



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA PARROQUIA MATRIZ  
GUAMOTE, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO**

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

**AUTORA: LOGROÑO COSTALES ANDREINA MARYBEL**

**TUTOR: ING. JOSÉ USIÑA MANZANO**

**Riobamba- Ecuador**

**2016**

©2016, LOGROÑO COSTALES ANDREINA MARYBEL

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

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

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que el trabajo de investigación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA PARROQUIA MATRIZ GUAMOTE, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** de responsabilidad de la señorita Andreina Marybel Logroño Costales, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. José Usiña

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Danielita Borja

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**“Yo, ANDREINA MARYBEL LOGROÑO COSTALES, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

.....  
ANDREINA MARYBEL LOGROÑO COSTALES

## **DEDICATORIA**

Con inmensa gratitud y felicidad dedico este trabajo de titulación a toda mi familia, en especial a mis padres: Nelson y Lupe por ser el pilar fundamental para que yo pueda alcanzar este sueño, a mi hermana Karen Salomé por su ejemplo de responsabilidad y superación, a mi sobrino Gabriel Isaid por ser el motor que me impulsa a luchar cada día.

Andreina

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por darme cada día sus bendiciones, la sabiduría y paciencia necesaria para poder alcanzar mis metas.

A mis padres y familiares que con su amor incondicional han sabido inculcarme valores y principios para ser una gran mujer y luchar ante cualquier obstáculo de la vida.

A mis amigos con quienes hemos compartido experiencias inolvidables durante la trayectoria estudiantil, que siempre estuvieron ahí para apoyarme.

A mi director de trabajo de titulación Ing. José Usiña y a mi colaboradora la Ing. Danielita Borja quienes con sus conocimientos me han guiado para el desarrollo de esta investigación.

Al GAD Municipal del cantón Guamote, en especial al señor Alcalde Econ. Luis Chuquimarca por darme las facilidades para llevar a cabo mi proyecto de estudio.

## ABREVIATURAS

H	Altura
Hs	Altura de Seguridad
W	Ancho
A	Área
Als	Área de Lecho de Secado
At	Área de Sección Transversal
Cs	Carga Superficial
Q <sub>D</sub>	Caudal de Diseño
Q <sub>M</sub>	Caudal Medio
Q <sub>INF</sub>	Caudal de Infiltración
Q <sub>CE</sub>	Caudal de Conexiones Erradas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
P	Densidad del agua
$\rho_a$	Densidad de la arena
$\rho_o$	Densidad de referencia para sólidos y líquidos
D	Diámetro
Dc	Dotación de Agua
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
E	Espesor
Fs	Factor de seguridad
F	Factor de Mayoración
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
°C	Grados centígrados
G	Gramos
Hab.	Habitantes
H	Hora
R	Índice de crecimiento anual
L	Litro
MO	Materia Orgánica
Msd	Masa de sólidos suspendidos
m/s	Metros por segundo
mg/L	Miligramos por litro

MI	Mililitro
Mm	Milímetro
NRe	Número de Reynolds
S	Pendiente
Hf	Pérdidas de carga
pob.	Población
Pa	Población Actual
Pf	Población futura
%	Porcentaje
Hu	Profundidad útil del filtro
R	Radio
S	Segundos
SSF	Sólidos suspendidos fijos
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
Trh	Tiempo de retención hidráulico
<i>v</i>	Velocidad
$\mu$	Viscosidad cinemática
V	Volumen
Vd	Volumen del digestor
Vld	Volumen diario de lodos digeridos



## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I .....	5
1 MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Aguas Residuales .....	5
1.1.1 Generalidades, definición, origen .....	5
1.1.1.1 Naturaleza del Problema .....	5
1.1.2 Clasificación .....	6
1.1.2.1 Aguas Residuales Domésticas (ARD) .....	6
1.1.2.2 Aguas Residuales Municipales (ARM).....	6
1.1.2.3 Aguas Residuales Industriales (ARI).....	6
1.1.2.4 Aguas Residuales Negras (ARN).....	6
1.1.2.5 Aguas Residuales Pluviales (ARP).....	6
1.1.2.6 Aguas Residuales Agropecuarias (ARA).....	7
1.1.2.7 Agua Residual Hospitalaria (ARH) .....	7
1.2 Parámetros utilizados para la caracterización del Agua Residual.....	7
1.2.1 Organolépticos .....	7
1.2.1.1 Color .....	7
1.2.1.2 Olor .....	8
1.2.1.3 Sabor .....	8
1.2.2 Físicos .....	8
1.2.2.1 pH.....	8
1.2.2.2 Temperatura .....	8

1.2.2.3	Sólidos .....	9
1.2.2.4	Turbidez .....	9
1.2.2.5	Alcalinidad.....	9
1.2.3	Químicos.....	10
1.2.3.1	Metales pesados .....	10
1.2.3.2	Tensoactivos .....	10
1.2.3.3	Nitrógeno .....	10
1.2.3.4	Demanda química de oxígeno (DQO) .....	10
1.2.3.5	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	11
1.2.3.6	Grasas y Aceites.....	11
1.3	Microbiología del Agua .....	11
1.3.1.1	Grupo Coliforme.....	12
1.4	Tratamiento de Aguas Residuales.....	12
1.4.1	Definición .....	12
1.4.2	Contaminantes Importantes que se consideran en el Tratamiento de Aguas Residuales .....	13
1.4.3	Vertederos.....	14
1.4.4	Etapas de Tratamiento para Aguas Residuales .....	15
1.4.4.1	Pretratamiento .....	15
1.4.4.1.1	Cribado o Rejas.....	15
1.4.4.1.2	Desarenadores .....	16
1.4.4.1.3	Tamizado .....	17
1.4.4.1.4	Desengrasado .....	17
1.4.4.2	Tratamiento Primario Físico-Químico .....	17
1.4.4.2.1	Sedimentación o decantación primaria .....	17
1.4.4.2.2	Sedimentación-Digestión .....	18
1.4.4.2.2.1	Tanque Imhoff .....	18
1.4.4.2.3	Flotación .....	20
1.4.4.2.4	Floculación y Coagulación .....	20

1.4.4.3	Tratamiento Secundario o Tratamiento Biológico.....	20
1.4.4.3.1	Filtración Biológica .....	21
1.4.4.3.2	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA) .....	21
1.4.4.3.3	Lagunas de Estabilización.....	23
1.4.4.3.4	Lodos Activados .....	24
1.4.4.3.5	Humedales.....	26
1.4.4.4	Tratamiento Terciario Físico-Químico o Biológico.....	27
1.4.4.4.1	Remoción de Nutrientes.....	27
1.4.4.4.2	Desinfección .....	27
1.5	Población .....	28
1.5.1	Población Actual.....	28
1.5.2	Población Futura o Final .....	28
1.5.3	Índice de Crecimiento Anual .....	28
1.6	Caudal .....	28
1.7	Muestreo .....	29
1.7.1	Tipos de Muestras .....	29
1.8	Diseño .....	29
1.8.1	Determinación de la Población Futura.....	29
1.8.2	Determinación de Caudales .....	30
1.8.3	Sistemas de Tratamiento .....	31
1.8.3.1	Pre-tratamiento.....	31
1.8.3.2	Tratamiento Primario .....	33
1.8.3.2.1	Tanque Imhoff .....	33
1.8.3.2.2	Eras de Secado .....	36
1.8.3.3	Tratamiento Secundario .....	38
1.8.3.3.1	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) .....	38
1.9	MARCO LEGAL.....	39
1.9.1	Constitución Política del Ecuador.....	39
1.9.2	Ley de Gestión Ambiental .....	39

1.9.3	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) ...	39
CAPÍTULO II .....		42
2	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	42
2.1	Lugar de Estudio .....	42
2.2	Medición de Caudales.....	42
2.3	Muestreo .....	44
2.4	Métodos y Técnicas .....	44
2.4.1	Métodos .....	44
2.4.1.1	Método Inductivo.....	45
2.4.1.2	Método Deductivo .....	45
2.4.1.3	Método Experimental.....	45
2.4.2	Técnicas .....	45
2.4.2.1	Medición del pH .....	46
2.4.2.2	Determinación de la Conductividad.....	46
2.4.2.3	Determinación de la Turbiedad.....	46
2.4.2.4	Determinación de Sólidos Sedimentables.....	47
2.4.2.5	Determinación de DQO .....	47
2.4.2.6	Determinación de DBO5.....	47
2.4.2.7	Determinación de Sulfuros .....	48
2.4.2.8	Determinación de Coliforme Fecal .....	48
2.4.2.9	Determinación de Sulfatos .....	49
2.5	Resultados obtenidos en la caracterización del Agua Residual Doméstica .....	49
2.6	Pruebas de Tratabilidad.....	51
2.6.1	Simulación de la planta piloto en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias-ESPOCH .....	51
2.7	Resultados de la Caracterización Final del Agua Tratada .....	53
2.8	Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento .....	55
2.8.1	Porcentaje de remoción de DQO .....	55
2.8.2	Porcentaje de remoción de DBO.....	56

2.8.3	Porcentaje de remoción de Sulfuros.....	57
2.8.4	Porcentaje de remoción de Coliformes Fecales .....	57
2.8.5	Porcentaje de Remoción de Nitrógeno Total .....	58
CAPÍTULO III.....		60
3	CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	60
3.1	Introducción.....	60
3.1.1	Población Futura .....	60
3.1.2	Determinación de Caudales .....	60
3.2	Sistema de Tratamiento.....	63
3.2.1	Pre-Tratamiento .....	63
3.2.1.1	Cálculos para el Canal de Entrada Rectangular .....	63
3.2.1.2	Cálculo para el diseño de Rejillas .....	65
3.2.1.2.1	Rejillas Gruesas .....	65
3.2.1.2.2	Rejillas Finas.....	67
3.2.2	Tratamiento Primario .....	69
3.2.2.1	Tanque Imhoff .....	69
3.2.2.2	Eras de Secado .....	74
3.2.3	Tratamiento Secundario .....	78
3.2.3.1	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente .....	78
3.3	Resultados de Diseño.....	81
3.3.1	Población Futura .....	81
3.3.2	Caudales para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas .....	82
3.3.3	Canal de Entrada.....	82
3.3.4	Implementación del sistema de rejillas .....	83
3.3.5	Implementación del Tanque Imhoff.....	83
3.3.6	Implementación de las Eras de Secado .....	84
3.3.7	Implementación del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) .....	84
3.4	COSTOS .....	85
3.4.1	Canal de Entrada y Sistema de Rejillas .....	85

3.4.2	Tanque de Sedimentación Imhoff .....	85
3.4.3	Eras de Secado .....	86
3.4.4	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente .....	86
3.4.5	Costo Total para el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la parroquia Matriz Guamote.....	87
3.5	PROPUESTA.....	88
3.6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	89
	CONCLUSIONES .....	90
	RECOMENDACIONES .....	91
	BIBLIOGRAFÍA .....	92
	ANEXOS .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales.....	31
<b>Tabla 2-1.</b> Parámetros de diseño para el canal de entrada.....	31
<b>Tabla 3-1.</b> Limpieza manual y mecánica de rejillas.....	32
<b>Tabla 4-1.</b> Coeficientes de pérdidas de carga según el tipo de varilla .....	33
<b>Tabla 5-1.</b> Parámetros de diseño para un tanque Imhoff.....	33
<b>Tabla 6-1.</b> Parámetros de diseño para lechos de secado.....	37
<b>Tabla 7-1.</b> Parámetros de diseño para el FAFA .....	38
<b>Tabla 8-1.</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	39
<b>Tabla 1-2.</b> Variación de caudal por día .....	43
<b>Tabla 2-2.</b> Caracterización física del agua residual doméstica.....	49
<b>Tabla 3-2.</b> Caracterización físico- química y microbiológica del agua residual doméstica .....	50
<b>Tabla 4-2.</b> Parámetros fuera del límite máximo permisible del TULSMA del agua residual doméstica .....	50
<b>Tabla 5-2.</b> Parámetros del agua residual doméstica cruda .....	51
<b>Tabla 6-2.</b> Parámetros a la salida del pre-tratamiento (sistemas de rejillas) .....	52
<b>Tabla 7-2.</b> Parámetros después del tratamiento primario (tanque Imhoff).....	52
<b>Tabla 8-2.</b> Parámetros después del filtro biológico (FAFA).....	53
<b>Tabla 9-2.</b> Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (04/11/2015) en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias, ESPOCH.....	54
<b>Tabla 10-2.</b> Análisis de los parámetros del agua residual cruda y del agua residual tratada (Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH).....	55
<b>Tabla 11-2.</b> Caracterización química del DQO .....	55
<b>Tabla 12-2.</b> Caracterización química del DBO .....	56
<b>Tabla 13-2.</b> Caracterización química de los Sulfuros.....	57
<b>Tabla 14-2.</b> Caracterización microbiológica de Coliformes Fecales.....	57
<b>Tabla 15-2.</b> Caracterización química del Nitrógeno Total .....	58
<b>Tabla 1-3.</b> Distribución del medio filtrante .....	80
<b>Tabla 2-3.</b> Resultado de la Población.....	81
<b>Tabla 3-3.</b> Caudales a tratar .....	82
<b>Tabla 4-3.</b> Dimensiones del Canal de Entrada .....	82
<b>Tabla 5-3.</b> Dimensiones de las rejillas gruesas.....	83
<b>Tabla 6-3.</b> Dimensiones de las rejillas finas.....	83

<b>Tabla 7-3.</b> Dimensiones para el Tanque Imhoff.....	83
<b>Tabla 8-3.</b> Dimensiones para las Eras de Secado.....	84
<b>Tabla 9-3.</b> Dimensiones para el filtro anaerobio de flujo ascendente .....	84
<b>Tabla 10-3.</b> Costos para la construcción del canal de entrada y sistema de rejillas .....	85
<b>Tabla 11-3.</b> Costos para la construcción del Tanque Imhoff .....	85
<b>Tabla 12-3.</b> Costos para la construcción de las Eras de Secado.....	86
<b>Tabla 13-3.</b> Costos para la construcción del FAFA .....	86
<b>Tabla 14-3.</b> Costo total para el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la parroquia Matriz Guamote.....	87



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2.</b> Hidrograma de caudales diario .....	44
<b>Gráfico 2-2.</b> Disminución del DQO .....	56
<b>Gráfico 3-2.</b> Disminución del DBO .....	57
<b>Gráfico 4-2.</b> Disminución de los Sulfuros.....	57
<b>Gráfico 5-2.</b> Disminución de Coliformes Fecales .....	58
<b>Gráfico 6-2.</b> Disminución de Nitrógeno Total .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Tipos de Vertederos .....	14
<b>Figura 2-1.</b> Esquema del Tanque Imhoff .....	19
<b>Figura 3-1.</b> Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente .....	22
<b>Figura 4-1.</b> Laguna Aeróbica .....	23
<b>Figura 5-1.</b> Laguna Anaeróbica .....	24
<b>Figura 6-1.</b> Laguna Facultativa .....	24
<b>Figura 7-1.</b> Sistema de lodos activados.....	25
<b>Figura 8-1.</b> Humedales.....	26
<b>Figura 9-1.</b> Canal de entrada y rejillas .....	32
<b>Figura 10-1.</b> Formas comunes de varillas .....	33
<b>Figura 11-1.</b> Esquema del dimensionamiento de un tanque imhoff.....	34
<b>Figura 1-2.</b> Localización Parroquia Matriz Guamote .....	42
<b>Figura 1-3.</b> Diseño del canal de entrada.....	65
<b>Figura 2-3.</b> Diseño de las rejillas gruesas .....	67
<b>Figura 3-3.</b> Implementación de las rejillas finas .....	68
<b>Figura 4-3.</b> Implementación del Tanque Imhoff .....	74
<b>Figura 5-3.</b> Malla a colocarse sobre el falso fondo .....	78
<b>Figura 6-3.</b> Implementación del FAFA.....	81

## **Declaración de Autenticidad**

Yo, Andreina Marybel Logroño Costales, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos en este Trabajo de Titulación.

Riobamba, 18 de Mayo del 2016.

.....

Andreina Marybel Logroño Costales

CI. 060351953-9

## **RESUMEN**

Se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la Parroquia Matriz Guamote con el objetivo de disminuir la contaminación del Río Guamote. Para desarrollar este estudio se empleó el método experimental utilizando muestreo de aguas compuestas para su caracterización. Los análisis del agua residual determinaron que la DBO, DQO, coliformes fecales, nitrógeno total y sulfuros son las variables de análisis para el diseño del sistema de tratamiento ya que se encuentran fuera de la normativa vigente del país. Para eliminar la mayor cantidad de contaminantes se dimensionó el sistema de tratamiento proyectado a 15 años para una población de 3311 habitantes y a un caudal de diseño de 1477,44 m<sup>3</sup>/día, teniendo como operaciones un sistema de rejillas, un tanque de sedimentación Imhoff y un filtro anaerobio de flujo ascendente con un lecho filtrante compuesto de grava de 0,80 m y carbón activado de 0,50 m de espesor. Al realizar la caracterización del agua tratada se obtiene los siguientes resultados: 7,42 pH, 140 mg/L Demanda Química de Oxígeno, 98 mg/L Demanda Bioquímica de Oxígeno, 4,16 mg/L Nitrógeno Total, <1 UFC/100ml Coliformes Fecales y 0,063 mg/L Sulfuros; con estas operaciones se obtendrá una reducción orgánica y microbiológica del 87,87%, por tanto concluyo que en mi estudio los parámetros establecidos cumplen con la normativa ambiental. Se recomienda al GAD Municipal del cantón Guamote implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para cumplir con los parámetros establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

**Palabras claves:** <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>; <DISEÑO DE SISTEMA>; <AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS>; <DESCARGA DE AGUA>; <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL>; <ANÁLISIS DE AGUA>; <MATRIZ-GUAMOTE [PARROQUIA]>

## SUMMARY

The desing of a treatment system for domestic wastewater Guamote First Parish in order to reduce pollution of the Rio Guamote was performed. To develop this study composite sampling water for characterization was performed. Analyses of wastewater determined that the Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), fecal coliforms, and total sulfur nitrogen are variables analysis for the desing of the treatment system that are outside the rules force in the country. To remove more pollutants treatment system designed to 15 years for a population of 3311 inhabitants and a desing flow of 1477,44 m<sup>3</sup>/day, given as a grid system operations, a setting tank Imhoff was calculated and a anaerobic upflow filter with a compound gravel filter bed 0,80 m and 0,50 m activated carbon thick. Once the characterization of the treated water the following results were obtained; pH 7,42, 140 mg/L Chemical Oxygen Demand, 98 mg/L Biochemical Oxygen Demand, 4,16 mg/L Total nitrogen <1 CFU/100ml fecal coliforms and 0,063 mg/L Sulfide; these operations will be obtained an organic and microbiological reduction of 87,87% so and concluded that the established parameters complies with environmental regulations. It is recommended to Municipal GAD Guamote implement domestic treatment system to comply with the parameters established in the Unified Text of Secondary Legislation Environment Ministry wastewater.

Keywords: <SEWAGE TREATMENT>;<DESING SYSTEM>;<DOMESTIC WASTEWATER>;<FLUSHING>; <POLLUTION>; <ANALYSIS OF WATER>; <MATRIX-GUAMOTE[PARISH]>

## **INTRODUCCIÓN**

El agua recurso de la naturaleza, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida vegetal y animal en el planeta.

Hoy en día está siendo afectado por las distintas actividades que realiza el hombre, lo que desemboca en una problemática medioambiental como es la contaminación de ríos por la descarga de aguas residuales domésticas sin un adecuado tratamiento hacia los cuerpos hídricos.

En las pequeñas poblaciones existe un gran déficit de tratamiento de aguas residuales; debido a la explosión demográfica, la crisis del agua y los altos costos de las instalaciones para lograr un buen tratamiento.

El impacto que se genera en el ambiente y en la salud pública es indudable, ya que la inexistencia del agua de riego y de tratamiento de las aguas residuales domésticas exige a los agricultores a regar sus sembríos con dichas aguas las mismas que poseen compuestos perjudiciales que van a trastornar los alimentos que se consumen y se comercializa en la parroquia.

Por tal razón se deben investigar procedimientos que ayuden a solucionar este problema, a través del control de vertidos de las aguas servidas.

El tratamiento del agua residual doméstica involucra la caracterización físico – química y microbiológica del agua, la medición del caudal que genera una población, realización de ensayos, así como la exploración y el análisis bibliográfico de información necesaria para el diseño de un sistema de tratamiento.

La parroquia Matriz Guamote no posee este tratamiento; el agua residual doméstica es vertida directamente al río Guamote, lo que ocasiona un aumento significativo de la mortalidad por enfermedades tales como el cólera, parasitosis, entre otras; y grandes daños a la flora y fauna aledaña al sector.

Por tal motivo el GAD Municipal del Cantón Guamote solicita el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la parroquia Matriz Guamote, con el fin de reducir los efectos de los contaminantes del agua residual doméstica generada en la Parroquia Matriz Guamote a sus límites permisibles por la normativa ambiental vigente en el país.

