tratamiento de gases, absorción en carbón.
<b>Patógenos</b>	Cloración, hipocloración, cloruro de bromo, radiación UV, sistemas naturales.
<b>Nitrógeno.</b>	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación, variantes de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación, arrastre de amoníaco, intercambio iónico, coloración al breakpoint, sistemas naturales.
<b>Fósforo</b>	Adición de sales metálicas, coagulación y sedimentación con cal, eliminación biológica del fósforo, eliminación biológica – química del fósforo, sistemas naturales.

<b>Nitrógeno y fósforo</b>	Eliminación biológica de nutrientes.
<b>Materia orgánica refractaria</b>	Adsorción en carbón, ozonación terciaria, sistemas naturales.
<b>Metales pesados</b>	Precipitación química, intercambio iónico, sistemas de tratamiento por evacuación al terreno.
<b>Sólidos disueltos orgánicos</b>	Intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis.

Fuente: METCALF& EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 1.2.1.5 Tratamiento de Lodos

En el tratamiento de aguas residuales tendremos presentes lodos generados en los tanques sedimentadores, estos residuos sólidos tienen que tener un tratamiento según su disposición, a veces este tratamiento puede tener un alto costo de tratamiento; el cual en ocasiones puede ser de un 50% del valor del tratamiento total. (ROMERO J. 1999. p. 758)

**Tabla 6-1:** Fuente de sólidos y de lodos en el TAR

<b>Unidad</b>	<b>Tipo de Sólido o de lodo</b>	<b>Observaciones</b>
Cribado	Sólidos gruesos	Los sólidos retenidos por la criba son removidos manual o mecánicamente.
Desarenadores	Arena y espuma	A menudo se omite la remoción de espuma en desarenadores.
Pre aireación	Arena y espuma	Se omite la remoción de espuma en la pre-aireación.
Sedimentación primaria	Lodo y espuma primarios	La cantidad depende del tipo del agua residual afluyente.
Tratamiento biológico	Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos son el resultado de la síntesis biológica de la materia orgánica.
Sedimentación secundaria	Lodo y espuma secundarios	La remoción de espuma es de requisito exigido por la USEPA.
Tratamiento de lodos	Lodo, compost, cenizas	El lodo obtenido depende de su origen y del proceso usado en su tratamiento.

Fuente: ROMERO. J., Tratamiento de aguas residuales., 2002  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

Los lodos varían mucho dependiendo de su origen, edad y tipo de proceso del cual provienen. Para realizar un tratamiento a los lodos es necesario utilizar bombas; estas permiten un traslado fácil de estos residuos. Las bombas que se pueden utilizar para este proceso son: bombas de tipo embolo, cavidad progresiva, centrífuga no atascante, flujo rotativo, diafragma, pistón de alta presión y lóbulo rotativo.

### **1.3 Sistema de tratamiento para la cabecera Parroquial Santiago de Calpi (Cantón Riobamba).**

En teoría se encuentran diferentes tratamientos que se pueden aplicar en la depuración de aguas residuales en este lugar. Manteniéndose el tratamiento físico, químico y biológico.

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales se toma en cuenta varios factores como: población, área, volumen, etc. La limpieza de aguas residuales varía según su composición físico-química y biológica, tratando de brindar un diseño eficiente y de construcción económica.

#### **1.3 Población de diseño**

La población de la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi tendrá un diseño para un periodo de 20 años el cual ayudara a determinar la población futura de la misma.

**Tabla 7-1:** Población institucional del área de estudio cabecera cantonal datos obtenidos de las encuestas socio-económicas.

<b>INTITUCIÓN</b>	<b>HABITANTES</b>
Colegio Víctor Proaño Carrión	298
Escuela de niñas “Francisco de Miranda”	73
Escuela Fiscal de niños Ecuador	83
Jardín de Infantes Empresa Cemento Chimborazo	86
<b>TOTAL</b>	<b>540</b>

**FUENTE:** Planes de desarrollo y ordenamiento territorial de la Parroquia Santiago de Calpi, Mayo 2011.

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

La población que presenta la cabecera cantonal de Santiago de Calpi es de 698 representando 8,86% del total de la Parroquia, este dato obtenido en el último CENSO del 2010, la tasa de incremento es varia de manera radical, en el año de 1990 al 2001 tiene una tasa de crecimiento anual de -0,39%, del 2001 al 2010 (último censo) el incremento anual es de 2,13% Dato obtenido del PDOT de Calpi.

### 1.3.1 Población Actual

En la Cabecera Parroquial de Santiago de Calpi existe una población de 698 habitantes, datos recogidos del CENSO 2010 realizado por el INEC.

**Tabla 8-1:** Parámetros para la población actual

Parámetros	Unidad	Datos
Pa	Hab	698
r*	%	2,13
N	Años	20

Fuente: \*INEC, CENSO 2010 de la Parroquia Santiago de Calpi.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

#### a) Población actual

$$P_a = P_e + P_I \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$P_a$  = población actual (hab)

$P_e$  = población obtenida en el CENSO 2010 (hab)

$P_I$  = población institucional (hab)

#### b) Población Futura

Para obtener nuestra población futura se utiliza un método geométrico donde la tasa de crecimiento anual según el PDOT por es de 2,13% en la Parroquia Santiago de Calpi.

$$P_f = P_a * (1 + i)^n \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$P_f$  = población futura (hab)

$P_a$  = población actual (hab)

$i$  = tasa de crecimiento

$n$  = periodo de diseño

### 1.3.2 Consumo de Agua o Caudal de Diseño

El caudal de diseño se basa en los diferentes horarios y días que se muestrea el efluente, este caudal es calculado con relación a la población. Es recomendable considerar la cantidad de dotación que recibe cada individuo en la comunidad. Este dato se obtuvo de la siguiente tabla:

**Tabla 9-1:** Dotaciones Recomendadas

<b>POBLACIÓN (Habitantes)</b>	<b>CLIMA</b>	<b>DOTACIÓN MEDIA FUTURA (L/hab día)</b>
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Fuente: CPE INEN 005-9-1 (1992)

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

a) Se calcula el caudal medio de aguas residuales mediante:

$$Q_M = \frac{P_f * D * C}{86400} \quad Ec. 3$$

Dónde:

$P_f$  = Población de diseño o futura, hab

$D$  = Dotación del agua, L/hab\*día

$C$  = Coeficiente de retorno (entre el 60% y 80% pero se toma como base al 70%)

b) Factor de Mayorización

$$F = 1 + \frac{14}{4\sqrt{P_f/1000}} \quad Ec. 4$$

Dónde:

F = Factor de mayorización, L/s

P<sub>f</sub> = Población de diseño, hab

c) Caudal de Infiltración

$$Q_{INF} = 0,15 \frac{L}{s * Ha} * Ha \quad Ec. 5$$

Dónde:

Q<sub>INF</sub> = Caudal de infiltración, L/s

Ha = Hectáreas

d) Caudal de Conexiones erradas

$$Q_{CE} = 10\%(Q_M * F + Q_{INF}) \quad Ec. 6$$

Dónde:

Q<sub>M</sub> = caudal medio de aguas residuales

F = Factor de mayorización, L/s

Q<sub>INF</sub> = Caudal de Infiltración

e) Caudal de diseño se utiliza la siguiente fórmula

$$Q_{diseño} = (Q_M * F) + Q_{INF} + Q_{CE} \quad Ec. 7$$

Dónde:

Q<sub>diseño</sub> = Caudal de diseño, L/s

Q<sub>M</sub> = Caudal medio de aguas residuales, L/s

F = Factor de mayorización, L/s

Q<sub>INF</sub> = Caudal de infiltración, L/s

Q<sub>CE</sub> = Caudal de conexiones erradas, L/s

f) Caudal medio de aguas residuales

f) Caudal Medio Diario

$$Q_{MD} = Q_M + Q_{INF} + Q_{CE} \quad Ec. 8$$

Dónde:

$Q_{MD}$  = Caudal medio diario, L/s

$Q_{CE}$  = Caudal de conexiones erradas, L/s

$Q_M$  = Caudal medio de aguas residuales, L/s

$Q_{INF}$  = Caudal de infiltración, L/s

### 1.3.3 Rejillas

Considerado como el pre-tratamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales cuya función es la remoción de sólidos presentes de gran tamaño. Es un método que se puede utilizar en la potabilización y en la depuración del agua. Se considera que el agua que pasa por las rejillas sea con una velocidad de 1 m/s. (JIMÉNEZ B., 2001. p. 157)

Se tienen dos tipos de rejillas por su limpieza, rejillas de limpieza manual y rejillas de limpieza mecánica. El espacio entre rejillas varía según la forma sean finas o gruesas dependiendo del tipo de estas verticales, horizontales, curvas o inclinadas.



**Figura 1-1:** Rejillas gruesas

Fuente: CELAN Digital - Centro de Estudios Locales de Andorra

**Tabla 10-1:** Parámetros para el dimensionamiento de rejillas

PARÁMETRO	ABREVIATURA	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR ESCOGIDO
Caudal de diseño	Q Diseño	m <sup>3</sup> /s	0,0266	-

Velocidad de aproximación*	Va	m/s	0,3 – 0,6	0,45
Velocidad mínima*	V	m/s	0,3 – 0,6	0,6
Aceleración de la gravedad	G	m/s <sup>2</sup>	9,8	-
Altura de seguridad	Hs	m	0,50	0,50
Espesor de la barra**	S	mm	5 - 15	10
Ancho del canal (propuesto)	L	m	0,50	-
Separación entre barras*	E	mm	15 - 50	25
Angulo de inclinación**	Ø	°	44 - 60	45
Perdida máxima de carga admisible+	Hf	m	0,015	0,015

**FUENTE:** \*RAS 2000 Título E, \*\*Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, + Metcalf& Eddy

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

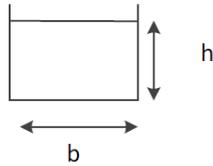
### 1.3.3.1 *Rejillas de Limpieza Manual*

La distancia entre barrotes se presenta en rejillas gruesas y finas, mediante un tiempo determinado es necesario remover los residuos sólidos que se encuentran acumulados entre las rejillas. Será necesario implementar una bandeja de drenaje en la parte superior el cual ayuda a limpiar las cribas. Consideraciones que se deben tomar son el máximo de profundidad es de 50 mm y una anchura de 10 mm con un canal recto el cual es propicio para los sólidos que atraviesan las rejillas.

### 1.3.3.2 *Diseño del canal*

Se ha considerado necesario el diseño de un canal debido a las irregularidades que presenta la descarga del efluente. Al dimensionar las rejillas en el sistema de tratamiento se ha visto necesario diseñar un canal por el cual será dirigida el agua residual hacia el proceso de tratamiento.

a) Sección Canal



b) Área del canal

$$A = b * h \quad Ec. 9$$

Dónde:

A= Área del canal (m<sup>2</sup>)

b= Base del canal (m)

h = Altura del canal hasta el nivel de agua (m)

c) Radio Hidráulico

$$R_H = \frac{b * h}{b + 2h} \quad Ec. 10$$

Dónde:

b= Base del canal (m)

h = Altura del canal hasta el nivel de agua (m)

Es necesario calcular la velocidad a la que se transporta el agua residual hacia el proceso de tratamiento, mediante la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad Ec. 11$$

Dónde:

v = Velocidad (m/s)

n = Coeficiente de Manning (0,013 para canales de hormigón o concreto simple)

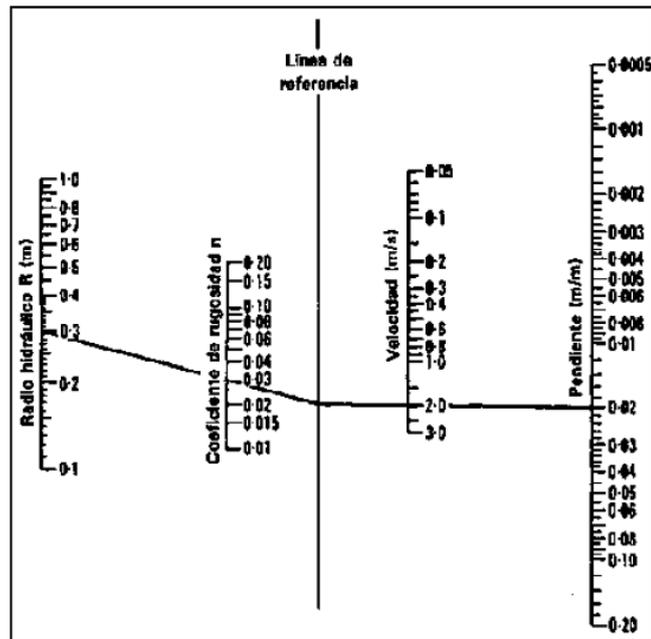
R = Radio hidráulico (m)

S = Gradiente hidráulico (0.0005 m/m)

**Tabla 11-1:** Valores típicos de coeficientes de Rugosidad

<b>Material</b>	<b>Coefficiente de Manning (n)</b>	<b>Coef. Hazen-Williams CH</b>	<b>Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)</b>
<b>Asbesto cemento</b>	0.011	140	0.0015
<b>Latón</b>	0.011	135	0.0015
<b>Tabique</b>	0.015	100	0.6
<b>Fierro fundido (nuevo)</b>	0.012	1300	0.26
<b>Concreto (cimbra metálica)</b>	0.011	140	0.18
<b>Concreto (cimbra madera)</b>	0.015	120	0.6
<b>Concreto simple</b>	0.013	135	0.36
<b>Cobre</b>	0.011	135	0.0015
<b>Acero corrugado</b>	0.022	--	45
<b>Acero galvanizado</b>	0.016	120	0.15
<b>Acero (esmaltado)</b>	0.010	148	0.0048
<b>Acero (nuevo, sin recubrim.)</b>	0.011	145	0.045
<b>Acero (remachado)</b>	0.019	110	0.9
<b>Plomo</b>	0.011	135	0.0015
<b>Plástico (PVC)</b>	0.009	150	0.0015
<b>Madera (duelas)</b>	0.012	120	0.18
<b>Vidrio (laboratorio)</b>	0.011	140	0.0015

Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015



**Figura 2-1:** Ábaco de la Fórmula de Manning  
Fuente: Juan, M., Ingeniería de Ríos Pp. 85

### 1.3.3.3 Consideraciones de Diseño de Rejillas

Se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Área entre bandejas

$$A_b = \frac{Q}{V} \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde:

$A_b$  = Área entre barras,  $m^2$

$V$  = Velocidad de aproximación, m/s

$Q$  = Caudal,  $m^3/s$

b) Área de la sección transversal del flujo

$$A_t = \frac{A_b(W + e)}{W} \quad \text{Ec. 13}$$

Dónde:

$A_b$  = Área entre barras,  $m^2$

$W$  = Separación entre barras, m

e = Espesor máximo de las barras, m

c) Tirante del agua del canal

$$h = \frac{A_b}{b} \quad Ec. 14$$

Dónde:

h = Altura del tirante

$A_b$  = Área entre barras, m<sup>2</sup>

b = Base del canal

d) Altura del canal

$$H = h + h_s \quad Ec. 15$$

Dónde:

H = Altura total, m

$h_s$  = Altura de seguridad, m

e) Número de Barras

$$N^\circ = \frac{b - W}{e + W} \quad Ec. 16$$

Dónde:

b = Ancho del canal, m

W = Separación entre barras, m

e = Espesor máximo de las barras, m

f) Longitud de las Barras

$$L_{barras} = \frac{H}{\sin\delta} \quad Ec. 17$$

Dónde:

H = Altura total, m

$\delta$  = Grado de inclinación de las barras

g) Nivel máximo de agua

$$d_{max} = \frac{Q}{V * b} \quad Ec. 18$$

Dónde:

Q = Caudal, m<sup>3</sup>/s

V = Velocidad de aproximación, m/s

b = Ancho del canal, m

h) Longitud sumergida de la barra

$$L_{bs} = \frac{d_{max}}{\sin\delta} \quad Ec. 19$$

Dónde:

dmax = Nivel máximo de agua, m

v = Velocidad de aproximación, m/s

b = Ancho del canal, m

δ = Grado de inclinación de las barras

i) Pérdida de la carga

Las pérdidas de carga a través de una rejilla se pueden determinar a través de la siguiente ecuación propuesta por Kirschmer (1926):

$$h_c = \beta \left( \frac{e}{W} \right) * \frac{V^2}{2g} \text{sen}\delta \quad Ec. 20$$

Dónde:

hc = Pérdida de carga, m

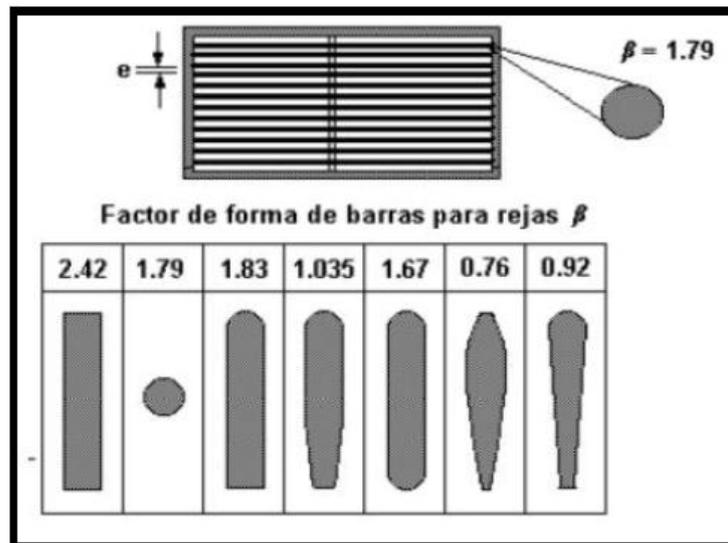
W = Separación entre barras, m

e = Espesor máximo de las barras, m

V<sup>2</sup>/2g= Carga de velocidad antes de la reja, m

δ = Ángulo de inclinación de las barras.

β = Factor dependiente de la forma de las barras.



**Figura 3-1:** Factores de forma  $\beta$  para barras de rejillas  
**Fuente:** VALDEZ, E., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales.

### 1.3.4 Sedimentación

La sedimentación es un proceso utilizado para la remoción de un 50% y 70% de sólidos en suspensión y materia flotante mediante fuerzas gravitacionales. Las partículas se presentan como partículas independientes para sedimentarse de forma constante.

Otra de sus funciones importantes es la de reducir la velocidad de flujo del agua residual dejando el agua en estado de reposo y de manera ascendente los sólidos depositándose en el fondo del tanque sedimentador. (Martínez D. et al., 2005: p. 100)

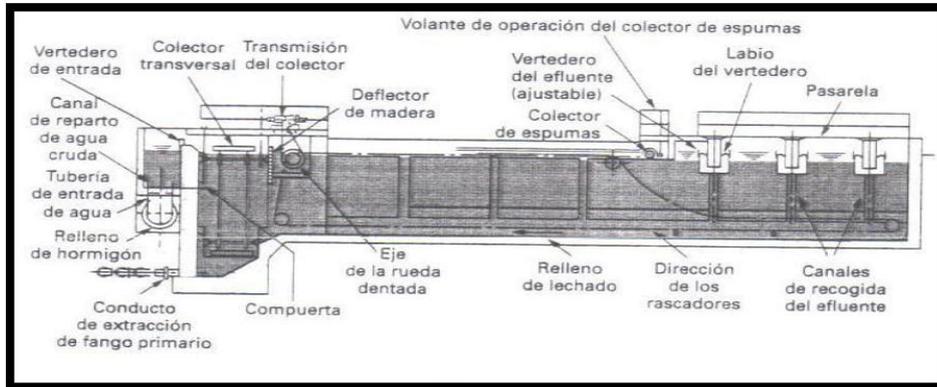
#### 1.3.4.1 Tanques de Sedimentación

Esta sedimentación primaria puede darse en tanques de dos tipos sean rectangulares o circulares, el material orgánico es más pesado que el agua y su sedimentación es lenta en un intervalo de 1 a 2,5 min/h. los residuos orgánicos como grasas y aceites flotan en la superficie del agua y continuar con otra tratamiento.

##### a) Tanques Rectangulares

Este tipo de tanques son de flujo horizontal, pueden poseer una longitud de 3 a 6 veces su anchura pero diferentes factores como: profundidad, terreno y número de tanques puede modificar su relación. La espuma se retira utilizando unas rastras de lodo que, de manera alternada, después de recorrer el tanque por el fondo, regresan a su punto de partida recorriendo

la superficie del agua, lo que se aprovecha, como se dijo, para remover la espuma. El material flotante se desplaza de esta manera hasta un sitio donde se colecta, ubicado a cierta distancia hacia atrás del vertedor del efluente, y allí es retirado al pasar sobre un vertedor de espuma o por medio de una rastra transversal.

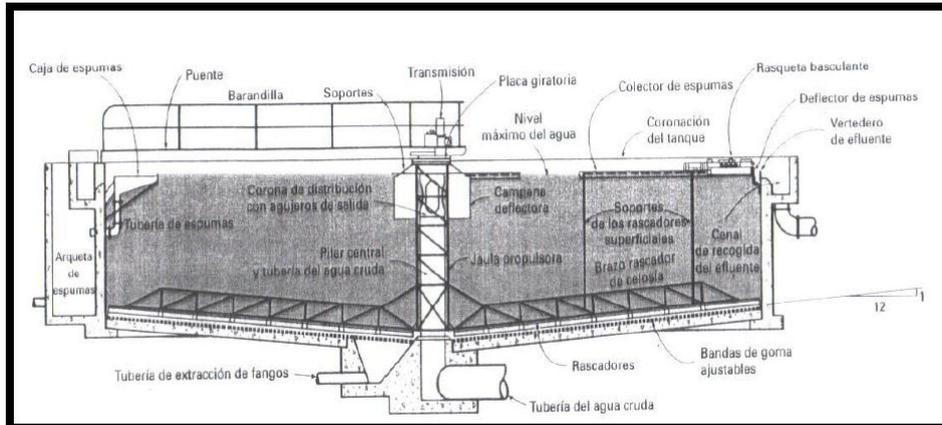


**Figura 4-1:** Tanque Rectangular de decantación primaria  
Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995

#### b) Tanques Circulares

El flujo en los tanques circulares es de tipo radial, la corriente de alimentación se difunde de forma homogénea, esta agua es introducida por el centro del tanque y pasa por una campana difundiendo el flujo en todas las direcciones. Este tipo de tanques es uno de los más utilizados en el tratamiento de aguas residuales ayudando de manera eficiente en la remoción de lodos con diámetros menores a 15m.

El sistema de flujo radial se consigue este sistema el agua residual a decantar se introduce por el centro o por la periferie del tanque, siendo el más usado donde el agua se transporta hacia el centro, el agua pasa por una campana circular diseñada para distribuir el flujo de manera uniforme en todas las direcciones, la campana tiene un diámetro de entre el 15 y 20 por 100 del diámetro total del tanque, con una profundidad que varía entre 1 y 2,5 m.



**Figura 5-1:** Tanque circular de decantación  
**Fuente:** METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995

### 1.3.4.2 Consideraciones de Diseño

#### a) Área Superficial

Se requiere decantar reducir para asegurar el rendimiento de las instalaciones.

Se puede determinar el área del sedimentador, en base a la carga superficial, mediante la ecuación:

$$A = \frac{Q}{V_c} \quad \text{Ec. 21}$$

Dónde:

A = Área superficial del tanque sedimentador, m<sup>2</sup>

Q = Caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

V<sub>c</sub> = Velocidad terminal, m/h

**Tabla 12-1:** Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria.

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
Sedimentación primaria seguida del tratamiento secundario:		
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
Carga sobre	125-500	250

vertedero, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		
Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso:		
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día	125-500	250

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 13-1:** Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario.

PARÁMETRO	UNIDAD	INTERVALO	VALOR USUAL
<b>Rectangular</b>			
Profundidad	m	3 – 4,5	3,6
Longitud	m	15 - 90	25 - 40
Ancho*	m	3 -25	5 – 10
Velocidad del barredor	m/s	0,6 – 1,2	0,9
<b>Circular</b>			
Profundidad	m	3 – 4,5	3,6
Longitud	m	3 - 60	12 - 45
Pendiente de la solera	mm/m	6,25 -16	8
Velocidad de los rascadores	(r/min)	0,02 – 0,05	0,03

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 14-1:** Velocidades terminales a caudal medio

<b>VELOCIDAD A CAUDAL MEDIO</b>			
<b>DECANTACIÓN PRIMARIA</b>	<b>Valor mínimo (m/h)</b>	<b>Valor medio (m/h)</b>	<b>Valor máximo (m/h)</b>
<b>Decantadores circulares</b>	1.0	1.5	2.0
<b>Decantadores rectangulares</b>	0.8	1.3	1.8

Fuente: AURELIO HERNANDEZ, Manual de depuración Urbana., p. 96  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 15-1:** Velocidades terminales a caudal máximo

<b>VELOCIDAD A CAUDAL MÁXIMO</b>			
<b>DECANTACIÓN PRIMARIA</b>	<b>Valor mínimo (m/h)</b>	<b>Valor medio (m/h)</b>	<b>Valor máximo (m/h)</b>
<b>Decantadores circulares</b>	2.0	2.5	3.0
<b>Decantadores rectangulares</b>	1.8	2.2	2.6

Fuente: AURELIO HERNANDEZ, Manual de depuración Urbana., p. 96  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

b) Ancho del Sedimentador

$$A_n = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad Ec. 22$$

Dónde:

A = Área superficial del tanque sedimentador, m<sup>2</sup>

c) Largo del sedimentador con la ecuación 23:

$$l = \frac{A}{A_n} \quad Ec. 23$$

d) Volumen del Sedimentador

Se usa una relación 1/2 de ancho/largo (NORMA RAS 2000) para el cálculo de las medidas interiores del sedimentador, mediante la siguiente ecuación:

$$V = Lg * An * h \quad Ec. 24$$

Dónde:

V = Volumen del tanque de sedimentador, m<sup>3</sup>

An = Ancho del sedimentador, m

Lg = Largo del sedimentador, m

h = Altura del sedimentador, m

e) Diámetro del sedimentador

$$\emptyset = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}} \quad Ec. 25$$

Dónde:

$\emptyset$  = Diámetro del sedimentador

A = Área del sedimentador

$\pi$  = Número irracional (3,14159)

f) Tiempo de retención hidráulico

El tiempo que demoraría una partícula en recorrer la longitud del sedimentador en sentido horizontal desde el momento de su entrada al sistema.

