



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA MEDIANTE  
EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES GENERADAS POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE CHIMBORAZO CAMPUS EDISON RIERA PARA EL  
REGADÍO DE ÁREAS VERDES Y DESCARGAS DE BATERÍAS  
SANITARIAS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORAS: ASTUDILLO URQUIZO VALERIA ESTEFANÍA**

**HERRERA MORALES GREYS CAROLINA**

**TUTOR: DR. GERARDO LEÓN**

Riobamba-Ecuador

2017

**©2017, Astudillo Urquiza Valeria Estefanía, Herrera Morales Greys Carolina**

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 CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal del trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA MEDIANTE EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO CAMPUS EDISON RIERA PARA EL REGADÍO DE ÁREAS VERDES Y DESCARGAS DE BATERÍAS SANITARIAS”, de responsabilidad de las señoritas Astudillo Urquizo Valeria Estefanía y Herrera Morales Greys Carolina, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**Dr. Gerardo León**

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

**Ing. Miguel Santillán**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Nosotras, Astudillo Urquizo Valeria Estefanía y Herrera Morales Greys Carolina somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Astudillo Urquizo Valeria Estefanía**

**Herrera Morales Greys Carolina**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto principalmente a Dios por haberme dado la vida y poder llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional. A mi madre por su apoyo en todo momento sin importar el sacrificio. A mi padre porque siempre estuvo dispuesto a ayudarme a superar todas las dificultades y obstáculos que se presentaron en mi carrera. A mis hermanos que estuvieron pendientes de mi desenvolvimiento estudiantil. A mi compañera y amiga Greycita que ha compartido conmigo el proyecto.

**Valeria Estefanía**

Dedico a mis padres Narcisa M. y Miguel H. por su apoyo y motivación permanente en el desarrollo de este proyecto hasta mi culminación, además por su paciencia y cariño estoy eternamente agradecida. A mi compañera y Amiga Vale con quien pude compartir momentos de trabajo y alegría en el proyecto. A mis hermanos por ser mi felicidad, fuerza y lucha interminable. A mi compañero de vida Julio O. agradezco por sus consejos, confianza y apoyo que siempre lo llevaré presente.

**Greys Carolina**

## **AGRADECIMIENTO**

Una de las cualidades más importantes del ser humano es la GRATITUD. Agradezco en primer lugar a Dios que me ha permitido hacer realidad un sueño. Mi agradecimiento especial a la ESPOCH que me dio la oportunidad de obtener los conocimientos necesarios para desenvolverme como una buena profesional y poner en alto su prestigio.

A mis padres y hermanos que con su apoyo, paciencia y dedicación estuvieron prestos para apoyarme en todo momento hasta culminar mi carrera.

**Valeria Estefanía**

Agradezco a la vida que me ha permitido superar los obstáculos que se han presentado en mi vida estudiantil. A la ESPOCH porque en sus aulas adquirí los conocimientos que me van a permitir ser una excelente profesional.

A mis padres, hermanos, a mis abuelitos y a toda mi familia que estuvieron pendientes de mi para apoyarme hasta ver realizado mi sueño.

**Greys Carolina**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	xviii
SUMARY .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3
OBJETIVOS .....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Agua Residual.....	5
1.1.1 Generalidades .....	5
1.1.2 Tipos de aguas residuales.....	6
1.2 Características de las aguas residuales .....	7
1.2.1 FISICO .....	8
1.2.2 QUIMICOS .....	8
1.2.3 AGENTES BIÓTICOS .....	11
1.3 Determinación de caudales .....	11
1.3.1 Medición de caudal .....	11
1.4 Determinación del Caudal.....	12
1.4.1 Caudal de diseño:.....	12
1.4.2 Caudal medio:.....	12
1.4.3 Coeficiente de mayoración: .....	13
1.4.4 Caudal de infiltración:.....	13
1.4.5 Caudal de conexiones erradas: .....	13

1.5	Muestreo .....	14
1.5.1	Tipo de muestras .....	14
1.5.2	Tipo de envases.....	14
1.6	Dotación .....	15
1.7	Planta de tratamiento de aguas residuales .....	15
1.7.1	Rejilla .....	16
1.7.2	Trampa de grasas .....	19
1.7.3	Lodos Activados .....	20
1.7.4	Cloración .....	37
1.8	Reutilización de agua residual .....	42
1.9	Normativa Ambiental.....	42
1.9.1	Constitución Política del Ecuador 2008 (Constitución De La República Del Ecuador, 2008).....	42
1.9.2	ACUERDO MINISTERIAL 097 A, RECURSO AGUA (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015).....	45

## CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO.....	46
2.1	Diseño experimental .....	46
2.1.1	Tipo de estudio .....	46
2.1.2	Localización del proyecto .....	46
2.2	Materiales y equipos .....	47
2.3	Metodología.....	47
2.3.1	Medición del caudal.....	47
2.3.2	Muestreo del agua residual .....	47
2.3.3	Caracterización físico – química y microbiológica del agua residual.....	48
2.4	Prueba de tratabilidad de lodos activados .....	49
2.4.1	Determinación del índice volumétrico de lodos .....	49

2.4.2	Determinación de la velocidad de sedimentación .....	49
2.4.3	Determinación de oxígeno disuelto .....	50
2.5	Dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....	51
2.6	Construcción del prototipo .....	51
2.7	Verificación del cumplimiento de parámetros tratados en el prototipo .....	53
2.7.1	Funcionamiento del prototipo .....	53
2.8	Elaboración de planos .....	53

### CAPÍTULO III

3	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	54
3.1	Medición de caudales.....	54
3.2	Caracterización físico – química y microbiológica de las aguas residuales.....	55
3.3	Prueba de tratabilidad de lodos activados .....	59
3.3.1	Parámetros de control sólidos suspendidos volátiles .....	59
3.3.2	Parámetros de control sólidos suspendidos totales .....	60
3.3.3	Parámetros de control temperatura.....	61
3.3.4	Parámetros de control oxígeno disuelto .....	62
3.3.5	Índice volumétrico de lodos.....	63
3.3.6	Velocidad de sedimentación .....	64
3.3.7	Resultados de la prueba de tratabilidad de lodos activados .....	65
3.4	Propuesta para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera .....	65
3.5	Dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	66
3.5.1	Cálculo de la tasa de crecimiento.....	66
3.5.2	Determinación de la población proyectada .....	67
3.5.3	Caudal de diseño.....	68
3.5.4	Caudal medio .....	68
3.5.5	Coeficiente de mayoración.....	69

3.5.6	Caudal de infiltración.....	69
3.5.7	Caudal de conexiones erradas .....	69
3.5.8	Parámetros de diseño teóricos.....	70
3.5.9	Rejillas.....	71
3.5.10	Trampa de grasas .....	73
3.5.11	Ecualizador .....	74
3.5.12	Reactor biológico.....	75
3.5.13	Sedimentador secundario .....	81
3.5.14	Cloración .....	85
3.6	Dimensionamiento del prototipo.....	87
3.6.1	Rejillas del prototipo.....	87
3.6.2	Trampa de grasas del prototipo .....	89
3.6.3	Medición de caudales en el prototipo.....	90
3.6.4	Ecualizador prototipo.....	91
3.6.5	Reactor biológico del prototipo.....	91
3.6.6	Sedimentador secundario del prototipo .....	96
3.6.7	Cloración del prototipo .....	97
3.7	Discusión de resultados.....	98
3.7.1	Resultados de la medición del caudal.....	98
3.7.2	Resultados de la caracterización del agua .....	99
3.7.3	Resultados del dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales ...	100
3.7.4	Resultados del dimensionamiento del prototipo.....	105
3.7.5	Cloración del prototipo .....	107
3.7.6	Resultados de parámetros de control del prototipo.....	108
3.7.7	Parámetros de control oxígeno disuelto del prototipo .....	110
3.7.8	Resultados del prototipo .....	111
3.8	Resultados de la construcción del prototipo.....	113
3.9	Análisis comparativo de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales con el prototipo.....	115