## **ANTECEDENTES**

El Cantón Guamote está ubicado en la parte central del callejón interandino, en el centro del país a 50 Km de la ciudad de Riobamba a una altitud que va desde los 2600 m.s.n.m. hasta 4500 m.s.n.m., se encuentra en la Provincia de Chimborazo.

Su temperatura media es de 13,7°C, constituyendo dos tipos de clima: invierno húmedo frío en los meses de octubre a mayo y verano cálido, seco, ventoso de junio a septiembre.

Este cantón está limitado al Norte por el cantón Colta y Riobamba, al Sur con el cantón Alausí, al Este con la provincia de Morona Santiago y al Oeste con el cantón Pallatanga.

El Cantón Guamote tiene como cabecera cantonal a la parroquia urbana Matriz Guamote, además está integrado por dos parroquias rurales Cebadas y Palmira.

La Feria Indígena de los días jueves es destacada, en donde gente del cantón y la provincia se dan cita para intercambiar productos agrícolas, artesanales y animales de diferente especie con productos, objetos útiles para la convivencia familiar y de trabajo. También es concurrida por turistas nacionales y extranjeros.

El problema de la Parroquia Matriz Guamote en relación a las aguas residuales domésticas que se produce en este sector, es que no posee un sistema de tratamiento de aguas residuales ya que toda el agua que se utiliza en la parroquia se transporta por el alcantarillado hasta el Barrio San Pedro y es dirigido a través de un canal abierto que se descarga directamente al río Guamote.

La parroquia utiliza el agua del río para nutrir sus tierras fértiles que se están viendo afectadas, ya que su producción agrícola ya no es la misma debido a este tipo de contaminación.

Para esto se ejecuta una determinación de los parámetros de contaminación que tiene el agua residual doméstica formada en la Parroquia Matriz Guamote y se compara con los parámetros establecidos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) del Ecuador para saber el grado de contaminación de esta agua.

Para este estudio será necesario emplear muestreos compuestos de los efluentes del agua residual doméstica para así dar soluciones y mejorar la calidad de vida de los pobladores de la Parroquia Matriz Guamote.

## **JUSTIFICACIÓN**

La conciencia sobre la importancia ambiental se ha venido incrementando, ya que toda actividad que realiza el ser humano se ve relacionado con el manejo de los recursos naturales. Todo dinamismo contamina el ambiente, es por esto que los gobiernos locales se preocupan por preservar el agua, suelo y aire.

Por lo cual el Ministerio del Ambiente (MAE) a través de la Dirección Provincial de Chimborazo que es la entidad que controla este tipo de efectos contaminantes dentro de la provincia, busca proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas, sus interrelaciones y del ambiente en general.

La Parroquia Matriz Guamote no posee un sistema para tratar el agua residual doméstica que se genera en el sector, lo cual perturba a todos sus habitantes ya que está alterando la calidad de vida que tiene cada uno de ellos, así como las zonas productivas del sector se ven afectadas porque ha disminuido la fertilidad agrícola y ganadera pues los pobladores usan el agua para regar sus tierras.

La siguiente investigación cuenta con el auspicio del GAD Municipal del cantón Guamote, con el aporte de recursos humanos, técnicos y logísticos.

El GAD Municipal del Cantón Guamote tiene interés en construir Plantas de Tratamiento para el Agua potable como para el Agua residual doméstica en sus distintas parroquias que presentan mayor contaminación del agua que en su mayoría son descargadas directamente al Río Guamote, con el propósito de mejorar el nivel de vida de sus moradores y de minimizar los impactos ambientales.

Por lo mencionado anteriormente justifica un “Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la Parroquia Matriz Guamote, Cantón Guamote, Provincia de Chimborazo”.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas en la Parroquia Matriz Guamote, cantón Guamote, Provincia de Chimborazo.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Efectuar la caracterización físico – química y microbiológica de las aguas residuales domésticas de la Parroquia Matriz Guamote del cantón Guamote, basadas en los límites de descarga del TULSMA Libro VI Anexo I Tabla 10.
- Identificar las variables de proceso para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.
- Validar el diseño propuesto mediante la caracterización físico – química y microbiológica del agua tratada, en base a los límites de descarga del TULSMA Libro VI Anexo I Tabla 10.

## CAPITULO I

### 1 MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Aguas Residuales

##### *1.1.1 Generalidades, definición, origen*

El término agua residual define un tipo de agua que ya ha sido usada en ella se encuentra suspendidas ciertas sustancias procedentes del propio uso que se ha hecho del agua limpia. Entre estas sustancias podemos citar aceites, jabones, sustancias químicas, combustibles, restos de alimentos, etc. En los hogares estas sustancias proceden de fregaderos, bañeras, servicios, lavaplatos, máquinas de lavado, riegos.

Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. (METCALF & EDDY, 1995)

##### *1.1.1.1 Naturaleza del Problema*

La problemática se manifiesta cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en el punto de descarga.

La contaminación de los cuerpos receptores por aguas residuales puede ocasionar:

- Efectos nocivos para la vida acuática y marina.
- Generación de olores desagradables.
- Eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas.
- Deterioración química, biológica y física de los abastecimientos de agua.

## **1.1.2 Clasificación**

### **1.1.2.1 Aguas Residuales Domésticas (ARD)**

Proviene de las diferentes actividades cotidianas del ser humano como: lavado de ropa, limpieza de pisos, aseo diario, preparación de alimentos, etc. Poseen un alto contenido en materia orgánica.

### **1.1.2.2 Aguas Residuales Municipales (ARM)**

Son los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.

### **1.1.2.3 Aguas Residuales Industriales (ARI)**

Son las aguas residuales provenientes de las descargas de Industrias de Manufactura. Los residuos líquidos industriales pueden ser ácidos o alcalinos, coloreados, tóxicos y su composición evidencia el tipo de materias primas utilizado dentro de cada proceso industrial.

### **1.1.2.4 Aguas Residuales Negras (ARN)**

Son las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

### **1.1.2.5 Aguas Residuales Pluviales (ARP)**

Generadas por la precipitación pluvial desde las calles, techos, jardines y demás superficies de terrenos. Los primeros flujos son los más contaminados debido al arrastre de basura y materiales que se encuentran acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su fuente:

zonas urbanas, rurales y aún dentro de estas zonas se presentan grandes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que exista.

#### ***1.1.2.6 Aguas Residuales Agropecuarias (ARA)***

Es el agua que contiene restos vegetales, cosechas, semillas concentración de animales muertos, excrementos sólidos y líquidos, etc., y en lixiviados de estercoleros.

#### ***1.1.2.7 Agua Residual Hospitalaria (ARH)***

Contiene mayor fuente de contaminantes emergentes, siendo el resultado de los residuos de laboratorios, excreción de pacientes, actividades de investigación, limpieza, entre otros. En el ARH se encuentra presente antibióticos de baja biodegradabilidad, el 90% de estos compuestos luego de su respectiva administración no son metabolizados pero si excretados por medio de la orina y heces. (METCALF & EDDY, 1995, p.96)

### **1.2 Parámetros utilizados para la caracterización del Agua Residual**

#### ***1.2.1 Organolépticos***

##### ***1.2.1.1 Color***

El color en las aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacteriana bajo condiciones anaerobias. El oscurecimiento de las aguas

residuales se da con frecuencia debido a la formación de varios sulfuros, en particular sulfuro ferroso (FeS).

#### ***1.2.1.2 Olor***

La determinación del olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la propia operación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos mal olientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido). Los olores pueden ser medidos mediante métodos sensoriales e instrumentales.

#### ***1.2.1.3 Sabor***

El sabor está relacionado con el olor y se describe cualitativamente.

### ***1.2.2 Físicos***

#### ***1.2.2.1 pH***

El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.

#### ***1.2.2.2 Temperatura***

La temperatura del agua residual es un parámetro importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35 °C.

### **1.2.2.3 Sólidos**

Es toda la materia que permanece en el agua residual como residuos.

**Sólidos totales.**-Es la suma de los sólidos disueltos y sólidos suspendidos.

**Sólidos disueltos.**- Los sólidos disueltos son la suma de aniones o cationes, minerales, sales, y metales disueltos en el agua. Es decir son todos los elementos presentes en el agua.

**Sólidos Suspendidos.**-Son aquellos sólidos que no se asientan ni se disuelven en el agua, debido a que la densidad de las partículas es menor o igual a la del agua. La fracción de sólidos suspendidos pueden ser retenidos mediante un filtro.

**Sólidos Sedimentables.**- Es la cantidad de sólidos en suspensión que se sedimentaran por acción de la gravedad en un tiempo establecido. A nivel de laboratorio el ensayo se lo realiza en un recipiente de forma cónica llamada como Imhoff.

### **1.2.2.4 Turbidez**

La turbidez es una medida que indica la calidad de las aguas naturales y aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones.

La turbidez del agua residual es ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros está el limo, arcilla, materia orgánica o inorgánica finamente dividida y organismos patógenos. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido más sucia será el agua y más alta será la turbidez. Cuanto más turbia, menor será su calidad.

### **1.2.2.5 Alcalinidad**

Es la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. En las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos, y bicarbonatos de elementos como calcio,

magnesio, sodio, potasio o de ion amonio. Estos componentes son el resultado de la disolución de sustancias minerales en el suelo y en la atmósfera.

### ***1.2.3 Químicos***

#### ***1.2.3.1 Metales pesados***

Entre ellos se destacan el cadmio, plomo, níquel, cobre, zinc, manganeso, mercurio y hierro procedentes de agua residuales industriales principalmente. Debido a su toxicidad la existencia de cualquiera de estos metales pesados en cantidades excesivas interfiere el uso del agua.

#### ***1.2.3.2 Tensoactivos***

Son moléculas que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble al agua) y uno fuertemente hidrofílico (soluble al agua). Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías, industrias y otras operaciones de limpieza.

#### ***1.2.3.3 Nitrógeno***

El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. En el agua el nitrógeno amoniacal existe como gas amonio y como ion amonio.

El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesita conocer datos sobre la presencia de ese nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. En casos en los que la concentración del nitrógeno sea insuficiente será necesario adicionarlo para lograr que el agua residual sea tratable.

#### ***1.2.3.4 Demanda química de oxígeno (DQO)***

Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. El parámetro de DQO cuantifica tanto la materia orgánica biodegradable como la materia orgánica no biodegradable por esta razón la DQO es mayor que la DBO.

### **1.2.3.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable, expresada mediante la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica en una muestra de agua. El DBO determina la concentración de la materia orgánica en 5 días a temperatura de 20°C en oscuridad y con agitación. En aguas residuales domésticas, el valor obtenido en cinco días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia oxidable. (FAIR, Gordon, 1998, p.103)

### **1.2.3.6 Grasas y Aceites**

Como aceites y grasas se consideran todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas las cuales van a entorpecer cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO<sub>2</sub> del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar.

## **1.3 Microbiología del Agua**

Las aguas residuales contienen materia orgánica como inorgánica, y los microorganismos desempeñan un papel especialmente importante eliminando los compuestos orgánicos. Sin embargo, el tratamiento idóneo de las aguas residuales elimina los microorganismos patógenos, evitando que estos lleguen a los ríos o a otros abastecimientos de agua.

Los microorganismos indicadores de la calidad de agua, se encuentran en las bacterias del grupo coliformes, que son patógenos de transmisión fecal-oral perteneciendo a este grupo especies como *Escherichia coli*, entre otras.



### **1.3.1.1 Grupo Coliforme**

Designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. El número de organismos coliformes en los excrementos humanos es muy grande; la secreción diaria por habitante varía entre  $125 \times 10^9$  y  $400 \times 10^9$ .

Dentro de este grupo tenemos:

#### **Coliformes Fecales**

También denominados termo tolerante, llamado así porque soportan temperaturas de hasta 45 °C, comprenden un grupo reducido de microorganismos indicadores de calidad, ya que son de origen fecal.

Este tipo de microorganismos pertenece al grupo de los coliformes totales, su presencia indica contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la microbiota intestinal.

#### **Escherichia coli**

Escherichia coli se puede distinguir de los demás coliformes termo tolerantes por su capacidad para producir la enzima  $\beta$ -glucuronidasa.

E. coli está presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales, y raramente se encuentra en ausencia de contaminación fecal.

## **1.4 Tratamiento de Aguas Residuales**

### **1.4.1 Definición**

De acuerdo con Ramalho (2003, p. 78) El tratamiento de Aguas Residuales es un conjunto integrado de operaciones unitarias y procesos unitarios. Las operaciones unitarias incluyen remoción de contaminantes por fuerzas físicas, mientras que los procesos unitarios consisten en reacciones biológicas y/o químicas que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final o reutilización.

Estas operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales comprende de niveles de tratamiento, como: preliminar o pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario y tratamiento terciario o avanzado.

#### ***1.4.2 Contaminantes Importantes que se consideran en el Tratamiento de Aguas Residuales***

*Sólidos Suspendidos.*- Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático.

*Materia Orgánica Biodegradable.*- Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del Oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.

*Nutrientes.*- Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el Carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.

*Microorganismos Patógenos.*- Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.

*Contaminantes Importantes.*- Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.

*Materia orgánica refractaria.*- Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.

*Metales Pesados.*- Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.

*Sólidos inorgánicos suspendidos.*-Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

### 1.4.3 Vertederos

Los vertederos llamados también aliviaderos, es una estructura hidráulica cuya finalidad es la de permitir que pase el agua a los escurrimientos superficiales. El vertedero hidráulico cumple diferentes funciones:

Ofrecer una estructura hidráulica segura, pues impide que se eleve el nivel de aguas arriba sobre el nivel máximo.

Garantizar que el nivel de agua tenga poca variación en el canal de riego aguas arriba.

Componerse en una zona de una sección de aforo que tenga el río o el arroyo.

Los que se destacan son:

- Rectangulares
- Trapezoidales
- Triangulares
- Circulares
- Parabólicos

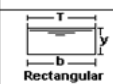


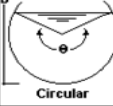

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2}) D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$2/3 Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 1-1. Tipos de Vertederos

Fuente: <http://www.tiposdevertederos.com> 2015

**Área Transversal (A):** Es el área transversal del fluido normal de acuerdo a la dirección de flujo.

**Perímetro mojado (P):** Es la longitud de la línea que se forma al intersecar el área transversal con la geometría del vertedero con una dirección normal del flujo.

**Radio Hidráulico (R):** Es la relación que existe entre el perímetro mojado y el área trasversal.

**Espejo de agua (T):** Es el acho de la superficie libre del agua.

La selección del tipo de vertederos se realiza de acuerdo al criterio del diseñador, sin embargo es conveniente utilizar vertederos de tipo rectangular con la finalidad de ser parte del pre-tratamiento con la colocación del sistema de rejillas. Además el mantenimiento de dicho canal al ser de manera manual será más positivo.

#### ***1.4.4 Etapas de Tratamiento para Aguas Residuales***

##### ***1.4.4.1 Pretratamiento***

El tratamiento preliminar debe cumplir dos funciones; medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta y extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

También se encarga de acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Este tratamiento incluye:

##### **1.4.4.1.1 Cribado o Rejas**

Su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes que estén en suspensión o relativamente flotantes. Las rejas son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas. Las barras pueden ser rectas o curvadas.

#### **1.4.4.1.2 Desarenadores**

Se utilizan para la remoción de arena con el fin de: proteger los equipos mecánicos de la abrasión; reducir la formación de depósitos de sólidos pesados en unidades y conductos aguas abajo; reducir la frecuencia de limpieza de los digestores por causa de acumulación excesiva de arenas. Entre ellos tenemos:

Desarenadores de flujo horizontal tipo canal.- Contiene un canal que debe tener velocidad controlada, para el caso es del orden de 0.3 m/s, proporcionando el tiempo suficiente para que las partículas de arena sedimenten en el fondo del canal. Esta velocidad se controla con las dimensiones del canal y el uso de vertederos con secciones especiales para el efluente. La extracción de arenas sedimentadas se realiza mediante un mecanismo transportador dotado de raspadores. La elevación de arenas para su lavado se realiza mediante tornillos. Si la planta de tratamiento es pequeña, la remoción de arenas se hace en forma manual.

Desarenadores rectangulares de flujo horizontal.- El agua a tratar pasa a través de la cámara en dirección horizontal y la velocidad lineal del flujo se controla con las dimensiones del canal, mediante compuertas para distribuir mejor el flujo.

Desarenadores cuadrados de flujo horizontal.- El caudal afluente se distribuye uniformemente por toda la sección transversal del tanque a través de compuertas o deflectores y fluye a través del mismo hasta rebosar por un vertedero de descarga libre. Los sólidos sedimentados se transportan por medio de barredores mecánicos de rotación hasta un pozo ubicado al lado del tanque, los que son retirados mediante equipos para posterior lavado.

Desarenadores aireados.- Se usa para remover sólidos de 0.21 mm o mayores, con tiempo de retención de 2 a 5 minutos bajo condiciones de caudal pico horario. Si la velocidad es excesiva, las partículas de arena saldrán del desarenador y a velocidades bajas se incentiva la remoción de material particulado. La sección transversal se diseña para crear flujo en espiral.

Desarenadores de vórtice.- Es un tanque cilíndrico al cual ingresa el agua a tratar en forma tangencial, creando un vórtice dentro del cilindro. La turbina giratoria se emplea para producir una trayectoria toroidal de las partículas, logrando la sedimentación en el fondo de donde se extraen con una bomba de arenas.

#### **1.4.4.1.3 Tamizado**

Su objetivo es la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. Según las dimensiones de los orificios de paso del tamiz, se distingue entre:

**Macrotamizado:** Se realiza sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0,2 mm. Se utilizan para retener materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, ramas de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.

**Microtamizado:** Realizado sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Se usa para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en el agua residual.

#### **1.4.4.1.4 Desengrasado**

En este paso se realiza la eliminación de grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua residual. Existen los siguientes:

**Estáticos:** El agua residual pasa a través de un depósito en cuyo interior se encuentra un muro, donde el agua es forzada para que la misma salga por la parte inferior del depósito, provocando que los componentes que tienen menor densidad que el agua se vayan acumulando en la superficie.

**Aireados:** Son aquellos en los cuales se inyecta aire para desemulsionar las grasas, alcanzando la flotación de las mismas.

#### **1.4.4.2 Tratamiento Primario Físico-Químico**

Principalmente se pretende la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual como sólidos sedimentables, flotantes, coloidales a través de la sedimentación con o sin la presencia de reactivos. Gracias a este tratamiento se consigue una reducción entre el 25 y 40% de DBO y entre el 50 y 65% de los sólidos suspendidos. A continuación tenemos:

##### **1.4.4.2.1 Sedimentación o decantación primaria**

En esta etapa se realiza el depósito de las partículas en suspensión por acción de la gravedad. Por lo tanto, la decantación provoca que las partículas cuya densidad sea mayor que el agua sedimenten en el fondo del decantador a las mismas que se denominan lodos; mientras que el

agua libre de partículas sólidas, sale del decantador por la parte superior del mismo. Existen tres tipos de sedimentación:

**Sedimentación de partículas discretas:** Las partículas discretas son aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Este proceso se presenta en los desarenadores y sedimentadores.

**Sedimentación de partículas floculentas:** Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas (forma, tamaño, densidad) si cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en los clarificadores y sedimentadores primarios.

**Sedimentación por caída libre o interferida:** Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina caída interferida. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos.

El tipo de sedimentación que se produce en los decantadores primarios, es la sedimentación floculenta, produciendo una suspensión bastante diluida de partículas que se juntan o floculan, durante la operación de sedimentación, existe interacción entre las partículas, al unirse, estas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad, elimina parte de los sólidos en suspensión del agua residual bruta, así como también los flóculos químicos.

#### **1.4.4.2 Sedimentación-Digestión**

##### ***1.4.4.2.1 Tanque Imhoff***

El tanque Imhoff conocido también como tanque de sedimentación de doble cámara, consta de un sedimentador y un digestor de lodos; es utilizado para la remoción de sólidos suspendidos, recomendado como unidad de tratamiento de las aguas residuales para poblaciones menores a 5000 habitantes.

El tanque de sedimentación-digestión tiene una forma rectangular y se divide en tres cámaras o áreas:

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

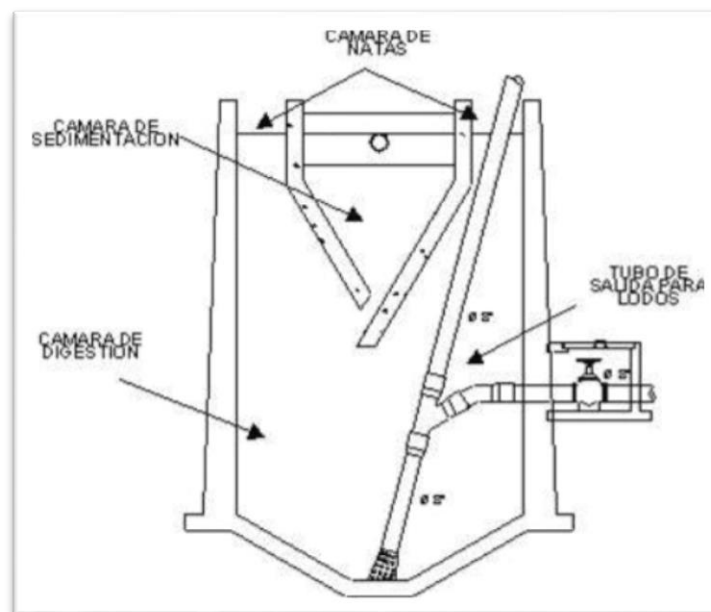
El sedimentador, ubicado en la parte superior del tanque, tiene como misión la de remover los sólidos sedimentables y flotantes.