Si se usa como tratamiento único el tiempo de retención es de 1,5 y 2,5 horas para el caudal medio del agua residual, en cambio si el proceso de decantación primario está previo a un proceso biológico se requiere de un tiempo de detención entre 0,5 a 1 hora.

$$T_{rh} = \frac{V}{Q} \quad Ec. 26$$

Dónde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico, h

V = Volumen, m<sup>3</sup>

Q = Caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

En caso de no poder obtener el tiempo de retención mediante el cálculo se pueden utilizar los siguientes tiempos de retención:

**Tabla 16-1:** Tiempo de retención

DECANTACIÓN PRIMARIA	Velocidad a caudal máximo		
	Valor mínimo (h)	Valor medio (h)	Valor máximo (h)
Tiempo de retención para caudal medio	1,5	2,0	3,0
Tiempo de retención para caudal máximo	1,0	1,5	2,0

Fuente: AURELIO HERNÁNDEZ., Manual de Depuración Uralita.  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

g) Área de la sección transversal

Para su determinación se usa:

$$A_t = \frac{V}{Lg} \quad Ec. 27$$

Donde:

$A_t$  = Área de la sección transversal, m

$V$  = Volumen del tanque de sedimentador, m<sup>3</sup>

$Lg$  = Largo del sedimentador, m

h) Cálculo de la Velocidad de arrastre

Las fuerzas que actúan sobre los sólidos que se encuentran en el proceso de sedimentación son resultado de la fricción del agua residual el cual fluye en el mismo. La velocidad de arrastre se puede realizar en zonas del flujo, haciendo que este se mantenga en el fondo del tanque.

La velocidad crítica viene dada por la ecuación desarrollada por Camp a partir de estudios realizados por Shiedls.

$$V_H = \left( \frac{8K(s-1)g * d}{f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad Ec. 28$$

$V_H$  = Velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas. (m/s)

k = Constante que depende del tipo de material arrastrado (0,05)

s = Peso específico de las partículas (1,25)

g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

d = Diámetro de las partículas 100µm

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach (0,025)

La velocidad de arrastre se compara con la velocidad horizontal, la cual se calcula a partir de la ecuación:

$$V_h = \frac{Q}{A} \quad Ec. 29$$

Dónde:

V<sub>h</sub> = velocidad horizontal (m/s)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

A = área del sedimentador rectangular (m<sup>3</sup>)

#### h) Remoción de DBO<sub>5</sub> y Sólidos Suspendidos

La eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> y sólidos suspendidos, está en función de la concentración del afluente y del tiempo de retención.

$$R = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}} \quad Ec. 30$$

Dónde:

R = Porcentaje de remoción esperado, %

T<sub>rh</sub> = Tiempo nominal de retención, h

a y b = Constantes empíricas

**Tabla 17-1:** Valores de las constantes empíricas, a y b a 20 ° C

Variable	a, h	b
DBO	0.018	0.02
SST	0.0075	0.014

Fuente: CRITES, R., Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 1.3.5 Lodos Activados

Es un tratamiento biológico de aguas residuales que emplea microorganismos aerobios y facultativos para poder retirar la materia orgánica presente en el agua residual. Engloba un proceso de limpieza física, química y biológica. Este método de tratamiento sintetiza la carga microbiana interviniendo en el balance de materia mediante un reactor biológico. Por lo general el método de lodos activados se lo realiza de conjuntamente con una sedimentación secundaria el cual ayuda que los sólidos suspendidos en el agua residual sean eliminados en el sedimentador secundario en ocasiones se realiza una recirculación del agua al tanque aireador ayudando a que el proceso sea más eficiente, puede ser de flujo continuo o de mezcla completa y este reactor de lodos activados se utiliza con una bomba o compresor el cual dará una potencia requerida para el proceso.

La aireación que debe recibir el agua residual varía de 4 a 8 horas dependiendo la carga orgánica presente en el agua.

#### 1.3.5.1 Principales Microorganismos del Fango Activo

Es el desarrollo de determinados microorganismos aerobios sobre la materia orgánica los cuales se forman cuerpos esponjosos llamados flóculos biológicos. Estos microorganismos se alimentan de la materia biodegradable formada en el agua residual.

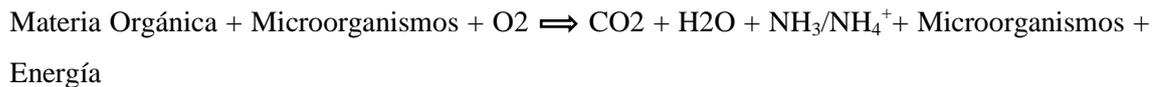
**Tabla 18-1:** Composición de una bacteria de fango activo

Elemento	% en peso
Carbono	50
Oxígeno	20
Nitrógeno	13
Hidrógeno	8
Fósforo	3
Sulfuros	2
Hierros	0,4

**Fuente:** Reciclaje de residuos industriales, Xavier Elias, 2da edición, Madrid 2012, pp9

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

Reacción biológica de fangos activos:



La biodegradación (oxidación de la materia orgánica disuelta en el agua) forma el flóculo. El flóculo es la unidad ecológica y estructural del fango activo constituye el núcleo el núcleo de la depuración biológica. Su tamaño medio oscila entre las 100 y 500 micras. A medida que aumenta el tamaño del flóculo, el oxígeno en su interior disminuye, y se pueden formar zonas de anoxia donde pueden crecer bacterias anaerobias metanogénicas y que pueden arrancar el proceso de digestión anaerobia de fangos, como veremos más adelante.

**Tabla 19-1:** Componente biológico principal de los lodos activados

<b>BACTERIAS</b>		
Es el componente principal y fundamental del flóculo. Básicamente son heterótrofas:		
Bacilos Gram negativos del grupo de las Pseudomonas como:		
Zoogloea (principalmente la especie ramigera)	Pseudomonas o Comamonas; bacterias filamentosas sin septos como Flavobacterium-Cytophaga	Proteobacterias oxidantes del hidrógeno como Alcaligenes (con capacidad desnitrificante)
Entre las bacterias Gram positivas se pueden encontrar:		
Arthrobacter (corineformes con morfogénesis coco-bacilo, muy abundantes en el suelo)	Bacillus (Bacilo esporógeno aerobio).	
Por otra parte, un flóculo “ideal” contiene una serie de bacterias filamentosas desarrollándose en equilibrio con el resto de las bacterias.		

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 20-1:** Problemas biológicos producidos por Microorganismos filamentosos

<b>PROBLEMAS BIOLÓGICOS</b>	
<b>Esponjamiento filamentososo o “bulking”</b>	El fango activo sólo sedimenta lentamente y no se compacta, o lo hace pobremente, debido a que en él se ha producido un hinchamiento o esponjamiento provocado por una excesiva proliferación de bacterias filamentosas. Es un fallo de la macroestructura flocular.

<b>Espumamiento biológico</b> o “foaming”.	Los microorganismos filamentosos producen una espesa espuma coloreada (en colores del blanco al marrón) y en muchos casos abundantes flotantes en decantación secundaria.
---	---

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 1.3.5.2 Técnicas de Aireación

Las técnicas de aireación variaran según su función y característica de diseño, existen dos tipos: aireadores de eje horizontal y aireadores de eje vertical.

#### a) Aireadores con difusores

En este método hay dos formas de aireación: introducción de difusores en el agua residual y agitación mecánica del agua residual para promover la disolución de aire de la atmósfera.

Hay difusores de burbuja fina y difusores de burbuja gruesa, los de tipo burbuja fina muestran mayor eficiencia de transferencia de oxígeno.

### 1.3.5.3 Consideraciones de Diseño

El diseño de un tanque aireador de lodos activados depende de la cantidad presente del  $DBO_5$ , este proceso se realiza considerando el consumo de oxígeno de los microorganismos en el agua residual.

Un tanque aireador puede ser rectangular o cuadrado y estos pueden tener uno o más aireadores según su diseño. Por lo general este tipo de tanques se construyen de hormigón armado y abiertos al aire libre o cerrado para mejorar su eficiencia. La capacidad del tanque aireador se determina según el diseño del tratamiento biológico y esto determinara el número de tanques presentes en el sistema.

En el caso que se utilice difusores en el diseño de tratamiento de aguas residuales la profundidad de los difusores en el tanque deberá ser de 4,6 y 7,6 m para tener una eficiencia del sistema.



**Figura 6-1:** Estanque de aireación

Fuente: QUILLON, lodos activados modalidad aireación extendida

### a) Elección del tipo de Reactor

Al elegir el reactor en el sistema de tratamiento de aguas residuales es conveniente tener en cuenta la cinética de las reacciones en el proceso ya que el costo dependerá de la eficiencia en el proceso.

Para este tipo de casos los más comunes son: Reactores de mezcla completa y reactores de flujo de pistón. Se considera como mejor reactor el reactor de mezcla completa este cumple con las funciones que necesita el proceso porque estos pueden soportar cambios bruscos de la DBO del agua, la distribución del oxígeno en este tipo de reactor es eficiente en la mezcla. (Ramalho et al., 1996: pp. 386)

$$V_r = \frac{\theta_c Q Y (S_0 - S)}{X(1 + K_d \theta_c)} \quad Ec. 32$$

Dónde:

$V_r$  = Volumen del reactor,  $m^3$

$\theta_c$  = Tiempo medio de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación, d

$S_0$  = Concentración de DBO o DQO en el afluente,  $Kg/m^3$

$S$  = Concentración de DBO en el efluente,  $Kg/m^3$

$Q$  = Caudal del agua residual a tratar,  $m^3/d$

$X$  = concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación,  $Kg/m^3$

$K_d$  = Coeficiente de degradación endógena,  $d^{-1}$

**Tabla 21-1:** Datos de sedimentación de SSLM

SSLM	1600	2500	2600	4000	5000	8000
Velocidad de sedimentación inicial	3.3	2.4	1.5	0.6	0.3	0.09

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

b) Eficiencia

Permite conocer si los valores de la concentración del afluente y efluentes de la DBO5 son correctos. Para su determinación se usa la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 \quad Ec. 31$$

c) Criterios de Carga

El tiempo de retención hidráulica se puede obtener a través de la siguiente ecuación:

$$Trh = \frac{Vr}{Q} \quad Ec. 33$$

Dónde:

Vr = Volumen del tanque de aireación, m<sup>3</sup>

Q = Caudal de entrada, m<sup>3</sup>/d

Si el valor calculado para la relación F/M es menor que 0,05 los lodos deben ser purgados debido a su exceso, mientras que al ser mayor que 0,15 se debe aumentar la concentración de SST en el estanque aireado; mediante la recirculación del lodo deteniendo la purga de los mismos.

Los parámetros más importantes son: la relación de alimento y microorganismos, y el tiempo de retención celular. La relación de alimento/microorganismo (F/M) se define como:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{TrhX} \quad Ec. 34$$

Dónde:

F/M = Relación alimento/microorganismos, d-1

So = Concentración de DBO o DQO en el afluente, Kg/m<sup>3</sup>

X = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, Kg/m<sup>3</sup>

Trh = Tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación, d

d) Producción de Lodo

La producción diaria de lodo que hay que purgar se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$P_x = Y_{obs}Q(S_o - S) * (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \quad \text{Ec. 35}$$

Dónde:

Px = Producción diaria neta de fango activado en términos de SS volátiles, Kg/d

Yobs = Producción observada, Kg/Kg

Q, So, S = Según definición anterior

La producción observada se puede calcular por medio:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d(\theta_c \text{ o } \theta_t)} \quad \text{Ec. 36}$$

Dónde:

Y = Coeficiente de producción celular (kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada.)

Kd = Coeficiente de degradación endógena, d<sup>-1</sup>

**Tabla 22-1:** Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados

COEFICIENTES	UNIDADES PARA SSV	RANGOS	TÍPICOS
<b>Y</b>	mg SSV/mg DBO5	0,4	0,6
<b>Kd</b>	d-1	0,0025 – 0,0075	0,06
<b>k</b>	mg /L DBO5	25 - 100	60

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

e) Caudal de purga de lodos se utiliza:

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \quad \text{Ec. 37}$$

Dónde:

$V_r$  = Volumen del reactor,  $m^3$

$\theta_c$  = Tiempo medio de retención celular.

f) Necesidad y Transferencia de Oxígeno

Se determina a partir de la  $DBO_5$  del agua residual y de la cantidad de microorganismos purgados diariamente en el sistema, de manera que se puedan estimar las cantidades reales del sistema.

Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$kg \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_o - S) * (10^3 g/kg)^{-1}}{f} - 1,42(P_x) \quad \text{Ec. 38}$$

Dónde:

$f$  = Factor de conversión de  $DBO_5$  en  $DQOL$  (0.45 – 0.68)

El suministro de aire debe proporcionar un mezclado adecuado y mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto en todo el tanque de aireación comprendido entre 1 y 2 mg/L.

**Tabla 23-1:** Parámetros de diseño para procesos de lodos activados

<b>Modificación del proceso</b>	<b><math>\theta_c, d</math></b>	<b>F/M Kg<math>DBO_5</math>apli cada/KgSSV LMd</b>	<b>Carga volumétrica Kg<math>DBO_5</math>aplic ada/m3d</b>	<b>SSLM mg/L</b>	<b>V/Q, h</b>	<b>Qr/Q</b>
<b>Convencional</b>	5-15	0.2-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8	0.25-0.75
<b>Mezcla Completa</b>	5-15	0.2-0.4	0.80-1.92	2500-4000	3-5	0.25-1.0
<b>Aireación prolongada</b>	20-30	0.005-0.15	0.16-0.40	3000-6000	18-36	0.5-1.50

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

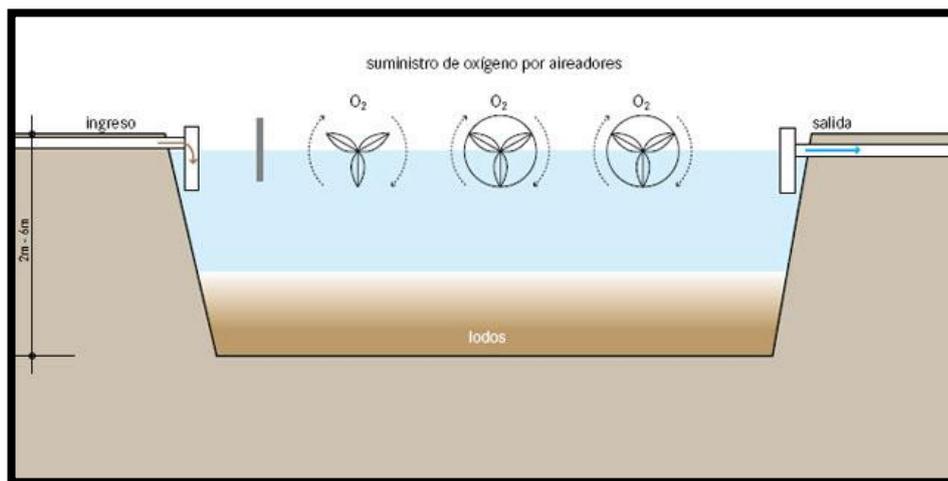
### g) Necesidad de nutrientes

Los principales nutrientes que se encuentran presentes en el agua residual es el nitrógeno y fósforo, el porcentaje de estos nutrientes varía según la edad del lodo dando una disposición adecuada a esta materia orgánica.

### h) Aireación por medio de difusores

En el reactor los microorganismos consumen oxígeno a medida que consumen la materia orgánica, por lo que es necesario emplear un sistema que proporcione la cantidad adecuada de oxígeno.

El aire que pasa a través de los difusores es conducido por una tubería, aire obtenido del medio ambiente comprimido. Existen tres tipos de difusores y son: de burbuja gruesa, de burbuja mediana, de burbuja fina. Refiriéndose a la transferencia de masa se considera de mejor rendimiento del oxígeno suministrado a los difusores de burbuja fina. (<http://www.oocities.org/edrochac/residuales/procesoslodos.htm>)



**Figura 7-1:** Estanque de aireación

Fuente: Tchobanoglous, G., Burton, FL. y Stensel, H D. (2003).

Para relaciones de alimento/microorganismos superiores a 0,3 las necesidades de aire para el proceso convencional se sitúa entre 30 y 55 m<sup>3</sup>/ kg de DBO<sub>5</sub> eliminada en sistemas de difusores de burbuja gruesa (no porosos), y entre 24 y 36 m<sup>3</sup>/ kg de DBO<sub>5</sub> eliminada para sistemas de difusores de burbuja fina (porosos). (Metcalf & Eddy, 1991. p.190)

La potencia necesaria para llevar a cabo el proceso de compresión adiabática se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{W_{aire} R T_1}{8,41 e} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad Ec. 39$$

Dónde:

$P_w$  = Potencia necesaria para cada soplante, kW

$W_{aire}$  = Caudal de aire en peso, kg/s

$R$  = Constante universal de los gases = 8.314 kJ/kmol°K

$T_1$  = Temperatura absoluta a la entrada, °K

$P_2$  = Presión absoluta a la salida, atm

$P_1$  = Presión absoluta a la entrada, atm

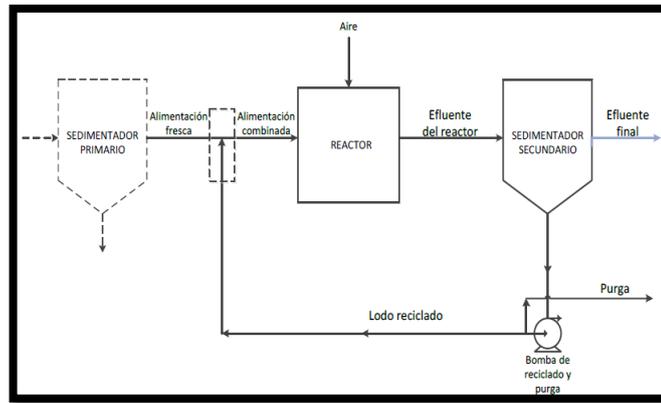
$n = (k-1)/k = 0.283$  (para el aire)

$e$  = Eficiencia (normalmente en compresores entre 0.70 y 0.90)

### **1.3.6 Sedimentación Secundaria**

También conocidos como tanques de clarificación secundaria, se utiliza para separar los sólidos del licor mixto del agua tratada. Por lo general presente gran porcentaje de solidos suspendidos y un alto contenido de DBO<sub>5</sub>, es parte fundamental del sistema de lodos activados siendo uno de los pasos final de la clarificación del agua residual.

Se llega a sedimentar de un 25 a 40% luego estos se devuelven al tanque aireador, el cual debe recibir un tratamiento adicional, en plantas pequeñas y medianas estos a estos lodos se les hace una recirculación al sedimentador primario realizando nuevamente el proceso. (JARAMILLO A., 2001. p. 408-410)}



**Figura 8-1:** Diagrama de flujo del proceso de lodos activados  
Fuente: RAMALHO, R., Tratamiento de Aguas Residuales., 1983

## TANQUES CIRCULARES

Este tipo de tanques se encuentran de dos tipos:

- ✓ De alimentación central
- ✓ De alimentación periférica

Los mecanismos que utilizan estos dos tipos de tanques son rotatorios el cual transporta y elimina el fango presente en el fondo del clarificador.

Dichos mecanismos pueden ser de dos tipos:

Aquellos que rascan el fondo y arrastran el fango a un cuenco central parecido a los empleados en los tanques sedimentación primaria.

Aquellos que eliminan el fango directamente del fondo del tanque mediante unos dispositivos de succión que barren la totalidad del fondo del tanque en cada revolución.

Los tanques circulares secundarios con una capacidad de 300 m<sup>3</sup> no deberán ser diseñados con un sistema de barrido, deberán se cónicos con una inclinación mínima de las paredes de la tolva de 60 grados, la remoción de lodos será por medio de tuberías. (IEOS, 1992., pp. 378)



**Figura 9-1: Sedimentador secundario**

Fuente: QUILLON, lodos activados modalidad aireación extendida

### 1.3.6.1 Consideraciones del Diseño

#### a) Área del sedimentador

El área del sedimentador secundario, se obtiene a partir de la relación propuesta por Metcalf y Eddy, utilizando el valor de la carga de superficie para sedimentación a continuación del proceso de lodos activados con oxígeno.

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad Ec. 40$$

Dónde:

A = Área, m<sup>2</sup>

Q = Caudal a tratar en el sedimentador secundario, m<sup>3</sup>/h

C<sub>s</sub> = Carga superficial, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d

#### b) Diámetro del sedimentador

Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}} \quad Ec. 41$$

Dónde:

∅ = Diámetro, m

A = Área, m<sup>2</sup>

Considerando que el 25% del diámetro es el reparto central, obtenemos la siguiente expresión:

$$R_{central} = \emptyset * 0,25 \quad Ec. 42$$

La altura de reparto se toma ¼ de la profundidad:

$$H_{reparto} = \frac{1}{4} * profundidad \quad Ec. 43$$

**Tabla 24-1:** Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios

Tipo de tratamiento	Carga de superficie m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d		Carga de solidos kg/m <sup>2</sup> h		Profundidad m
	Media	Punta	Media	Punta	m
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados (excepto en la aireación prolongada)	16 - 32	41 - 49	3,90 - 5,85	9,76	3,6-6,0
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados con oxígeno	16 - 32	41 - 49	4,88- 6,83	9,76	3,5-6,0
Sedimentación a continuación del proceso de aireación prolongada	8 - 16	24,42-32	0,97- 4,88	6,83	3,6-6,0

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### c) Carga sobre el vertedero de salida

Se debe determinar la carga de vertedero de salida, a través de la siguiente ecuación:

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{Q}{\pi * \theta} \quad \text{Ec. 44}$$

Dónde:

C<sub>vertedero</sub> = Carga sobre el vertedero, m<sup>3</sup>/d\*m

Q = Caudal, m<sup>3</sup>/s

#### **d) Ancho del sedimentador**

Se requiere calcular el ancho del sedimentador una vez obtenida el área, por medio de la siguiente ecuación:

$$An = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad \text{Ec. 45}$$

$$L_{\text{sed}2} = \frac{A}{An} \quad \text{Ec. 46}$$

Con los dos valores anteriores se calcula el volumen de sedimentador:

$$V = L_{\text{sed}2} * An * h \quad \text{Ec. 47}$$

Dónde:

V = Volumen del tanque de sedimentador, m<sup>3</sup>

An = Ancho del sedimentador, m

L<sub>sed 2</sub> = Largo del sedimentador, m

h = Altura del sedimentador, m

#### **e) TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO**

Es necesario determinar el tiempo de retención hidráulica, valor que depende del volumen del sedimentador.

$$T_{rh} = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 48}$$

Dónde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico, h

V = Volumen del sedimentador, m<sup>3</sup>

Q = Caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

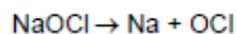
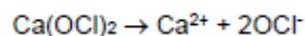
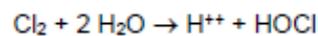
### **1.3.7 Desinfección**

El agua residual presenta diferentes tipos de microorganismos patógenos, la función principal de este proceso es la eliminación de estas bacterias causantes de varias enfermedades en los seres humanos. Uno de los métodos más utilizados en la desinfección es el contacto con cloro debido a su bajo costo y alta eficiencia en la purificación de las aguas residuales. Ingeniería ambiental By J. Glynn Henry, Gary W. Heinke, pp 448, México 1990

La desinfección química de los agentes microbiológicos en agua potable o residual es uno de los pasos finales de la purificación. Siendo un método de desinfección segura eliminando una posible multiplicación de estos patógenos en el agua.

#### **1.3.7.1 Química de la Cloración**

El cloro puede aplicarse de manera sólida o gaseosa dependiendo el tratamiento que se necesite realizar. El uso de cloro gas no es recomendable para caudales menores a 500 m<sup>3</sup>/día, lo que a una dotación de 100 litros por habitante por día, típica del medio rural, significa que el cloro gas solo es recomendable para poblaciones mayores de 5,000 habitantes.



El Hipoclorito de Calcio se utiliza debido a que se diluye fácilmente y tiene una solubilidad de aproximadamente 700 mg/l en el agua al pH y temperatura presentes en el agua tratada, generalmente esta forma de cloro es la especie preferida. La aplicación de hipocloritos tiende a aumentar el pH, llevando la reacción al OCl<sup>-</sup>, menos efectivo.

El hipoclorito de calcio comercial contiene aproximadamente 70 a 80 % de cloro disponible, mientras que el NaOCl contiene sólo 3 a 15 % de cloro disponible.

### 1.3.7.2 Propiedades de los productos del cloro

Las diversas variedades comerciales del cloro se obtienen por métodos diferentes, y de ellos dependen la concentración de cloro activo, su presentación y estabilidad.