3.10	Resultados del funcionamiento del prototipo .....	116
	CONCLUSIONES .....	120
	RECOMENDACIONES .....	122
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Dotaciones para edificaciones de uso específico.....	15
<b>Tabla 2-1:</b> Tipo de tratamiento de aguas residuales .....	16
<b>Tabla 3-1:</b> Factor Forma de Barras.....	17
<b>Tabla 4-1:</b> Notación Caudales m <sup>3</sup> /s .....	25
<b>Tabla 5-1:</b> Notación Materia Orgánica o DBO soluble (mg DBO/L).....	26
<b>Tabla 6-1:</b> Notación Biomasa activa (mg SSV/L) .....	26
<b>Tabla 7-1:</b> Composición química de los lodos generados en el proceso de PTAR .....	28
<b>Tabla 8-1:</b> Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios .....	33
<b>Tabla 9-2:</b> Tipos de desinfectantes con cloro .....	39
<b>Tabla 10-1:</b> Criterios para el almacenamiento de productos desinfectantes .....	40
<b>Tabla 11-1:</b> Criterio de calidad de aguas para uso agrícola en riego .....	45
<b>Tabla 12-2:</b> Materiales y equipos para medición de caudal y muestreo .....	47
<b>Tabla 13-2:</b> Métodos del análisis físico-químico y microbiológico del agua residual .....	48
<b>Tabla 14-2:</b> Materiales y equipos para la construcción del prototipo .....	52
<b>Tabla 15-3:</b> Resultado de la medición de caudales.....	54
<b>Tabla 16-3:</b> Valores de los resultados de análisis de las aguas residuales .....	56
<b>Tabla 17-3:</b> Resultados de sólidos suspendidos del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad de lodos activados.....	59
<b>Tabla 18-3:</b> Resultados de temperatura y oxígeno disuelto del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad .....	61
<b>Tabla 19-3:</b> Resultado de la prueba de sedimentación en el Cono Imhoff.....	63
<b>Tabla 20-3:</b> Resultado de la prueba de probeta para la velocidad de sedimentación de lodos ...	64

<b>Tabla 21-3:</b> Resultados de la prueba de tratabilidad de lodos activados .....	65
<b>Tabla 22-3:</b> Valores para el cálculo de la tasa de crecimiento .....	66
<b>Tabla 23-3:</b> Valores para el cálculo de la población proyectada.....	67
<b>Tabla 24-3:</b> Personal de la Universidad Nacional de Chimborazo .....	67
<b>Tabla 25-3:</b> Valores para el cálculo del caudal medio teórico .....	68
<b>Tabla 26-3:</b> Parámetros de diseño teóricos.....	70
<b>Tabla 27-3:</b> Parámetros de diseño para el dimensionamiento de rejillas .....	71
<b>Tabla 28-3:</b> Parámetros de diseño para Trampa de grasas.....	73
<b>Tabla 29-3:</b> Valores para el cálculo del ecualizador.....	74
<b>Tabla 30-3:</b> Parámetros de diseño del volumen del tanque .....	75
<b>Tabla 31-3:</b> Valores para el cálculo de diseño para la Relación F/M .....	76
<b>Tabla 32-3:</b> Valores para el cálculo de diseño para Aporte Horario de O <sub>2</sub> .....	76
<b>Tabla 33-3:</b> Parámetro de diseño de la Potencia del motor.....	78
<b>Tabla 34-3:</b> Valores para el cálculo del Caudal de Recirculación .....	79
<b>Tabla 35-3:</b> Valores para el cálculo del Índice Volumétrico de Lodo .....	79
<b>Tabla 36-3:</b> Valores para el cálculo del Caudal de Purga .....	80
<b>Tabla 37-3:</b> Valores para el cálculo del sedimentador secundario .....	81
<b>Tabla 38-3:</b> Valores para el cálculo de cloración .....	85
<b>Tabla 39-3:</b> Parámetros de diseño para el dimensionamiento de rejillas del prototipo .....	87
<b>Tabla 40-3:</b> Parámetros de diseño para Trampa de grasas del prototipo.....	89
<b>Tabla 41-3:</b> Medición de caudales en el prototipo.....	90
<b>Tabla 42-3:</b> Valores para el cálculo del tiempo de retención celular del prototipo .....	91