Por su parte, el digestor ocupa la parte inferior del tanque Imhoff y su función es la estabilización anaeróbica de los lodos sedimentados. El material sedimentable va depositándose en el fondo del sedimentador desde donde pasa a través de su abertura inferior hacia el digestor anaeróbico, donde se producirá su estabilización.

Los flotantes quedan retenidos en la superficie del sedimentador siendo impedido su escape por medio de pantallas ubicadas a la salida.

Los gases que se producen a consecuencia del proceso de digestión de los lodos son conducidos a la zona de ventilación. El diseño de la abertura ubicada en la parte inferior del sedimentador evita que los gases y los sólidos arrastrados por ellos ingresen nuevamente a la cámara de sedimentación.

La digestión anaerobia sirve para la eliminación de olores desagradables, del potencial de putrefacción y para la reducción de organismos patógenos.



**Figura 2-1. Esquema del Tanque Imhoff**

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995



#### **1.4.4.2.3 Flotación**

La flotación es un sistema de separación sólido-líquido o líquido-líquido basado en la diferencia de densidades, lo que significa separar aquellos elementos sólidos o líquidos que puedan flotar (por su menor densidad respecto al líquido).

#### **1.4.4.2.4 Flocculación y Coagulación**

La coagulación se conoce como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la flocculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración.

El proceso de coagulación-flocculación favorece en la remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica, remoción del color verdadero y aparente, eliminación de microorganismos patógenos y de sustancias productoras de sabor.

#### ***1.4.4.3 Tratamiento Secundario o Tratamiento Biológico***

El tratamiento secundario consiste generalmente en la conversión biológica de compuestos orgánicos disueltos y coloidales en biomasa, misma que puede ser removida a continuación por sedimentación.

El contacto entre microorganismos y compuestos orgánicos se logra suspendiendo la biomasa en el agua residual, o bien haciendo pasar el agua residual sobre una película de biomasa adherida a una superficie sólida.

Al citar tratamientos biológicos se refiere a la reducción de costos y la eliminación de la contaminación orgánica disuelta a través de la oxidación anaerobia.

Los tratamientos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%, y están compuestos por:

- Filtración Biológica
- Lagunas de estabilización
- Lodos activados
- Humedales

#### **1.4.4.3.1 Filtración Biológica**

El proceso de filtración biológica puede definirse como un sistema de lechos de distintos materiales sobre los cuales se vierten de una manera continua o intermitente las aguas residuales. Al percolar por el lecho de material granular las aguas residuales entran en contacto con las películas de limo biológico que crecen sobre la superficie del material.

En el lecho se mantienen condiciones aeróbicas mediante el flujo de aire a través del lecho, el cual es inducido por los gradientes de temperatura existentes entre la temperatura del aire en el lecho y la temperatura ambiental.

A medida que las aguas residuales y el aire fluyen a través del lecho, el limo biológico hace uso de ellos para obtener de los compuestos orgánicos la energía necesaria para sus procesos vivientes, material y energía para sintetizar nueva masa celular, el oxígeno necesario para las reacciones de oxidación bioquímica y los nutrientes indispensables para la síntesis celular.

#### **1.4.4.3.2 Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)**

El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento, el filtro anaerobio es el más sencillo de mantener, porque la biomasa permanece como una película microbial adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo.

El filtro anaerobio está constituido por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes en el medio. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración alta de biomasa y un efluente clarificado.

El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento, que el del proceso decrecimiento suspendido y puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y temperatura baja.

En el tratamiento de aguas residuales, la filtración es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO y metales pesados.

El tiempo de retención hidráulica para los filtros anaeróbicos de flujo ascendente es un eje fundamental ya que mientras más alto es este factor mayor remoción de contaminantes.

El filtro anaerobio usa como medio de soportegrava, carbón activado, anillos de plástico, zeolita, bambú, etc., colocados al azar.

**Grava.-** Conjunto de piedras pequeñas que proceden de la fragmentación y disgregación de rocas, en el tratamiento de aguas residuales contribuyen a la eliminación de la turbidez y algo de materia disuelta que se adhiere a las superficies de las partículas que se asienta.

Las funciones de la grava:

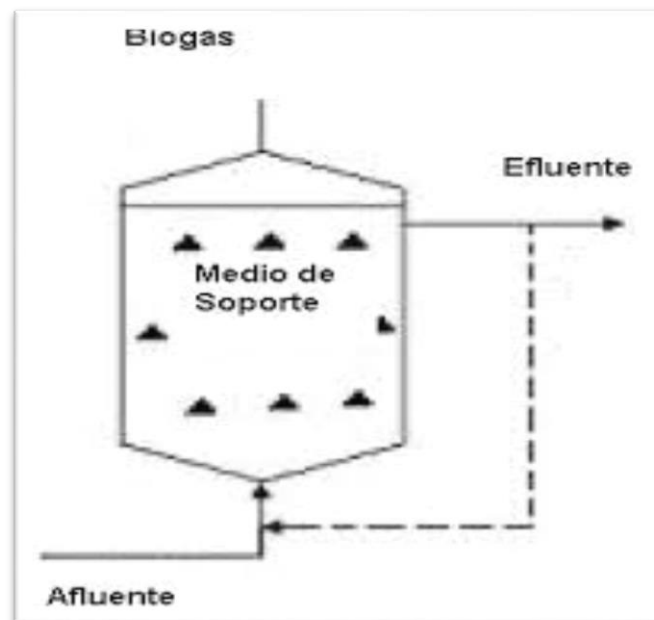
Servir de soporte al medio filtrante para que no se pierda por el drenaje durante la filtración

Hacer que se distribuya uniformemente el agua de lavado, evitando la formación de chorros

Si no existe rotura de la tubería ubicada en el falso fondo la grava no necesita ser removida durante la filtración.

**Carbón Activado.-** El carbón activado granular es un material poroso con alta capacidad de adsorción que se utiliza para una variedad de usos en el tratamiento de aguas, como es la remoción de materia orgánica, retiro del cloro, de los sedimentos, olores y del color.

El carbón activado se satura a medida que vaya filtrando el agua; es importante seguir las instrucciones para el cambio del medio filtrante para evitar la saturación y la contaminación del agua resultante.



**Figura 3-1. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente**

Fuente: <http://www.filtroanaerobio.com> 2015

#### 1.4.4.3.3 Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son los sistemas de tratamiento biológico de líquidos residuales más sencillos de operar y mantener. Constan de estanques, generalmente excavados parcialmente en el terreno, con un área superficial y volumen suficientes para proveer los extensos tiempos de tratamiento que requieren para degradar la materia orgánica mediante procesos de autodepuración. Su principal desventaja es el tiempo de tratamiento ya que es en meses.

Dependiendo de la presencia, o no, de oxígeno disuelto (OD) en el líquido se clasifica en:

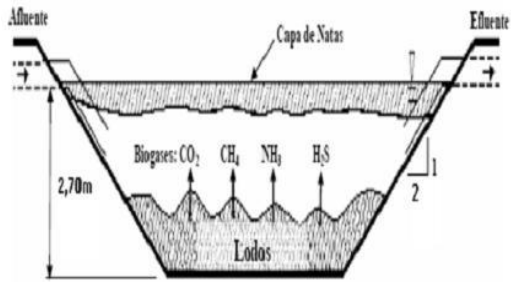
**Lagunas Aeróbicas:** Contienen una profundidad menor a un metro; si la carga orgánica es suficientemente baja como para que en todo momento se encuentre presente OD en toda la masa de líquido contenida en la laguna. Se las emplea como lagunas de maduración para la producción de biomasa algal.



**Figura 4-1. Laguna Aeróbica**

Fuente: <http://www.lagunasestabilización.com>, 2015

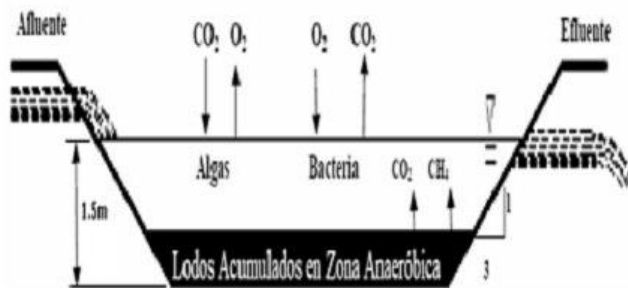
**Lagunas Anaeróbicas:** Su profundidad es cercana a tres metros. Las lagunas anaerobias suelen emplearse en el tratamiento de desechos industriales por presentar elevados niveles de materia orgánica soluble y suspendida. Pueden lograrse remociones de materia orgánica hasta en un 60%.



**Figura 5-1. Laguna Anaeróbica**

Fuente: <http://www.lagunasestabilización.com> 2015

**Lagunas Facultativas:** Con una profundidad que se asemeja a 1.5 metros. Se las emplea para el tratamiento de líquidos residuales cloacales o industriales, en este caso, luego de una o dos lagunas anaerobias. Pueden alcanzarse remociones de DBO5, superiores al 90%.



**Figura 6-1. Laguna Facultativa**

Fuente: <http://www.lagunasestabilización.com>, 2015

#### 1.4.4.3.4 Lodos Activados

Un proceso de lodos activados es un tratamiento biológico que consiste en la agitación y aireación de una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos seleccionados.

El uso de microorganismos, es para oxidar la materia orgánica presente en el agua de desecho y transformarla a una forma más estable, disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante.

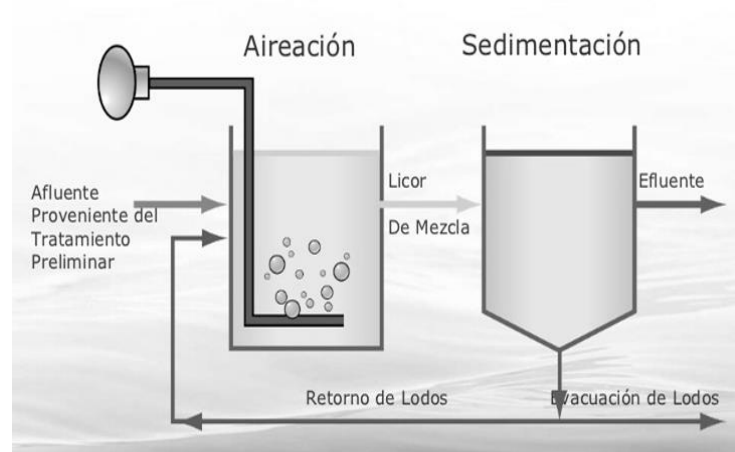
Para llevar a cabo lo anterior, los microorganismos requieren de un medio adecuado que les proporcione oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo.

Bajo estas condiciones dichos microorganismos se multiplican rápidamente formando la biomasa, que oxida la carga orgánica que se encuentra en el agua residual.

En una planta convencional de lodo activado, las aguas negras o de desecho pasan primero por un tanque de sedimentación primaria. Luego, se añade lodo activado (biomasa) al efluente del tanque, generalmente en la relación de 1 parte de lodo por 3 o 4 partes de aguas negras decantadas, en volumen, y la mezcla pasa a un tanque de aireación. Ya en el tanque, el aire atmosférico se mezcla con el líquido por agitación mecánica o se difunde aire comprimido dentro del fluido mediante diversos dispositivos generalmente se utiliza difusores pero también se usa placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores y chorros.

Con cualquiera de los métodos, se pone a las aguas negras en íntimo contacto con los microorganismos contenidos en el lodo. En los primeros 15 a 45 minutos, el lodo absorbe los sólidos en suspensión y los coloides. Según se absorbe la materia orgánica, tiene lugar la oxidación biológica. Los organismos presentes en el lodo descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos.

En general el periodo de aireación dura de 6 a 8 horas. Los lodos activados tienen una remoción del 85 y 95% de sólidos suspendidos, 98 y 99% de microorganismos, pero su desventaja es el alto costo de obra civil, equipamiento, mantenimiento y operación.



**Figura 7-1. Sistema de lodos activados**

Fuente: <http://www.lodosactivados.com> 2015

#### 1.4.4.3.5 Humedales

Son sistemas de tratamiento acuático en los cuales se usan plantas para el tratamiento de aguas residuales. Los humedales artificiales son de superficie libre de agua, es decir, con espejo de agua o de flujo subsuperficial sin espejo de agua. Entre ellos tenemos:

**Humedales artificiales de flujo libre o superficial:** el agua circula por encima del sustrato continuamente. Se favorecen las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera. Se emplean para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios y para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

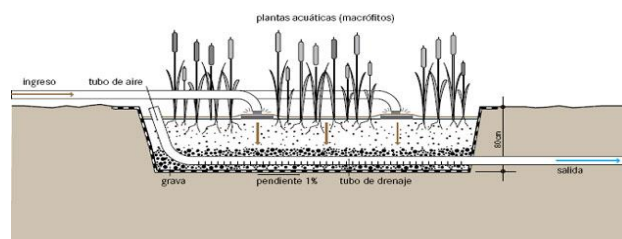
**Humedales artificiales de flujo subsuperficial:** el agua circula a través del sustrato.

**Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical:** el agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. Se suelen incluir chimeneas de aireación para favorecer las condiciones aerobias. Se suelen desarrollar procesos de nitrificación, entre otros.

**Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal:** el agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Se suelen desarrollar procesos de desnitrificación.

Los humedales presentan una remoción de DBO, sólidos suspendidos y nitrógeno del 80%, también niveles relevantes de metales y agentes patógeno.

Las desventajas del tratamiento con humedales es que se necesitan áreas donde se encuentren plantas nativas disponibles y también la remoción de abundancia de material vegetativo debe ser permanente.



**Figura 8-1. Humedales**

Fuente: <http://www.tratamientoconhumedales.com/>, 2015

#### **1.4.4.4 Tratamiento Terciario Físico-Químico o Biológico**

El objetivo de este tratamiento es conseguir un agua idónea para el consumo humano y para la industria. Tenemos los siguientes:

##### **1.4.4.4.1 Remoción de Nutrientes**

En esta etapa se realiza la eliminación de fósforo y nitrógeno a través de procesos biológicos. La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco a nitrato (nitrificación) y entonces mediante la reducción, el nitrato se convierte en nitrógeno gaseoso (desnitrificación), que se envía a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas.

La retirada del fósforo se alcanza mediante la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo: alumbre).

##### **1.4.4.4.2 Desinfección**

Consiste en la eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua, se logra mediante desinfectantes químicos y/o físicos. Estos agentes también extraen contaminantes orgánicos del agua, que son nutrientes o cobijo para los microorganismos.

Los desinfectantes también poseen un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia.

Una desventaja es que la desinfección con cloro puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o perjudiciales al ambiente. (ROJAS, J., 2002, p.59)



## **1.5 Población**

Es un conjunto de seres vivos de una especie que habita en un determinado lugar dependiendo si viven en el área urbana o rural. Para conocer el número de habitantes y las características se realizan censos.

### ***1.5.1 Población Actual***

Es el número de habitantes que en el presente viven en un lugar.

### ***1.5.2 Población Futura o Final***

Número de habitantes que en un determinado periodo de año existirán en una localidad, la población futura se estima analizando las características sociales, culturales y económicas de sus habitantes en el pasado y en el presente, para hacer predicciones sobre su futuro desarrollo.

### ***1.5.3 Índice de Crecimiento Anual***

Es la medida del aumento o disminución promedio de los habitantes de un lugar, esto haciéndose referencia a el número de nacimientos o muertes durante un año.

## **1.6 Caudal**

El caudal se define como el volumen del líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en una unidad de tiempo. Es un factor fundamental para el diseño de la planta de tratamiento de agua así como los parámetros físicos químicos y microbiológicos del agua residual. El caudal está en relación con la población y la aportación de aguas residuales que los individuos generan, esta aportación se considera como porcentaje de dotación.

## 1.7 Muestreo

El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del agua residual y en la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis así de esta manera conocer el grado de contaminación del agua residual.

### 1.7.1 Tipos de Muestras

**Muestras Simples:** Son muestras que se recogen de una sola vez, reflejándose de esta forma las condiciones del medio en un momento concreto. Es aconsejable un muestreo simple cuando ocurre una descarga ocasional, si el efluente fluye sólo de forma intermitente y si el muestreo es constante en el tiempo.

**Muestras Compuestas:** Está formada por varias muestras simples recogidas a lo largo de un período de tiempo y combinadas según unas proporciones concretas, referidas a parámetro de interés como el caudal. Este muestreo nos da las condiciones medias de flujo del efluente en un tiempo determinado. La muestra compuesta puede ser de un volumen fijo o proporcional al flujo.

## 1.8 Diseño

El diseño consiste en fases como: observación, investigación, ensayos correspondientes para identificar parámetros que estén fuera de la norma vigente en el país y aplicar su tratabilidad para plantear un sistema de tratamiento óptimo para las aguas residuales domésticas.

### 1.8.1 Determinación de la Población Futura

Para determinar la población futura los cálculos se basa en el método geométrico que es el más aconsejable para poblaciones pequeñas, con la siguiente fórmula:

$$Pf = Pa (1 + n)^r \qquad \text{Ecuación 1-1}$$

### 1.8.2 Determinación de Caudales

**Consumo de Agua.-** Para calcular el agua consumida por cada habitante en el día se utiliza la fórmula:

$$Dc = \frac{Q_{promc}}{Pa} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

**Caudal de diseño ( $Q_D$ ).**- Se calcula mediante la fórmula:

$$Q_D = Q_M * F + Q_{INF} + Q_{CE} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

**Caudal medio ( $Q_M$ ).**- Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$Q_M = \frac{Pf * Dc * C}{86400} \quad \text{Ecuación 4-1}$$

**Factor de Mayoración (F).**- El factor de mayoración considera la variación del consumo de agua por parte de la población, puede ser estimada a partir de mediciones de campo. Sin embargo, esto no es factible en muchos casos, por lo que es necesario estimar en base a relaciones aproximadas como la de Harmon válida para poblaciones de 1 000 a 1000000 habitantes; por lo que se aplica la siguiente fórmula:

$$F = 1 + \frac{14}{4\sqrt{Pf/1000}} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

**Caudal de Infiltración ( $Q_{INF}$ ).**- El caudal de infiltración se entiende como toda el agua que ingresa a la red de alcantarillado que proviene del suelo mediante tuberías en mal estado, uniones de tuberías, conexiones a construcciones y las estructuras de los pozos de visita. Para obtener el caudal de infiltración se usa los datos de Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales establecidos en la RAS 2000 Título D, que son: 0.15 – 0.4 L/s\*Ha, para lo cual se tiene:

$$Q_{INF} = \frac{0,15L}{sHa} * A \quad \text{Ecuación 6-1}$$

**Caudal de conexiones erradas ( $Q_{CE}$ ).**- Se deben considerar los caudales provenientes de malas conexiones o conexiones erradas, así como las conexiones clandestinas de patios domiciliarios que incorporan al sistema aguas pluviales.

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

**Ecuación 7-1**

**Tabla 1-1. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales**

Nivel de Complejidad del Sistema	Infiltración Alta (L/s*Ha)	Infiltración Media (L/s*Ha)	Infiltración Baja (L/s*Ha)
Bajo y medio	0,15-0,4	0,1-0,3	0,05-0,2
Medio Alto y alto	0,15-0,4	0,1-0,3	0,05-0,2

Fuente: Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

### 1.8.3 Sistemas de Tratamiento

#### 1.8.3.1 Pre-tratamiento

#### Canal de Entrada

**Tabla 2-1. Parámetros de diseño para el canal de entrada**

Parámetro	Unidades	Simbología	Valor Asumido
Velocidad de aproximación del agua	m/s	v	0,45-0,60
Ancho del canal	M	w	0,30-0,50
Longitud del canal	m	l	2,5
Altura de seguridad	m	$h_s$	0,35

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

El área transversal del canal donde se colocará la rejilla, se calcula mediante la fórmula:

$$AT = \frac{Qd}{v}$$

**Ecuación 8-1**

La altura del agua en el canal se calcula con el valor del área transversal:

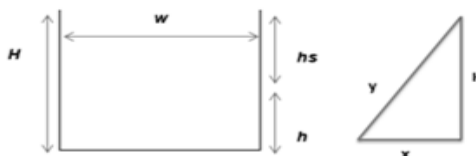
$$h = \frac{AT}{w} \quad \text{Ecuación 9-1}$$

Para obtener la altura total del canal, se suma a la altura del agua una altura de seguridad.

$$H = h + h_s \quad \text{Ecuación 10-1}$$

### Cribado o Rejillas

Para diseñar las rejillas, debemos relacionar la velocidad media del agua residual con la abertura de las rejas sugeridas:



**Figura 9-1. Canal de entrada y rejillas**

Fuente: LOGROÑO, Andreina, 2016

Para el cálculo de la longitud de las rejas, tomando un ángulo de 45° se utiliza la siguiente expresión:

$$y = \frac{H}{\text{sen } 45} \quad \text{Ecuación 11-1}$$

Tomando como referencia la figura 9, se realiza el cálculo de x:

$$x = \cos 45 * H \quad \text{Ecuación 12-1}$$

A continuación se detallan las especificaciones que las rejas deben poseer para retener los materiales suspendidos.