**Tabla 25-1:** Propiedades de los productos del cloro

Nombre y formula	Nombre comercial o común	Aspecto	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
Cal clorada CaO.2CaCl 2O. 3H <sub>2</sub> O	Cal clorada, Polvo blanqueador, hipoclorito de calcio, cloruro de cal.	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 45 - 135 kg Bolsas plásticas o de papel de 25 - 40 kg, otros.
Hipoclorito de sodio NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como Máximo. Concentraciones mayores a 10% Son inestables.	Baja. Pérdida de 2- 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis in situ	Solución líquida amarillenta	0.1 - 0.6 %	Baja	Oxidante	Volumen variable
Hipoclorito de calcio Ca(ClO)2.4 H <sub>2</sub> O	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 - 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 -70%	Buena. Pérdida de 2- 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores 45 - 135 kg, balde de plástico

FUENTE: Guía para la selección de sistema de desinfección, Lima 2007

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 1.3.7.3 Consideraciones de Diseño

Al momento de aplicar este tratamiento se debe considerar la dosis necesaria, tomando en cuenta el siguiente criterio:

**Tabla 26-1:** Criterios para el almacenamiento de productos desinfectantes

Producto	Tiempo de almacenamiento	Dosis (mg/L)		Concentración de la solución (mg/L)
		Máxima	Mínima	

	to, (meses)			
<b>Cloro en cilindros a presión</b>	3-6	1	3	3500
<b>Hipoclorito de calcio</b>	3-6	1.4	4.3	10000-50000
<b>Hipoclorito de sodio</b>	< 1 mes	1.7	23.1	10000-50000

Fuente: Rodríguez Ayara, 2000

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

#### a) Peso requerido de desinfectante

El peso requerido de desinfectante se considera en la siguiente ecuación:

$$P = Q * D \quad \text{Ec. 49}$$

Dónde:

P = Peso requerido de desinfectante, mg/s o Kg/d

Q = Caudal, L/s

D = Dosis promedio del desinfectante, mg/L

#### b) Volumen del Hipoclorador con la siguiente ecuación:

$$V_H = \frac{P * Q}{5C} \quad \text{Ec. 50}$$

Dónde:

Q = Caudal m<sup>3</sup>

P = Peso requerido de desinfectante Kg/d

C = Concentración del Hipoclorito de Calcio 70%

#### c) Volumen del tanque donde se mezcla el cloro

$$V = Q * T_r \quad \text{Ec. 51}$$

Dónde:

V = Volumen del tanque, m<sup>3</sup>

Q = Caudal, m<sup>3</sup>/s

Tr = Tiempo de retención 30 minutos

#### d) Altura del tanque

$$A_t = \frac{V}{L * A} \quad Ec. 52$$

Dónde:

$A_t$  = Altura del tanque, m

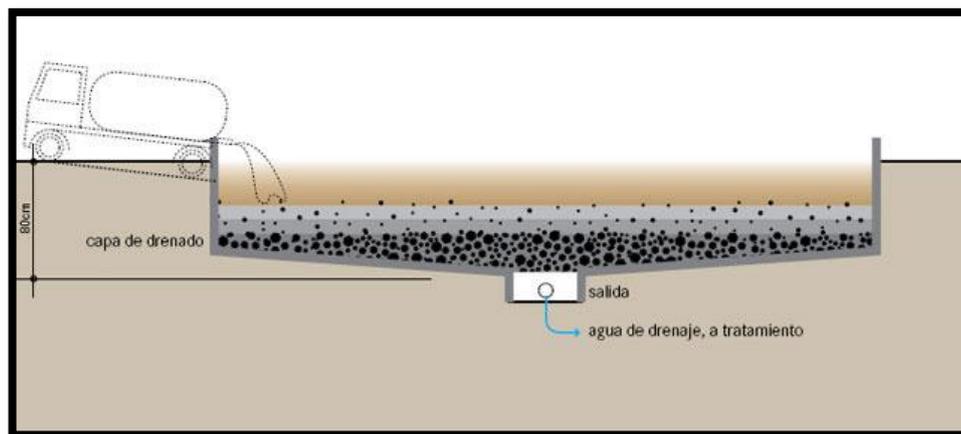
$V$  = Volumen del tanque, m<sup>3</sup>

$A$  = Ancho del tanque, m

$L$  = Largo del tanque, m

#### 1.3.8 Lecho de Secado

Los lechos de secado son sistemas sencillos y con bajo costo económico cuya función principal es la deshidratación de los lodos digeridos en el proceso de las aguas residuales. Estos aparatos eliminan el agua contenida en los lodos en forma de evaporación obteniéndose como residuos materiales sólidos con humedades menores del 70%, el objetivo principal de un lecho de secado es la de poder reutilizar estos sólidos en forma de compost, por lo general este proceso se aplica en comunidades de poblaciones pequeñas. Por lo general los lechos de secado tienen capas de grava y arena las cuales actúan como filtro para los lodos depositados en el filtro.



**Figura 10-1:** Lecho de Secado

Fuente: Tchobanoglous, G., Burton, FL. y Stensel, H D. (2003).

##### 1.3.8.1 Diseño del lecho de Secado

La principal forma de un lecho de secado es de manera rectangular, poco profunda puede contar o no con un sistema de drenaje. El lodo se ubica sobre lecho en forma de capas de 20 a 40 cm de espesor, para el secado se puede utilizar dispositivos electrónicos o al ambiente.

a) Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C):

$$C = Q * SS \quad Ec. 53$$

Dónde:

C = Carga de sólidos (Kg/día)

Q = Caudal diseño (L/s)

SS = Sólidos Suspendidos (mg/L)

b) Masa de sólidos que conforman los lodos

$$Msd = (0,5 * 0,7 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad Ec. 54$$

Dónde:

C = Carga de sólidos (Kg/día)

c) Volumen diario de los lodos digeridos

$$Vld = \frac{Msd}{\rho \text{ lodo} * \left(\frac{\% \text{ Sólidos}}{100\%}\right)} \quad Ec. 55$$

El porcentaje de solidos se refiere a los sólidos que están presentes en los lodos, y que varían entre el 8% y 12%.

d) Volumen de Lodos a extraerse

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad Ec. 56$$

Dónde:

Td = Tiempo requerido para la digestión de lodos

El tiempo de digestión varía según la temperatura, es por ello que en la siguiente tabla se muestran valores que se utilizan:

**Tabla 27-1:** Tiempo requerido para la digestión de lodos

Temperatura °C	Tiempo de digestión (días)
5	110

10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: CEPIS/OPS

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

e) Área del lecho de secado

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \quad Ec. 57$$

Dónde:

Ha = Profundidad de aplicación (m)

f) Número de lechos

$$A_{lsi} = \frac{Als}{N^{\circ}lechos} \quad Ec. 58$$

Dónde:

Als = Área del lecho de secado

N° = Número de lechos

**g) Longitud del lecho de secado**

$$L = \frac{Als}{b} \quad Ec. 59$$

Donde:

b = Ancho del lecho

## **1.4 NORMATIVA AMBIENTAL**

### **1.4.1 Constitución de la República del Ecuador**

En el Art. 264 y 415 se menciona acerca del tratamiento de aguas residuales, obligando a un adecuado manejo de desechos líquidos de manera que no sea perjudicial para otras redes de agua, logrando mantener un ambiente sano conservando la calidad del agua Art. 276.

El artículo 276 de la Constitución de la República del Ecuador, señala que el régimen de desarrollo tendrá como objetivo el recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

El artículo 66 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce y garantiza a las personas, el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza

El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce: el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

#### **1.4.2 Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente.**

El libro VI Anexo 1 trata sobre la calidad ambiental y descarga de efluentes, tiene como objeto la “prevención y control de la contaminación ambiental en lo que se refiere al agua”

En la tabla 20 se encuentran los límites de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce, los cuales son la base para la caracterización físico-química de la muestra compuesta.

**Tabla 28-1: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
<b>Aceites y Grasas</b>	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
<b>Coliformes Fecales</b>	Nmp/100ml		Remoción > al 99.9%
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)</b>	D. B. O5	mg/l	100
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	D. Q. O.	mg/l	250
<b>Fósforo Total</b>	P	mg/l	10
<b>Materia flotante</b>	Visibles	mg/l	Ausencia

<b>Nitratos + Nitritos</b>	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10.0
<b>Potencial de hidrógeno</b>	pH	mg/l	5-9
<b>Sólidos Sedimentables</b>	-	mg/l	1.0
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	-	mg/l	100
<b>Sólidos Totales</b>	-	mg/l	1600
<b>Temperatura</b>	-	°C	< 35
<b>Tensoactivos</b>	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5

Fuente: TULAS., LIBRO VI., Pp. 330-333

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

#### **1.4.3 Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales.**

Las Normas ecuatorianas se pueden encontrar los criterios a consideración para el tratamiento de aguas residuales y abastecimiento de agua potable, considerando la referencia de sistemas y procesos con tecnología adecuada.

En las normas IEOS constan de varias partes en donde se trata desde definición de términos, etapas a considerarse en el proyecto, normas de la calidad de agua con la concentración aceptable de las sustancias contaminantes, disposiciones específicas acerca de los requisitos para el diseño de los equipos a emplearse en el sistema; entre otros puntos los cuales se detallan en la mencionada norma.

Se acentúa que en 1992 el sector se descentralizó con la Ley de Descentralización y se asignó la rectoría del sector al MIDUVI, por lo que el IEOS se fusionó con el MIDUVI. De manera que actualmente usa los datos establecidos inicialmente en las normas IEOS. (BRAVO E., 2012, <http://es.scribd.com/doc/82648163/Normas-IEOS#scribd>)

#### **1.4.5 Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)**

Se toma como referencia la norma técnica 2198:98 acerca de la calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de las muestras; hace mención acerca de lineamientos específicos al momento de la toma de muestra de manera que sea significativa y los resultados no se distorsionen.

Es de gran importancia el conocimiento de manejo y conservación de las muestras para los diferentes parámetros, ya que, de los resultados de los análisis de las pruebas físicas-químicas dependerá el sistema de tratamiento para el agua residual.

#### **1.4.6 Otras Normas**

Norma Técnica OS.090 "Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales" del Reglamento Nacional de Edificaciones según Decreto Supremo N° 022-2009-VIVIENDA, publicado en el Peruano el 27 de Noviembre 2009.

Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, publicada en 1995, Décima Parte (X) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Proyecto de Código Ecuatoriano para el diseño de la Construcción de Obras Sanitarias Co 10.07 – 601 Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Aguas Residuales en el Área Rural (SSA).

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Localización y Duración del estudio

La siguiente investigación fue realizada en la Cabecera Parroquial de Santiago de Calpi, del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo que se encuentra a una altitud de 3200msnm.

Las coordenadas de la Cabecera Parroquial es de Latitud: -1.65 y Longitud: -78.7333

País: Ecuador

Región: Sierra

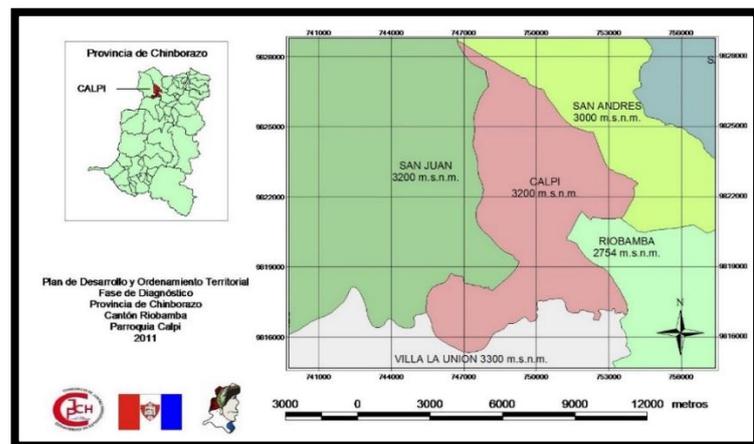
Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

Parroquia: Santiago de Calpi

Sector: Cabecera Cantonal Santiago de Calpi

El estudio del agua residual se realizó durante los meses de Mayo, Junio y Julio del 2015, motivo por el que se considera que posee una mayor descarga de efluentes considerando las variaciones climáticas que presenta nuestro País. Las muestras recogidas por diferentes días y horarios se realizó el respectivo análisis de cada uno de los parámetros a consideración para el tratamiento de las aguas residuales, considerando de gran importancia el caudal máximo diario, obteniendo resultados para realizar el diseño del sistema mediante cálculos ingenieriles.



**Figura 11-2:** Localización Geográfica de la Parroquia Santiago de Calpi  
**Fuente:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Santiago de Calpi, 2011

## **2.2 Muestreo**

En una herramienta de investigación que ayuda a determinar datos reales mediante un estudio de examinación de la muestra sobre una población determinada. La base a los datos obtenidos se elaboró una planificación para la toma de la muestra, tomando como referencia la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.

### ***2.2.3 Lugar de Muestreo***

La presente investigación se realizó en la Parroquia Santiago de Calpi, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, con el propósito de establecer un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en este lugar.

## **2.3 Plan de Muestreo**

El tipo de muestreo que se utilizó en esta investigación es el muestreo compuesto el cual varia por su punto de descarga, hora formando una mezcla homogénea por día se tuvo la muestra compuesta.

El plan de muestreo se determinó mediante el caudal; se tomó por una semana es decir siete días, brindando diferentes tipos de datos de concentración por día y hora.

Mediante la medición del caudal se pudo determinar la muestra representativa para realizar la primera caracterización en el laboratorio. Se obtuvo tres análisis de caracterización de las muestras, tomadas de diferentes días y horas formando la muestra compuesta.

El volumen tomado para la caracterización del análisis del laboratorio fue de 6 litros tomando en cuenta que esta ya es una muestra compuesta cada 10 minutos en el lugar del muestreo.

## **2.4 Sistema de Toma de muestras**

Se utilizó diferentes materiales como:

- ✓ Envase de plástico de 6 L
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Guantes de látex

- ✓ Mandil
- ✓ Mascarilla

Al realizar la toma de muestras estas fueron registradas con: número de muestra, nombre del responsable, fecha, hora y lugar de donde se tomó la muestra.

Se utilizó envases de plástico (polietileno, propileno) con un volumen de 6 litros, dichos envases estaban perfectamente esterilizados y para el transporte se lo hizo en un cooler portátil con hielo tratando de mantener la muestra en condiciones estables hasta q llegue al laboratorio.

## **2.5 Metodología**

### ***2.5.1 Reconocimiento del lugar de investigación***

Para iniciar con el estudio del agua residual de la Parroquia Santiago de Calpi se hizo un recorrido por dicho lugar, reconociendo el lugar de descarga del afluente a 1000 m de la parroquia, luego siendo dirigida al Río Chibunga a 800 m de trayectoria a través de un canal abierto.

### ***2.5.2 Determinación del Caudal***

Para la determinación del caudal se ocupó un balde graduado de 8L durante los 7 días de la semana empezando a las 7:00 am hasta las 19:00 pm cada día. Para la medición del caudal se realizó la toma de muestras cada media hora.

Le método utilizado para la medición del caudal fue la del llenado del recipiente para caudales de bajo volumen donde se llega a determinar que el caudal varía según la hora de la muestra tomada. Mediante estos datos obtenidos se pudo realizar una gráfica que determina la variación diaria del caudal según el tiempo ayudando a tener un mejor plan de muestreo de nuestro estudio.

### **2.5.3 Métodos y Técnicas**

#### **2.5.4.1 Métodos**

Para realización de la presente investigación de tesis se tomará en cuenta los siguientes métodos: inductivo, deductivo y experimental razón por la que se dan a notar los puntos más representativos del tratamiento de aguas residuales mejorando el desarrollo del proyecto.

##### **a) Método inductivo**

Mediante de la aplicación de este método se dio a conocer el porcentaje de contaminante presentes de una manera global generadas en la Parroquia Santiago de Calpi, obteniéndose conclusiones claras y concisas para el desarrollo del diseño del sistema.

Esto se conseguirá con los respectivos análisis meticulosos ejecutados en el laboratorio, determinando la caracterización del agua muestreada adquiriendo datos precisos para la elaboración del proyecto de investigación.

##### **b) MÉTODO DEDUCTIVO**

En este método analiza los conocimientos generales a los actuales; encontrando soluciones al problema de genera la aguas residuales de la Parroquia Santiago de Calpi al medio ambiente. Análisis físico- químico y microbiológicos fueron comparados con las normas establecidas del TULAS, datos que fueron tabulados y analizados para posteriormente diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales.

##### **c) MÉTODO EXPERIMENTAL**

Se basa en la utilización de equipos e instrumentos adecuados para demostrar la veracidad de los datos obtenidos del tratamiento de las aguas residuales, demostrando mediante una simulación del diseño que el sistema utilizará. Para el reactor biológico se realizó una simulación adaptando un tanque de aireación para el proceso de lodos activados, determinando la eficacia de dicho proceso.

### 2.5.4.2 Técnicas

**Tabla 29-2:** Técnicas empleadas en el laboratorio

<b>POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)</b>		
<p><b>Fundamento:</b> El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez del agua, tiene un rango de 1a14. Si el agua es ácida el pH es menor a 7, si es básica mayor a 7, si es igual a7 es neutro.</p>		
<b>TÉCNICA</b>	<b>MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>
STANDARD METHODS 4500-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ pH metro</li> <li>✓ Buffer 7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Calibrar el equipo utilizando buffer.</li> <li>✓ Introducir el electrodo en la muestra, agitar suavemente.</li> <li>✓ Esperar unos segundos que se estabilice, y tomar la lectura.</li> </ul>
<b>CONDUCTIVIDAD</b>		
<p><b>Fundamento:</b> Es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica, depende de la presencia de iones y su concentración total, de su movilidad valencia y sus concentraciones relativas así como de la temperatura.</p>		
STANDARD METHODS 2510-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conductímetro</li> <li>✓ Vaso de precipitado de250 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar la muestra problema en un vaso de precipitación y vertimos en el recipiente que trae el Conductímetro.</li> <li>✓ Tomar la lectura en el Conductímetro el cual trae tres diferentes escalas (0-1, 0-10, 0-1000) micro ohms*cm, la misma que tenemos que regular de acuerdo a la escala que se requiera.</li> </ul>
<b>TURBIDEZ</b>		
<p><b>Fundamento:</b> La turbidez mide la intensidad de color en el agua que se obtiene en la captación de agua cruda y luego de la filtración (agua tratada), este equipo identifica toda impureza finamente dividida, cualquiera que sea su naturaleza, que pueda ser suspendida. Estas impurezas pueden ser de origen inorgánicas tales como las arcillas, limos, carbonatos de calcio, sílice, hidróxido férrico, azufre, etc. O pueden ser de naturaleza orgánica tales como materia vegetal finamente dividida, aceites, grasas, microorganismos.</p>		
MÉTODO HACH 46500-88	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Turbidímetro.</li> <li>✓ Celda.</li> <li>✓ Pizeta.</li> <li>✓ Agua Problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar en la celda el agua recolectada en el tanque de recepción. Y agua tomada luego del proceso de filtración.</li> <li>✓ Colocar la celda en el turbidímetro.</li> <li>✓ Leer directamente el valor según la escala deseada (0-1, 0-10,0-100 NTU).</li> </ul>
<b>COLOR</b>		
<p><b>Fundamento:</b> El color es causado por la presencia de sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color producido por sólidos suspendidos se denomina Color Aparente. Mientras que el color causado</p>		

por sustancias disueltas y coloidales se denominan color verdadero.		
HACH MODELD R4000 V	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colorímetro HACH</li> <li>✓ Vaso de precipitación de 250 mL</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Muestra problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tomar la muestra en un vaso de precipitación y colocar en la celda.</li> <li>✓ Colocar la rueda colorimétrica de aguas crudas y leer comparativamente.</li> <li>✓ De la misma manera colocar la rueda colorimétrica para aguas limpias y leer comparativamente.</li> </ul>
<b>SÓLIDOS SEDIMENTABLES</b>		
<b>Fundamento:</b> Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas así como los residuos domésticos e industriales pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l).		
MÉTODO 2540-F	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cápsula de Porcelana</li> <li>✓ Platino</li> <li>✓ Vaso alto de sílice</li> <li>✓ Mufla</li> <li>✓ Baño de vapor</li> <li>✓ Desecador</li> <li>✓ Balanza analítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Volumétrico: llénesse un icono Imhoff hasta la marca con la muestra deje sedimentar durante 45min removiendo constantemente con una varilla.</li> <li>✓ Para la determinación de los sólidos suspendidos se utiliza:  <math display="block">mg\ SS/L = \frac{mg\ de\ ST\ Suspensión}{L} - \frac{Kmg\ SNS}{L}</math> </li> </ul> <p>Dónde:  SS=sólidos sedimentables  STS=sólidos totales en suspensión  SNS= sólidos no sedimentables</p>
<b>DBO (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO)</b>		
<b>Fundamento:</b> Se llena una muestra hasta rebosar un frasco hermético e incubarlo a una temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación el ROB se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final		
STANDARD METHODS 5210-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo de DBO</li> <li>✓ Botellas de incubación</li> <li>✓ Grasa</li> <li>✓ Tampones de Copa</li> <li>✓ Capsula magnética</li> <li>✓ Probeta graduada</li> <li>✓ Termómetro</li> <li>✓ Embudo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Caliente o enfríe la muestra hasta 2°C de la T de incubación (20°). Usando una probeta graduada, vierta 160 ml de la muestra en una botella oscura.</li> <li>✓ Coloque una barra magnética para mezclar en cada botella de muestra. Añada el contenido de un sobre de Buffer nutritivo para DBO a cada botella para el crecimiento óptimo de las bacterias si las características de la muestra original lo requieran. Aplicar grasa en la boca de cada botella para sellarla con el tampón de copa.</li> <li>✓ Usando un embudo adicione el contenido de un sobre de Li (OH) en el tampón de copa de cada muestra, coloque las botellas en el equipo. Coloque el equipo en la incubadora o estufa ajustando la temperatura a <math>20 \pm 2</math> °C.</li> <li>✓ Prenda el equipo.</li> </ul>

		✓ Seleccione la duración de la prueba
<b>REPORTE DE RESULTADOS</b>		
<p>Cuando el agua de la disolución no está sembrada: <math>ROB_5 = \frac{(D_1-D_2)}{P}</math></p> <p>Cuando el agua de disolución está sembrada: <math>ROB(5mg/l) = \frac{[(D_1-D_2)-(B_1-B_2)*f]}{P}</math></p> <p>Dónde:</p> <p>D<sub>1</sub>= OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación mg/L</p> <p>D<sub>2</sub>= OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C mg/L</p> <p>P= fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada</p> <p>B<sub>1</sub>= OD del control de simiente antes de la incubación mg/L</p> <p>B<sub>2</sub>= OD del control de simiente después de la incubación mg/L</p> <p>f = proporción de la simiente de la muestra diluida con respecto al control de la simiente</p>		
<b>DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO)</b>		
<b>Fundamento:</b> Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición, la muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio. El dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente.		
MÉTODO 5220-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reactor de DQO</li> <li>✓ Probeta graduada</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> <li>✓ Tubos de reactivos de digestión con tapa</li> <li>✓ Toallas de papel</li> <li>✓ Pipetas volumétricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Precalentar a 150°C el digestor de DQO y tomar la muestra Homogeneizada.</li> <li>✓ Añadir la disolución digestora respectiva.</li> <li>✓ Colocar agua en el tubo del blanco de reactivos.</li> <li>✓ Colocar los tubos en el digestor y dejar por 2h.</li> <li>✓ Retirar los tubos del digestor y dejar enfriar.</li> <li>✓ Medir la absorbancia en el espectrofotómetro previamente calibrado o cuantificar por titulación.</li> </ul>
<b>Reporte de resultados:</b> El DQO se expresa mg O <sub>2</sub> /L:		
$DBQ = \frac{V_1 * k * VP * 8000}{V_s}$		
<p>Dónde:</p> <p>V<sub>1</sub>= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo.</p> <p>V<sub>2</sub>= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra.</p> <p>V<sub>s</sub>= volumen de la muestra.</p>		
<b>ACEITES Y GRASAS</b>		
<b>Fundamento:</b> En la determinación de aceites y grasas no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica, más bien se determina cuantitativamente grupos de sustancias con características físicas similares sobre		

la base de su solubilidad común en triclorotrifluoroetano.		
STANDARD METHODS 5530-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Embudo de separación</li> <li>✓ Matraz de destilación</li> <li>✓ Baño de agua</li> <li>✓ Papel filtro (diámetro 11cm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tome un 1ml de muestra y marque el nivel en la botella. Acidifíquela hasta un pH de 2 o inferior con 5ml de HCl, pásela por un embudo.</li> <li>✓ Dejar que separe las dos capas y drenar la capa del disolvente con el uso papel filtro.</li> <li>✓ Si la capa no es clara añadir 1g de sulfato de sodio y drene.</li> <li>✓ Hágase dos extracciones con 30 ml de disolvente</li> </ul>
<p><b>Reporte de resultados:</b> La cantidad de aceites y grasas se determina mediante:</p> $mg \text{ de aceites y } \frac{grasas}{L} = (A * k * B) * 1000 \text{ ml de la muestra}$ <p>Dónde:  A= la ganancia total del peso.  B = peso del matraz tarado menos el residuo calculado.</p>		
<b>TENSOACTIVOS</b>		
<p><b>Fundamento:</b> El método se basa en la destilación de los fenoles a un pH de 10 en presencia de ferrocianuro de potasio formando compuestos de color amarillo intenso a rojo, son extraídos con cloroformo midiendo su absorbancia.</p>		
STANDARD METHODS 5530-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza analítica</li> <li>✓ Equipo de destilación</li> <li>✓ Potenciómetro de laboratorio</li> <li>✓ Espectrómetro</li> <li>✓ Papel filtro</li> <li>✓ Embudos de separación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tomar 500 ml de muestra y ajustar el pH a 4 con de ácido fosfórico utilizando el indicador naranja de metilo. Destilar la muestra, adicionar 500ml de agua caliente, seguir destilando hasta un volumen de 500ml.</li> <li>✓ De destilado total.</li> </ul>
<p><b>Reporte de resultados:</b></p> <p>Para calcular los fenoles se utiliza la siguiente ecuación de la curva de calibración: <math>Y = mx + b</math></p> <p>Para la concentración: <math>U \text{ fenol}/L = \frac{A}{B}</math></p> <p>Dónde:  A = µgr de fenol determinada en la curva  B = ml de la muestra original</p>		

<b>COLIFORME FECAL</b>		
<b>Fundamento:</b> El agua contiene bacterias cuyas necesidades nutritivas y de T óptima de desarrollo son variables. Los estreptococos fecales son bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre.		
STANDARD METHODS 4500-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cajas Petri</li> <li>✓ Pipetas</li> <li>✓ Autoclave</li> <li>✓ Estufa</li> <li>✓ Disco filtrante</li> <li>✓ Agar de Plata</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Pinzas</li> <li>✓ Papel filtro</li> <li>✓ Matraz</li> <li>✓ Bomba al vacío</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Un disco filtrante estéril se pone en la unidad de filtración, las bacterias serán detenidas en la superficie de la membrana. Se quita el disco y se pone sobre una almohadilla absorbente que se ha saturado con el medio de cultivo apropiado. Las almohadillas absorbentes se acomodan en cajas de Petri, las cuales se incuban.</li> <li>✓ Después de la incubación se desarrollarán colonias sobre el disco filtrante en cualquier lugar donde hayan quedado bacterias atrapadas durante el proceso de filtración.</li> <li>✓ La placa Petri con el contenido se lleva a estufa a 37 °C para la determinación de microorganismos totales y coliformes totales, o a 44,5 °C para la de coliformes fecales, durante un período de 24 horas.</li> </ul>
<b>Reporte de resultados:</b> Tras la incubación, se procede al recuento de las colonias formadas en cada disco filtrante, expresando los resultados en millones de microorganismos por litro de agua.		

**Fuente:** ESPOCH (Laboratorio de Agua)

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

## 2.6 Datos Experimentales

### 2.6.1 Diagnóstico

La Parroquia Santiago de Calpi, del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo, es considerada como zona agrícola y ganadera, esta cuenta en su gran mayoría con los servicios básicos, cabe recalcar que la Parroquia Santiago de Calpi cuenta con 120 L/hab día de agua para uso doméstico, agua para riego de 40 L/s estas aguas son repartidas por comunidades a diferentes horas, haciendo que el agua residual sea uno de los elementos utilizados para el riego de los sembríos debido a la falta de agua en horas de necesidad.

Existe una disparidad en las comunidades ya que unas cuentan con servicios de agua potable y alcantarillado ya sea por la gestión realizada 423 familias que tienen alcantarillado.

Los efluentes líquidos están siendo transportados por tuberías de un punto de unión ubicándose a 1200 m de la cabecera Parroquial, en dicho lugar existe la presencia de una familia y una mecánica automotriz. A sus alrededores se encuentran sembríos de maíz, lechuga, col, etc. La descarga de las aguas residuales se encuentra a 10m de la casa donde vive una familia la cual expresa su malestar por la contaminación y olores nauseabundos que genera este efluente. El

recorrido del agua es de 800m hasta llegar al Río Chibunga, no existiendo ningún tipo de canal esta trayectoria del agua es al aire libre causando contaminación del suelo y áreas verdes.

Entonces podemos decir que la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales es de gran importancia, esto aportará a una mejor calidad de vida para los habitantes de esta parroquia, los sectores ganaderos y agrícolas se beneficiaran así se podrá reutilizar esta agua ya tratada cuidando así nuestro medio ambiente.

### 2.6.2 Caracterización de las Aguas Residuales

La caracterización del agua residual de la Parroquia Santiago de Calpi se basó en el muestreo realizado por diferentes días y horas con ayuda de las metodologías para determinación de los parámetros a caracterizar. En el laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 30-2:** Examen Físico

<b>COLOR</b>	Café amarillento
<b>OLOR</b>	Desagradable, similar a huevos podridos, característico del agua residual.
<b>ASPECTO</b>	Turbio y con abundante presencia de sólidos.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 31-2:** Análisis físico – químico y microbiológico del AR de la Parroquia S.C

<b>DETERMINACIONES</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>**LIMITES</b>	<b>RESULTADOS</b>
<b>pH</b>	Und.	5-9	7.75
<b>Conductividad</b>	μSiems/cm		780
<b>Turbiedad</b>	UNT		182,33
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	mg/L	250	368,33
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	mg/L	100	287,66
<b>Sólidos totales</b>	mg/L	1600	410

<b>Sólidos Sedimentables</b>	mL/L	1.0	1.0
<b>Sólidos Suspendedos</b>	mg/L	100	195,33
<b>Sulfatos</b>	mg/L	1000	134
<b>Aceites y Grasas</b>	mg/L	0.3	28.00
<b>Tensoactivos</b>	mg/L	0.5	2.70
<b>Nitrógeno Total</b>	mg/L	15	13.4
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100ml	Remoción > al 99%	10,15*10 <sup>3</sup>

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH, 2015

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 32-2: Análisis físico – químicos de los parámetros a considerar**

<b>DETERMINACIONES</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MUESTRA A 1</b>	<b>MUESTRA A 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>TURBIEDAD</b>	NTU	180	171	196	182,33
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	194	318	351	287,66
<b>DQO</b>	mg/L	332	400	373	368,33
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>	mg/L	190	216	180	195,33
<b>TENSOACTIVOS</b>	mg/L	2,70	2,70	2,70	2,70
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	mg/L	28,00	28,00	28,00	28,00
<b>COLIFORMES FECALES</b>	UFC/100ml	10,15*10 <sup>6</sup>	10,15*10 <sup>6</sup>	10,15*10 <sup>6</sup>	10,15*10 <sup>3</sup>

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH, 2015

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

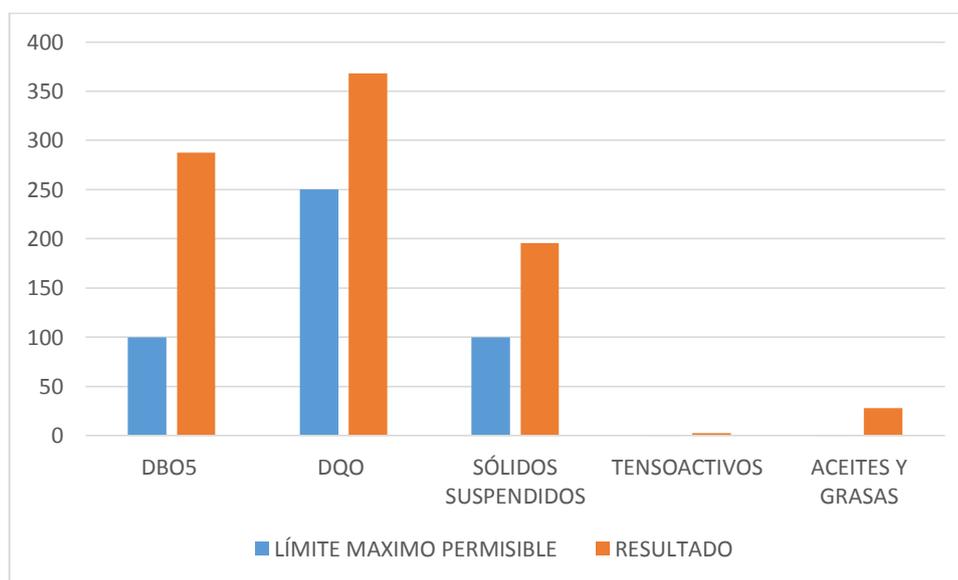
Estos parámetros fueron comparados con las normativas del TULAS, libro VI, tabla 12 determinándose que se encuentran fuera de los límites permisibles para descargar los efluentes en un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 33-2:** Caracterización Físico-Químicos fuera de límite máximo permisible

DETERMINACIONES	UNIDADES	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE	RESULTADO	CONDICIÓN
DBO <sub>5</sub>	mg/L	250	287,66	NO CUMPLE
DQO	mg/L	100	368,33	NO CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	100	195,33	NO CUMPLE
TENSOACTIVOS	mg/L	0,5	2,70	NO CUMPLE
ACEITES Y GRASAS	mg/L	0,3	28,00	NO CUMPLE

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH, 2015

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015



**Figura 12-2:** Parámetros Físico-Químicos fuera de límite máximo permisible

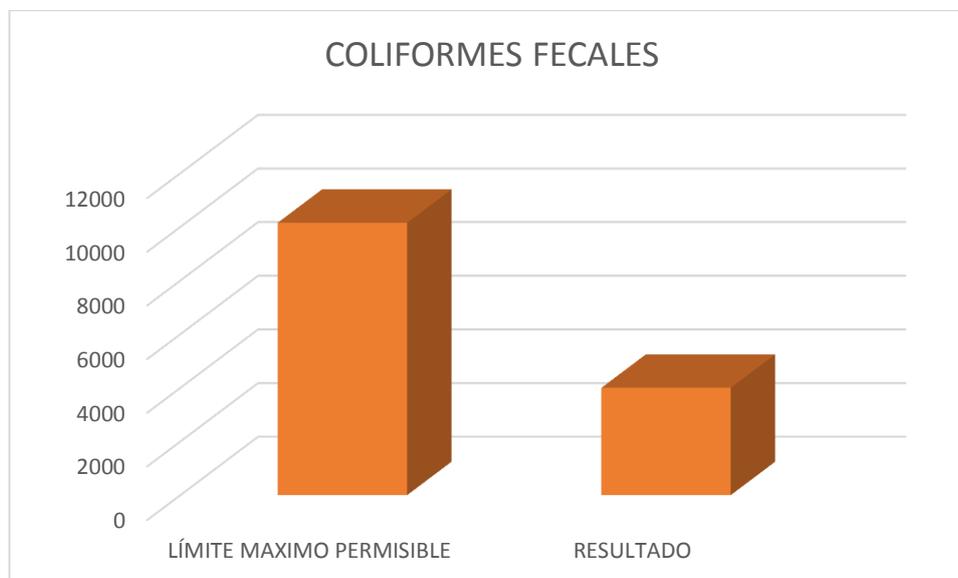
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 34-2** Caracterización Microbiológica fuera de límite máximo permisible

DETERMINACIONES	UNIDADES	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE	RESULTADO	CONDICIÓN
-----------------	----------	--------------------------	-----------	-----------

<b>COLIFORMES FECALES</b>	UFC/100ml	Remoción > al 99%	$10,15 \cdot 10^3$	NO CUMPLE
---------------------------	-----------	-------------------	--------------------	-----------

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH, 2015  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015



**Figura 13-2:** Caracterización Microbiológica fuera de límite máximo permisible  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 2.6.3 Datos del Monitoreo del Caudal

El monitoreo de caudal se realizó durante 7 días, a diferentes horas en la Parroquia Santiago de Calpi, a continuación se muestra.

**Tabla 35-2:** Caudal del día Lunes

Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal Q (L/s)	Caudal Q (mL/s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /h)
7:00	8	5,5	1,455	1454,545	5,236
7:30	7,8	6,31	1,236	1236,133	4,450
8:00	7,5	7,1	1,056	1056,338	3,803
8:30	6,5	6,32	1,028	1028,481	3,703
9:00	6	6,96	0,862	862,069	3,103
9:30	6,15	5,26	1,169	1169,202	4,209
10:00	6,25	5,26	1,188	1188,213	4,278
10:30	6,5	5,12	1,270	1269,531	4,570
11:00	6,8	5,1	1,333	1333,333	4,800
11:30	7,5	5,16	1,453	1453,488	5,233
12:00	8	4,9	1,633	1632,653	5,878

12:30	8	4,11	1,946	1946,472	7,007
13:00	8	4,3	1,860	1860,465	6,698
13:30	7,24	5,26	1,376	1376,426	4,955
14:00	7,15	4,25	1,682	1682,353	6,056
14:30	6,3	5,26	1,198	1197,719	4,312
15:00	6,66	4,1	1,624	1624,390	5,848
15:30	5,55	6,25	0,888	888,000	3,197
16:00	4,9	5,25	0,933	933,333	3,360
16:30	5,1	4,26	1,197	1197,183	4,310
17:00	6,9	4,6	1,500	1500,000	5,400
17:30	6,3	4,6	1,370	1369,565	4,930
18:00	8	5,26	1,521	1520,913	5,475
18:30	8	5,25	1,524	1523,810	5,486
19:00	8	4,9	1,633	1632,653	5,878
<b>SUMA</b>			33,937	33937,269	122,174
<b>PROMEDIO</b>			1,3575	1357,4907	4,8870
<b>MAXIMO</b>			1,946	1946,000	6,698
<b>MIN</b>			0,862	862,000	3,103

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 36-2:** Caudal del día Martes

Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal Q (L/s)	Caudal Q (mL/s)	Caudal Q (m3/h)
7:00	8	5,26	1,521	1520,913	5,475
7:30	7,8	5,26	1,483	1482,890	5,338
8:00	7,22	5,12	1,410	1410,156	5,077
8:30	6,5	5,1	1,275	1274,510	4,588
9:00	6,98	6,96	1,003	1002,874	3,610
9:30	6,13	5,26	1,165	1165,399	4,195
10:00	6,05	5,26	1,150	1150,190	4,141
10:30	6,25	5,12	1,221	1220,703	4,395
11:00	6,8	5,1	1,333	1333,333	4,800
11:30	7,5	5,16	1,453	1453,488	5,233
12:00	8	4,9	1,633	1632,653	5,878
12:30	7,47	4,18	1,787	1787,081	6,433
13:00	8	4,3	1,860	1860,465	6,698
13:30	7,19	5,26	1,367	1366,920	4,921
14:00	7,2	4,25	1,694	1694,118	6,099
14:30	6,3	5,26	1,198	1197,719	4,312
15:00	6,42	5,26	1,221	1220,532	4,394
15:30	5,13	5,12	1,002	1001,953	3,607

<b>16:00</b>	4,9	5,1	0,961	960,784	3,459
<b>16:30</b>	5,1	5,16	0,988	988,372	3,558
<b>17:00</b>	6,1	4,9	1,245	1244,898	4,482
<b>17:30</b>	6,7	4,3	1,558	1558,140	5,609
<b>18:00</b>	8	5,26	1,521	1520,913	5,475
<b>18:30</b>	7,33	4,25	1,725	1724,706	6,209
<b>19:00</b>	7,8	5,26	1,483	1482,890	5,338
<b>SUMA</b>			34,257	34256,600	123,324
<b>PROMEDIO</b>			1,3703	1370,2640	4,9330
<b>MAXIMO</b>			1,860	1860,000	6,698
<b>MIN</b>			0,961	961,000	3,459

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 37-2:** Caudal del día Miércoles

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal Q (L/s)</b>	<b>Caudal Q (mL/s)</b>	<b>Caudal Q (m3/h)</b>
<b>7:00</b>	7,6	5,2	1,462	1461,538	5,262
<b>7:30</b>	7,98	5,3	1,506	1505,660	5,420
<b>8:00</b>	7,5	5,15	1,456	1456,311	5,243
<b>8:30</b>	6,98	5,1	1,369	1368,627	4,927
<b>9:00</b>	6,23	6,86	0,908	908,163	3,269
<b>9:30</b>	6,1	4,66	1,309	1309,013	4,712
<b>10:00</b>	6,05	5,8	1,043	1043,103	3,755
<b>10:30</b>	6	5,01	1,198	1197,605	4,311
<b>11:00</b>	6,8	5,67	1,199	1199,295	4,317
<b>11:30</b>	7,1	5,62	1,263	1263,345	4,548
<b>12:00</b>	8	4,86	1,646	1646,091	5,926
<b>12:30</b>	7,4	4,38	1,689	1689,498	6,082
<b>13:00</b>	7,45	4,54	1,641	1640,969	5,907
<b>13:30</b>	6,9	5,62	1,228	1227,758	4,420
<b>14:00</b>	6,66	4,51	1,477	1476,718	5,316
<b>14:30</b>	6,3	5,13	1,228	1228,070	4,421
<b>15:00</b>	6,45	5	1,290	1290,000	4,644
<b>15:30</b>	5,39	5,01	1,076	1075,848	3,873
<b>16:00</b>	4,97	5,22	0,952	952,107	3,428
<b>16:30</b>	5,12	4,96	1,032	1032,258	3,716
<b>17:00</b>	6,13	4,87	1,259	1258,727	4,531
<b>17:30</b>	6,72	4,45	1,510	1510,112	5,436
<b>18:00</b>	7,95	5,2	1,529	1528,846	5,504
<b>18:30</b>	7,31	4,4	1,661	1661,364	5,981
<b>19:00</b>	7,83	5,1	1,535	1535,294	5,527

<b>SUMA</b>	33,466	33466,322	120,479
<b>PROMEDIO</b>	1,3387	1338,6529	4,8192
<b>MAXIMO</b>	1,689	1689,000	6,082
<b>MIN</b>	0,961	961,000	3,459

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 38-2:** Caudal del día Jueves

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal Q (L/s)</b>	<b>Caudal Q (mL/s)</b>	<b>Caudal Q (m3/h)</b>
7:00	7,9	5,01	1,577	1576,846	5,677
7:30	7,68	5,21	1,474	1474,088	5,307
8:00	7,3	5,11	1,429	1428,571	5,143
8:30	7,08	5,4	1,311	1311,111	4,720
9:00	6,87	5,9	1,164	1164,407	4,192
9:30	6,35	4,8	1,323	1322,917	4,763
10:00	6,05	4,59	1,318	1318,083	4,745
10:30	6,02	4,01	1,501	1501,247	5,404
11:00	6,55	4,67	1,403	1402,570	5,049
11:30	7,09	4,62	1,535	1534,632	5,525
12:00	8	4,56	1,754	1754,386	6,316
12:30	7,35	4,53	1,623	1622,517	5,841
13:00	7,15	4,32	1,655	1655,093	5,958
13:30	6,94	5,76	1,205	1204,861	4,338
14:00	6,76	4,98	1,357	1357,430	4,887
14:30	6,64	5,15	1,289	1289,320	4,642
15:00	6,54	5,23	1,250	1250,478	4,502
15:30	5,38	5,45	0,987	987,156	3,554
16:00	4,18	5,02	0,833	832,669	2,998
16:30	5,34	4,34	1,230	1230,415	4,429
17:00	6,65	4,43	1,501	1501,129	5,404
17:30	6,71	4,76	1,410	1409,664	5,075
18:00	7,88	5,23	1,507	1506,692	5,424
18:30	7,89	4,43	1,781	1781,038	6,412
19:00	7,99	5,12	1,561	1560,547	5,618
<b>SUMA</b>			34,978	34977,866	125,920
<b>PROMEDIO</b>			1,3991	1399,1146	5,0368
<b>MAXIMO</b>			1,781	1781,000	6,412
<b>MIN</b>			0,833	833,000	2,998

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 39-2:** Caudal del día Viernes

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal Q (L/s)</b>	<b>Caudal Q (mL/s)</b>	<b>Caudal Q (m3/h)</b>
7:00	7,99	4,78	1,672	1671,548	6,018
7:30	7,71	4,9	1,573	1573,469	5,664
8:00	7,33	5,1	1,437	1437,255	5,174
8:30	7,2	5,14	1,401	1400,778	5,043
9:00	6,81	5,82	1,170	1170,103	4,212
9:30	6,23	5,64	1,105	1104,610	3,977
10:00	6,1	5,83	1,046	1046,312	3,767
10:30	6,12	5,41	1,131	1131,238	4,072
11:00	6,34	5,27	1,203	1203,036	4,331
11:30	6,56	5,72	1,147	1146,853	4,129
12:00	7,45	5,86	1,271	1271,331	4,577
12:30	7,8	4,54	1,718	1718,062	6,185
13:00	7,7	4,78	1,611	1610,879	5,799
13:30	6,95	5,67	1,226	1225,750	4,413
14:00	6,75	4,35	1,552	1551,724	5,586
14:30	6,41	5,67	1,131	1130,511	4,070
15:00	6,1	5,3	1,151	1150,943	4,143
15:30	5,12	5	1,024	1024,000	3,686
16:00	4,85	4,98	0,974	973,896	3,506
16:30	4,9	4,87	1,006	1006,160	3,622
17:00	5,13	4,85	1,058	1057,732	3,808
17:30	6,56	4,34	1,512	1511,521	5,441
18:00	7,23	4,22	1,713	1713,270	6,168
18:30	7,66	4,12	1,859	1859,223	6,693
19:00	7,87	4	1,968	1967,500	7,083
<b>SUMA</b>			33,658	33657,705	121,168
<b>PROMEDIO</b>			1,3463	1346,3082	4,8467
<b>MAXIMO</b>			1,968	1968,000	7,083
<b>MIN</b>			0,974	974,000	3,506

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 40-2:** Caudal del día Sábado

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal Q (L/s)</b>	<b>Caudal Q (mL/s)</b>	<b>Caudal Q (m3/h)</b>
7:00	8	5,31	1,507	1506,591	5,424
7:30	7,88	5,29	1,490	1489,603	5,363
8:00	7,76	5,24	1,481	1480,916	5,331
8:30	7,65	5,36	1,427	1427,239	5,138
9:00	6,9	6,46	1,068	1068,111	3,845
9:30	6,84	4,59	1,490	1490,196	5,365

<b>10:00</b>	6,74	5,56	1,212	1212,230	4,364
<b>10:30</b>	6,34	5,64	1,124	1124,113	4,047
<b>11:00</b>	6,6	5,48	1,204	1204,380	4,336
<b>11:30</b>	7	5,32	1,316	1315,789	4,737
<b>12:00</b>	7,5	4,36	1,720	1720,183	6,193
<b>12:30</b>	7,78	4,58	1,699	1698,690	6,115
<b>13:00</b>	7,34	3,97	1,849	1848,866	6,656
<b>13:30</b>	6,9	4,62	1,494	1493,506	5,377
<b>14:00</b>	6,24	4,51	1,384	1383,592	4,981
<b>14:30</b>	6,22	5,12	1,215	1214,844	4,373
<b>15:00</b>	6,2	5,23	1,185	1185,468	4,268
<b>15:30</b>	5,1	5,21	0,979	978,887	3,524
<b>16:00</b>	4,9	5,22	0,939	938,697	3,379
<b>16:30</b>	4,88	4,24	1,151	1150,943	4,143
<b>17:00</b>	5,57	4,96	1,123	1122,984	4,043
<b>17:30</b>	6,82	4,23	1,612	1612,293	5,804
<b>18:00</b>	7,65	5,67	1,349	1349,206	4,857
<b>18:30</b>	7,89	4,89	1,613	1613,497	5,809
<b>19:00</b>	7,9	4,45	1,775	1775,281	6,391
<b>SUMA</b>			34,406	34406,109	123,862
<b>PROMEDIO</b>			1,3762	1376,2444	4,9545
<b>MAXIMO</b>			1,849	1849,000	6,656
<b>MIN</b>			0,939	939,000	3,379

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 41-2:** Caudal del día Domingo

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal Q (L/s)</b>	<b>Caudal Q (mL/s)</b>	<b>Caudal Q (m3/h)</b>
<b>7:00</b>	7,97	4,22	1,889	1888,626	6,799
<b>7:30</b>	7,86	4,3	1,828	1827,907	6,580
<b>8:00</b>	7,77	4,57	1,700	1700,219	6,121
<b>8:30</b>	7,28	4,87	1,495	1494,867	5,382
<b>9:00</b>	6,9	5,16	1,337	1337,209	4,814
<b>9:30</b>	6,83	5,26	1,298	1298,479	4,675
<b>10:00</b>	6,64	5,42	1,225	1225,092	4,410
<b>10:30</b>	6,69	5,38	1,243	1243,494	4,477
<b>11:00</b>	6,8	5,32	1,278	1278,195	4,602
<b>11:30</b>	7,15	5,2	1,375	1375,000	4,950
<b>12:00</b>	7,54	5,09	1,481	1481,336	5,333
<b>12:30</b>	7,68	4,84	1,587	1586,777	5,712

<b>13:00</b>	7,6	4,83	1,573	1573,499	5,665
<b>13:30</b>	6,99	4,63	1,510	1509,719	5,435
<b>14:00</b>	6,7	4,51	1,486	1485,588	5,348
<b>14:30</b>	6,43	5,15	1,249	1248,544	4,495
<b>15:00</b>	6,35	5,25	1,210	1209,524	4,354
<b>15:30</b>	5,21	5,36	0,972	972,015	3,499
<b>16:00</b>	4,92	5,89	0,835	835,314	3,007
<b>16:30</b>	4,96	6,1	0,813	813,115	2,927
<b>17:00</b>	5,34	5,87	0,910	909,710	3,275
<b>17:30</b>	5,81	5,45	1,066	1066,055	3,838
<b>18:00</b>	6,35	5,15	1,233	1233,010	4,439
<b>18:30</b>	6,71	4,87	1,378	1377,823	4,960
<b>19:00</b>	7,52	4,23	1,778	1777,778	6,400
<b>SUMA</b>			33,749	33748,895	121,496
<b>PROMEDIO</b>			1,3500	1349,9558	4,8598
<b>MAXIMO</b>			1,889	1889,000	6,799
<b>MIN</b>			0,813	813,000	2,927

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 42-2: Caudal Semanal**

<b>DÍA</b>	<b>CAUDAL Q (L/s)</b>	<b>CAUDAL Q (m3/h)</b>	<b>CAUDAL Q MAX (L/s)</b>	<b>CAUDAL Q MAX (m3/h)</b>
<b>Lunes</b>	1,3575	4,887	1,946	6,698
<b>Martes</b>	1,3703	4,933	1,86	6,698
<b>Miércoles</b>	1,3387	4,8192	1,689	6,082
<b>Jueves</b>	<b>1,3991</b>	<b>5,0368</b>	<b>1,781</b>	<b>6,412</b>
<b>Viernes</b>	1,3463	4,8467	1,968	7,068
<b>Sábado</b>	1,3762	4,9545	1,849	6,656
<b>Domingo</b>	1,35	4,8598	1,889	6,799
<b>Σ</b>	9,5381	34,337	12,982	46,413
<b><math>\bar{x}</math></b>	1,3626	4,9053	1,8546	6,6304

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual para la Parroquia Santiago de Calpi.