**Tabla 3-1. Limpieza manual y mecánica de rejillas**

CARACTERÍSTICAS	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECÁNICA
Tamaño de la barra		
Anchura, mm	5 – 15	5 – 15
Profundidad, mm	25 – 37,5	25 – 37,5
Separación entre barras, mm	25 – 50	15 – 75
Pendiente en relación a la vertical, grados	25 – 50	50 – 82,5
Pérdida de carga admisible, m/m	150	150
Velocidad de Aproximación, m/s	0.3-0.6	0.3-0.9

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995, p.75

El número de rejillas se calcula mediante la expresión:

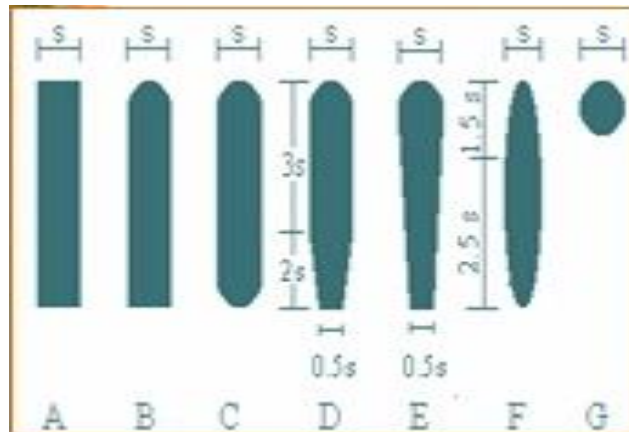
$$N = \frac{w}{e + s}$$

**Ecuación 13-1**

**Tabla 4-1. Coeficientes de pérdidas de carga según el tipo de varilla**

Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000



**Figura 10-1. Formas comunes de varillas**

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

Las rejillas se saturan debido a la acumulación de materiales retenidos por lo que se debe tomar en cuenta las pérdidas de carga; en sistemas de limpieza manual las pérdidas no deben ser mayores a 15cm, lo cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H_f = \beta \left(\frac{e}{s}\right)^{1/4} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } 45$$

**Ecuación 14-1**

### 1.8.3.2 Tratamiento Primario

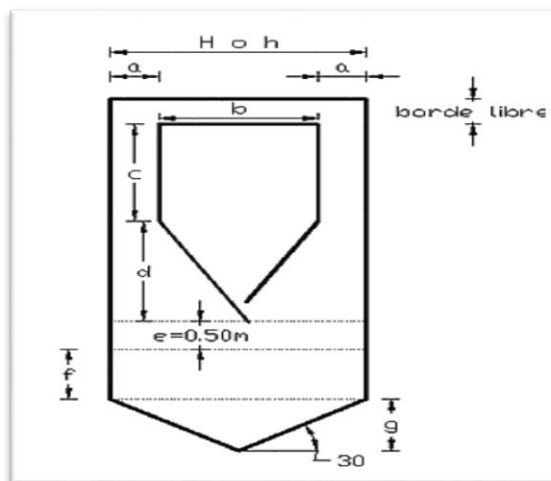
#### 1.8.3.2.1 Tanque Imhoff

Para el diseño se asume valores estándar que permitan su dimensión.

**Tabla 5-1. Parámetros de diseño para un tanque Imhoff**

Parámetro	Simbología	Unidad	Intervalo
Carga Superficial	$C_s$	$m^3/m^2día$	12 – 50
Ancho de la cámara de sedimentación	$b$	m	-
Tiempo de retención hidráulica	$Trh$	h	1 – 4
Dotación de lodos	D lodos	$m^3/hab$	0,070
Ancho de zona de ventilación de gases	$a$	m	0,40 – 1
Altura de zona de transición	$E$	m	$\geq 0,45$
Borde Libre	Bl	m	$\geq 0,30$
Factor de capacidad relativa	fcr		1,00 (15°C)

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000



**Figura 11-1. Esquema del dimensionamiento de un tanque imhoff**

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Área superficial de la cámara de sedimentación ( $A_s$ ):

$$A_s = \frac{Q_D}{C_s} \quad \text{Ecuación 15-1}$$

Volumen de la cámara de sedimentación ( $V_s$ ):

$$V_s = Q_D * Tr \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Longitud del tanque (L):

Se asume el valor de b.

$$L = \frac{A_s}{b} \quad \text{Ecuación 17-1}$$

Área de sección transversal ( $A_t$ ):

$$A_t = \frac{V_s}{L} \quad \text{Ecuación 18-1}$$

Altura de la cámara de sedimentación ( $c$ ):

Para hallar esta altura se realiza cálculos a partir de nociones básicas para las figuras geométricas: triángulo y rectángulo.

$$A_t = A_{\text{rectángulo}} + A_{\text{triángulo}} \quad \text{Ecuación 19-1}$$

$$A_{\text{rectángulo}} = b * c \quad \text{Ecuación 20-1}$$

Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación ( $d$ ):

Para conocer  $d$  se utiliza las funciones trigonométricas para el triángulo rectángulo.

$$A_{\text{triángulo}} = \frac{b * d}{2} \quad \text{Ecuación 21-1}$$

$$\tan \alpha = \frac{d}{b/2} \quad \text{Ecuación 22-1}$$

Despejando  $d$  de la Ecuación 22-1 queda:

$$d = \tan \alpha * b/2 \quad \text{Ecuación 23-1}$$

Por tanto para hallar  $c$  se reemplaza cada área en el Ecuación 19-1:

$$A_t = b * c + \frac{b * d}{2} \quad \text{Ecuación 24-1}$$

De la Ecuación 24-1 se despeja  $c$  quedando así:

$$c = \frac{A_t - \frac{b*d}{2}}{b} \quad \text{Ecuación 25-1}$$

Volumen del digestor ( $Vd$ ):



$$Vd = \frac{70 * Pf * fcr}{1000} \quad \text{Ecuación 26-1}$$

Ancho total de la cámara de digestión (h):

$$h = b + 2a \quad \text{Ecuación 27-1}$$

Altura de la cámara del digestor (f):

Se utiliza ecuaciones de geometría básica:

$$Vd = \text{Arectángulo} * h + \text{Apiramidal} * h \quad \text{Ecuación 28-1}$$

$$Vd = L * b * f + \frac{L * b}{3} * g \quad \text{Ecuación 29-1}$$

Se despeja f de la Ecuación 29-1:

$$f = \frac{Vd - \frac{L*b}{3} * g}{L * b} \quad \text{Ecuación 30-1}$$

Altura de la base triangular de la cámara de digestión (g):

Se aplica razones trigonométricas básicas:

$$g = \frac{h}{2} \operatorname{tg} 30 \quad \text{Ecuación 31-1}$$

Altura total del tanque (Ht):

$$Ht = c + d + E + f + g + bl \quad \text{Ecuación 32-1}$$

### 1.8.3.2.2 Eras de Secado

Se encargan de eliminar la humedad de los lodos que son extraídos del tanque Imhoff, se asume valores estándar para su diseño.

**Tabla 6-1. Parámetros de diseño para lechos de secado**

Parámetro	Simbología	Unidad	Intervalo
Contribución de sólidos	C	g SS/hab*día	70
Porcentaje de sólidos en el lodo	% de lodos	%	10 – 15
Densidad del lodo	$\rho$ lodo	kg/L	1,2 – 1,3
Tiempo de retención	Tr	Días	30 – 90
Altura del lodo	Ha	m	0,20-0,40
Ancho de era	b	m	-

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

Cantidad de Sólidos Suspendidos (C):

$$C = \frac{pob * cont * 1kg}{1000g} \quad \text{Ecuación 33-1}$$

Masa de sólidos suspendidos (Msd):

$$Msd = (0.50 * 0.50 * 0.70 * C) + (0.50 * 0.30 * C) \quad \text{Ecuación 34-1}$$

Volumen diario de lodos digeridos (Vld):

$$Vld = \frac{Msd}{\rho * (\%sólidos/100)} \quad \text{Ecuación 35-1}$$

Volumen de lodos a extraerse desde la Cámara de Digestión (Vel):

Se asume el valor de tiempo de retención Tr.

$$Vel = \frac{Vld * Tr}{1000 l/m^3} \quad \text{Ecuación 36-1}$$

Área del Lecho de Secado (Als):

Se asume el valor de altura Ha.

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \quad \text{Ecuación 37-1}$$

Longitud del Secador (L):

De acuerdo al diseño, se calcula un área de lechos unitaria, dividiendo el valor obtenido para 2 unidades. Teniendo el área unitaria, se calcula las dimensiones.

$$L = \frac{Als_u}{w} \quad \text{Ecuación 38-1}$$

Falso Fondo:

Planteamos un falso fondo para drenar el agua de los lodos.

$$x = \operatorname{tg} 20^\circ * \frac{W}{2} \quad \text{Ecuación 39-1}$$

### 1.8.3.3 Tratamiento Secundario

#### 1.8.3.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

**Tabla 7-1. Parámetros de diseño para el FAFA**

Parámetro	Simbología	Unidad	Intervalo
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	110-400
Factor de seguridad	F <sub>s</sub>	m	0,10-0,20
Diámetro del filtro	Θ	m	-
Profundidad útil	H <sub>u</sub>	m	3,30
Falso fondo	F	m	0,30

Fuente: Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

Volumen del filtro ( $V_f$ ):

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$V_f = Q_D * t_r \quad \text{Ecuación 40-1}$$

Área del filtro ( $A$ ):

Se aplica la siguiente expresión para hallar el área:

$$A = \frac{V_f}{H_u} \quad \text{Ecuación 41-1}$$

Diámetro ( $\Theta$ ):

$$\Theta = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad \text{Ecuación 42-1}$$

Radio ( $r$ ):

$$r = \frac{\Theta}{2} \quad \text{Ecuación 43-1}$$

Altura total del filtro ( $H_{Tf}$ ):

$$H_{Tf} = H_u + 0,30 \quad \text{Ecuación 44-1}$$

## 1.9 MARCO LEGAL

### 1.9.1 Constitución Política del Ecuador

En el año 2008 se da la aprobación del referéndum en donde se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. Constitución de la República del Ecuador (2008)

### 1.9.2 Ley de Gestión Ambiental

La Ley de Gestión Ambiental constituye el cuerpo legal específico más importante atinente a la protección ambiental en el país. Esta ley está relacionada directamente con la prevención, control y sanción a las actividades contaminantes a los recursos naturales y establece las directrices de política ambiental, así como determina las obligaciones, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones dentro de este campo. La promulgación de la Ley de Gestión Ambiental en el año de 1999, confirmó que el Ministerio del Ambiente, creado en el año de 1996, es la autoridad nacional ambiental y estableció un Marco general para el desarrollo y aprobación de la normativa ambiental, dentro de los principios de desarrollo sustentable. Ministerio del Ambiente de Ecuador (1996)

### 1.9.3 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)

Para la descarga de la calidad de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce se aplica la siguiente normativa del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.

**Tabla 8-1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1

Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	10000
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	200
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000

Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

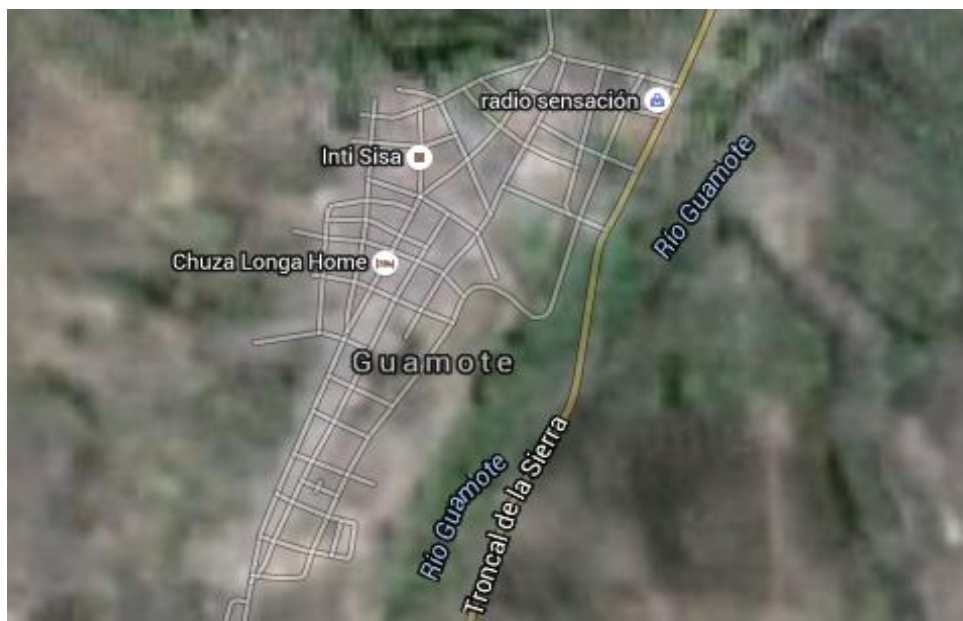
Fuente: <http://www.ambiente.gob.ec/>, 2015

## CAPÍTULO II

### 2 DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 2.1 Lugar de Estudio

Se efectuó el reconocimiento de la Parroquia Matriz Guamote en donde se realizará el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, mediante un recorrido y explicación por el Jefe del Departamento de Obras Públicas del GAD Municipal del Cantón Guamote en la línea del alcantarillado siguiendo hasta la descarga final, ya que la descarga se realiza en el Barrio San Pedro de la parroquia y va hasta el Río Guamote a través de un canal abierto.



**Figura 1-2. Localización Parroquia Matriz Guamote**

Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Matriz Guamote, 2010

#### 2.2 Medición de Caudales

La medición de caudal se realizó en el alcantarillado público de la parroquia a 100 metros aproximadamente antes de que se dé la descarga directa al río Guamote.

El día domingo es el día en que los pobladores que generan las aguas residuales, pasan en sus hogares debido a que los otros días se dirigen a sus respectivos trabajos.

Los caudales fueron tomados todo un día a intervalos de una hora, el método que se empleó, fue el Método de llenado de recipientes adecuado para caudales pequeños obteniéndose los siguientes resultados:

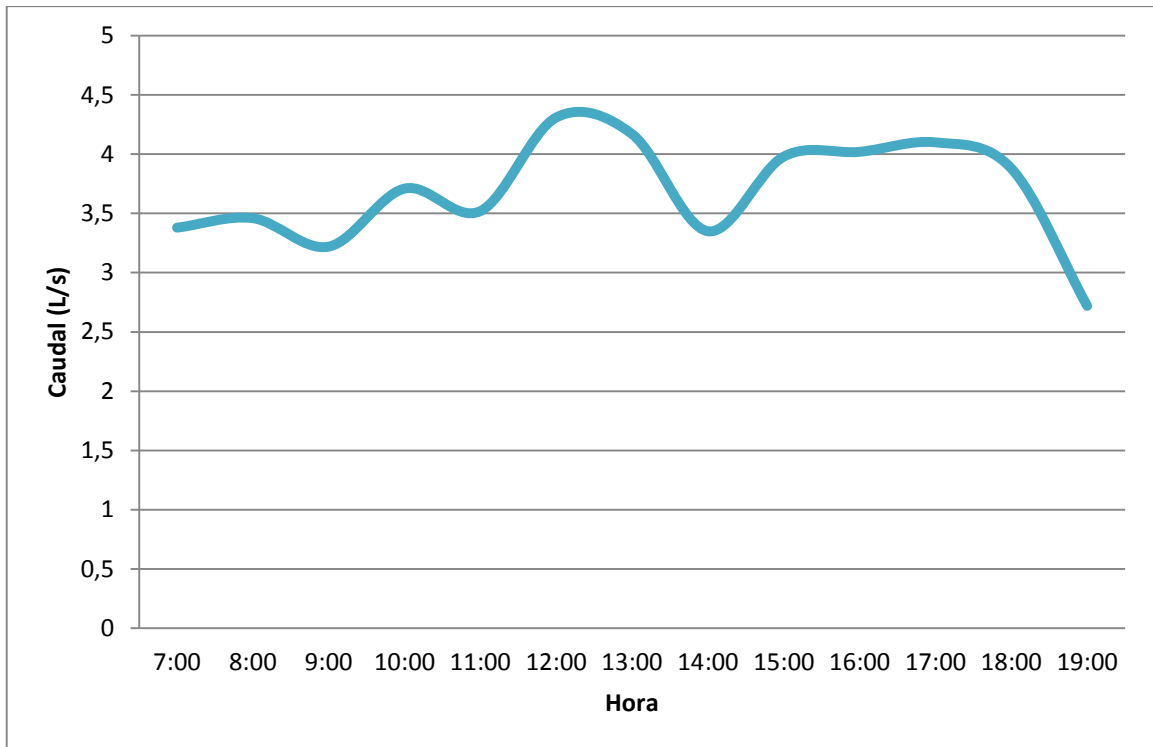
**Tabla 1-2. Variación de caudal por día**

<b>Hora</b>	<b>Q (L/s)</b>
<b>7:00</b>	3,38
<b>8:00</b>	3,46
<b>9:00</b>	3,22
<b>10:00</b>	3,71
<b>11:00</b>	3,52
<b>12:00</b>	4,31
<b>13:00</b>	4,17
<b>14:00</b>	3,35
<b>15:00</b>	3,98
<b>16:00</b>	4,02
<b>17:00</b>	4,10
<b>18:00</b>	3,88
<b>19:00</b>	2,72
<b>Promedio</b>	3,68

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

A partir de los datos que se recogieron, se procedió a realizar un hidrograma de caudales diario, en donde se puede estimar de mejor manera cual es la variación del flujo de las aguas residuales. El caudal promedio obtenido será la base para la determinación del caudal que será utilizado para el diseño.





**Gráfico 1-2. Hidrograma de caudales diario**

Realizado por: Logroño Andreina, 2016

### 2.3 Muestreo

En base a las observaciones del agua residual doméstica durante la medición del caudal, se pudo identificar el tipo de muestreo a emplearse el mismo que fue de tipo compuesto debido a que la descarga no es uniforme durante todo el día.

Se tomaron dos muestras por semana una para la caracterización en el laboratorio y la otra para tratamiento y comparación de resultados. Durante el día se tomó a las 7:00 am, a las 12:00 am y a las 19:00 pm. Se realizó durante tres semanas.

### 2.4 Métodos y Técnicas

#### 2.4.1 Métodos

Para el desarrollo de este trabajo se considera tres tipos de métodos: inductivo, deductivo y experimental, lo cual facilitará el estudio y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas.

#### **2.4.1.1 Método Inductivo**

Este estudio se da de lo particular a lo general, el mismo que permitirá conocer la cantidad de contaminantes que contiene las aguas residuales generadas en la parroquia Matriz Guamote.

Para esto se procedió a la recolección de muestras en frascos de plástico estériles para sus posteriores caracterizaciones desarrolladas en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias.

#### **2.4.1.2 Método Deductivo**

El método analiza de lo general a lo particular, permitirá deducir los efectos que causa la contaminación del agua residual hacia al ambiente y sectores aledaños donde se dan directamente las descargas. Los ensayos fueron tabulados para luego efectuar los debidos cálculos de ingeniería que ayudarán al dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y así conseguir que los parámetros establecidos por el TULSMA se encuentren dentro del límite permisible.

#### **2.4.1.3 Método Experimental**

Los métodos experimentales que se realizaron a las muestras recogidas de la parroquia fueron físicos-químicos y microbiológicos mediante equipos y materiales óptimos que demuestren la seguridad de sus datos para tomarlos como referencia para la simulación del diseño planteado.

#### **2.4.2 Técnicas**

La descripción de todas las técnicas utilizadas para el estudio de los parámetros del agua de la Parroquia Matriz Guamote se encuentra a continuación:

#### **2.4.2.1 Medición del pH**

Código: STANDARD METHODS 4500-B

Procedimiento:

- Calibrar el equipo ( Ph-METRO)
- Colocar en un vaso una muestra del agua residual perfectamente homogenizada
- Sumergir los electrodos en la muestra, esperar hasta que la lectura se estabilice.
- Anotar el valor que muestra en la pantalla
- Enjuagar los electrodos con agua destilada.