Para realizar el dimensionamiento del sistema de las aguas residuales se utiliza los valores obtenidos del caudal a tratar y los resultados de los análisis físico-químicos de caracterización, entonces los componentes son los siguientes:

#### 3.1 Cálculos

##### 3.1.1 Población de Diseño

✓ Población actual ecuación 1:

$$P_a = P_e + P_I$$

Dónde:

$P_a$  = Población actual (hab)

$P_e$  = Población obtenida 698 hab, según la tabla 8-1.

$P_I$  = Población institucional 540 hab, según la tabla 7-1.

$$P_a = 698 + 540$$

$$P_a = 1238 \text{ hab}$$

✓ Población futura ecuación 2:

$$P_f = P_a * (1 + i)^n$$

Dónde:

$i$  = Tasa de crecimiento 2,13% (dato obtenido del PDOT Calpi).

$P_f$  = Población futura (hab)

$P_a$  = Población actual (hab)

$n$  = Periodo de diseño se considera a 20 años.

$$P_f = 1238 * (1 + 0,213)^{(20)}$$

$$P_f = 1887 \text{ hab}$$

### 3.1.2 Caudal de Diseño

✓ Caudal medio mediante con la ecuación 3:

Dónde:

$$Q_M = \frac{P_f * D * C}{86400}$$

$P_f$  = Población de diseño o futura, hab

$D$  = Dotación del agua es de 120 L/hab\*día, según la tabla 9-1.

$C$  = Coeficiente de retorno es de 70%.

$$Q_M = \frac{1887 \text{ hab} * 120 \frac{\text{L}}{\text{hab día}} * 0,70}{86400 \frac{\text{s}}{\text{día}}}$$

$$Q_M = 1,834 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

✓ Factor de mayorización con la ecuación 4:

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

Dónde:

$F$  = Factor de mayorización, L/s

$P_f$  = Población de diseño, hab

$$F = 1 + \frac{14}{4\sqrt{1887/1000}}$$

$$F = 3,547$$

✓ Caudal de infiltración con la siguiente ecuación 5:

$$Q_{INF} = 0,15 \frac{\text{L}}{\text{s} * \text{Ha}} * \text{Ha}$$

Dónde:

$Q_{INF}$  = Caudal de infiltración, L/s

Ha = Hectáreas para la zona de estudio 60

$$Q_{INF} = 0,15 \frac{L}{s * Ha} * 60 Ha$$

$$Q_{INF} = 9,064 L/s$$

✓ Para el caudal de conexiones erradas se calcula con la ecuación 6:

$$Q_{CE} = 10\%(Q_M * F + Q_{INF}) \quad Ec. 6$$

Dónde:

$Q_M$  = caudal medio de aguas residuales

F = Factor de mayorización, L/s

$Q_{INF}$  = Caudal de Infiltración

$$Q_{CE} = 0,10 (1,834 L/s * 3,547 + 9,064 L/s)$$

$$Q_{CE} = 1,556 L/s$$

✓ Caudal de diseño con ecuación 7:

$$Q_{diseño} = (Q_M * F) + Q_{INF} + Q_{CE} \quad Ec. 7$$

Dónde:

$Q_{diseño}$  = Caudal de diseño, L/s

$Q_M$  = Caudal medio de aguas residuales, L/s

F = Factor de mayorización, L/s

$Q_{INF}$  = Caudal de infiltración, L/s

$Q_{CE}$  = Caudal de conexiones erradas, L/s

$$Q_{diseño} = (1,834 L/s * 3,547) + (9,064 L/s + 1,556 L/s)$$

$$Q_{diseño} = 17,125 L/s$$

✓ Caudal medio diario se calcula con la ecuación 8:

$$Q_{MD} = Q_M + Q_{INF} + Q_{CE}$$

$$Q_{MD} = 1,834 \text{ L/s} + 9,064 \text{ L/s} + 1,556 \text{ L/s}$$

$$Q_{MD} = 12,454 \text{ L/s}$$

### 3.1.3 Cálculos para el Canal

✓ Área transversal del canal según la ecuación 9:

$$A = b * h$$

Dónde:

A= Área del canal (m<sup>2</sup>)

b= Base del canal 0,5 m según la tabla 10-1.

h = Altura del canal hasta el nivel de agua 0,5 m según la tabla 10-1.

$$A = 0,5m * 0,5m$$

$$A = 0,25 \text{ m}^2$$

✓ Radio hidráulico con la ecuación 10:

$$R_H = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Dónde:

R<sub>H</sub> = Radio hidráulico (m)

b = Base del canal 0,5 m según la tabla 10-1.

h = Altura del canal hasta el nivel de agua (m)

$$R_H = \frac{(0,5 * 0,5) \text{ m}^2}{(0,5 + 2 * 0,5)m}$$

$$R_H = 0,166 \text{ m}$$

✓ Velocidad de transporte del agua residual mediante la ecuación 11:

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Dónde:

V = Velocidad (m/s)

n = Coeficiente de Manning 0,013 según la tabla 11-1.

R = Radio hidráulico (m)

S = Gradiente hidráulico (0.0005 m/m)

$$v = \frac{1}{0,013} * 0,166 m^{2/3} * 0,0005^{1/2}$$

$$v = 0,519 \frac{m}{s}$$

### 3.1.4 Cálculos para las Rejillas

✓ Área entre bandejas con la ecuación 12:

$$A_b = \frac{Q}{V}$$

Dónde:

Ab = Área entre barras, m<sup>2</sup>

V = Velocidad de aproximación 0,45 m/s según la tabla 10-1.

Q = Caudal de diseño 0,017125 m<sup>3</sup>/s

$$A_b = \frac{0,017125 m^3/s}{0,45 m/s}$$

$$A_b = 0,0380 m^2$$

✓ Área de la sección transversal del flujo con la ecuación 13:

$$A_t = \frac{A_b(W + e)}{W}$$

Dónde:

A<sub>t</sub> = Área transversal, m<sup>2</sup>

A<sub>b</sub> = Área entre barras, m<sup>2</sup>

W = Separación entre barras 0,025 m según la tabla 10-1.

e = Espesor máximo de las barras de 0,010 m según la tabla 10-1.

$$A_t = \frac{0,0380 m^2 (0,025 + 0,010)m}{0,025}$$

$$A_t = 0,0532 m^2$$

✓ Tirante de agua en el canal se calcula con la ecuación 14:

$$h = \frac{A_b}{b}$$

Dónde:

h = Altura del tirante

$A_b$  = Área entre barras,  $m^2$

b = Base del canal 0,5 m según la tabla 10-1.

$$h = \frac{0,0380 \text{ m}^2}{0,50 \text{ m}}$$

$$h = 0,076 \text{ m}$$

✓ Altura del canal con la ecuación 15:

$$H = h + h_s$$

H = Altura total, m

h = Altura del tirante

$h_s$  = Altura de seguridad, m

$$H = 0,076 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$$

$$H = 0,576 \text{ m}$$

✓ Número de barras con la ecuación 16:

$$N^\circ = \frac{b - W}{e + W}$$

Dónde:

b = Ancho del canal de 0,5 m según la tabla 10-1.

W = Separación entre barras 0,025 m según la tabla 10-1.

e = Espesor máximo de las barras 0,010 m según la tabla 10-1.

$$N^\circ = \frac{0,5 \text{ m} - 0,025 \text{ m}}{0,010 \text{ m} + 0,025 \text{ m}}$$

$$N^\circ = 14 \text{ barras}$$

✓ Longitud de las barras se utiliza la ecuación 17:

$$L_{barras} = \frac{H}{\sin\delta}$$

Dónde:

H = Altura total, m

$\delta$  = Grado de inclinación de las barras de 45° según la tabla 10-1.

$$L_{barras} = \frac{0,58m}{\sin 45}$$

$$L_{barras} = 0,82 \text{ m}$$

✓ Nivel máximo de agua se utiliza la ecuación 18:

$$d_{max} = \frac{Q}{V * b}$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño de 0,017125 m<sup>3</sup>/s

V = Velocidad de aproximación 0,45 m/s según la tabla 10-1.

b = Ancho del canal 0,5 m según la tabla 10-1.

$$d_{max} = \frac{0.017125 \text{ m}^3/s}{0,45 \text{ m/s} * 0,5 \text{ m}}$$

$$d_{max} = 0,0761 \text{ m}$$

✓ Longitud de la barrilla sumergida utilizamos la ecuación 19:

$$L_{bs} = \frac{d_{max}}{\sin\delta}$$

Dónde:

$d_{max}$  = Nivel máximo de agua, m

V = Velocidad de aproximación, m/s

b = Ancho del canal, m

$\delta$  = Grado de inclinación de las barras de  $45^\circ$  según la tabla 10-1

$$L_{bs} = \frac{0,0761 \text{ m}}{\sin 45}$$

$$L_{bs} = 0,107\text{m}$$

✓ Pérdida de la carga se utiliza la ecuación 20:

$$h_c = \beta * \left(\frac{e}{W}\right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} \text{sen}\delta$$

Dónde:

W = Separación entre barras 0,025 m según la tabla 10-1.

e = Espesor máximo de las barras 0,010 m según la tabla 10-1.

$V^2/2g$  = Carga de velocidad antes de la reja 0,45 m/s según la tabla 10-1.

$\delta$  = Ángulo de inclinación de las barras de  $45^\circ$  según la tabla 10-1

$\beta$  = Factor dependiente de la forma de las barras es 1,79 según la Figura 2.

$$h_c = 1,79 * \left(\frac{0,010\text{m}}{0,025\text{m}}\right)^{4/3} * \frac{0,45^2\text{m}}{2 * \frac{9,8\text{m}}{\text{s}^2}} \text{sen } 45$$

$$h_c = 0,00385\text{m}$$

### 3.1.5 Cálculos para el Sedimentador Primario

✓ Área Superficial mediante la siguiente ecuación 21:

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

A = Área superficial del tanque sedimentador,  $\text{m}^2$

Q = Caudal a tratar de  $61,65 \text{ m}^3/\text{h}$

$V_c$  = Velocidad terminal de  $3 \text{ m/h}$  según la tabla 15-1.

$$A = \frac{61,65 \text{ m}^3/\text{h}}{3 \text{ m/h}}$$

$$A = 20,55 \text{ m}^2$$

✓ Ancho del sedimentador usando la ecuación 22:

$$An = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Dónde:

A = Área superficial del tanque sedimentador, m<sup>2</sup>

$$An = \sqrt{\frac{20,55 \text{ m}^2}{2}}$$

$$An = 3,21 \text{ m}$$

✓ Largo del sedimentador con la ecuación 23:

$$l = \frac{A}{An}$$

Dónde:

An = Ancho del sedimentador

A = Área superficial del tanque sedimentador, m<sup>2</sup>

$$l = \frac{20,55 \text{ m}^2}{3,21 \text{ m}}$$

$$l = 6,40 \text{ m}$$

✓ Volumen del sedimentador con la ecuación 24:

$$V = l * An * h$$

Dónde:

V = Volumen del tanque de sedimentador, m<sup>3</sup>

An = Ancho del sedimentador, m

l = Largo del sedimentador, m

h = Altura del sedimentador 3,6 m según la tabla 13-1.

$$V = 6,40 \text{ m} * 3,21 \text{ m} * 3,6 \text{ m}$$

$$V = 73,96 \text{ m}^3$$

✓ Diámetro del sedimentador con la ecuación 25:

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}}$$

Dónde:

$\phi$  = Diámetro del sedimentador

A = Área del sedimentador es 20,55 m<sup>2</sup> (calculado)

$\pi$  = Número irracional (3,14159)

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{20,55 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi = 5,115 \text{ m}$$

✓ Tiempo de retención hidráulico se calcula con la ecuación 26:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico, h

V = Volumen, m<sup>3</sup>

Q = Caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

$$T_{rh} = \frac{73,96 \text{ m}^3}{61,65 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_{rh} = 1,20 \text{ h}$$

✓ Área de la sección transversal se ocupa la ecuación 27:

$$A_t = \frac{V}{l}$$

Donde:

At = Área de la sección transversal, m

V = Volumen del tanque de sedimentador, m<sup>3</sup>

l = Largo del sedimentador, m

$$A_t = \frac{73,96 \text{ m}^3}{6,40}$$

$$A_t = 11,56 \text{ m}^2$$

✓ Velocidad de arrastre se calcula con la ecuación 28:

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

VH = Velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas (m/s).

k = Constante que depende del tipo de material arrastrado 0,05 según tabla 13-1.

s = Peso específico de las partículas 1,25

g = Aceleración de la gravedad 9,8 m/s<sup>2</sup>.

d = Diámetro de las partículas 100 μm

f = Factor de fricción de Darcy - Weisbach 0,025

$$V_H = \left( \frac{8 * (0,05) * (1,25 - 1) * 9,8 \text{ m/s}^2 * 100 * 10^{-6}}{0,025} \right)^{1/2}$$

$$V_H = 0,0626 \text{ m/s}$$

✓ Velocidad de arrastre se calcula con la ecuación 29:

$$V_h = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

Vh = velocidad horizontal (m/s)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

A = área del sedimentador rectangular (m<sup>2</sup>)

$$V_h = \frac{0,017125 \text{ m}^3/\text{s}}{20,55 \text{ m}^2}$$

$$V_h = 0,00083 \text{ m/s}$$

✓ Remoción del DBO<sub>5</sub> con la ecuación 30:

$$R = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

Dónde:

R= Porcentaje de remoción esperado, %

T<sub>rh</sub> = Tiempo nominal de retención 1,20 h

a = 0,018 valores empíricos según la tabla 17-1.

b = 0,02 valores empíricos según la tabla 17-1.

$$R = \frac{1,20 h}{(0,018 + 0,02 * 1,20 )h}$$

$$R = 28,57 \%$$

✓ Remoción de sólidos suspendidos con la ecuación 30:

$$R = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

Dónde:

R= Porcentaje de remoción esperado, %

T<sub>rh</sub> = Tiempo nominal de retención 1,20 h

a = 0,0075 valores empíricos según la tabla 17-1.

b = 0,014 valores empíricos según la tabla 17-1.

$$R = \frac{1,20 h}{(0,0075 + 0,014 * 1,20 )h}$$

$$R = 49,38 \%$$

### **3.1.6 Cálculos para el Sistema de Lodos Activados**

✓ Eficiencia de la DBO<sub>5</sub> soluble, se determina en base a la siguiente ecuación 31:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

Dónde:

$S_o$  = Concentración de DBO en el afluente  $0,2876 \text{ kg/m}^3$  según la tabla 31-2.

$S$  = Concentración de DBO en el efluente  $0,03830 \text{ kg/m}^3$  según la tabla 46-3.

$$E = \frac{0,2876 \text{ Kg/m}^3 - 0,03830 \text{ Kg/m}^3}{0,2876 \text{ Kg/m}^3} * 100 \%$$

$$E = 86,68 \%$$

✓ Volumen del reactor, detallada en la ecuación 32:

$$V_r = \frac{\theta_c Q Y (S_o - S)}{X(1 + K_d \theta_c)}$$

Dónde:

$V_r$  = Volumen del reactor,  $\text{m}^3$

$\theta_c$  = Tiempo medio de retención celular 10 días según la tabla 23-1.

$S_o$  = Concentración de DBO en el afluente  $0,2876 \text{ kg/m}^3$  según la tabla 31-2.

$S$  = Concentración de DBO en el efluente  $0,03830 \text{ kg/m}^3$  según la tabla 40-2.

$Q$  = Caudal del agua residual a tratar  $1479,6 \text{ m}^3/\text{d}$ .

$X$  = concentración de sólidos suspendidos de  $4 \text{ Kg/m}^3$  según la tabla 22-1.

$K_d$  = Coeficiente de degradación endógena de  $0,06 \text{ d}^{-1}$  según la tabla 22-1.

$$V_r = \frac{10 \text{ d} (1479,6 \text{ m}^3/\text{dia}) (0,6 \text{ kg/kg}) (0,2876 - 0,03830) \text{ Kg/m}^3}{4 \text{ Kg/m}^3 [1 + (0,06 \text{ d}^{-1} * 10 \text{ d})]}$$

$$V_r = 345,81 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento del tanque es de 3,5 m de profundidad, 9 m de ancho y 11 m de largo.

✓ Tiempo de retención hidráulica mediante la ecuación 33:

$$Trh = \frac{V_r}{Q}$$

Dónde:

$Trh$  = Tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación, d

$V_r$  = Volumen del tanque de aireación,  $\text{m}^3$

$Q$  = Caudal de entrada,  $\text{m}^3/\text{d}$

$$Trh = \frac{345,81 \text{ m}^3}{1479,6 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$Trh = 0,23 \text{ dia}$$

$$Trh = 5,61 \text{ h}$$

✓ Relación alimento/microorganismo se obtiene a partir de la ecuación 34:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{TrhX}$$

Dónde:

F/M = Relación alimento/microorganismos, d-1

So = Concentración de DBO en el afluente 0.2876 kg/m<sup>3</sup> según la tabla 31-2.

X = concentración de sólidos suspendidos de 4 Kg/m<sup>3</sup> según la tabla 22-1.

Trh = Tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación, d

$$\frac{F}{M} = \frac{0,2876 \text{ Kg/m}^3}{0,23 \text{ dia} * 4 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\frac{F}{M} = 0,312 \text{ d}^{-1}$$

✓ Producción diaria de lodo se usa la ecuación 35:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d(\theta_c \text{ o } \theta_t)}$$

Dónde:

Y obs = Producción observada, Kg/Kg

Y = Coeficiente de producción celular es de 0,6 según la tabla 22-1 según la tabla 22-1.

Kd = Coeficiente de degradación endógena de 0,06 d-1 según la tabla 22-1.

θc = Tiempo medio de retención celular 10 días según la tabla 23-1.

$$Y_{obs} = \frac{0,6}{1 + 0,06 \text{ d}^{-1}(10 \text{ d})}$$

$$Y_{obs} = 0,375 \text{ kg/kg}$$

✓ Producción de lodo a través de la ecuación 36:

$$P_X = Y_{obs} Q (S_o - S) * (10^3 \text{ g/kg})^{-1}$$

Dónde:

$P_X$  = Producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles, Kg/d

$Y_{obs}$  = Producción observada, Kg/Kg

$S_o$  = Concentración de DBO en el afluente 0.2876 kg/m<sup>3</sup> según la tabla 31-2.

$S$  = Concentración de DBO en el efluente 0.03830 kg/m<sup>3</sup> según la tabla 40-2.

$$P_X = 0,375 \text{ kg/kg} * (1479,6 \text{ m}^3/\text{dia}) * (287,6 - 38,30) \text{ g/m}^3 * (10^3 \text{ g/kg})^{-1}$$

$$P_X = 138,32 \text{ kg/dia}$$

✓ Caudal de purga de lodos se utiliza la ecuación 37:

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c}$$

Dónde:

$V_r$  = Volumen del reactor, m<sup>3</sup>

$\theta_c$  = Tiempo medio de retención celular 10 días según la tabla 23-1.

$$Q_w = \frac{345,81 \text{ m}^3}{10 \text{ d}}$$

$$Q_w = 34,581 \text{ m}^3/\text{dia}$$

✓ Necesidad y transferencia de oxígeno se utiliza la ecuación 38:

$$\text{kg} \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_o - S) * (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1,42(P_X)$$

Dónde:

Q = Caudal de entrada, m<sup>3</sup>/d

S<sub>0</sub> = Concentración de DBO en el afluente 0.2876 kg/m<sup>3</sup> según la tabla 31-2.

S = Concentración de DBO en el efluente 0.03830 kg/m<sup>3</sup> según la tabla 40-2.

f = Factor de conversión de DBO<sub>5</sub> en DQO L (0.45 – 0.68)

P<sub>x</sub> = Producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles, Kg/d.

$$kg \frac{O_2}{d} = \frac{1479,6 \text{ m}^3/\text{dia} (287,6 - 38,30)g/m^3 * (10^3 g/kg)^{-1}}{0,5} - 1,42(138,32 \text{ kg}/\text{dia})$$

$$kg \frac{O_2}{d} = 541,31$$

✓ Potencia se calcula usando la ecuación 39:

$$P_w = \frac{W_{aire} R T_1}{8,41 e} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Dónde:

P<sub>w</sub> = Potencia necesaria para cada soplante, kW

W<sub>aire</sub> = Caudal de aire en peso 0,63 kg/s

R = Constante universal de los gases es de 8.314 kJ/kmol.°K

T<sub>1</sub> = Temperatura absoluta a la entrada 303 °K

P<sub>2</sub> = Presión absoluta a la salida, atm

P<sub>1</sub> = Presión absoluta a la entrada, atm

n = (k-1)/k= 0.283 (para el aire).

e = Eficiencia (normalmente en compresores entre 0.70 y 0.90)

$$P_w = \frac{0,63 * 8,3114 * 303 R T_1}{8,41 * 0,75} \left[ \left( \frac{1,7}{0,95} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = 45 \text{ kW}$$

### 3.1.7 Cálculos para el Sedimentador Secundario

✓ Carga de superficial se determina con la ecuación 40:

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

Dónde:

A = Área, m<sup>2</sup>

Q = Caudal a tratar en el sedimentador secundario 1479,6 m<sup>3</sup>/h

C<sub>s</sub> = Carga superficial 49 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d según la tabla 24-1.

$$A = \frac{1479,6 \text{ m}^3/\text{día}}{49 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$A = 30,19 \text{ m}^2$$

✓ Diámetro del sedimentador con la ecuación 41:

$$\emptyset = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}}$$

Dónde:

∅ = Diámetro, m

A = Área de 30,19 m<sup>2</sup>

$$\emptyset = \sqrt{4 * \frac{30,19 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\emptyset = 6,2 \text{ m}$$

✓ Diámetro central se calcula con la ecuación 42:

$$R_{central} = \emptyset * 0,25$$

Dónde:

∅ = Diámetro, m

$$R_{central} = 6,2 \text{ m} * 0,25$$

$$R_{central} = 1,55 \text{ m}$$

✓ Altura de reparto se calcula usando la ecuación 43:

$$H_{reparto} = \frac{1}{4} * profundidad$$

Dónde:

Profundidad = 3,5 m según la tabla 24-1.

$$H_{reparto} = \frac{1}{4} * 3,5 m$$

$$H_{reparto} = 0,9 m$$

✓ Carga de vertedero se usa la ecuación 44:

$$C_{vertedero} = \frac{Q}{\pi * \theta}$$

Dónde:

C vertedero = Carga sobre el vertedero, m<sup>3</sup>/d\*m

Q = Caudal, m<sup>3</sup>/s

∅ = Diámetro, m

$$C_{vertedero} = \frac{0,017125 m^3/s}{\pi * 6,2 m}$$

$$C_{vertedero} = 0,000879 m^2/s$$

✓ Ancho del sedimentador por medio de la ecuación 45:

$$An = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Dónde:

A = Área, m<sup>2</sup>

An = Ancho del sedimentador, m

$$An = \sqrt{\frac{30,19 \text{ m}^2}{2}}$$

$$An = 3,88 \text{ m}$$

✓ Largo del sedimentador con la ecuación 46:

$$L \text{ sed2} = \frac{A}{An}$$

$$L \text{ sed2} = \frac{30,19 \text{ m}^2}{3,88 \text{ m}}$$

$$L \text{ sed2} = 7,77 \text{ m}$$

✓ Volumen del sedimentador con la ecuación 47:

$$V = L \text{ sed2} * An * h$$

$$V = 7,77 \text{ m} * 3,88 \text{ m} * 3,6 \text{ m}$$

$$V = 108,53 \text{ m}^3$$

✓ Tiempo de retención hidráulico con la ecuación 48:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

$T_{rh}$  = Tiempo de retención hidráulico, h

$V$  = Volumen del sedimentador,  $\text{m}^3$

$Q$  = Caudal a tratar  $61,65 \text{ m}^3/\text{h}$

$$T_{rh} = \frac{108,53 \text{ m}^3}{61,65 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_{rh} = 1,76 \text{ h}$$

✓ Porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$  se parte de la ecuación 30:

$$R = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

Dónde:

R= Porcentaje de remoción esperado, %

$T_{rh}$  = Tiempo nominal de retención 1,20 h

a = 0,018 valores empíricos según la tabla 17-1.

b = 0,02 valores empíricos según la tabla 17-1.

$$R = \frac{1,76 h}{0,018 + (0,02 * 1,76)h}$$

$$R = 33,08 \%$$

✓ Remoción de sólidos suspendidos con la ecuación 30:

$$R = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

Dónde:

R= Porcentaje de remoción esperado, %

$T_{rh}$  = Tiempo nominal de retención 1,20 h

a = 0,0075 valores empíricos según la tabla 17-1.

b = 0,014 valores empíricos según la tabla 17-1.

$$R = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

$$R = \frac{1,76 h}{0,0075 + (0,014 * 1,76)h}$$

$$R = 54,76 \%$$

### **3.1.8 Cálculos para el Tanque de Desinfección**

✓ Peso requerido del desinfectante se calcula con la ecuación 49:

$$P = Q * D$$

Dónde:

P = Peso requerido de desinfectante, mg/s o Kg/d

Q = Caudal 17,125 L/s

D = Dosificación 0,0015 g/L dato obtenido del laboratorio.

$$P = 17,125 \text{ L/s} * 0,0015 \text{ g/L}$$

$$P = 0,0256 \text{ mg/s}$$

$$P = 2,22 \text{ kg/día}$$

✓ Volumen del Hipoclorador por la ecuación 50:

$$V_H = \frac{P}{5C}$$

Dónde:

P = Peso requerido de desinfectante Kg/d

C = Concentración del Hipoclorito de Calcio 70%

$$V_H = \frac{2,22 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 120,88 \text{ m}^3}{5(70)}$$

$$V_H = 0,76 \text{ m}^3$$

✓ Volumen del tanque de desinfección se calcula con la ecuación 51:

$$V = Q * T_r$$

Dónde:

V = Volumen del tanque, m<sup>3</sup>

Q = Caudal, m<sup>3</sup>/s

Tr = Tiempo de retención valor asumido 1800 s

$$V = 0,017125 \text{ m}^3/\text{s} * 1800 \text{ s}$$

$$V = 30,82 \text{ m}^3$$

✓ Altura del tanque con la ecuación 52:

$$H_t = \frac{V}{A}$$

Dónde:

Ht = Altura del tanque, m

V = Volumen del tanque, m<sup>3</sup>

A = Área del tanque se propone 10,3 m<sup>2</sup>

L = Largo del tanque 3,45m y ancho de 3m.

$$A_t = \frac{30,82m^3}{10,3 m^2}$$

$$A_t = 2,99 m$$

### 3.1.9 Cálculos para el Diseño del Lecho de Secado

✓ Carga de sólidos mediante la ecuación 53:

$$C = Q * SS$$

Dónde:

C = Carga de sólidos Q = Caudal diseño (L/s)

SS = Sólidos Suspendidos 195 mg/L según la tabla 31-2.

$$C = 17,125 L/s * 0,000195 Kg/L$$

$$C = 0,00333 Kg/s * 3600 s/h * 24 h/dia$$

$$C = 288,522 Kg/dia$$

✓ Masa de sólidos con la ecuación 54:

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

Dónde:

C = Carga de sólidos (Kg/día)

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 288,522 Kg/dia) + (0,5 * 0,3 * 288,522 Kg/dia)$$

$$Msd = 93,769 \text{ Kg/día}$$

✓ Volumen diario de los lodos digeridos mediante la ecuación 55:

$$Vld = \frac{Msd}{\rho \text{ lodo} * \left(\frac{\% \text{ Sólidos}}{100\%}\right)}$$

Dónde:

Msd = Masa de sólidos (Kg/día)

% sólidos = 12 %

$\rho$  lodo = 1,04 kg/L

$$Vld = \frac{93,769 \text{ Kg/día}}{1,04 \text{ Kg/L} * \left(\frac{12\%}{100\%}\right)}$$

$$Vld = 751,359 \text{ L/día}$$

✓ Volumen de Lodos el tiempo de digestión mediante la ecuación 56:

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

Dónde:

Td = Tiempo requerido para la digestión de lodos 40 días según la tabla 27-1.

Vld = Volumen diario de los lodos

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{751,359 \text{ L/día} * 40 \text{ días}}{1000 \text{ m}^3/\text{L}}$$

$$Vel = 30,05 \text{ m}^3$$

✓ Área del lecho de secado con la ecuación 57:

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Dónde:

Ha = Profundidad de aplicación 0,40 m máximo de diseño

$$Als = \frac{30,05 \text{ m}^3}{0,40 \text{ m}}$$

$$Als = 75,125 \text{ m}^2$$

✓ Área individual del lecho de secado mediante la ecuación 58:

$$A_{lsi} = \frac{Als}{N^{\circ}lechos}$$

Dónde:

Als = Área del lecho de secado

N° = Número de lechos 4

$$A_{lsi} = \frac{75,125 \text{ m}^2}{4}$$

$$A_{lsi} = 18,78 \text{ m}^2$$

✓ Longitud del lecho de secado con la ecuación 59:

$$L = \frac{Als}{b}$$

Donde:

b = Ancho del lecho de 3 m valor recomendado según las Normas INEN

$$L = \frac{18,78 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$L = 6,26 \text{ m}$$

## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Medición del Caudal

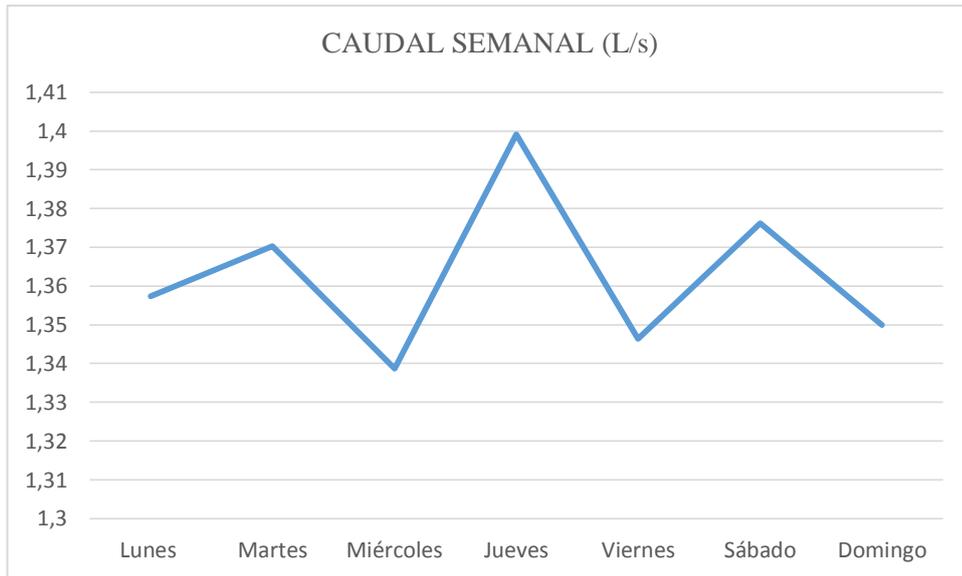
El tirante del agua fue medido de lunes a domingo a partir de las 7:00 am hasta las 19:00 pm, en intervalos de media hora, durante este tiempo de recolección del caudal no se registraron lluvias, la tubería que dirige el agua residual es de hormigón teniendo en cuenta que existe una falencia en esta tubería se presenta rota y hace que el agua impida su normal curso hasta el canal de la disposición final.

En la siguiente tabla se resume la medición del caudal promedio diario.

**Tabla 43-1:** Resultado de la Medición del Caudal

HORA	CAUDAL (L/S)							SEMANAL
	22/06/15	23/06/15	24/06/15	25/06/15	26/06/15	27/06/15	28/06/15	
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
7:00	1,455	1,521	1,462	1,577	1,672	1,507	1,889	
7:30	1,236	1,483	1,506	1,474	1,573	1,49	1,828	
8:00	1,056	1,41	1,456	1,429	1,437	1,481	1,7	
8:30	1,028	1,275	1,369	1,311	1,401	1,427	1,495	
9:00	0,862	1,003	0,908	1,164	1,17	1,068	1,337	
9:30	1,169	1,165	1,309	1,323	1,105	1,49	1,298	
10:00	1,188	1,15	1,043	1,318	1,046	1,212	1,225	
10:30	1,27	1,221	1,198	1,501	1,131	1,124	1,243	
11:00	1,333	1,333	1,199	1,403	1,203	1,204	1,278	
11:30	1,453	1,453	1,263	1,535	1,147	1,316	1,375	
12:00	1,633	1,633	1,646	1,754	1,271	1,72	1,481	
12:30	1,946	1,787	1,689	1,623	1,718	1,699	1,587	
13:00	1,86	1,86	1,641	1,655	1,611	1,849	1,573	
13:30	1,376	1,367	1,228	1,205	1,226	1,494	1,51	
14:00	1,682	1,694	1,477	1,357	1,552	1,384	1,486	
14:30	1,198	1,198	1,228	1,289	1,131	1,215	1,249	
15:00	1,624	1,221	1,29	1,25	1,151	1,185	1,21	
15:30	0,888	1,002	1,076	0,987	1,024	0,979	0,972	
16:00	0,933	0,961	0,952	0,833	0,974	0,939	0,835	
16:30	1,197	0,988	1,032	1,23	1,006	1,151	0,813	
17:00	1,5	1,245	1,259	1,501	1,058	1,123	0,91	
17:30	1,37	1,558	1,51	1,41	1,512	1,612	1,066	
18:00	1,521	1,521	1,529	1,507	1,713	1,349	1,233	
18:30	1,524	1,725	1,661	1,781	1,859	1,613	1,378	
19:00	1,633	1,483	1,535	1,561	1,968	1,775	1,778	
<b>SUMA</b>	33,935	34,257	33,466	34,978	33,659	34,406	33,749	238,450
<b>PROMEDIO</b>	1,3574	1,3703	1,3386	1,3991	1,3464	1,3762	1,3500	9,538
<b>MAXIMO</b>	1,964	1,86	1,689	1,781	1,968	1,849	1,889	13,000
<b>MIN</b>	0,862	0,961	0,908	0,833	0,974	0,939	0,813	6,290

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015



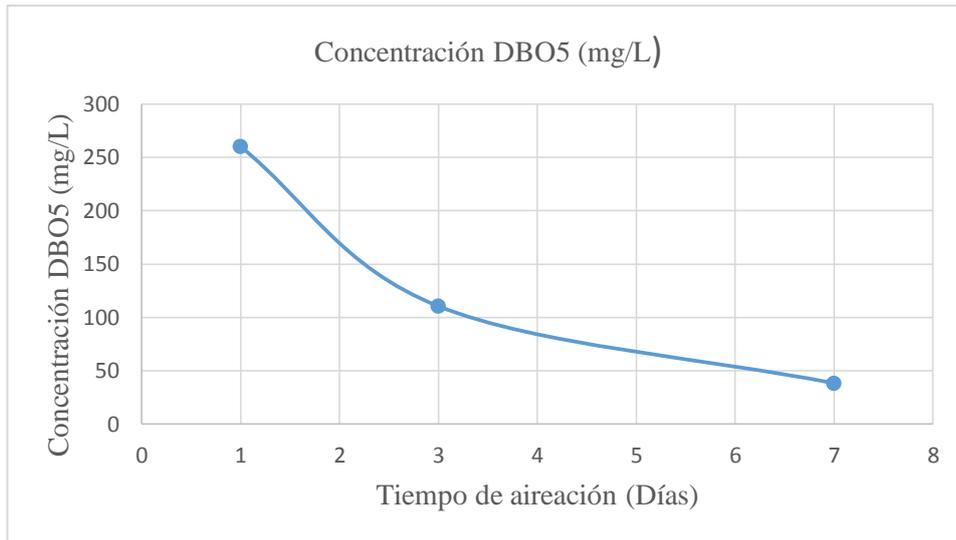
**Figura 14-3:** Caudal Semanal de la Parroquia Santiago de Calpi  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

Simulando el proceso en el laboratorio del sistema de lodos activados con todas las etapas en diferentes cantidades de días obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 44-3:** Variación de la concentración de DBO5 con el tiempo de aireación

Tiempo de Aireación (Días)	Concentración DBO5 (mg/L)
<b>1</b>	260,10
<b>3</b>	110,53
<b>7</b>	38,30

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

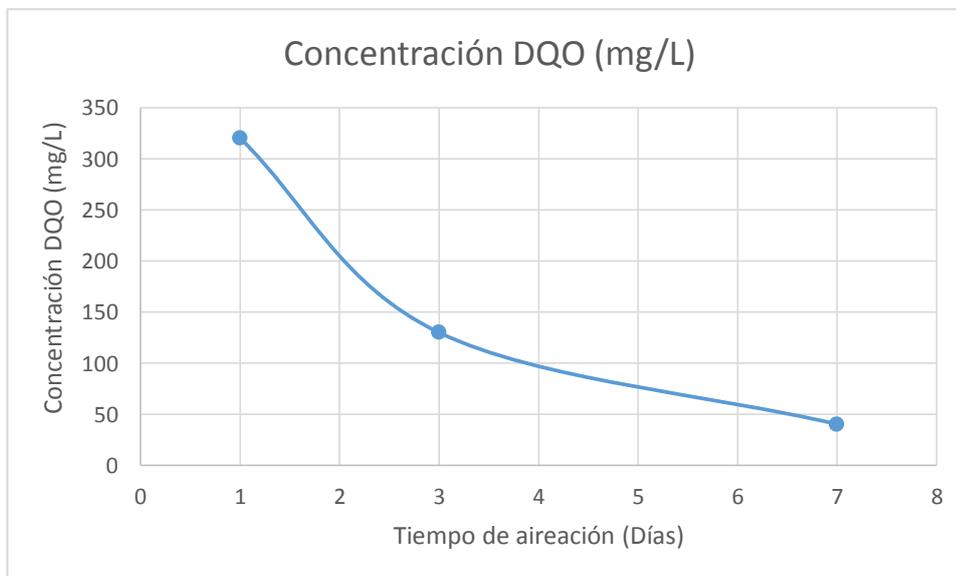


**Figura 15-3:** Caudal Semanal de la Parroquia Santiago de Calpi  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 45-3:** Variación de la concentración de DQO con el tiempo de aireación

Tiempo de Aireación (Días)	Concentración DQO (mg/L)
1	320,31
3	130,10
7	40,50

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015



**Figura 16-3:** Caudal Semanal de la Parroquia Santiago de Calpi  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 3.2.2 Tratamiento del agua residual

#### 3.2.2.1 Resultado de la caracterización del tratamiento

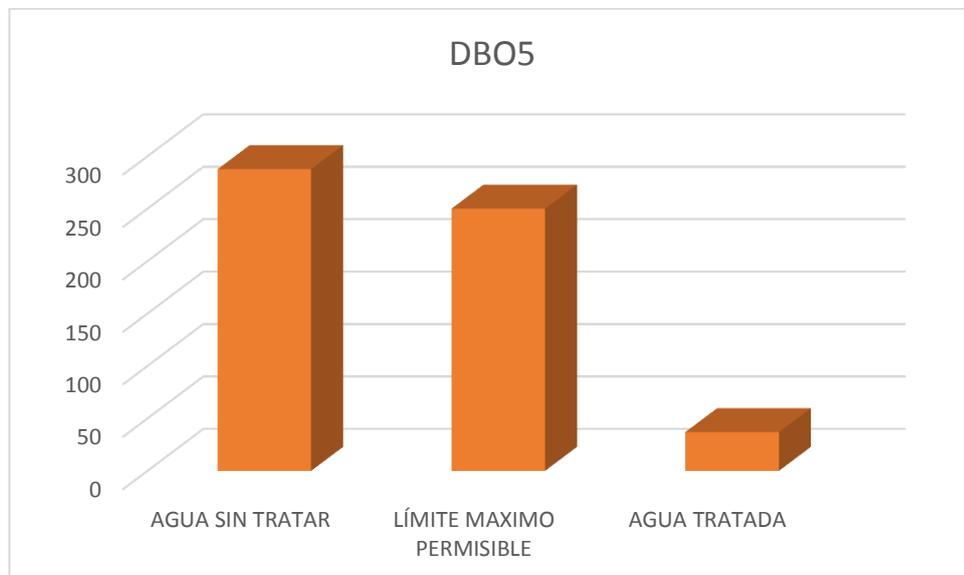
Mediante la siguiente tabla se puede observar la reducción de la carga contaminante en el agua residual de la Parroquia Santiago de Calpi.

**Tabla 46-3:** Caracterización final físico-químico del A.R de Santiago de Calpi

<b>DETERMINACIONES</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>	<b>AGUA SIN TRATAR</b>	<b>AGUA TRATADA</b>
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	287,66	37
DQO	mg/L	250	368,33	59
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	100	195,33	2
TENSOACTIVOS	mg/L	0,5	2,70	0,4
ACEITES Y GRASAS	mg/L	0,3	28,00	0,2

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

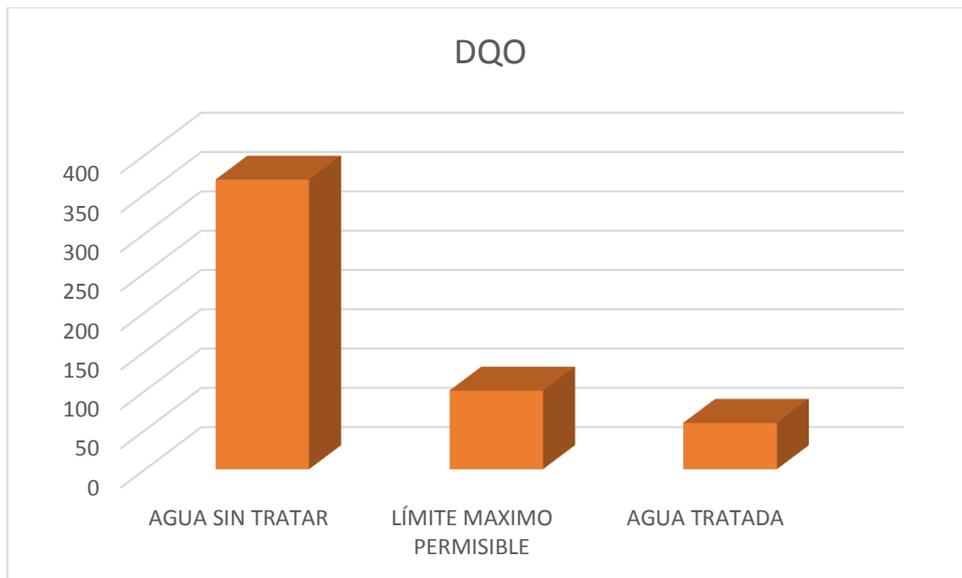
#### a) Análisis de la caracterización final del DBO<sub>5</sub>



**Figura 17-3:** Análisis de la caracterización final del DBO<sub>5</sub>

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**b) Análisis de la caracterización final del DQO**



**Figura 18-3:** Análisis de la caracterización final del DQO  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**c) Análisis de la caracterización final de los Sólidos Suspendidos**



**Figura 19-3:** Análisis de la caracterización final de los Sólidos Suspendidos  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

d) Análisis de la caracterización final de los Tensoactivos



**Figura 20-3:** Análisis de la caracterización final de los Tensoactivos  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

d) Análisis de la caracterización final de las Grasa y Aceites

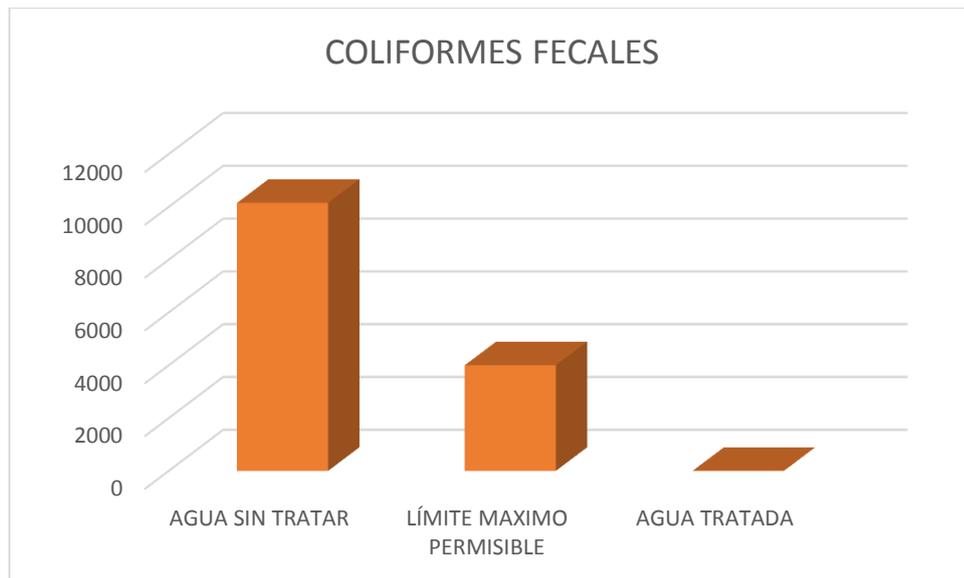


**Figura 21-3:** Análisis de la caracterización final de las Grasa y Aceites  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 47-3:** Caracterización final microbiológica

DETERMINACIONES	UNIDADES	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	AGUA SIN TRATAR	AGUA TRATADA
COLIFORMES FECALES	UFC/100ml	Remoción > al 99%	$10,15 \cdot 10^3$	<2

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015



**Figura 22-3:** Caracterización final microbiológica

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 3.2.3 Población de Diseño

Al realizar la proyección de la población se estableció que la proyección demográfica es para un periodo de 20 años, cuyo resultado fue la base de los cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

**Tabla 48-3:** Resultado del cálculo de la población de diseño

Parámetro	Datos
Pf	1887 hab.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 3.2.4 Caudal de Diseño

El cálculo de los caudales es de suma importancia para realizar el dimensionamiento de las unidades del PTAR obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 49-3:** Resultado del cálculo de Caudales de diseño

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
<b>*Dotación</b>	120 L/s
<b>Caudal de Diseño</b>	17,125 L/s
<b>Caudal medio de aguas residuales</b>	1,834 L/s
<b>Caudal medio diario</b>	12,454 L/s

Fuente: : \*CPE INEN 005-9-1 (1992)

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 3.2.5 Resultados del Dimensionamiento de la Planta de TAR.

#### 3.2.5.1 Canal de Aguas Residuales

Se ha visto la necesidad de construir un canal cuyas dimensiones son: 0,5m de base, 0,5 m de altura con 1 m de longitud y un tirante de agua de 0,076 m.

#### 3.2.5.2 Rejillas para el Canal

El diseño de las rejillas esta hecho según los requerimientos de las dimensiones del canal, dichos datos esta detallados en la siguiente tabla:

**Tabla 50-3:** Resumen de dimensionamiento de las rejillas

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensión</b>
<b>*B</b>	1.79
<b>** Coeficiente de Manning</b>	0,013
<b>Ancho</b>	0.5 m
<b>Profundidad</b>	0.5 m
<b>Separación entre barras</b>	0.025 m

<b>Pendiente en relación con la vertical</b>	45°
<b>Velocidad de aproximación</b>	0.45 m/s
<b>Espesor de la barra</b>	0.010 m
<b>Tipo de barra circular</b>	1.79
<b>Longitud de las barras</b>	0.82 m
<b>Número de barras</b>	14
<b>Nivel máximo de agua</b>	0.0761 m
<b>Longitud sumergida de la barrilla</b>	0.107 m
<b>Pérdida de carga de las rejillas</b>	0.00385 m

**Fuente:** \* VALDEZ, E., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales,\*\* Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods, Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes  
**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

### 3.2.5.3 Sedimentador circular primario para aguas residuales

Las dimensiones del sedimentador primario se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 51-3:** Resumen de dimensionamiento del Sedimentador Primario

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensión</b>
<b>* Velocidad terminal</b>	3 m/h
<b>** Constante del material arrastrado</b>	0,05
<b>Área</b>	20,55 m <sup>2</sup>
<b>Ancho</b>	3,21 m
<b>Largo</b>	6,40 m
<b>**Altura</b>	3,6 m
<b>Volumen</b>	73,96 m <sup>3</sup>
<b>Diámetro</b>	5,115 m
<b>Tiempo de retención hidráulica</b>	1,20 h
<b>Área de la sección transversal</b>	11,56 m
<b>Velocidad de arrastre</b>	0,0626 m/s
<b>Porcentaje de remoción de DBO5</b>	28,57 %
<b>Porcentaje de remoción de SS</b>	49,38 %

<b>*** Valores empíricos</b>	a = 0,018 b = 0,02
------------------------------	-----------------------

Fuente: \*AURELIO HERNANDEZ, \*\* Manual de depuración Urbana., p. 96, METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995.,\*\*\* CRITES, R., Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 3.2.5.4 Sistema de Lodos Activados

El siguiente proceso es el sistema de lodos activados es proceso continuo del tanque sedimentador primario, dicho reactor está compuesto por difusores y un sedimentador secundario, sistema que no necesita recirculación de lodos para el tratamiento biológico.

**Tabla 52-3:** Resumen de dimensionamiento del Sistema de Lodos Activados

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensión</b>
<b>Caudal a tratar en el reactor</b>	1479,6 m <sup>3</sup> /d
<b>**Tiempo de retención celular <math>\theta_c</math></b>	10 días
<b>**Coeficiente de producción celular (Y)</b>	0.6 Kg de células producida/Kg de MO
<b>**Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (X)</b>	4 Kg/m <sup>3</sup>
<b>*Coeficiente de degradación endógena (kd)</b>	0.06 d <sup>-1</sup>
<b>*Concentración de DBO del afluente (So)</b>	0,2876 kg/m <sup>3</sup>
<b>*Concentración de DBO del efluente (S)</b>	0,03830 kg/m <sup>3</sup>
<b>Eficiencia basada en la DBO5 soluble</b>	86,68%
<b>Volumen del reactor (Vr)</b>	345,81 m <sup>3</sup>
<b>Tiempo de retención hidráulico (Trh)</b>	5,61 h
<b>Relación Alimento/microorganismo F/M</b>	0.312 d <sup>-1</sup>
<b>Producción de lodo observada (Yobs)</b>	0.375 Kg de células producida/ Kg de MO
<b>Producción diaria de fango Px</b>	138,32 kg/d
<b>Caudal de lodo de purga QW'</b>	34,581 m <sup>3</sup> /d
<b>Necesidad de oxígeno</b>	541,31 kg O <sub>2</sub> /d
<b>Potencia necesaria por los difusores (Pw)</b>	45 kW

<b>Largo</b>	12 m
<b>Ancho</b>	10 m
<b>Altura</b>	3 m

**Fuente:** \*Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH, 2015., \*\*METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995.,  
**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

### 3.2.5.5 Sedimentador Secundario

En el nuevo proceso que es un sedimentador secundario circular se logra sedimentar los floculos formados por microorganismos que se han alimentado de la materia orgánica presente en el agua residual.