#### **2.4.2.2 Determinación de la Conductividad**

Código: STANDARD METHODS 2510-B

Procedimiento:

- Colocar la muestra problema en un vaso de precipitación y vertimos en el recipiente que trae el Conductímetro.
- 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.

#### **2.4.2.3 Determinación de la Turbiedad**

Código: STANDARD METHODS 2130-B

Procedimiento:

- Encender el equipo (turbidímetro)
- Colocar una muestra de agua residual en el frasco previamente enjuagado con agua destilada hasta donde señala la marca.
- Introducir la muestra en la celda del turbidímetro y tapar.
- Leer el valor que indica en la pantalla.

#### **2.4.2.4 *Determinación de Sólidos Sedimentables***

Código: STANDARD METHODS 2540-F

Procedimiento:

- Colocar en el cono Imhoff 1 litro de muestra previamente homogenizada.
- Dejar reposar la muestra.
- Remover suavemente las paredes del cono con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos.
- Después de un determinado tiempo de sedimentación registrar el volumen de sólidos sedimentables.

#### **2.4.2.5 *Determinación de DQO***

Código: STANDARD METHODS 5220-C

Procedimiento:

- Tomar 2ml de muestra y colocar en un vial de solución digestiva para DQO.
- Sujetar el vial por la tapa y voltear varias veces para mezclar, el vial de la muestra se calienta mucho durante la muestra.
- Digestar la muestra durante 2h.
- Esperar que se enfríe y proceder a la medición.
- Para la medición seleccionar en la pantalla del equipo HACH programas almacenados
- Seleccionar el test de DQO 435.
- Limpiar bien el exterior del vial y colocar el tubo en el soporte HACH DR y cerrar la tapa protectora.
- Leer el resultado que aparece en la pantalla.

#### **2.4.2.6 *Determinación de DBO5***

Código: STANDARD METHODS 5210-B

Procedimiento:

- Ubicar 100ml de muestra en los frascos empleados para este método.
- Adicionar 3ml de solución rica en nutrientes.
- Tapar el frasco con un corcho y colocar en el mismo una pepita de KOH, el mismo que se encarga de absorber otros gases con la finalidad que el único gas que sea leído y traducido como DBO sea el CO<sub>2</sub>.
- Tapar y colocar la muestra en el gasométrico durante cinco días.
- Ir leyendo los datos cada día, para al final obtener el valor promedio.

#### ***2.4.2.7 Determinación de Sulfuros***

Código: STANDARD METHODS 4500-B

Procedimiento:

- Tomar 25ml de muestra y añadir 0,5ml de la solución patrón de yodo, esta mezcla tomará un color amarillo.
- Titular con tiosulfato de sodio 0,025N hasta un amarillo pálido.
- Añadir la solución de almidón y seguir titulando con Tiosulfato hasta un color transparente y anotar el volumen total.

#### ***2.4.2.8 Determinación de Coliforme Fecal***

Código: STANDARD METHODS 4500-B

Procedimiento:

- Colocar un disco filtrante estéril en la unidad de filtración, las bacterias serán retenidas en la superficie de la membrana.
- Retirar el disco y ubicar sobre una almohadilla absorbente que se ha saturado con el medio de cultivo apropiado.
- Colocar las almohadillas absorbentes en cajas de Petri, las cuales se incuban.
- Después de la incubación se desarrollarán colonias sobre el disco filtrante en cualquier lugar donde hayan quedado bacterias atrapadas durante el proceso de filtración.
- Llevar la placa Petri con el contenido a la estufa a 37 °C para la determinación de coliformes fecales, durante un período de 48 horas.

### 2.4.2.9 Determinación de Sulfatos

Código: STANDARD METHODS 2800-DR

Procedimiento:

- Seleccionar en la pantalla Programas Almacenados y escoger el test 685 SULFATO AV.
- La muestra preparada: llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca 10 ml con muestra.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo Sulfaver en polvo y agitar con rotación para mezclar.
- Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok, comienza un período de reacción.
- Preparar el blanco: llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca 10 ml con agua destilada.
- Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) en el soporte para cubetas con la marca de llenado hacia el frente.
- Seleccionar en la pantalla cero, la pantalla indicará 0,00 mg/L  $SO_4^{-2}$ .
- Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia al frente.
- Seleccionar en la pantalla medición y el resultado aparecerá en mg/L  $SO_4^{-2}$ .

### 2.5 Resultados obtenidos en la caracterización del Agua Residual Doméstica

Una vez realizada la caracterización se obtuvieron los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual, los mismos que se muestran a continuación en diferentes tablas. Existen parámetros que solo se caracterizaron una vez debido al alto costo que representan realizar el análisis en el laboratorio.

**Tabla 2-2. Caracterización física del agua residual doméstica**

Color	Gris
Olor	Desagradable (Huevos podridos)
Aspecto	Turbio con presencia de sólidos

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

**Tabla 3-2. Caracterización físico- química y microbiológica del agua residual doméstica**

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO*	RESULTADO			PROMEDIO
			M1	M2	M3	Mn
pH	Und.	4500-B	8,05	7,37	7,93	7,78
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1330	1250	1200	1260
Turbiedad	UNT	2130-B	88,7	127	126	113,9
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/L	5220-C	520	604	666	596,66
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	mg/L	5210-B	452	436	456	448
<b>Sólidos Sedimentables</b>	mL/L	2540-B	0,1	0,4	2,5	1
<b>Sólidos Suspendidos</b>	mg/L	2540-C	85	94	90,2	89,73
<b>Sólidos Totales</b>	mg/L	2540-A	680	724	908	770,66
<b>Sulfatos</b>	mg/L	4500-SO <sup>2</sup> 4E	76	67	81	74,66
<b>Sulfuros</b>	mg/L	4500-S <sup>2-</sup> -CyD	68,2	72	74	71,4
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100 ml	Método estándar 9222B Filtración por membrana.	156x10 <sup>5</sup>	129x10 <sup>5</sup>	137x10 <sup>5</sup>	141x10 <sup>5</sup>
<b>Aceites y Grasas</b>	mg/L	5520-B		26,2		26,2
<b>Nitrógeno Total</b>	mg/L	4500-N-B mod		23,1		23,1
<b>Nitratos</b>	mg/L	4500NO3-C		7,41		7,41
<b>Fosfatos</b>	mg/L	4500PO4-B		3,34		3,34

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

**Tabla 4-2. Parámetros fuera del límite máximo permisible del TULSMA del agua residual doméstica**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR CRÍTICO	LÍMITE PERMISIBLE TULSMA (Tabla 10)
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/L	596,66	200

<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	mg/L	448	100
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100mL	141x10 <sup>5</sup>	Remoción > al 99,9%
<b>Sulfuros</b>	mg/L	71,4	0,5
<b>Nitrógeno Total</b>	mg/L	23,1	15

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

## 2.6 Pruebas de Tratabilidad

De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización se procedió a realizar ensayos que permitieron disminuir la carga orgánica y microbiológica del agua residual; este tratamiento se efectuó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y dentro de los cuales tenemos procesos físicos y biológicos como: separación de sólidos, sedimentación y filtración biológica.

### 2.6.1 Simulación de la planta piloto en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias-ESPOCH

**Tabla 5-2. Parámetros del agua residual doméstica cruda**

AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Turbiedad	NTU	127
DQO	mg/L	666
DBO <sub>5</sub>	mg/L	456





Sulfuros	mg/L	74
----------	------	----

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

**Tabla 6-2. Parámetros a la salida del pre-tratamiento (sistemas de rejillas)**

**PRE-TRAMIENTO: Rejillas gruesas y finas**



PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	85
DQO	mg/L	320
DBO <sub>5</sub>	mg/L	207
Sulfuros	mg/L	44

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

**Tabla 7-2. Parámetros después del tratamiento primario (tanque Imhoff)**

**TRATAMIENTO PRIMARIO: Tanque de Sedimentación Imhoff**



PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	46
DQO	mg/L	223
DBO <sub>5</sub>	mg/L	165
Sulfuros	mg/L	9

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

**Tabla 8-2. Parámetros después del filtro biológico (FAFA)**

**TRAMIENTO SECUNDARIO: Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente**



PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	17
DQO	mg/L	140
DBO <sub>5</sub>	mg/L	98
Sulfuros	mg/L	0,06

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

## **2.7 Resultados de la Caracterización Final del Agua Tratada**

Se realizó análisis físicos, químicos y microbiológicos, en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y luego para la comprobación de los resultados se envía el agua tratada a ser analizada en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) (Anexo 5). Los mismos que fueron comparados con los valores permisibles del TULSMA, Libro VI, Tabla 10, Descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 9-2. Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (04/11/2015) en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias, ESPOCH.**

PARÁMETROS	UNIDAD	ANÁLISIS			PROMEDIO DEL AGUA TRATADA	Límite máximo permisible(TULSMA)
		06/11/2015	09/11/2015	11/11/2015		
Ph	....	7	7,86	8,13	7,66	5 – 9
Conductividad	µS/cm	113	116,38	111	113,46	....
Turbiedad	NTU	17	19,8	20,1	18,96	...
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	124	131	140	131,66	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	93	129	84	102	100
Sulfuros	mg/L	0,06	0,08	0,05	0,063	0,5
Coliformes Fecales	UFC/100ml	554	480	619	551	Remoción > al 99,99%

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

## 2.8 Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento

Es fundamental conocer el porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes, luego de haber obtenido los resultados del agua tratada, para ello se toma como referencia los valores iniciales de la caracterización del agua no tratada y el resultado obtenido después del tratamiento.

**Tabla 10-2. Análisis de los parámetros del agua residual cruda y del agua residual tratada (Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH)**

PARÁMETROS	UNIDAD	Agua Residual Doméstica Cruda	Agua Tratada (Análisis Laboratorio UNACH)	Límite máximo permisible (TULSMA)
DQO	mg/L	666	140	200
DBO	mg/L	456	98	100
Sulfuros	mg/L	74	0,063	0,5
Coliformes Fecales	UFC/100ml	156x10 <sup>5</sup>	<1	Remoción > al 99,99%
Nitrógeno Total	mg/L	23,1	4,16	15

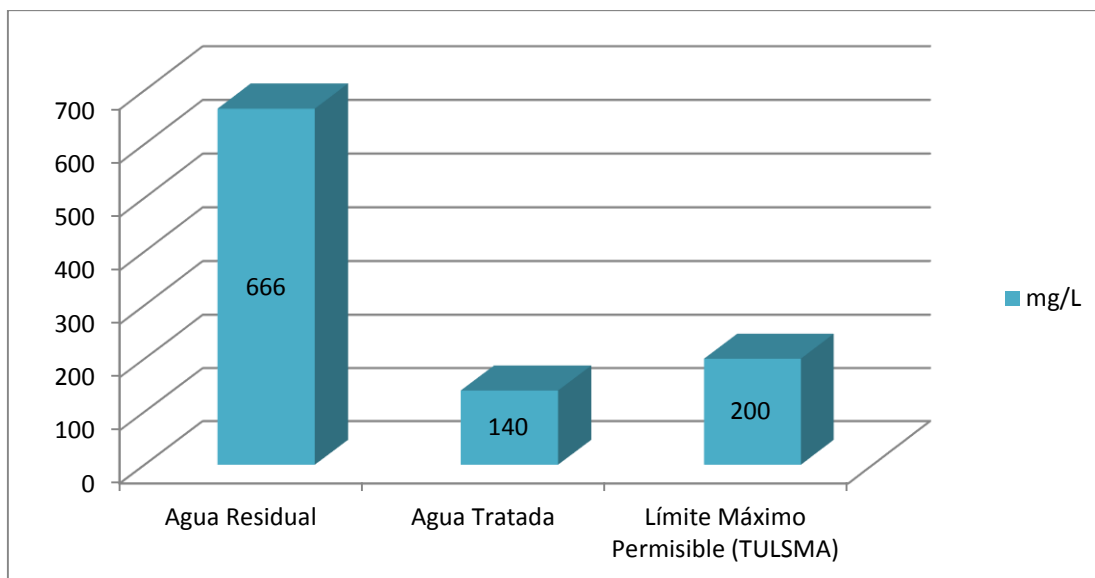
Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 2.8.1 Porcentaje de remoción de DQO

**Tabla 11-2. Caracterización química del DQO**

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
666	140	78,97	200

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016



**Gráfico 2-2. Disminución del DQO**

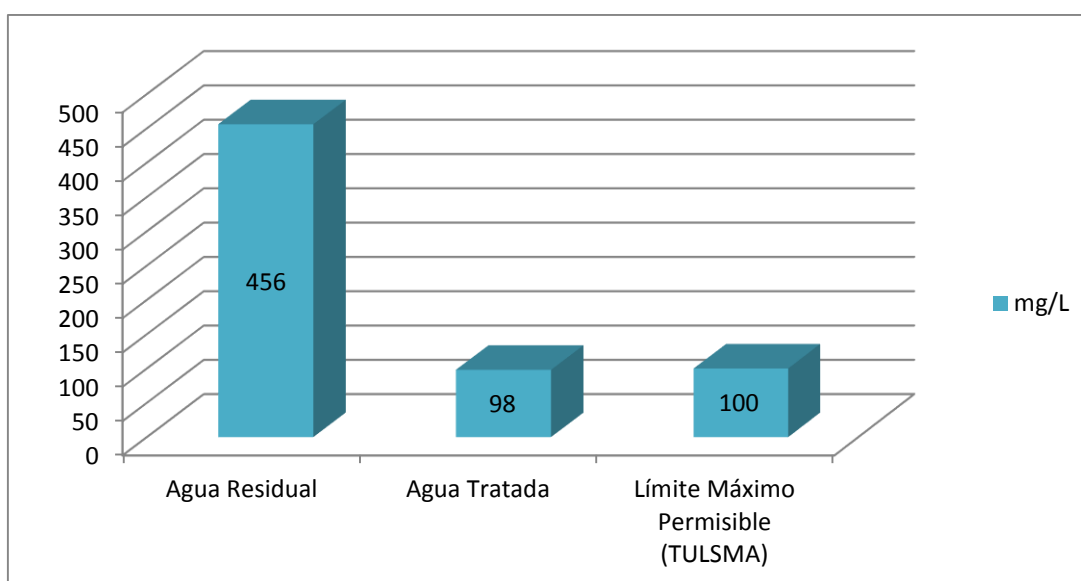
Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 2.8.2 Porcentaje de remoción de DBO

**Tabla 12-2. Caracterización química del DBO**

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permissible (TULSMA)
456	98	78,50	100

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016



### Gráfico 3-2. Disminución del DBO

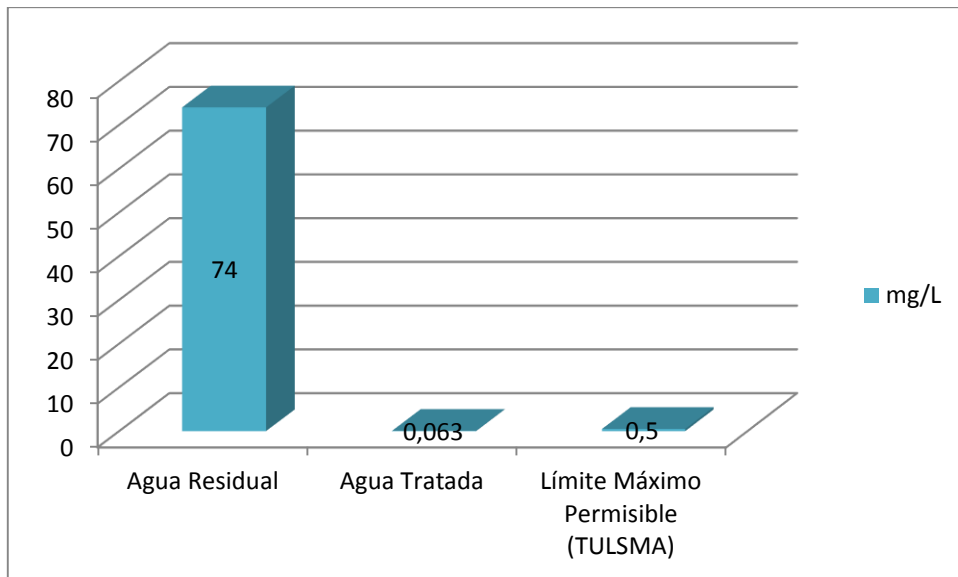
Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

#### 2.8.3 Porcentaje de remoción de Sulfuros

Tabla 13-2. Caracterización química de los Sulfuros

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
74	0,063	99,91	0,5

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016



### Gráfico 4-2. Disminución de los Sulfuros

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

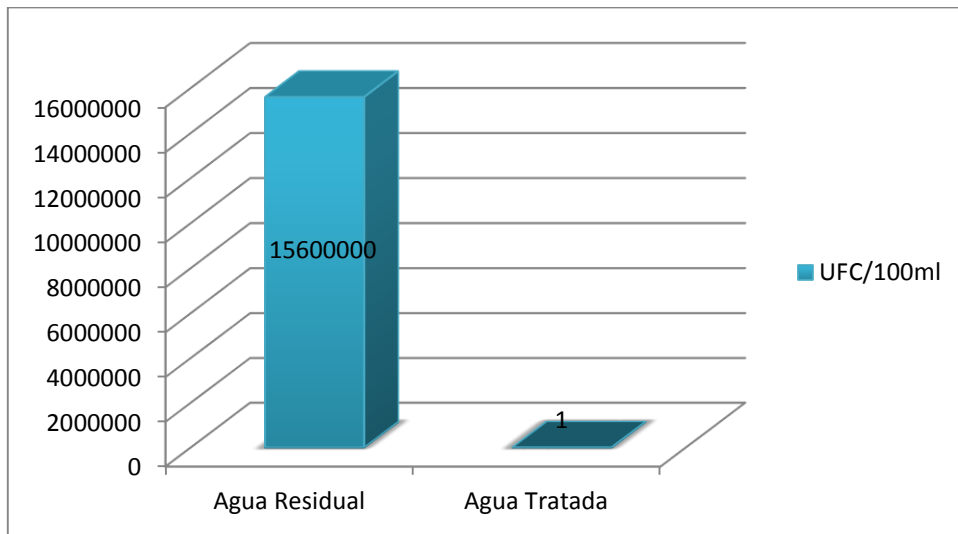
#### 2.8.4 Porcentaje de remoción de Coliformes Fecales

Tabla 14-2. Caracterización microbiológica de Coliformes Fecales

Agua Residual (UFC/100mL)	Agua Tratada (UFC/100mL)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
------------------------------	-----------------------------	------------	---

156x10 <sup>5</sup>	<1	99,99	Remoción > al 99.99%
---------------------	----	-------	-------------------------

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016



**Gráfico 5-2. Disminución de Coliformes Fecales**

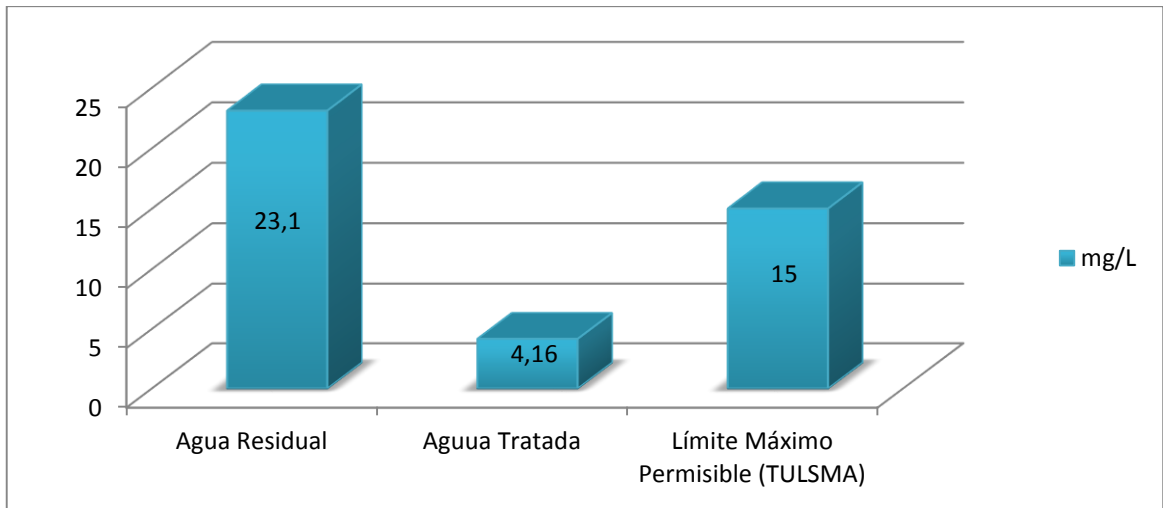
Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 2.8.5 Porcentaje de Remoción de Nitrógeno Total

**Tabla 15-2. Caracterización química del Nitrógeno Total**

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
23,1	4,16	81,99	15

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016



**Gráfico 6-2. Disminución de Nitrógeno Total**

Fuente: LOGROÑO, Andreina, 2016



## CAPÍTULO III

### 3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1 Introducción

El diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la parroquia Matriz Guamote, se determinó en base a la caracterización del agua residual cruda y del efluente tratado, es así que con los resultados que se obtuvo se realizó los siguientes cálculos:

##### 3.1.1 Población Futura

Para calcular la población futura para el año 2031 se utilizó la Ec. 1-1:

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

Dónde:

$P_f$  = Población final

$P_a$  = Población actual

$r$  = Índice de crecimiento anual

$n$  = Período de tiempo (año futuro – año actual)

$$Pf = 2648(1 + 0,015)^{15}$$

$$Pf = 3311 \text{ habitantes}$$

##### 3.1.2 Determinación de Caudales

Consumo de Agua (Dc):

De acuerdo a la medición promedio del caudal realizado, se tiene un caudal de 3,68L/s que es igual a 317,95m<sup>3</sup>/día.