Las dimensiones se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 53-3:** Resumen de dimensionamiento del Sedimentador secundario

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensión</b>
<b>*Carga superficial</b>	49 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
<b>*Profundidad</b>	3,5 m
<b>Área</b>	30,19 m <sup>2</sup>
<b>Diámetro</b>	6,2 m
<b>Reparto central</b>	1,55 m
<b>Altura del reparto</b>	1 m
<b>Carga de vertedero</b>	0,000879 m <sup>2</sup> /s
<b>Ancho</b>	3,88 m
<b>Largo</b>	7,77 m
<b>Volumen</b>	108,53 m <sup>3</sup>
<b>Tiempo de retención hidráulica</b>	1,76 h
<b>Remoción del DBO<sub>5</sub></b>	33,08 %
<b>Remoción de los sólidos suspendidos</b>	54,76 %

**Fuente:** \*METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995  
**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

### 3.2.5.6 Tanque de Desinfección

Debido al alto porcentaje de concentración microbiológica presente en el agua después de la aireación con lodos activados, se vio necesaria la implementación de un tanque de desinfección con hipoclorito de calcio el cual posee propiedades desinfectantes.

**Tabla 54-3:** Resumen de dimensionamiento del tanque de desinfección

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensión</b>
<b>Peso requerido del desinfectante</b>	2,22 Kg/día
<b>Volumen del tanque de cloración</b>	0,76 m <sup>3</sup>
<b>Volumen del tanque de Desinfección</b>	30,82 m <sup>3</sup>
<b>Largo del tanque</b>	3,45 m
<b>Ancho del tanque</b>	3 m
<b>Altura del tanque</b>	2,99 m

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 3.2.5.7 Lecho de Secado

En el agua residual doméstica se obtiene alta carga de lodos los cuales deben ser tratadas en el proceso es por eso que se diseñó un filtro de secado el cual posee las siguientes características:

**Tabla 55-3:** Resumen de dimensionamiento del tanque de desinfección

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensión</b>
<b>Carga de sólidos</b>	288,522 Kg/día
<b>Masa de Sólidos</b>	93,769 Kg/día
<b>Volumen diario de Lodos</b>	751,359 L/día
<b>Volumen de los lodos</b>	30,05 m
<b>Área del secador</b>	75,125 m
<b>Número de Lechos de Secado</b>	4
<b>*Base</b>	3 m
<b>Longitud</b>	6,26 m
<b>*Profundidad</b>	0,40 m

Fuente: \* Normas Ecuatorianas INEN

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

### 3.4 Análisis de Resultados y Discusión de resultados

Para empezar el estudio del proyecto del Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, se caracterizó las distintas muestras que se obtuvieron de la Parroquia Santiago de Calpi, estos resultados se compararon con la normativa del TULAS-libro VI-Anexo 12 (Descarga a un cuerpo de agua dulce), se pudo determinar que se tenía varias parámetros fuera de norma entre ellos se determinaron el  $DBO_5$  con 287,66 mg/L, DQO de 368,33 mg/L , Coliformes fecales de  $10,15 \cdot 10^3$ , Sólidos Suspendidos con 195,33 mg/L y Tensoactivos de 2,70 mg/L éstos valores se los puede encontrar en la tabla 30-2.

La descarga de este efluente se realiza de manera directa al Río Chibunga sin ningún tipo de tratamiento, generando malos olores, mal aspecto a la zona y contaminación a las áreas de cultivos y la población que se encuentra ubicada cerca a la descarga.

En el proceso de estudio de la desinfección del agua residual se probó varios métodos descontaminantes en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias-ESPOCH. Se inició con el proceso de sedimentación tratando que los sólidos suspendidos se ubiquen en la parte inferior del tanque. Esta es una operación física la cual no necesita de mucho tiempo para su proceso. Seguido de este proceso se adaptó un sistema de aireación de 5 horas, proceso que disminuye paulatinamente el color y olor característico del agua residual así obteniéndose ya un nivel bajo de  $DBO_5$  también se debe recalcar que fue necesario sedimentar el efluente disminuyendo a gran escala la carga de sólidos suspendidos, finalmente debido a la alta presencia de microorganismos en la muestra se consideró agregar Hipoclorito de Calcio al 70 % una cantidad de 0,0015 g/L con un tiempo de retención de 30 minutos. Todas estas operaciones fueron consideradas en el diseño las cuales determinan que el agua se encuentra dentro de los límites permisibles por el TULAS.

El sistema de tratamiento de aguas residuales para la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi consta de un sistema de Rejillas con un canal adaptado, Sedimentación primaria, Sistema de Lodos activados, Sedimentación secundaria, Cloración (desinfección) y Lechos de secado de lodos. Cabe recalcar que este sistema está diseñado con mecanismo de gravedad para el mejor funcionamiento de la planta reduciendo costos de accesorios.



**Figura 23-3:** Diseño de una Planta de Tratamiento de A.R. para la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi  
**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

## CAPITULO IV

### 4. PROPUESTA

Para realizar el tratamiento de los efluentes generados por los pobladores de la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi, residuos generados por las diferentes actividades diarias humanas. Mediante el análisis previo de estas aguas residuales se obtuvieron los diferentes problemas que presenta este efluente para constatar estos resultados de análisis físico-químicos (tablas 1 y 2), en base a estos resultados se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir las cargas contaminantes presentes en las mismas.

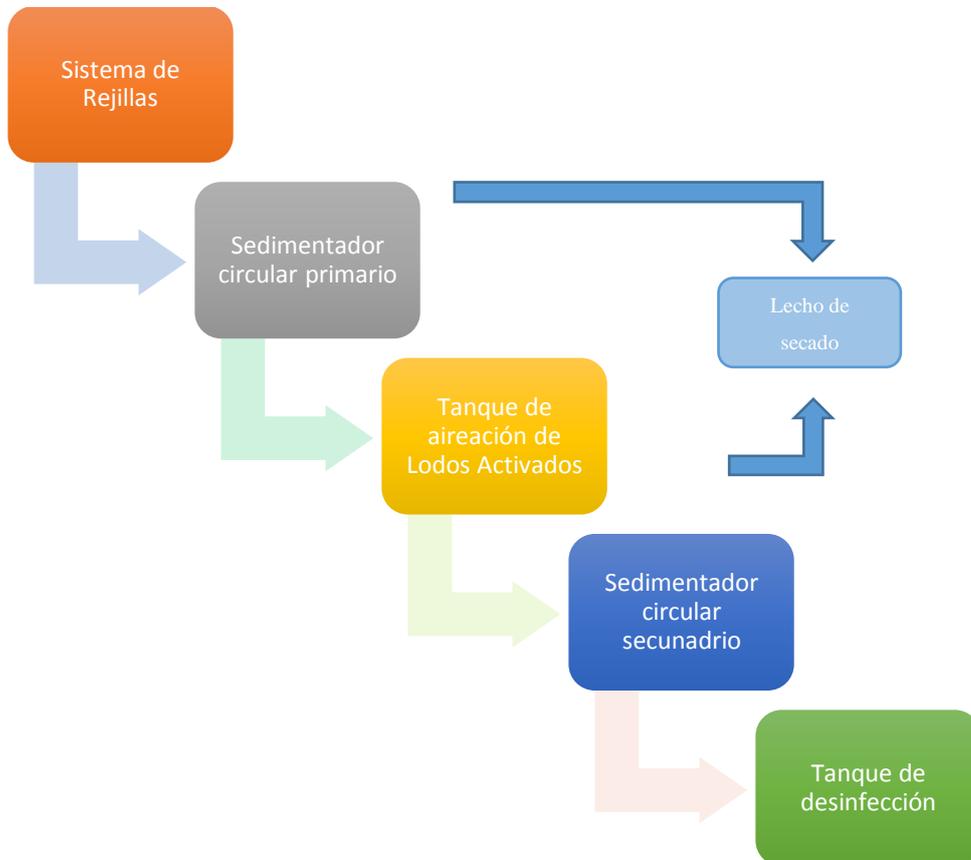
El diseño de este sistema está basado en cumplir con las normas del TULAS del libro VI, Anexo I, tabla 12, parámetros importantes que tienen que deben cumplirse en el tratamiento de estos efluentes, mejorando y brindando un nuevo uso a estas aguas residuales que se creía que solo podían contaminar el medio ambiente.

Se propone el siguiente sistema de tratamiento de aguas residuales para la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi:

- ✓ La recolección del agua residual que proviene de la parroquia Santiago de Calpi, pasa por un canal en cuya trayectoria se instala un sistema de rejillas de limpieza manual, estas rejillas constan de 14 unidades las cuales poseen una separación de 0,025m, el objetivo principal de estas cribas es las de retener residuos de gran tamaño como plásticos, palos, vidrios, piedras, etc.
- ✓ Luego de las rejillas el agua residual se dirigirá al tanque de sedimentación primaria por gravedad, este tanque posee una forma circular, tiene las siguientes dimensiones 6,40 m de largo, un ancho de 3,21 m el cual está diseñado para un volumen de 73,96 m<sup>3</sup>. También podemos recalcar que en la parte central del tanque posee una rastra para remover los sólidos presentes en el agua residual, cabe recalcar que en la parte inferior del tanque posee una abertura para desechar los lodos que serán dirigidos a un filtro de secado. Este sedimentador ofrece una remoción del 28,57% de DBO<sub>5</sub> y 49,38 % de sólidos sedimentables. En este proceso se realizan dos operaciones que son la de homogenizar el agua y sedimentarla el periodo de retención es de 1,20 h.

- ✓ Mediante una tubería de 0,12 m de diámetro por gravedad llega al tanque de Lodos Activados en el que se tratará de oxidar la materia orgánica, este tanque tiene las siguientes dimensiones de 12 m de largo, con una altura de 3 m, un ancho de 10 m, este tanque aireador está diseñado para un volumen de 345,81 m<sup>3</sup>, este tratamiento es de un sistema de aireación prolongada y los lodos activados son los microorganismos que se encargan de depurar esta agua residual. Para realizar este diseño se consideró todos los cálculos pertinentes, esta aireación se realiza por difusores y se necesita una potencia de 45 KW. La necesidad del oxígeno para que este proceso sea eficiente se basó en las diferentes bibliografías dando una cantidad de oxígeno de 541,31 kg O<sub>2</sub>/d y con un tiempo de retención de 5,61 horas.
  
- ✓ Posteriormente se ubica un tanque circular de sedimentación secundaria este va seguido del tanque de lodos activados ya que es importante en el proceso de depuración del agua este se encarga de sedimentar los flóculos formados por los microorganismos en el tanque aireador y se evacuan estos nuevos lodos en la parte central del tanque mediante una válvula y estos seguirán a un lecho de secado. Posee un área de 30,19 m, un ancho de 3,88 m, largo de 7,77 m, para un volumen de 108,53 m con un ángulo de inclinación de 15° y con un tiempo de retención de 1,76 h.
  
- ✓ Luego de eliminar los sólidos presentes en el agua residual; es necesario que el efluente sea tratado con un agente químico como es el hipoclorito de calcio el cual posee altas propiedades desinfectantes y un bajo valor económico. La función básica de este compuesto es de desinfectar el agua tratada eliminando las bacterias contaminantes. Este tanque de desinfección posee una altura de 1,027 m y un ancho de 1m, para un volumen de 1,54 m<sup>3</sup>. La cantidad de disposición de hipoclorito de calcio en el agua trata será 1 mL por cada litro de agua tratada.
  
- ✓ Para finalizar el tratamiento se implementará un lecho de secado manual el cual no necesita energía para su función, la radiación solar será el medio que secará estos residuos, el tiempo de duración de secado es de 40 días luego de este tiempo estos solidos serán utilizados como compost para la agricultura cuyos beneficiarios pueden ser los pobladores de sus alrededores. Debido a la alta presencia de sólidos suspendidos en el sedimentador primario y secundario se diseñó un lecho de secado cuya área es de 75,125 m para un volumen diario de lodos 751,359 L/día con una longitud de 12,52 m y una base de 6 m.

A continuación se presenta un diagrama de flujo el cual describe el proceso del tratamiento del agua residual.



**Figura 24-4:** Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Santiago de Calpi  
Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

#### 4.1 Requerimiento Presupuestario

La persona que esté a cargo de esta planta tendrá que contar con conocimientos básicos de química, mecánica y lo más importante conocer acerca del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales.

El presupuesto esta detallado a continuación:

**Tabla 56-4:** Presupuesto de Rejillas

<b>REJILLAS</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>UNIDADES O AREA</b>	<b>C/u (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Rejillas de acero inoxidable de 10 mm	14,00	3,50	49,00
Canal	0,4	110,00	50
Mano de obra de instalación	-	-	25,00
		<b>TOTAL</b>	<b>124,00</b>

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

**Tabla 57-4:** Presupuesto de sedimentador primario

<b>SEDIMENTADOR PRIMARIO</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>C/m<sup>2</sup> (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Tanque sedimentador	20,55	110,00	2260,5
Mano de obra	-	.	1500,00
		<b>TOTAL</b>	<b>3760,5</b>

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

**Tabla 58-4:** Presupuesto de tanque de lodos

<b>TANQUE LODOS ACTIVADOS</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>C/m<sup>2</sup> (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Tanque (estructura)	50	110,00	6050,00
Difusores en forma de domo	-	-	2000,00
Compresor 50l 2.5hp 2 Salidas 2 Manómetros	.	.	1500,00
Mano de obra	-	.	3500,00
		<b>TOTAL</b>	<b>13050,00</b>

**Elaborado por:** Laura Enríquez, 2015

**Tabla 59-4:** Presupuesto de sedimentador secundario

<b>SEDIMENTADOR SECUNDARIO</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>C/m<sup>2</sup> (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Tanque sedimentador	30,05	110,00	3305,5
Mano de obra	-	.	2000,00
		<b>TOTAL</b>	<b>5305,5</b>

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 60-4:** Presupuesto de tanque de desinfección

<b>TANQUE DESINFECCIÓN</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>C/m<sup>2</sup> (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Tanque de desinfección	10,01	110,00	550,00
Mano de obra	-	-	250,00
		<b>TOTAL</b>	<b>800,00</b>

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 61-4:** Presupuesto de lecho de secado

<b>LECHO DE SECADO</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>C/m<sup>2</sup> (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Filtro de secado	6*12	110,00	3960,00
Grava y arena	-	-	900,00
Mano de obra	-	-	1200,00
		<b>TOTAL</b>	<b>6060,00</b>

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 62-4:** Presupuesto del Hipoclorito de Calcio

<b>HIPOCLORITO DE CALCIO</b>	
2,22 Kg/día	\$ 3,00 Kg
66,6 Kg/ mes	\$ 199,8 mensual
799,2 kg/año	\$ 2397,60 anual

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 63-4:** Presupuesto de accesorios

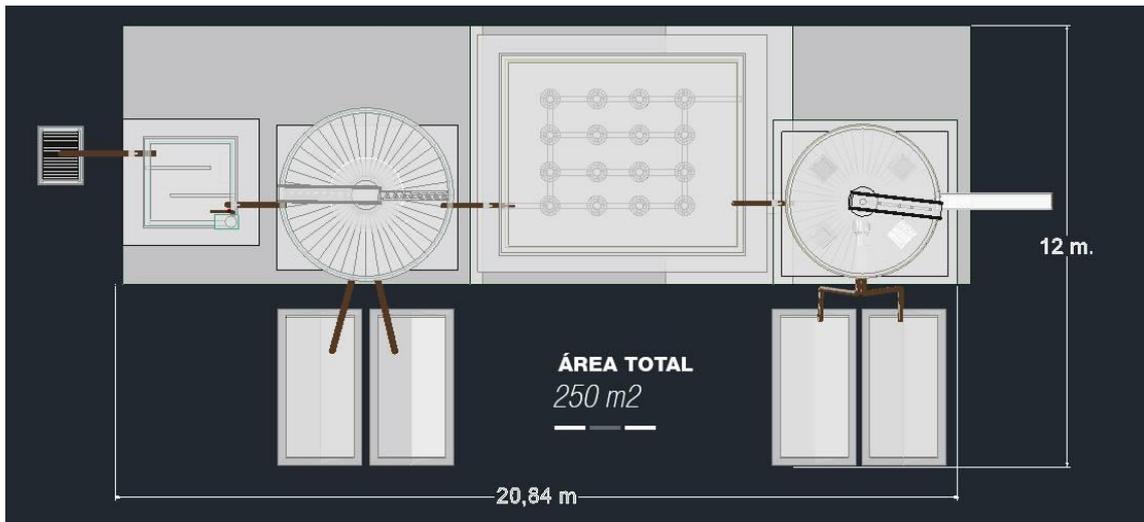
<b>ACCESORIOS</b>		
<b>DETALLE</b>	<b>C/U</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Codos 90° PVC d=4"	6	35,10
Válvula de globo	2	44,80
Uniones	5	20,00
Motor 0,5 HP	2	1500,00
Gastos varios	-	1000
	<b>TOTAL</b>	<b>2599,9</b>

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

**Tabla 64-4:** Resumen del Presupuesto de la planta de tratamiento

<b>PRESUPUESTO TOTAL DE LA PLANTA</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Costo \$</b>
Rejillas	124,00
Sedimentador primario	3760,5
Tanque de lodos Activados	13050,00
Sedimentador secundario	5305,5
Tanque de desinfección	800,00
Lecho de secado	6060,00
Accesorios	2599,9
<b>TOTAL</b>	<b>31699,40</b>

Elaborado por: Laura Enríquez, 2015



**Figura 25-4:** Área Total de la Planta de Tratamiento de Santiago de Calpi  
 Elaborado por: Laura Enríquez, 2015

El costo aproximado de la implementación de la planta es de 31699,40 dólares para la Parroquia Santiago de Calpi, el mismo que necesitará un área Total de 250 m<sup>2</sup> cuyo terreno se encuentra disponible en la Parroquia.

## CONCLUSIONES

- ✓ Los efluentes que provienen de la Cabecera Parroquial Santiago de Calpi poseen un alto porcentaje contaminante microbiológico y orgánico, se comprobó mediante la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual, se realizaron análisis de: pH, Turbidez, Conductividad, Sólidos Sedimentables, Sólidos Totales, Sulfatos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos, Tensoactivos, Aceites y Grasas, Nitrógeno Total y Coliformes fecales cuyos resultados se encuentran en la tabla 31-2 comparando con la Norma del TULAS libro VI, Tabla 12 para Descarga a un cuerpo de Agua Dulce.
  
- ✓ Las variables a consideración para el diseño del sistema de una planta de aguas residuales para la Cabecera Parroquial de Santiago de Calpi son: Demanda Bioquímica de Oxígeno 287,66 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 368,33 mg/L, Sólidos Suspendidos 195,33 mg/L, Tensoactivos 2,70 mg/L , Aceites y Grasas 28 mg/L y Coliformes fecales  $10,15 \cdot 10^3$  UFC/100ml parámetros se encuentran fuera (Anexo D, G,E) de la Norma TULAS.
  
- ✓ El diseño del Sistema de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales consta de los siguientes procesos: Canal de llegada al Sistema de Rejillas, Sedimentador Circular Primario, Tanque de Lodos Activados, Sedimentador Circular Secundario, Tanque de Desinfección, Lechos de Secado. Mediante el diseño propuesto se obtuvo la disminución de altos contaminantes presentes en el efluente las variables a consideración para el diseño se caracterizaron los siguientes parámetros obteniéndose los resultados del: Demanda Bioquímica de Oxígeno 37 mg/L , Demanda Química de Oxígeno 59 mg/L, Sólidos Suspendidos 2 mg/L, Tensoactivos 0,4 mg/L , Aceites y Grasas 0,2 mg/L y Coliformes fecales  $< 2$  UFC/100ml dichos resultados se encuentran dentro de la Norma del TULAS libro VI, Tabla 12 para Descarga a un cuerpo de Agua Dulce.

## RECOMENDACIONES

- ✓ El sistema de alcantarillado es de gran importancia para la implementación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales es por ello que se recomienda a la Junta Parroquial de Calpi se revise este red de alcantarillado motivo por el cual puede existir variaciones en los datos recogidos en la investigaciones.
- ✓ El mantenimiento del sistema de rejillas es de forma manual, el personal que se encuentre a cargo de la planta debe observar la posible acumulación de sólidos de gran tamaño y remover dichos sólidos a un bote de basura así evitando la obstrucción del agua a la planta.
- ✓ El sistema de Lodos Activados debe tener una supervisión por un operario que posea conocimiento de mecánica, química entre otros debido a que el sistema de aireación debe ser controlado según el tiempo de retención y cabe recalcar que en la parte superior se forman pequeñas capas de espuma que deben ser retiradas manualmente mediante rastras.
- ✓ En el proceso sabemos que se generan lodos en el sedimentador 1 y 2, lodos que se dispondrán en lechos de secado que se encuentran conectados a estos sedimentadores mediante tuberías, esta materia orgánica servirá como compost para las zonas aledañas de agricultura.
- ✓ Se recomienda realizar pruebas de caracterización físico-química y microbiológicas anuales para verificar que el sistema cumple con lo establecido en la investigación del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **ALLENDE., A.**, *Manual de tratamiento de aguas residuales.*, 2ª ed., Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría., La Habana – Cuba., 1994., Pp. 246.
- ✓ **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** *Agua su calidad y tratamiento.* 2. ed., DF - México. McGraw-Hill. 2002, pp. 6 – 7.
- ✓ **COLOMBIA., MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO.,** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000.*, Seccion II., Tratamiento de Aguas Residuales, Bogotá – Colombia., 2000. Pp. 15 – 16 – 38 – 39 –50 – 52.
- ✓ **CRITES., R., & TCHOBANOGLOUS., G.**, *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.*, 3ª ed., Bogotá – Colombia., McGraw Hill., 2000., Pp. 21, 33, 42-44, 46-48.
- ✓ **ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION INEN,** Norma Técnica - Ecuatoriana- *Requisitos para el agua Potable INEN 1108:2011.*, 2da. Ed., Quito – Ecuador., 2011.
- ✓ **ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION INEN** Norma Técnica - Ecuatoriana- *Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales (IEOS).* 2da. Ed., Quito – Ecuador., 2011. 1992., Pp. 378
- ✓ **ECUADOR, MINISTERIO DEL AMBIENTE.,** *Texto Unificado de Legislación Ambiental.*, 2 a ed., Quito – Ecuador., Pp. 330 – 333
- ✓ **GEOCITIES L.,** *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales.*,[en línea] October, 2009., 15/09/2015. Disponible en <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/procesoslodos.htm>
- ✓ **GUERRERO R.,** *Manual de tratamiento de aguas.*,México D.F: Limusa, 2000.Pp. 1-10.
- ✓ **MERCADO, I.,** *La electrocoagulación, una nueva alternativa para el Tratamiento de aguas residuales.*, Editores Asociados Técnicos., Bogotá - Colombia., 2005., Pp. 26, 72.

- ✓ **METCALF., & EDDY.,** *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización.*, 3ª ed., Madrid – España., McGraw-Hill., 1995., Pp. 95-102, 508 – 515, 538 – 551, 555 – 557, 605 – 682.
  
- ✓ **Romalho S.,** *Tratamiento de Aguas Residuales.*, 1ª ed., Madrid – España. Reverté S.A. 1996., Pp 386
  
- ✓ **ROMERO., J.,** *Tratamiento de Aguas Residuales.*, 3ª ed., Bogotá – Colombia., Alfaomega., 2002., Pp. 67 – 71 – 74 – 223 – 706 – 707
  
- ✓ **RUSSELL. D.,** *Tratamiento de aguas, un enfoque práctico.*, Barcelona - España. Reverté S.A. 2012, pp. 10-11
  
- ✓ **OROZCO. A.,** *Bioingeniería de Aguas Residuales.*, Río de Janeiro – Brazil 2002, pp. 408-410.
  
- ✓ **VALDEZ C., VAZQUEZ A.,** *Ingeniería de los Sistemas De Tratamiento y Disposición De Aguas Residuales.*, 2ª ed., México D F. – México., Fundación ICA., 2003., Pp. 3 – 7.

## ANEXOS

### ANEXO A Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Coliformes Fecales	Nmp/100ml	Remoción > al 99.9%	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D. B. O5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D. Q. O.	mg/l	250
Fósforo Total	P	mg/l	10
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10.0
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	5-9
Sólidos Sedimentables	-	mg/l	1.0
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/l	100
Sólidos Totales	-	mg/l	1600
Temperatura	-	°C	< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Laura Enríquez	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI		
			Lámina	Escala:	Fecha
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación				

ANEXO B. Norma Técnica Ecuatoriana



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 176:1998**

**AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.**

**Primera Edición**

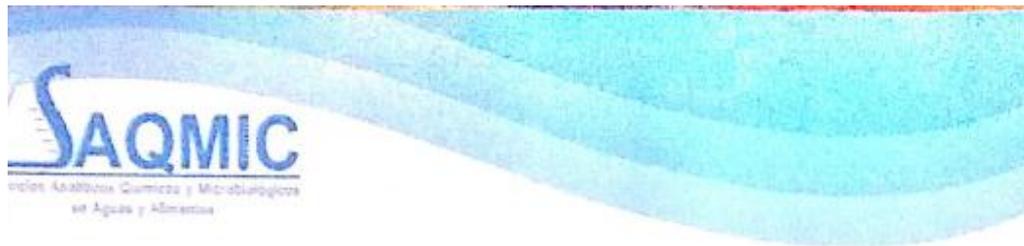
WATER QUALITY. SAMPLING. GUIDANCE ON SAMPLING TECHNIQUES.