Para calcular la cantidad de agua que consume la parroquia Matriz Guamote se empleará la Ec. 2-1:

$$Dc = \frac{Q_{promc} \times 1000 \text{ L/m}^3}{Pa}$$

Dónde:

$Dc$  = Dotación consumida (L/hab.\*día)

$Q_{promc}$  = Medición promedio del caudal (m<sup>3</sup>/día)

$P_a$  = Población actual

$$Dc = \frac{317,95 \text{ m}^3/\text{día} \times 1000 \text{ L/m}^3}{2648 \text{ hab.}}$$

$$Dc = 120,07 \text{ L/hab} * \text{día}$$

Caudal Medio ( $Q_M$ ):

El caudal medio de aguas residuales ( $Q_M$ ) se calcula a partir de la Ec. 4-1:

$$Q_M = \frac{Pf * Dc * C}{86400}$$

Dónde:

$Q_M$  = Caudal medio (L/s)

$P_f$  = Población futura (hab)

$D_C$  = Dotación consumida (L/hab\*día)

$C$  = Coeficiente de retorno

$$Q_M = \frac{3311 \text{ hab} * 120,07 \text{ L/hab} * \text{día} * 0,7}{86400 \text{ s/día}}$$

$$Q_M = 3,22 \text{ L/s}$$

Factor de Mayoración (F):

El factor de mayoración (F) se encuentra con la Ec. 5-1:

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

Dónde:

F = Factor de mayoración

Pf = Población futura (hab)

$$F = 1 + \frac{14}{4\sqrt{3311/1000}}$$

$$F = 2,92$$

Caudal de Infiltración ( $Q_{INF}$ ):

El caudal de infiltración ( $Q_{INF}$ ) se calcula mediante la Ec. 6-1 y de acuerdo a los Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales de la Tabla 1-1.

$$Q_{INF} = \frac{0,15L}{sHa} * A$$

Dónde:

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

A = Área del perímetro sanitario (Ha)

$$Q_{INF} = \frac{0,15L}{sHa} * 41Ha$$

$$Q_{INF} = 6,15L/s$$

Caudal de Conexiones Erradas( $Q_{CE}$ ):

El caudal de conexiones erradas ( $Q_{CE}$ ) se calcula a partir de la Ecuación 7-1:

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

Dónde:

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

$Q_M$  = Caudal medio (L/s)

F = Factor de mayoración

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

$$Q_{CE} = 0,10(3,22 * 2,92 + 6,15)L/s$$

$$Q_{CE} = 1,55L/s$$

Caudal de Diseño ( $Q_D$ ):

Se emplea la Ec.3-1 para determinar el caudal de diseño  $Q_D$ :

$$Q_D = Q_M * F + Q_{INF} + Q_{CE}$$

Dónde:

$Q_D$  = Caudal de diseño (L/s)

$Q_M$  = Caudal medio (L/s)

F = Factor de mayoración

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

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

$$Q_D = (3,22L/s * 2,92) + (6,15 + 1,55)L/s$$

$$Q_D = 17,10L/s$$

Para los cálculos el caudal de diseño se expresa en:

$$Q_D = 17,10L/s = 1477,44 m^3/día = 0,0171 m^3/s$$

## **3.2 Sistema de Tratamiento**

### **3.2.1 PreTratamiento**

#### **3.2.1.1 Cálculos para el Canal de Entrada Rectangular**

El área mojada se calcula a través del caudal utilizado para el diseño mediante la Ec. 8-1:

$$AT = \frac{Q_D}{v}$$

Dónde:

$Q_D$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$v$  = Velocidad de aproximación del agua ( $m/s$ )

$$AT = \frac{0,0171 \text{ m}^3/s}{0,6 \text{ m/s}}$$

$$AT = 0,0285 \text{ m}^2$$

Con el valor del área transversal se calcula la altura del agua ( $h$ ) en el canal, mediante la Ec. 9-1. Con un valor para el ancho del canal ( $w$ ) de 0,5 m tomado de la Tabla 2-1.

$$h = \frac{AT}{w}$$

Dónde:

$AT$  = Área transversal ( $m^2$ )

$w$  = Ancho del canal ( $m$ )

$$h = \frac{0,0285 \text{ m}^2}{0,50 \text{ m}}$$

$$h = 0,057 \text{ m}$$

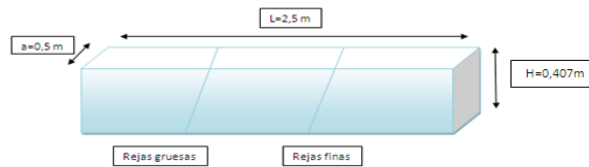
La altura total del canal de entrada se va a obtener mediante la Ec. 10-1, tomando el dato de la altura de seguridad ( $h_s$ ) de 0,35 m de la Tabla 2-1.

$$H = h + h_s$$

$$H = 0,057 + 0,35$$

$$H = 0,407 \text{ m}$$

La longitud del canal de entrada tendrá la medida de 2,5m utilizando el valor de la Tabla 2-1.



**Figura 1-3. Diseño del canal de entrada**

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.2.1.2 Cálculo para el diseño de Rejillas

Las rejillas que se emplearán tendrán un ángulo de inclinación de 45°, serán de tipo limpieza manual que deberán ser limpiadas de manera constante. El diseño contendrá rejillas gruesas y finas.

#### 3.2.1.2.1 Rejillas Gruesas

La longitud de las barras, se calcula a través de la Ec. 11-1, considerando que el ángulo con respecto a la horizontal será 45°.

$$y = \frac{H}{\text{sen } 45}$$

$$y = \frac{0,407}{\text{sen } 45}$$

$$y = 0,575 \text{ m}$$

Para el cálculo de x se utiliza la Ecuación 12-1:

$$x = \cos 45 * H$$

$$x = \cos 45 * 0,407$$

$$x = 0,287 \text{ m}$$

De acuerdo a la Tabla 3-1 utilizamos un espesor (e) de 10mm y una separación entre barras de 30mm (s), y calculamos el número de rejillas gruesas con la Ecuación 13-1:

$$N = \frac{w}{e + s}$$

Dónde:

N= Número de rejillas

e= Espesor de las rejillas

s= Separación de las barras

$$N = \frac{0,50}{0,01 + 0,030}$$

$$N = 13$$

Para el diseño será 13 rejillas.

Para obtener el valor de las pérdidas de carga se utiliza la Ecuación 14-1, con el valor del coeficiente de pérdidas ( $\beta$ ) de 1,79 tomado de la tabla 4-1, ya que para el diseño utilizaremos la varilla en forma de G de acuerdo a la Figura 10-1.

$$Hf = \beta \left(\frac{e}{s}\right)^{1/4} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } 45$$

Dónde:

Hf= Perdidas de carga (m)

e= Espesor de la barra (m)

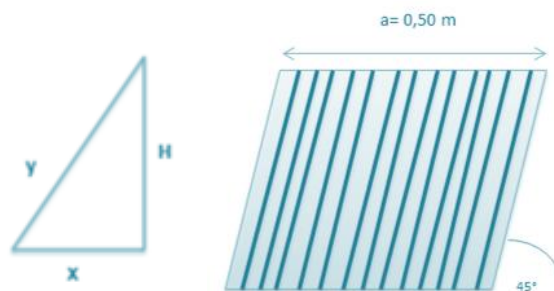
s= Separación entre barras (m)

v= Velocidad de aproximación del agua (m/s)

g= Gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$$H_f = 1,79 \left( \frac{0,01}{0,030} \right)^{1/4} * \frac{0,6^2}{2(9,8)} * \text{sen } 45$$

$$H_f = 0,017 \text{ m}$$



**Figura 2-3. Diseño de las rejillas gruesas**

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.2.1.2.2 Rejillas Finas

Para calcular el número de rejillas finas, se toma los valores de la Tabla 3-1, espesor (e) de 6mm y de separación de barras (s) de 12mm, mediante la Ec. 13-1:

$$N = \frac{w}{e + s}$$

$$N = \frac{0,5}{0,006 + 0,012}$$

$$N = 28$$

Para el diseño se utilizará 28 rejillas finas.



Para el cálculo de las pérdidas de carga utilizamos la Ec. 14-1, con el valor del coeficiente de pérdidas ( $\beta$ ) de 1,79 tomado de la tabla 4-1, dado que para el diseño se utilizará la varilla en forma de G con respecto a la Figura 10-1.

$$Hf = \beta \left(\frac{e}{s}\right)^{1/4} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } 45$$

Dónde:

$Hf$ = Perdidas de carga (m)

$e$ = Espesor de la barra (m)

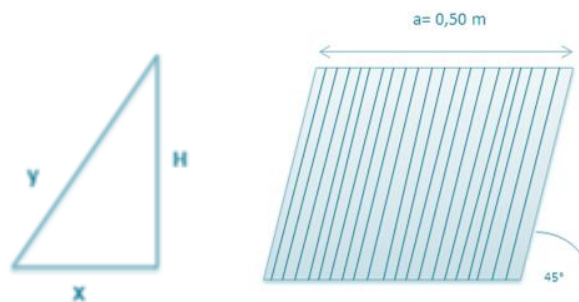
$s$ = Separación entre barras (m)

$v$ = Velocidad de aproximación del agua (m/s)

$g$ = Gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$$Hf = 1,79 \left(\frac{0,006}{0,012}\right)^{1/4} * \frac{0,6^2}{2(9,8)} * \text{sen } 45$$

$$Hf = 0,019 \text{ m}$$



**Figura 3-3. Implementación de las rejillas finas**

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.2.2 Tratamiento Primario

#### 3.2.2.1 Tanque Imhoff

Área superficial de la cámara de sedimentación ( $A_s$ ):

Se calcula con un valor de la carga superficial ( $C_s$ ) de  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$  adoptado de la Tabla 5-1 mediante la Ec. 15-1.

$$A_s = \frac{Q_D}{C_s}$$

Dónde:

$A_s$  = Área superficial ( $\text{m}^2$ )

$Q_D$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$C_s$  = Carga superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ )

$$A_s = \frac{1477,44 \text{ m}^3/\text{día}}{30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}}$$

$$A_s = 49,25 \text{ m}^2$$

Volumen de la cámara de sedimentación ( $V_s$ ):

Para calcular se utiliza la Ec. 16-1 con un tiempo de retención de 3 horas tomado de la Tabla 5-1:

$$V_s = Q_D * Tr$$

Dónde:

$V_s$  = Volumen de la cámara de sedimentación ( $\text{m}^3$ )

$Q_D$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$Tr$  = Tiempo de retención hidráulica (h)

$$V_s = (1477,44\text{m}^3/\text{día}) * 0,125 \text{ día}$$

$$V_s = 184,68 \text{ m}^3$$

Longitud del tanque (L):

Se emplea la Ecuación 17-1 y se asume el valor del ancho del sedimentador b de 4 m.

$$L = \frac{A_s}{b}$$

Dónde:

L = Longitud del tanque (m)

$A_s$  = Área superficial ( $\text{m}^2$ )

b = Ancho del sedimentador (m)

$$L = \frac{49,25 \text{ m}^2}{4 \text{ m}}$$

$$L = 12,31 \text{ m}$$

Área de sección transversal ( $A_t$ ):

Se obtiene su valor con la aplicación de la Ecuación 18-1.

$$A_t = \frac{V_s}{L}$$

Dónde:

$A_t$  = Área de sección transversal ( $\text{m}^2$ )

$V_s$  = Volumen de la cámara de sedimentación ( $\text{m}^3$ )

L = Longitud del tanque (m)

$$A_t = \frac{184,68 \text{ m}^3}{12,31 \text{ m}}$$

$$A_t = 15 \text{ m}^2$$

Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (d):

Para calcular se utiliza la Ecuación 23-1.

$$d = \tan \alpha * b/2$$

Dónde:

$d$  = Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)

$\alpha = 60^\circ$

$$d = \tan 60 * 4/2$$

$$d = 3,46 \text{ m}$$

Altura de la cámara de sedimentación (c):

Se obtiene su valor a partir de la Ecuación 25-1:

$$c = \frac{A_t - \frac{b*d}{2}}{b}$$

Dónde:

$c$  = Altura de la cámara de sedimentación (m)

$A_t$  = Área de sección transversal ( $m^2$ )

$b$  = Ancho del sedimentador (m)

$d$  = Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)

$$c = \frac{15m^2 - \frac{(4*3,46)m}{2}}{4m}$$

$$c = 2,02 \text{ m}$$

Volumen del digestor (Vd):

Se calcula mediante la Ecuación 26-1, con el valor de factor de capacidad relativa tomado de la Tabla 5-1:

$$Vd = \frac{70 * Pf * fcr}{1000}$$

Dónde:

Vd = Volumen del digestor ( $m^3$ )

Pf = Población futura (hab)

fer = Factor de capacidad relativa

$$Vd = \frac{70 * 3311 * 1}{1000}$$

$$Vd = 231,77 \text{ m}^3$$

Ancho total de la cámara de digestión (h):

Se calcula mediante la Ecuación 27-1 y se toma el valor del ancho de la zona de ventilación de gases de la Tabla 5-1:

$$h = b + 2a$$

Dónde:

h = Ancho total de la cámara de digestión (m)

b = Ancho del sedimentador (m)

a = Ancho de la zona de ventilación de gases (m)

$$h = 4m + 2(0,50m)$$

$$h = 5 \text{ m}$$

Altura de la base triangular de la cámara de digestión (g):

Esta altura es donde se da la acumulación de lodos y se calcula con la Ecuación 31-1:

$$g = \frac{h}{2} \text{tg } 30$$

Dónde:

g = Zona de acumulación de lodos (m)

h = Ancho total de la cámara de digestión (m)

$$g = \frac{5m}{2} \text{tg } 30$$

$$g = 1,44 \text{ m}$$

Altura de la cámara del digestor (f):

Se calcula con la Ec. 30-1:

$$f = \frac{Vd - \frac{L*b}{3} * g}{L * b}$$

Dónde:

f = Altura de la cámara del digestor (m)

Vd = Volumen del digestor (m<sup>3</sup>)

L = Longitud del tanque (m)

b = Ancho del sedimentador (m)

g = Zona de acumulación de lodos (m)

$$f = \frac{231,77m^3 - \frac{(12,31*4)m}{3} * 1,44m}{(12,31 * 4)m}$$

$$f = 4,22 m$$

Altura total del tanque (Ht):

Se utiliza la Ecuación 32-1, con los valores del borde libre (bl) de 0,30 m y la altura de transición de 0,45m, de la Tabla 5-1:

$$Ht = c + d + E + f + g + bl$$

Dónde:

Ht = Altura total del tanque (m)

c = Altura de la cámara de sedimentación (m)

d = Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)

E = Altura de transición (m)

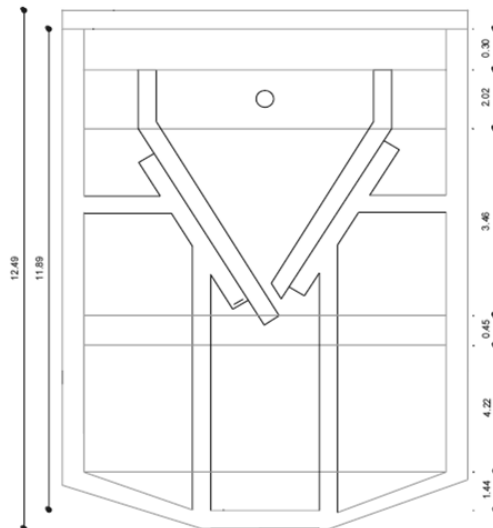
f = Altura de la cámara del digestor (m)

$g$  = Zona de acumulación de lodos (m)

$bl$  = Borde libre (m)

$$Ht = (2,02 + 3,46 + 0,45 + 4,22 + 1,44 + 0,30)m$$

$$Ht = 11,89 m$$



**Figura 4-3. Implementación del Tanque Imhoff**

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.2.2.2 Eras de Secado

Las eras de secado son utilizadas en la deshidratación de los lodos, con el fin de facilitar su manipulación y disposición final.

Cantidad de Sólidos Suspendidos (C):

A través de la Ecuación 33-1, con el valor de la contribución de sólidos de 70 g SS/hab\*día de la Tabla 6-1:

$$C = \frac{pob * cont * 1Kg}{1000g}$$

Dónde:

$C$  = Contribución de sólidos (KgSS/día)

pob = Población servida (hab)

cont = Contribución per-cápita (gSS/hab\*día)

$$C = \frac{3311hab * \frac{70gSS}{hab \cdot día} * 1Kg}{1000g}$$

$$C = 231,77KgSS/día$$

Masa de sólidos suspendidos (*Msd*):

Se utiliza la Ecuación 34-1:

$$Msd = (0,50 * 0,50 * 0,70 * C) + (0,50 * 0,30 * C)$$

Dónde:

*Msd* = Masa de sólidos suspendidos (KgSS/día)

*C* = Contribución de sólidos (KgSS/día)

$$Msd = (0,50 * 0,50 * 0,70 * 231,77) + (0,50 * 0,30 * 231,77)$$

$$Msd = 75,33KgSS/día$$

Volumen diario de lodos digeridos (*Vld*):

Se emplea la Ecuación 35-1, y se toma los datos recomendados de la densidad del lodo de 1,3Kg/L y del porcentaje del sólido en el lodo del 15% de la Tabla 6-1:

$$Vld = \frac{Msd}{\rho * (\%sólidos/100)}$$

Dónde:

*Msd* = Masa de sólidos suspendidos (KgSS/día)

$\rho$  = Densidad del lodo (Kg/L)

% sólidos = Porcentaje del sólido en el lodo



$$Vld = \frac{75,33KgSS/día}{\frac{1,3Kg}{L} * \frac{15}{100}}$$

$$Vld = 386,31L/día$$

Volumen de lodos a extraerse desde la Cámara de Digestión (*Vel*):

Se utiliza la Ecuación 36-1, y el valor de tiempo de retención se asume de 30 días de la Tabla 6-1:

$$Vel = \frac{Vld * Tr}{1000L/m^3}$$

Dónde:

*Vel* = Volumen de lodos a extraerse desde la cámara de digestión (m<sup>3</sup>)

*Vld* = Volumen diario de lodos digeridos (L/día)

*Tr* = Tiempo de retención (días)

$$Vel = \frac{\frac{386,31L}{día} * 30días}{1000L/m^3}$$

$$Vel = 11,59m^3$$

Área del Lecho de Secado (*Als*):

Mediante la Ecuación 37-1, el valor de la altura del lodo es tomado de la Tabla 6-1:

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Dónde:

*Als* = Área del lecho de secado (m<sup>2</sup>)

*Vel* = Volumen de lodos a extraerse desde la cámara de digestión (m<sup>3</sup>)

*Ha* = Altura del lodo (m)

$$Als = \frac{11,59m^3}{0,40m}$$

$$Als = 28,98 m^2$$

Longitud del Secador (L):

A partir de la Ecuación 38-1:

$$L = \frac{Als_u}{w}$$

Dónde:

L = Longitud del secador (m)

$Als_u$  = Área unitaria del lecho de secado ( $m^2$ )

w = Ancho asumido (m)

Para esto se determina el área de lecho unitaria:

$$Als_u = \frac{Als}{2}$$

$$Als_u = \frac{28,98m^2}{2}$$

$$Als_u = 14,49 m^2$$

Por tanto se calcula la longitud del secador, con un ancho asumido de 3 m (METCALF & EDDY, 2005)

$$L = \frac{14,49m^2}{3m}$$

$$L = 4,83 m$$

Falso Fondo:

Se utiliza la Ecuación 39-1:

$$x = tg 20 * \frac{w}{2}$$

Dónde:

$x$  = Altura del falso fondo (m)