First Edition

DESCRIPTORES: Agua, calidad, muestreo, equipo de muestreo, condiciones generales.  
AL 01.06-203  
CDU: 614.777-620.113  
CIRJ: 42-420.4200  
ICS: 13.060.01

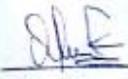
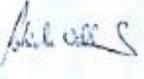
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA  <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Laura Enríquez	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI		
			Lámina	Escala:	Fecha

**ANEXO C** Análisis Microbiológico



**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA**

**CÓDIGO 349-15**

<b>CLIENTE</b> Srita Laura Enríquez			
<b>DIRECCION</b> Ciudadela Los Olivos		<b>TELÉFONO:</b>	
<b>TIPO DE MUESTRA</b> Agua residual			
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b> 16 de junio del 2015			
<b>FECHA DE MUESTREO</b> 16 de junio del 2015			
<b>EXAMEN FISICO</b>			
COLOR: Transparente			
OLOR: Desagradable			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>VALOR REFERENCIAL</b>	<b>RESULTADO</b>
<i>Coliformes fecales UFC/100ml</i>	Filtración por membrana	2000	10,150x 10 <sup>3</sup>
<b>TULAS</b> , libro VI del texto unificado 2014			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<b>FECHA DE ANÁLISIS</b> 16 de junio del 2015			
<b>FECHA DE ENTREGA</b> : 18 de junio del 2015			
<b>RESPONSABLES:</b>			
 <b>Dra. Gina Álvarez R.</b>		 <b>Dra. Fabiola Villa</b>	
			
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.			

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>  <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Laura Enríquez	<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b>		
			Lámina	Escala:	Fecha

ANEXO D Caracterización 1

**ESPOCH**

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Laura Enríquez

Fecha de Análisis: 10-06-2015

Fecha de Entrega de Resultados: 23-06-2015

Tipo de muestras 1: Agua Residual Doméstica por Tratar

Localidad: Parroquia Santiago de Calpi – Cantón Riobamba

Código LAT/092-15

**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.67
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		820
Turbiedad	UNT	2130-B		180
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	332
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	194
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-B	1000	94
Sólidos Suspendedos	mg/L	2540-D	100	190
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	1200

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

NOTAS		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI		
	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p><input type="checkbox"/>Certificado</p> <p><input type="checkbox"/>Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/>Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Información</p> <p><input type="checkbox"/>Preliminar <input type="checkbox"/></p> <p>Continuación</p>		Lámina	Escala:	Fecha
		Laura Enríquez			

ANEXO E Caracterización 2

**ESPOCH**

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Laura Enríquez  
 Fecha de Análisis: 12-06-2015  
 Fecha de Entrega de Resultados: 23-06-2015  
 Tipo de muestras 2: Agua Residual Doméstica por Tratar  
 Localidad: Parroquia Santiago de Calpi – Cantón Riobamba

Código LAT/095-15

**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.50
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1030
Turbiedad	UNT	2130-B		171
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	400
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	318
Sulfatos	mg/L	4500- SO4-B	1000	134
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	100	216
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	1244

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.  
 \*\*TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.

  
 Dra. Gina Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS  
 Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

NOTAS		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI		
	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p><input type="checkbox"/>Certificado</p> <p><input type="checkbox"/>Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/>Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Información</p> <p><input type="checkbox"/>Preliminar <input type="checkbox"/></p> <p>Continuación</p>		Lámina	Escala:	Fecha
		Laura Enríquez			

ANEXO F Caracterización 3

**ESPOCH**

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Laura Enríquez

Fecha de Análisis: 15-06-2015

Fecha de Entrega de Resultados: 23-06-2015

Tipo de muestras 3: Agua Residual Doméstica por Tratar

Localidad: Parroquia Santiago de Calpi – Cantón Riobamba

Código LAT/099-15

**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.38
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1030
Turbiedad	UNT	2130-B		196
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	373
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	351
Sulfatos	mg/L	4500- SO4-B	1000	120
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	100	180
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	1440

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.: ESPOCH

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

NOTAS		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI		
	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p><input type="checkbox"/>Certificado</p> <p><input type="checkbox"/>Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/>Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Información</p> <p><input type="checkbox"/>Preliminar <input type="checkbox"/></p> <p>Continuación</p>		Lámina	Escala:	Fecha
		Laura Enríquez			

# ANEXO G Análisis del tratamiento de A.R de la P. Santiago de Calpi


**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**  
 Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12 00

Nº SE 070 - 15

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Srta. Laura Enriquez **INFORME Nº:** 070 - 15  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 070 - 15  
**DIRECCIÓN:** Cda. Los Olivos **FECHA DE RECEPCIÓN:** 15 - 09 - 15  
**FECHA DE INFORME:** 21 - 09 - 15  
**TELÉFONO:** 0980057422

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua Residual Doméstica Tratada **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 111-15 Calpi Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 111-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	3,19	N/A	15 - 09 - 15
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	2	N/A	15 - 09 - 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 2 (Ausencia)	N/A	15 - 09 - 15
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	37	N/A	15 - 09 - 15
DOO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	59	+/- 10 %	15 - 09 - 15
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	0,2	N/A	15 - 09 - 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,4	N/A	15 - 09 - 15

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**  
Dr. Juan Carlos Lara R.

  
**Juan Carlos Lara R.**  
 TÉCNICO L.S.A.

\*Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 \* Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
 \*Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

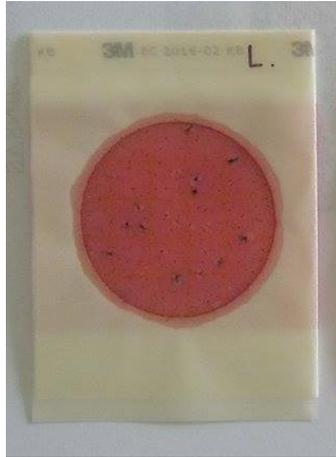
Página 1 de 1

I.S.A. Campus Master Edison Riera Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>  <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Laura Enríquez	<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b>						
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Lámina</td> <td style="width: 33%;">Escala:</td> <td style="width: 33%;">Fecha</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Lámina	Escala:	Fecha			
Lámina	Escala:	Fecha							

**ANEXO H** Análisis Microbiológico

(a)



(b)



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>  <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</b>		
(a) Agua Aireada		<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>	<b>Lámina</b>	<b>Escala:</b>	<b>Fecha</b>
(b) Agua Clorada		<b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>			
		Laura Enríquez			

**ANEXO I** Agua Residual

(a)

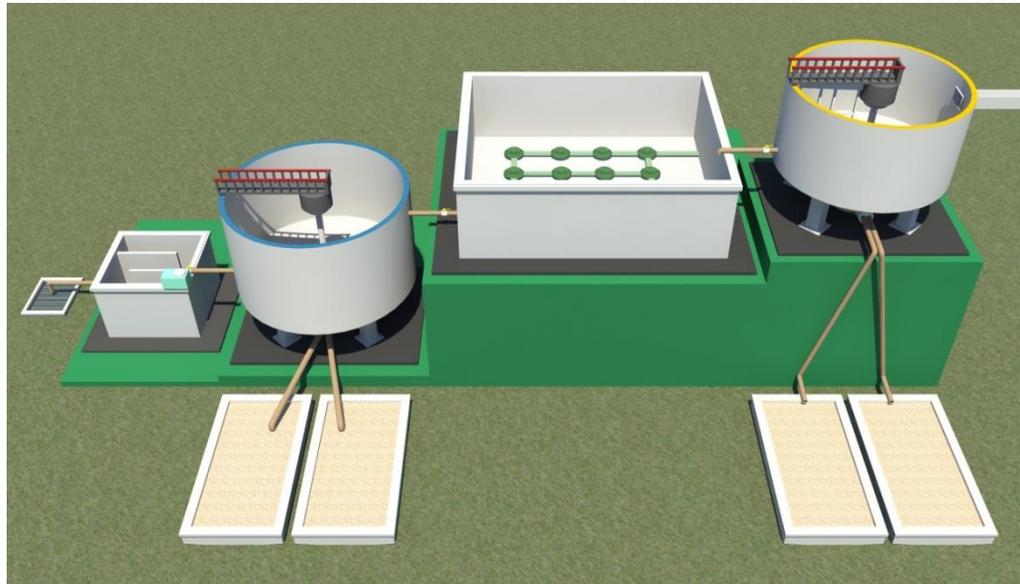


(b)



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Laura Enríquez	<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</b>		
(a) Toma de la muestra (b) Agua aireándose			<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	<b>Lámina</b>	<b>Escala:</b>

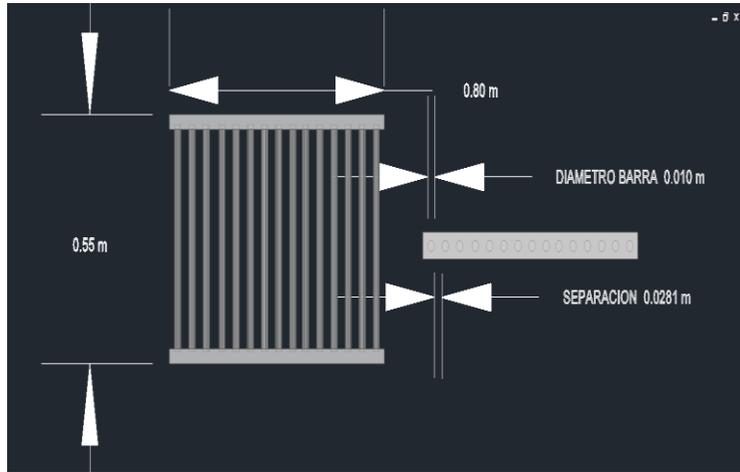
**ANEXO J** Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales



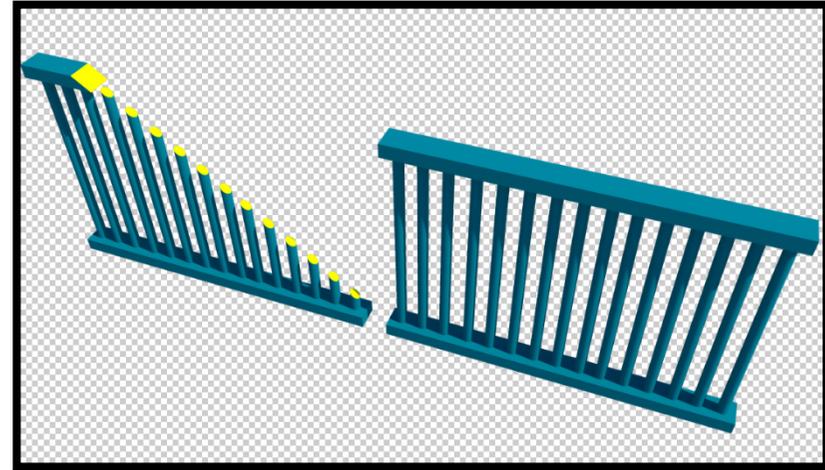
<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p> <input type="checkbox"/>Certificado    <input type="checkbox"/>Aprobado  <input type="checkbox"/>Por aprobar    <input checked="" type="checkbox"/>Información  <input type="checkbox"/>Preliminar    <input type="checkbox"/>Continuación         </p>	<p> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE            CHIMBORAZO</b>   <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>   <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>             Laura Enríquez         </p>	<p><b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b></p>		
<p>(a) Toma de la muestra (b) Agua aireándose</p>			<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala:</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

**ANEXO K** Sistema de Rejillas

(a)



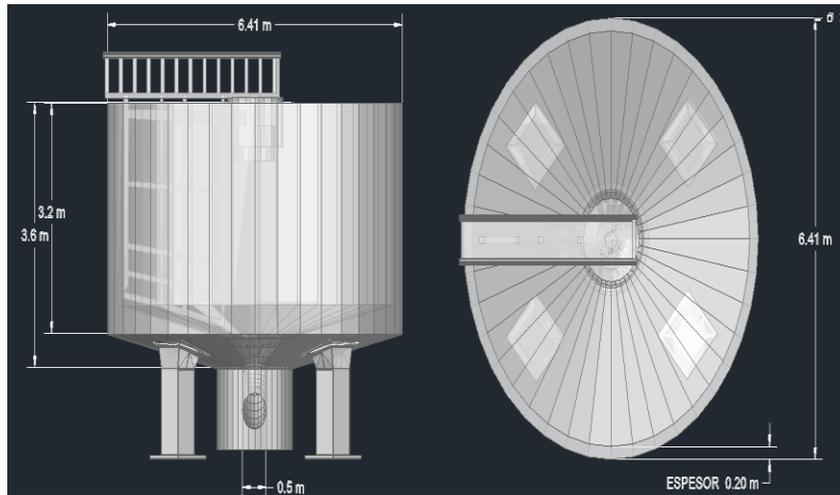
(b)



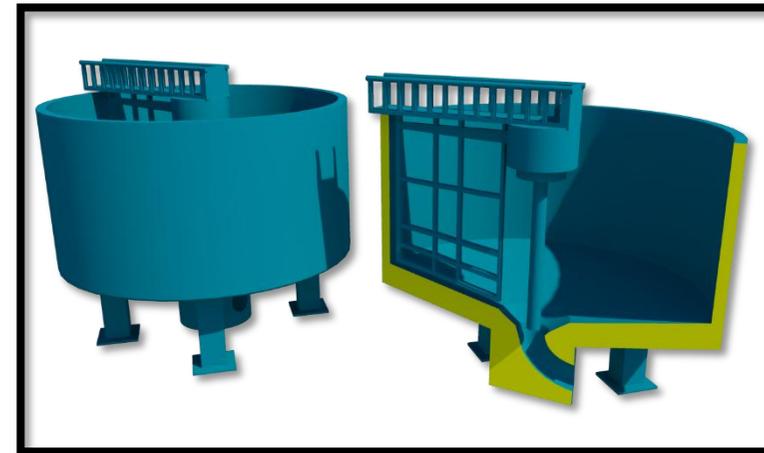
<p><b>NOTAS</b></p>		<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b></p>		
<p>(a) Cotas de rejillas (b) Corte de Rejillas</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Aprobado  <input type="checkbox"/> Por aprobar    <input checked="" type="checkbox"/> Información  <input type="checkbox"/> Preliminar    <input type="checkbox"/> Continuación         </p>	<p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b></p> <p><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p>Laura Enríquez</p>	<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala:</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

**ANEXO L Sedimentador Circular Primario**

(a)



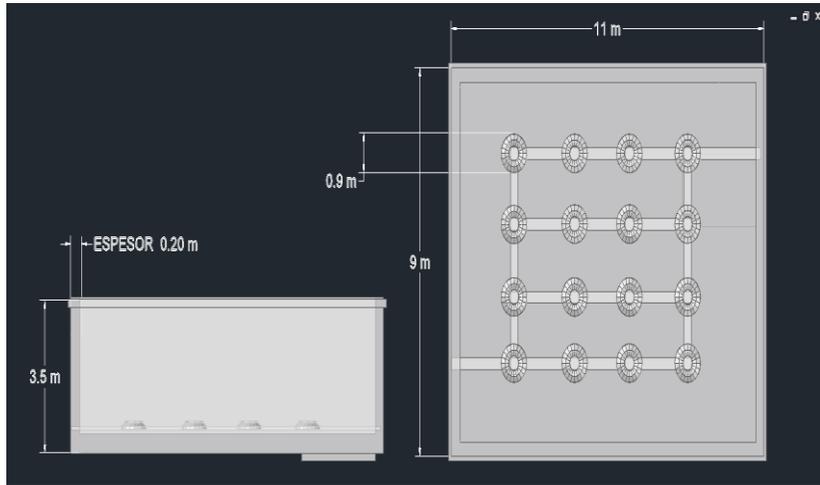
(b)



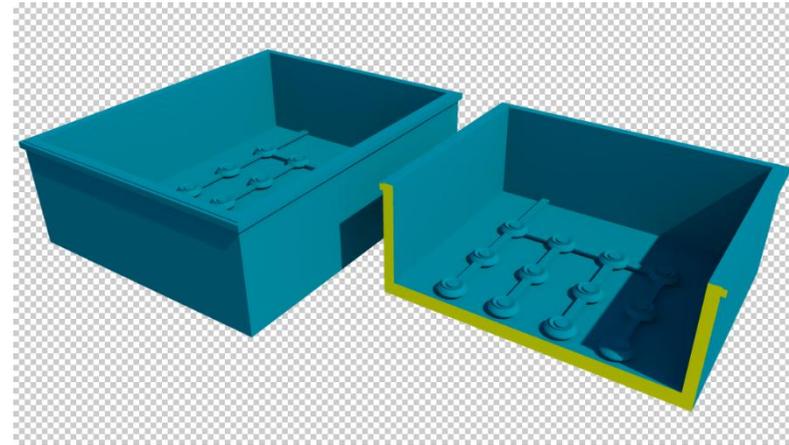
<p><b>NOTAS</b></p>		<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b></p>		
<p>(a) Cotas de Sedimentador Primario (b) Corte del Sedimentador Primario</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Aprobado  <input type="checkbox"/> Por aprobar    <input checked="" type="checkbox"/> Información  <input type="checkbox"/> Preliminar    <input type="checkbox"/> Continuación         </p>	<p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b></p> <p><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p>Laura Enríquez</p>	<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala:</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

**ANEXO M** Tanque de Lodos Activados

(a)



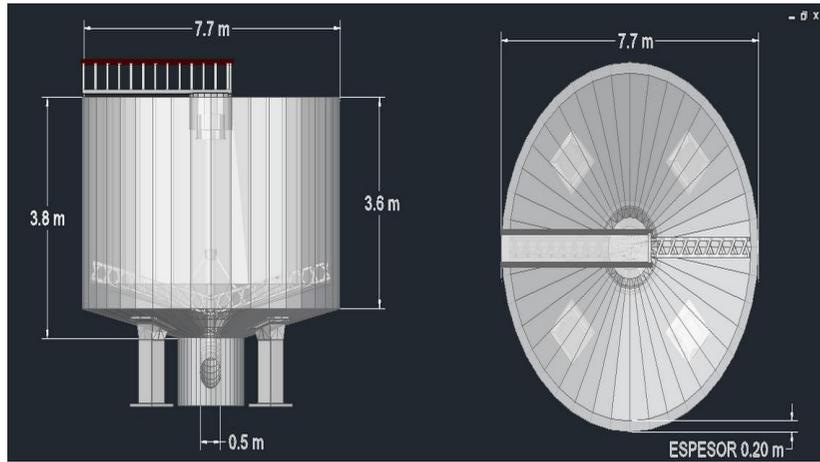
(b)



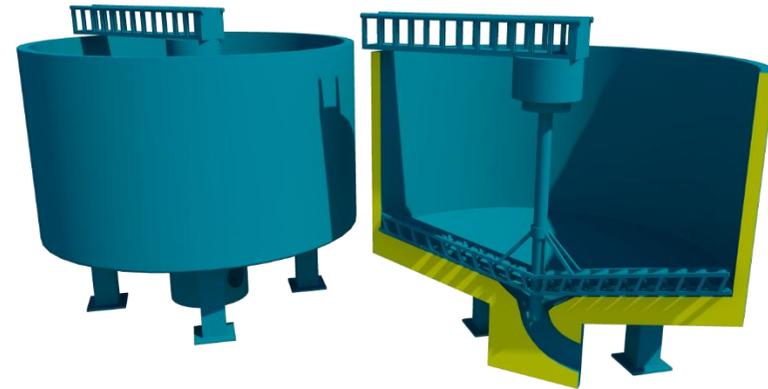
<p><b>NOTAS</b></p>		<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b></p>		
<p>(a) Costas del Tanque de Lodos Activados (b) Corte del Tanque de Lodos Activados</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Aprobado  <input type="checkbox"/> Por aprobar    <input checked="" type="checkbox"/> Información  <input type="checkbox"/> Preliminar    <input type="checkbox"/> Continuación         </p>	<p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b></p> <p><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p>Laura Enríquez</p>	<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala:</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

**ANEXO N Sedimentador Circular Secundario**

(a)



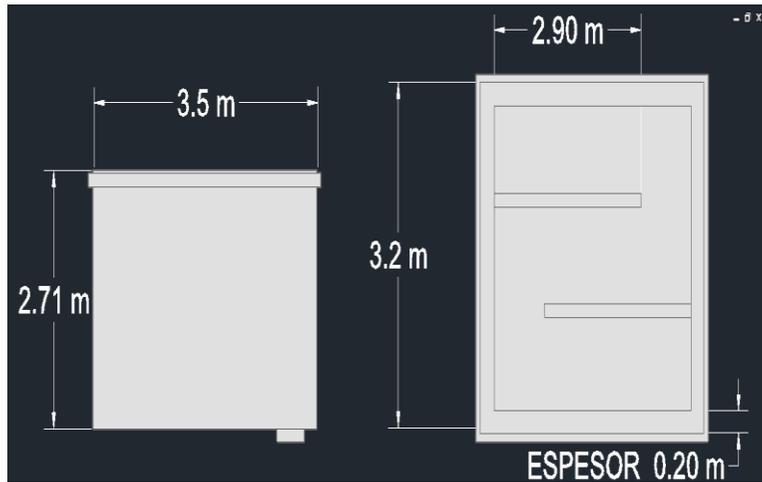
(b)



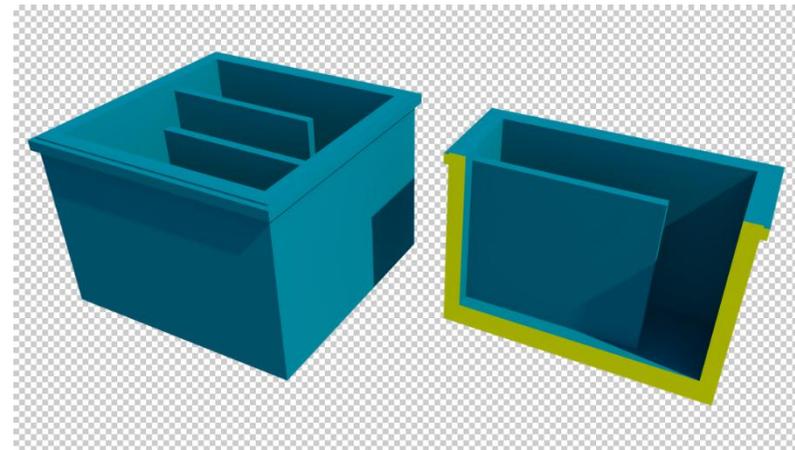
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI		
(a) Cotas de Sedimentador Secundario (b) Corte del Sedimentador Secundario	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Laura Enríquez	Lámina	Escala:	Fecha

**ANEXO O** Tanque de Desinfección

(a)

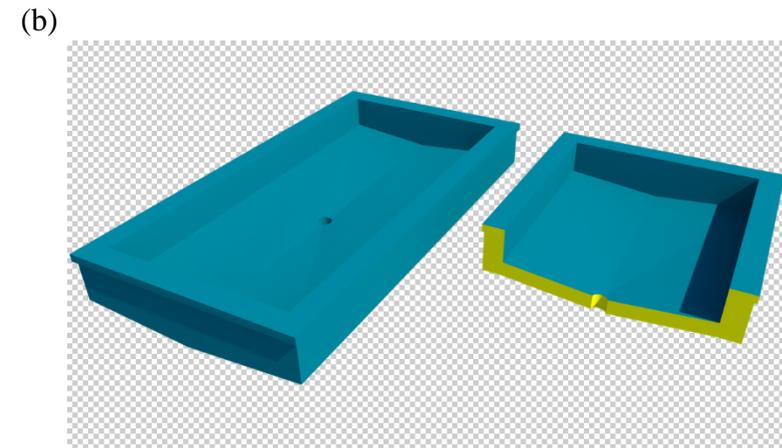
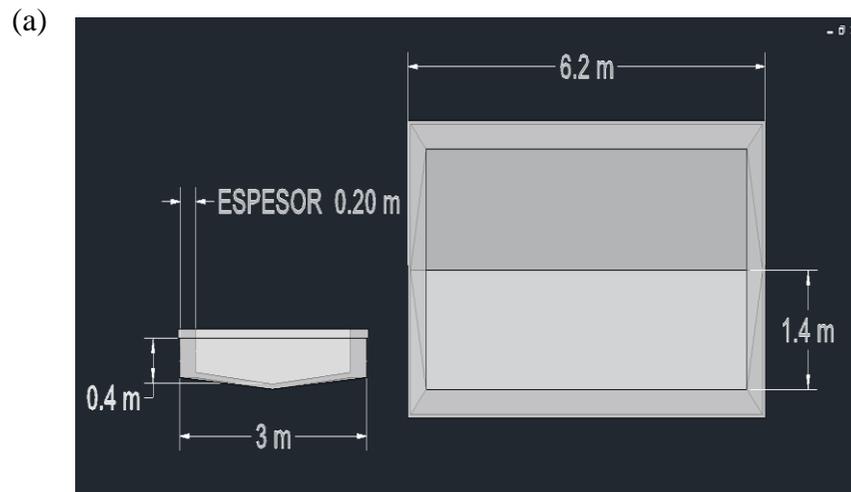


(b)



<p><b>NOTAS</b></p>		<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b></p>		
<p>(a) Cotas del Tanque de Desinfección (b) Corte del Tanque de Desinfección</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Aprobado  <input type="checkbox"/> Por aprobar    <input checked="" type="checkbox"/> Información  <input type="checkbox"/> Preliminar    <input type="checkbox"/> Continuación         </p>	<p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b></p> <p><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p>Laura Enríquez</p>	<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala:</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

ANEXO P Lecho de Secado



<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Aprobado  <input type="checkbox"/> Por aprobar    <input checked="" type="checkbox"/> Información  <input type="checkbox"/> Preliminar    <input type="checkbox"/> Continuación         </p>	<p> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>   <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>   <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>             Laura Enríquez         </p>	<p><b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CABECERA PARROQUIAL SANTIAGO DE CALPI</b></p>		
<p>a) Cotas del Lecho de Secado</p> <p>b) Corte del Lecho de Secado</p>			<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala:</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