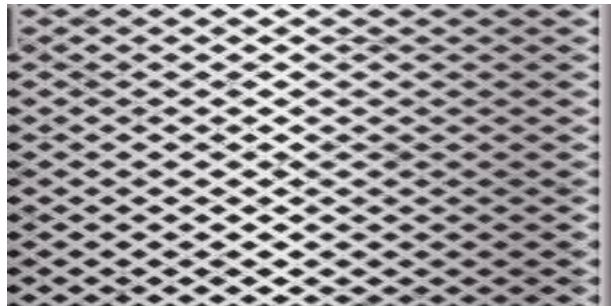
$w$  = Ancho del lecho de secado (m) (METCALF & EDDY, 2005)

$$x = \operatorname{tg} 20 * \frac{3m}{2}$$
$$x = 0,55 m$$

### 3.2.3 Tratamiento Secundario

#### 3.2.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Se diseñó un filtro anaerobio de flujo ascendente de forma cilíndrica, que contiene un falso fondo con el objetivo de impedir taponamientos. El falso fondo estará formado de malla y ángulos de hierro para soportar el medio filtrante:



**Figura 5-3. Malla a colocarse sobre el falso fondo**

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

Volumen del filtro ( $V_f$ ):

Se calcula a partir de la siguiente Ecuación 40-1:

$$V_f = Q_D * t_r$$

Dónde:

$V_f$  = Volumen del filtro ( $m^3$ )

$Q_D$ : Caudal de diseño ( $m^3/día$ )

$t_r$  = Tiempo de retención hidráulico (días)

En este caso el caudal es igual  $Q_D/4$  que indica que el tiempo de retención va a ser cada 4 horas durante las 24 horas del día.

$$Vf = \frac{Q_D}{4} * 0,166 \text{ día}$$

$$Vf = \frac{1477,44 \text{ m}^3/\text{día}}{4} * 0,166 \text{ día}$$

$$Vf = 61,31 \text{ m}^3$$

Área (A):

Se aplica la Ecuación 41-1 y el valor de la profundidad útil es de 3,30 m tomado de la Tabla 7-1:

$$A = \frac{Vf}{Hu}$$

Dónde:

A = Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

Vf = Volumen del filtro ( $\text{m}^3$ )

Hu = Profundidad útil (m)

$$A = \frac{61,31 \text{ m}^3}{3,30 \text{ m}}$$

$$A = 18,58 \text{ m}^2$$

Diámetro ( $\Theta$ ):

Se utiliza la Ecuación 42-1:

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

Dónde:

$\Theta$  = Diámetro del filtro (m)

A = Área del filtro ( $m^2$ )

$$\theta = \sqrt{\frac{4 * 18,58 m^2}{\pi}}$$

$$\theta = 4,86 m$$

Radio (r):

Se aplica la Ecuación 43-1:

$$r = \frac{\theta}{2}$$

Dónde:

r = Radio del filtro (m)

$\theta$  = Diámetro del filtro (m)

$$r = \frac{4,86 m}{2}$$

$$r = 2,43 m$$

Altura total del filtro ( $H_{Tf}$ ):

Se calcula con la Ecuación 44-1 y el valor de la profundidad útil es tomado de la Tabla 7-1:

$$H_{Tf} = H_u + 0,30$$

Dónde:

$H_{Tf}$  = Altura total del filtro (m)

$H_u$  = Profundidad útil (m)

$$H_{Tf} = 3,30m + 0,30$$

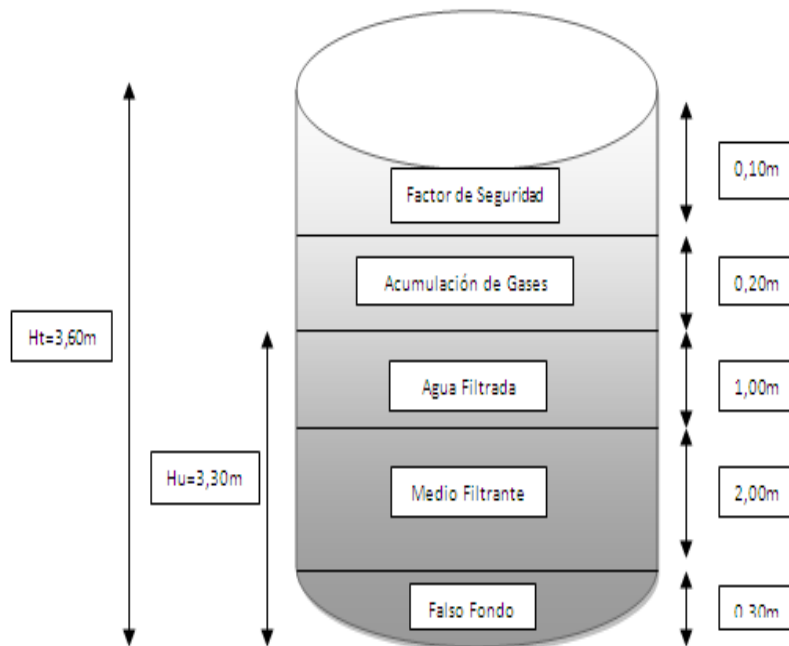
$$H_{Tf} = 3,60 m$$

Una vez determinada la altura del filtro, se fija la distribución del medio filtrante quedando así:

### **Tabla 1-3.Distribución del medio filtrante**

Medio filtrante	Dimensión
Capa de piedra gruesa (hasta 100mm)	0,60 m
Capa de piedra mediana (12 a 18mm)	0,60 m
Capa de carbón activado	0,80 m

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016



**Figura 6-3. Implementación del FAFA**

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.3 Resultados de Diseño

#### 3.3.1 Población Futura

**Tabla 2-3. Resultado de la Población.**

POBLACIÓN		
	VALOR	UNIDADES
Población del 2015 ( $P_a$ )	2648	Habitantes
Índice de Crecimiento Anual	1,5	%
®		

Período de Tiempo	15	Años
Población Futura ( $P_f$ )	3311	Habitantes

Fuente: GAD Municipal de Guamote., LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.3.2 Caudales para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

**Tabla 3-3. Caudales a tratar**

<b>CAUDALES</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Dotación de agua consumida ( $D_c$ )	120,07	L/hab.*día
Caudal Medio ( $Q_M$ )	3,22	L/s
Factor de Mayoración ( $F$ )	2,92	
Caudal de Infiltración ( $Q_{INF}$ )	6,15	L/s
Caudal de conexiones erradas ( $Q_{CE}$ )	1,55	L/s
Caudal de diseño ( $Q_D$ )	17,10	L/s

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.3.3 Canal de Entrada

**Tabla 4-3. Dimensiones del Canal de Entrada**

<b>CANAL DE ENTRADA RECTANGULAR</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal a tratar ( $Q_D$ )	0,0171	m <sup>3</sup> /s
Unidades	1	
Ancho del canal ( $w$ )	0,50	m
Longitud del canal ( $L$ )	2,5	m
Altura del canal ( $H$ )	0.407	m

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.3.4 Implementación del sistema de rejillas

**Tabla 5-3. Dimensiones de las rejillas gruesas**

<b>REJILLAS GRUESAS</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Angulo de inclinación con respecto a la horizontal	45°	
Longitud de las barras	0,575	m
Separación horizontal entre la varilla y la altura del canal	0,287	m
Espesor de las varillas ( <i>e</i> )	0,01	m
Separación entre barras ( <i>s</i> )	0,030	m
Número de barras ( <i>n</i> )	13	

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

**Tabla 6-3. Dimensiones de las rejillas finas**

<b>REJILLAS FINAS</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Angulo de inclinación con respecto a la horizontal	45°	
Longitud de las barras	0,575	m
Separación horizontal entre la varilla y la altura del canal	0,287	m
Espesor de las varillas ( <i>e</i> )	0,006	m
Separación entre barras ( <i>s</i> )	0,012	m
Número de barras ( <i>n</i> )	28	

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.3.5 Implementación del Tanque Imhoff

**Tabla 7-3. Dimensiones para el Tanque Imhoff**

<b>TANQUE IMHOFF</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal a tratar ( $Q_D$ )	1477,44	m <sup>3</sup> /día
Altura de la cámara de sedimentación ( <i>c</i> )	2,02	m



Volumen de la cámara de sedimentación ( $V_s$ )	184,68	m <sup>3</sup>
Altura de la cámara del digestor ( $f$ )	4,22	m
Volumen de la cámara del digestor ( $V_d$ )	231,77	m <sup>3</sup>
Altura del fondo de la cámara de sedimentación ( $d$ )	3,46	m
Altura de transición ( $E$ )	0,45	m
Altura de depósito de lodos ( $g$ )	1,44	m
Ancho de la zona de ventilación de gases ( $a$ )	0,50	m
Borde libre ( $bl$ )	0,3	m
Altura total del tanque ( $H_t$ )	11,89	m

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.3.6 Implementación de las Eras de Secado

**Tabla 8-3. Dimensiones para las Eras de Secado**

<b>ERAS DE SECADO</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Volumen diario de lodos digeridos ( $V_{ld}$ )	386,31	L lodos/día
Volumen de lodos a extraerse desde la cámara de digestión ( $V_{el}$ )	11,59	m <sup>3</sup>
Área del lecho de secado ( $A_{ls}$ )	28,98	m <sup>2</sup>
Longitud del secador ( $L$ )	4,83	m

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.3.7 Implementación del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

**Tabla 9-3. Dimensiones para el filtro anaerobio de flujo ascendente**

<b>FAFA</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Volumen del filtro ( $V_f$ )	52,78	m <sup>3</sup>
Diámetro ( $\theta$ )	4,86	m
Altura total del filtro ( $H_{Tf}$ )	3,60	m
Altura de falso fondo	0,30	m

Altura de seguridad	0,10	m
Capa de piedra gruesa	0,60	m
Capa de piedra mediana	0,60	m
Capa de carbón activado	0,80	m

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.4 COSTOS

#### 3.4.1 Canal de Entrada y Sistema de Rejillas

Tabla 10-3. Costos para la construcción del canal de entrada y sistema de rejillas

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Limpieza del terreno	m2	2,90	3,19	9,25
2	Excavación a mano sin clasificar	m3	1,89	3,46	6,52
3	Desalojo de material	m3	2,27	3,67	8,33
4	Replanteo y nivelación	m2	2,90	0,9	2,61
5	Hormigón Simple f'c= 210 hg/cm2 (inc. encofrado)	m3	1,08	112,2	121,13
6	Rejillas finas y gruesas(0.35*0.50)	u	2,00	60	120,00
7	Malla electro soldada 6mm15x15 cm	m2	5,40	6,8	36,71
<b>TOTAL</b>					<b>\$304,55</b>

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

#### 3.4.2 Tanque de Sedimentación Imhoff

Tabla 11-3. Costos para la construcción del Tanque Imhoff

RUBR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
<b>0</b>					
1	Limpieza del terreno	m2	78,75	3,19	251,22
2	Excavación a maquina	m3	432,45	2,9	1254,11
3	Desalojo de material	m3	86,49	3,67	317,42
4	Replanteo y nivelación	m2	78,75	0,9	70,88
5	Hormigón Simple f'c= 210 hg/cm2 (inc	m3	72,40	112,2	8123,28

	encofrado)				
6	Malla electro soldada 6mm15x15 cm	m2	253,40	6,8	1723,12
7	Tapa de Inspección Tool 1,20x1,20 m	U	2,00	60	120,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$11860,03</b>

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.4.3 Eras de Secado

Tabla 12-3. Costos para la construcción de las Eras de Secado

RUBR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
<b>0</b>					
1	Limpieza del terreno	m2	32,96	3,19	105,14
2	Excavación a maquina	m3	44,50	2,9	129,04
3	Desalojo de material	m3	53,40	3,67	195,96
4	Replanteo y nivelación	m2	32,96	0,9	29,66
5	Hormigón Simple f'c= 210 hg/cm2 (inc encofrado)	m3	4,86	112,2	545,09
6	Malla electro soldada 6mm15x15 cm	m2	24,29	6,8	165,18
7	Cerramiento malla galvanizada 50/10 h=2m	M	80,00	48,3	3864,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$5034,07</b>

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.4.4 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Tabla 13-3. Costos para la construcción del FAFA

RUBR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
<b>0</b>					
1	Limpieza del terreno	m2	25,01	3,19	79,78
2	Excavación a maquina	m3	97,42	2,9	282,51
3	Desalojo de material	m3	127,43	3,67	467,66
4	Replanteo y nivelación	m2	25,01	0,9	22,51

5	Hormigón Simple f'c= 210 hg/cm2 (inc encofrado)	m3	29,96	112,2	3361,51
6	Malla electro soldada 6mm15x15 cm	m2	109,67	6,8	745,76
7	Tapa de Inspección Tool 1,20x1,20 m	u	1,00	60	60,00
8	Prov. Inst. de Tubería de PVC=110mm	u	1,00	9,9	9,90
9	Prov. Inst. de Codo de PVC D= 110mmx90°	u	1,00	10	10,00
10	Prov. Inst. de la capa de carbón activado	kg	1069,00	2,1	2244,90
11	Piedra gruesa de 10 a 12 cm	m3	14,26	23,9	340,72
12	Piedra media de 18 mm	m3	14,26	23,9	340,72
<b>TOTAL</b>					<b>\$7965,97</b>

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

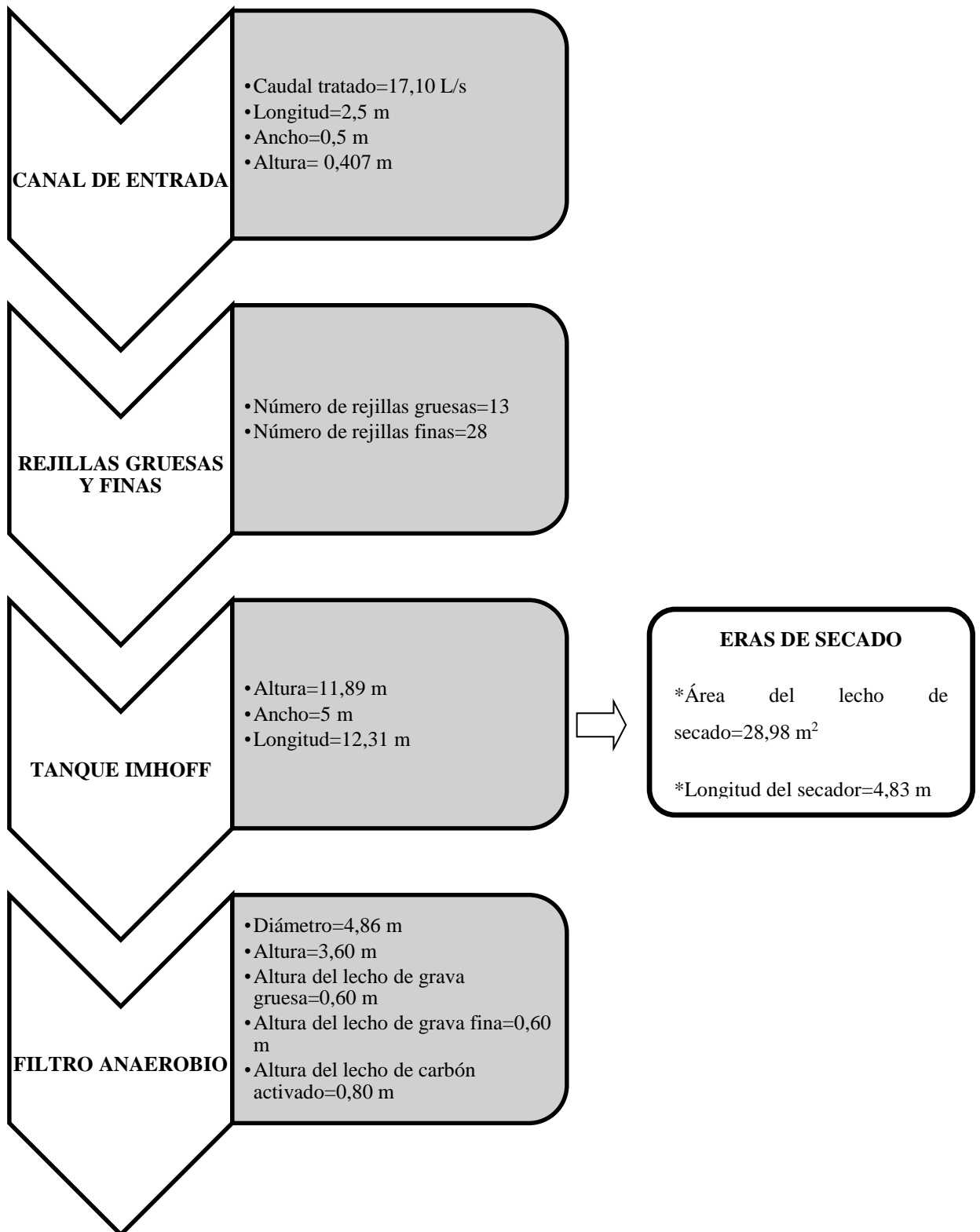
### 3.4.5 Costo Total para el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la parroquia Matriz Guamote

Tabla 14-3. Costo total para el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la parroquia Matriz Guamote

PROCESO	PRECIO(\$)
Canal de entrada y rejillas	304,55
Tanque de sedimentación Imhoff	11860,03
Eras de Secado	5034,07
Filtro anaerobio de flujo ascendente	7965,97
Mantenimiento	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>25214,62</b>

Realizado por: LOGROÑO, Andreina, 2016

### 3.5 PROPUESTA



### 3.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A través del trabajo de investigación plasmado en el tratamiento de aguas residuales domésticas generadas por los habitantes de la Parroquia Matriz Guamote, del Cantón Guamote, de la Provincia de Chimborazo, se ha llegado a obtener un agua residual doméstica tratada que avala su reutilización.

El muestreo del agua residual se realizó de tipo compuesto es decir tres veces al día en un intervalo de seis horas (07:00, 13:00 y 19:00).

Luego de realizar la caracterización química, física y microbiológica de las muestras, se tomó los valores para ser comparados con la Tabla 10 del TULSMA, descarga a un cuerpo de agua dulce, observando que hay cinco parámetros que se encuentran fuera del límite máximo permisible y son: DQO 596,66 mg/L (Límite: 200mg/L), DBO 448 mg/L (Límite: 100mg/L), Coliformes Fecales  $141 \times 10^5$  (Límite: Remoción >al 99.9%), Sulfuros 71,4 mg/L (Límite 0,5mg/L) y Nitrógeno Total 23,1 mg/L (Límite: 15mg/L), ver Tabla 4-2.

Al efectuar diferentes pruebas de tratabilidad en el Laboratorio, se estableció que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la parroquia Matriz contará como pre-tratamiento: un canal de entrada, rejillas gruesas y finas; para el tratamiento primario tendrá un tanque imhoff dispuesto de dos eras de secado, y como tratamiento secundario un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

Estos tratamientos permitieron que los parámetros se encuentren ya dentro de los límites permisibles de la Tabla 10 del TULSMA, descarga a un cuerpo de agua dulce, teniendo resultados como: DQO 140 mg/L (Límite: 200mg/L), DBO 98 mg/L (Límite: 100mg/L), Coliformes Fecales 1mg/L (Límite: Remoción >al 99.9%), Sulfuros 0,063 mg/L (Límite 0,5mg/L) y Nitrógeno Total 4,16 mg/L (Límite: 15mg/L), ver Tabla 10-2, y así se cumple con los objetivos planeados inicialmente.

## CONCLUSIONES

- La planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para la parroquia Matriz Guamote contiene tres procesos de tratamiento, procurando minimizar la contaminación de la descarga en un 88%, se ha diseñado con una proyección de 15 años.
- Al efectuar la caracterización física, química y microbiológica del agua residual doméstica que descarga la parroquia, los resultados fueron: pH 7,78; Temperatura 18,2°C; DQO 596,66 mg/L; DBO 448 mg/L; Sólidos Sedimentables 1 mL/L; Sólidos Suspendidos 89,73 mg/L; Nitrógeno Total 23,1 mg/L; Sólidos Totales 770,66 mg/L; Sulfatos 74,66 mg/L; Sulfuros 71,4 mg/L; Coliformes Fecales 141x10<sup>5</sup>UFC/100ml, los cuales fueron comparados con los límites permisibles de descarga del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.
- Luego de obtener los resultados de la caracterización, se fijó que el agua residual doméstica de la parroquia, contiene niveles elevados de materia orgánica y microbiológica, los parámetros ensayados se encuentran fuera de los límites máximos permisibles y son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sulfuros, Nitrógeno Total y Coliformes Fecales; los mismos que generan la contaminación del Río Guamote.
- De acuerdo a las pruebas que se ejecutaron, se establece el diseño para el tratamiento de las aguas residuales domésticas que contiene distintos procesos: construcción de un canal de entrada, diseño de las rejillas gruesas y finas, un tanque de sedimentación Imhoff y un filtro anaerobio de flujo ascendente; con el objeto de que el agua tratada sea reutilizada para el regadío de cultivos.
- Al utilizar la planta piloto que se desarrolló en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias en la ESPOCH se realiza el proceso para el tratamiento de las aguas residuales domésticas para la parroquia Matriz Guamote consiguiendo la validación del diseño con la caracterización física, química y microbiológica se obtuvieron los siguientes valores: DQO 140 mg/L, DBO 98 mg/L, Sulfuros 0,063 mg/L, Nitrógeno Total 4,16 mg/L y Coliformes Fecales 500 UFC/100ml, los mismos que ya se encuentran dentro de los límites permisibles de descarga del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.

## RECOMENDACIONES

- Ejecutar la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la parroquia Matriz Guamote ya que la carga contaminante que se descarga en forma directa al Río Guamote está perjudicando a los cultivos cercanos.
- Realizar un análisis de impacto ambiental para conocer qué medio físico o biótico se verá afectado con la construcción de la planta de tratamiento, y así de esta manera establecer las debidas precauciones de construcción y de protección del ambiente.
- Respecto al mantenimiento de las rejillas de limpieza manual deben limpiarse cada que se observe una acumulación de sólidos grandes que impiden el paso del agua hacia la planta, la materia sólida que es limpiada colocar en un lugar adecuado como en un botadero de basura.
- Los lodos que son extraídos en la mayoría son de composición orgánica, deberían darse una correcta disposición como abono para las tierras fértiles de la Parroquia.
- Efectuar análisis físico - químicos y microbiológicos frecuentes al agua tratada para constatar que el tratamiento y la minimización de contaminantes están cumpliendo con lo fijado en la investigación.
- Se recomienda realizar el lavado del filtro a través de un sistema en contracorriente es decir el agua entra a presión por la parte superior del filtro y el agua de lavado se recogerá por la parte inferior.



## **BIBLIOGRAFÍA**

**ALLENDE, A.** *Manual de Tratamiento de Aguas Residuales*. 2a ed. La Habana – Cuba: Echeverría, 1994, pp. 246.

**AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION.** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22a. ed. Washington D.C. USA: 2012, pp. 48-50.

**COLOMBIA., MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUAS POTABLES Y SANEAMIENTO BÁSICO.** *Reglamento técnico del sector de aguas potables y saneamiento básico*. RAS2000: Bogotá- Colombia: 2000, pp. 45-56.

**CRITES, Ron & TCHOBANOGLOUS, George.** *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Bogotá-Colombia: 2001, pp. 7, 8, 10; 680-681.

**ECUADOR., INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. INEC.** *Índice de crecimiento poblacional en la provincia de Chimborazo* [Consulta: 2015-08-08] Disponible en: <http://www.inec.gob.ec/>

**ECUADOR., MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI, Anexo 1*. [Consulta: 2015-10-11] Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/>

**FAIR, Gordon. & otros.** *Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales*. México D.F.-México: 1988, pp. 134-140.

**HAMMEKEN., A., & ROMERO., G.** *Análisis y Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Municipio de San Andrés Cholupa*. [En línea] (Tesis pregrado) Universidad de las Américas. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. Puebla-México: 2005, pp. 34-37. [Consulta: 2015-10-19] Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/portada.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/portada.html).

**METCALF., & EDDY.** *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. 3a ed. Madrid-España: 2005, pp. 95-102; 555-557.

**RAMALHO., R.** *Tratamiento de Aguas Residuales.* 2a ed. Sevilla-España: Reveté S.A, 2003. pp.78.

**RAMIREZ, C.** *Calidad de Agua: Evaluación y Diagnostico.* 2a ed. Medellín-Colombia:Editorial Medellín, 2011, pp. 27-69.

**ROJAS, J.** *Calidad del Agua.* 3a ed. Medellín-Colombia:Escuela Colombiana de Ingenieros, 2002, pp. 108-144.

**ROMERO., J.,** *Tratamiento de Aguas Residuales.* 3 a ed. Bogotá – Colombia: Alfaomega, 2002, pp. 67 – 71; 74 , 223, 706 ,707.

## ANEXOS

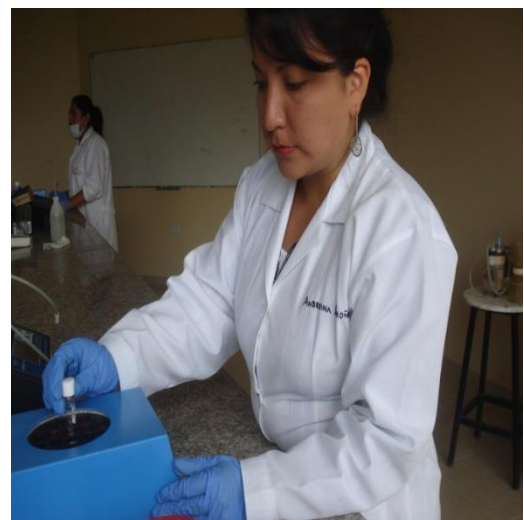
### Anexo A. Medición de Caudal



## Anexo B. Toma de Muestras



## Anexo C. Pruebas Físico-Químicas en el Laboratorio de Análisis Técnicos



## Anexo D. Resultados de Laboratorio del Agua Residual Doméstica

### ESPOCH

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Andreina Logroño C

Fecha de Análisis: 30 de septiembre del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 02 de diciembre del 2015

Tipo de Muestras: Agua Residual Doméstica

Localidad: Parroquia Matriz Guamote. Cantón Guamote

#### TRABAJO DE TITULACIÓN

Código LAT/058-15

#### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.78
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		1260
Turbiedad	UNT	2130-B		113.9
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	596.66
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	448
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	1
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-C	220	89.73
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1600	770.66
Sulfatos	mg/L	DR 2800	1000	74.66
Sulfuros	mg/L	4500-B	0.5	71.4
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	Membranas Filtrantes	10000	141*10 <sup>5</sup>

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed

\*\*TULSMA TABLA 10. 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



## Anexo E. Resultados de Laboratorio del Agua Tratada



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 113 – 15

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Srta. Andreína Logroño **INFORME Nº:** 113 – 15  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 113 – 15  
**DIRECCIÓN:** Cdla. Maestros de Chimborazo  
**TELÉFONO:** 2317371 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 26– 11– 15  
**FECHA DE INFORME:** 01 – 12 – 15

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua Residual Doméstica Tratada, Guamote **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 319 -15 Parroquia Matriz, Guamote Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS


MA – 319-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	102	N/A	26– 11– 15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	140	+/- 10 %	26– 11– 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	3900	N/A	26– 11– 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.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO 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.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.



## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 123 – 15

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Srta. Andreina Logroño **INFORME Nº:** 123 – 15  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 123 – 15  
**DIRECCIÓN:** Cdla. Maestros de Chimborazo  
**TELÉFONO:** 2317371 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 15– 12– 15  
**FECHA DE INFORME:** 18 – 12 – 15

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua Residual Doméstica Tratada, Guamote **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 340 -15 Parroquia Matriz, Guamote Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 340-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	148	N/A	15– 12– 15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	176	+/- 10 %	15– 12– 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	500	N/A	15– 12– 15
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	4,16	N/A	15– 12– 15
* Sulfuros de Hidrógeno	mg/l	STANDARD METHODS 4500 S F	0,48	N/A	15– 12– 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:

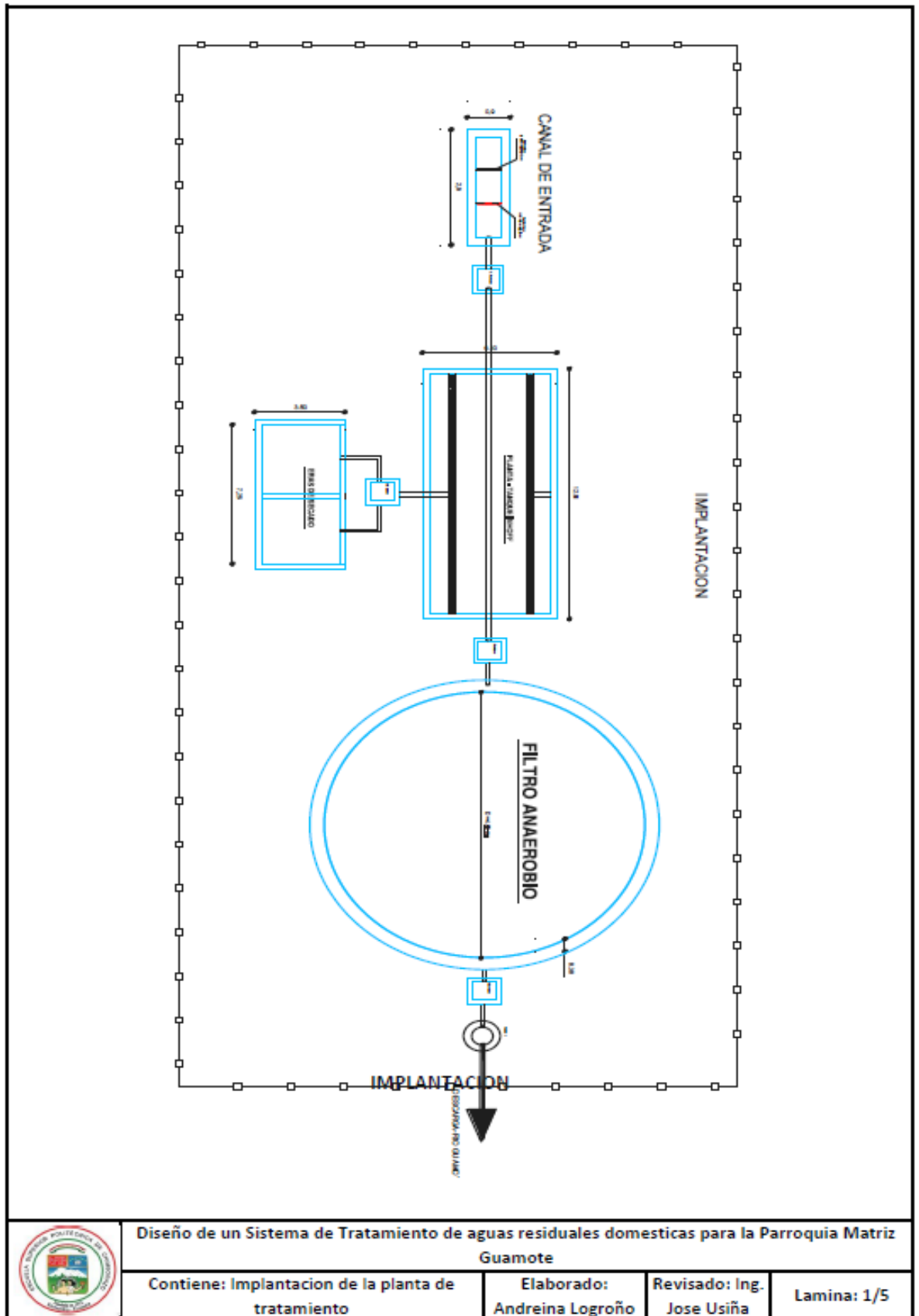
Dr. Juan Carlos Lara R.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO 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.



**Anexo F. Plano del Diseño de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas  
para la Parroquia Matriz Guamote**



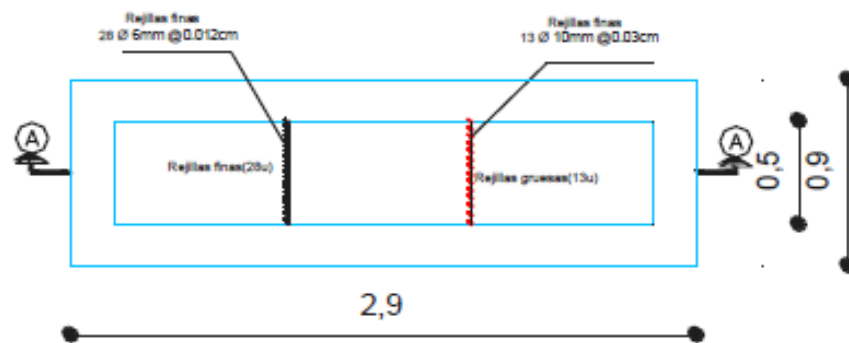
**Diseño de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales domesticas para la Parroquia Matriz  
Guamote**

Contiene: Implantacion de la planta de tratamiento	Elaborado: Andreina Logroño	Revisado: Ing. Jose Usiña	Lamina: 1/5
--	-----------------------------	---------------------------	-------------

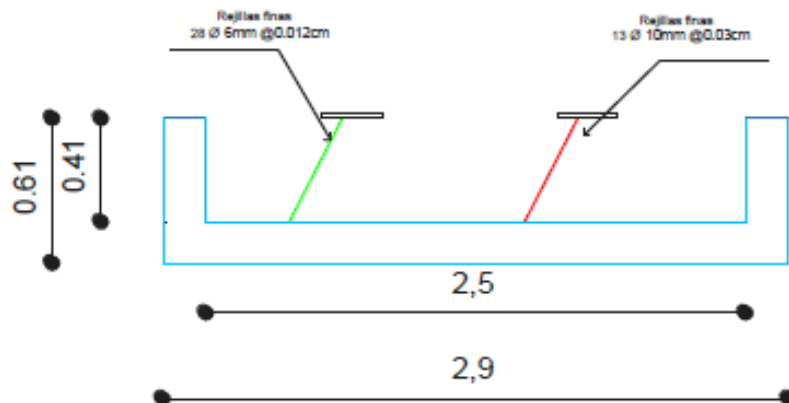
Anexo G. Implantación para el Canal de Entrada y Sistemas de rejillas

# CANAL DE ENTRADA

Planta:



Corte A-A:



Diseño de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales domesticas para la Parroquia Matriz Guamote

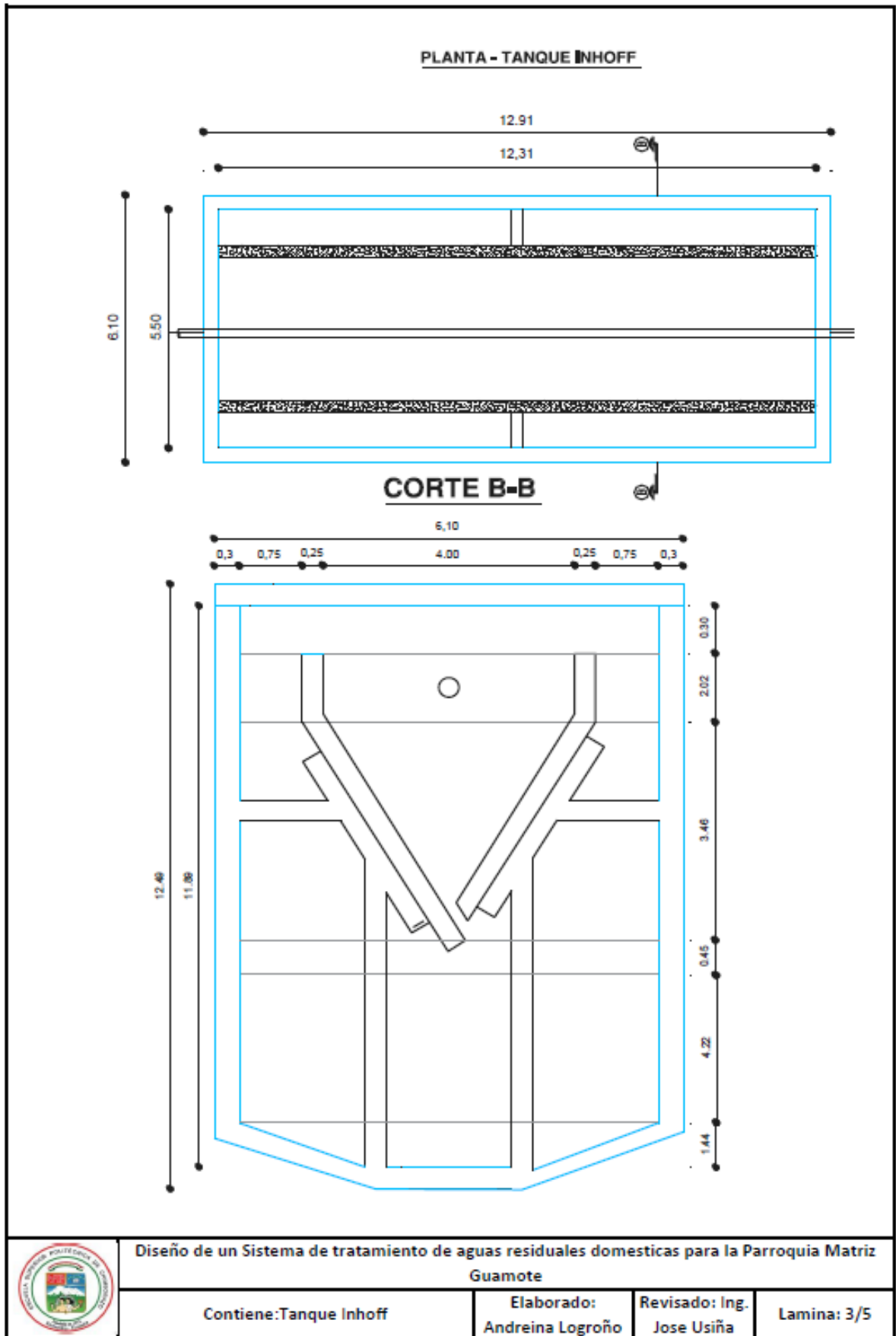
Contiene: Canal de entrada

Elaborado:  
Andreina Logroño

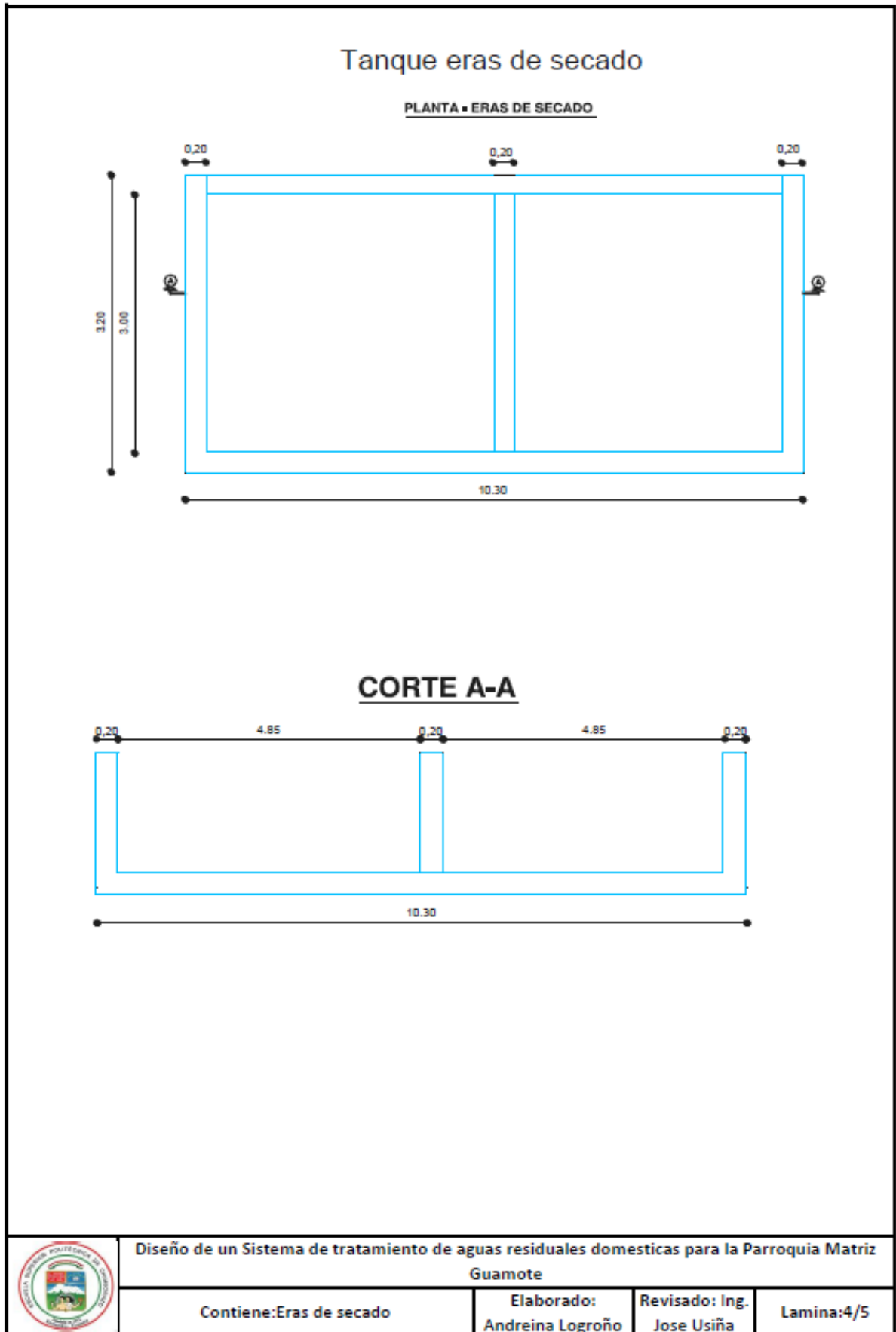
Revisado: Ing.  
Jose Usiña

Lamina: 2/5

## Anexo H. Implantación del Tanque de Sedimentación Imhoff



## Anexo I. Implantación de las eras de secado



**Anexo J. Implantación del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)**