<b>Tabla 43-3:</b> Valores para el cálculo del tiempo de retención hidráulico del prototipo.....	92
<b>Tabla 44-3:</b> Valores para el cálculo de diseño para la Relación F/M del prototipo .....	92
<b>Tabla 45-3:</b> Valores para el cálculo de diseño para Aporte Horario de O <sub>2</sub> del prototipo .....	93
<b>Tabla 46-3:</b> Valores para el cálculo del Caudal de Recirculación del prototipo .....	95
<b>Tabla 47-3:</b> Valores para el cálculo del Caudal de Purga del prototipo .....	95
<b>Tabla 48-3:</b> Valores para el cálculo del sedimentador secundario del prototipo.....	96
<b>Tabla 49-3:</b> Valores para el cálculo de cloración del prototipo .....	97
<b>Tabla 50-3:</b> Resultado de la medición del caudal .....	99
<b>Tabla 51-3:</b> Resultado caudal de diseño .....	100
<b>Tabla 52-3:</b> Resultados de diseño del sistema de rejillas .....	100
<b>Tabla 53-3:</b> Resultados de diseño de la trampa de grasas .....	101
<b>Tabla 54-3:</b> Resultados de diseño del ecualizador.....	101
<b>Tabla 55-3:</b> Resultados de diseño del reactor biológico .....	102
<b>Tabla 56-3:</b> Resultados de diseño del sedimentador secundario.....	103
<b>Tabla 57-3:</b> Resultados de diseño de cloración .....	104
<b>Tabla 58-3:</b> Resultados de diseño del sistema de rejillas del prototipo.....	105
<b>Tabla 59-3:</b> Resultados de diseño de la trampa de grasas del prototipo.....	105
<b>Tabla 60-3:</b> Resultados del ecualizador del prototipo.....	106
<b>Tabla 61-3:</b> Resultados del reactor biológico (tanque de aireación) del prototipo.....	106
<b>Tabla 62-3:</b> Resultado del sedimentador secundario del prototipo .....	107
<b>Tabla 63-3:</b> Resultados de cloración del prototipo .....	107
<b>Tabla 64-3:</b> Resultados de sólidos suspendidos del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo .....	108

<b>Tabla 65-3:</b> Resultados de temperatura y de oxígeno disuelto del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo .....	109
<b>Tabla 66-3:</b> Resultados del prototipo .....	111
<b>Tabla 67-3:</b> Dimensiones del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	114
<b>Tabla 68-3:</b> Análisis comparativo de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales con el prototipo .....	115

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-1:</b> Descarga de aguas residuales .....	5
<b>Fotografía 2-1:</b> Características de las aguas residuales .....	7
<b>Fotografía 3-1:</b> Parámetros químicos .....	10
<b>Fotografía 4-1:</b> Diferentes Formas de las Barras.....	17
<b>Fotografía 5-1:</b> Proceso de Tratamiento de Lodos Activados con recirculación externa.....	21
<b>Fotografía 6-1:</b> Proceso de Tratamiento de Lodos Activados con recirculación interna. ....	21
<b>Fotografía 7-1:</b> Proceso biológico de las bacterias en lodos activados.....	22
<b>Fotografía 8-1:</b> Instalación de lodos activados.....	22
<b>Fotografía 9-1:</b> Principio básico del tratamiento de lodos activados con sus variables de entrada y salida. ....	25
<b>Fotografía 10-1:</b> Sedimentador Secundario Circular.....	31
<b>Fotografía 11-1:</b> Sedimentador Secundario Rectangular.....	32
<b>Fotografía 12-1:</b> Instalación típica de hipocloración.....	40
<b>Fotografía 13-2:</b> Especificaciones técnicas de la bomba de aire .....	50
<b>Fotografía 14-2:</b> Determinación de oxígeno disuelto.....	50
<b>Fotografía 15-3:</b> Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	66
<b>Fotografía 16-3:</b> Esquema del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	113

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Caudal diario promedio .....	55
<b>Gráfico 2-3:</b> Resultados de análisis de DBO <sub>5</sub> de las aguas residuales .....	57
<b>Gráfico 3-3:</b> Resultados de análisis de DQO de las aguas residuales .....	58
<b>Gráfico 4-3:</b> Resultados de análisis de coliformes fecales de las aguas residuales .....	58
<b>Gráfico 5-3:</b> Resultados de análisis de aceites y grasas de las aguas residuales .....	58
<b>Gráfico 6-3:</b> Resultados de sólidos suspendidos en la prueba de tratabilidad de lodos activados .....	59
<b>Gráfico 7-3:</b> Resultados de temperatura y de oxígeno disuelto en la prueba de tratabilidad.....	61
<b>Gráfico 8-3:</b> Resultado de la prueba de sedimentación en el Cono Imhoff.....	63
<b>Gráfico 9-3:</b> Resultado de la prueba de probeta para la velocidad de sedimentación de lodos ..	64
<b>Gráfico 10-3:</b> Resultados de la prueba de tratabilidad de lodos activados.....	65
<b>Gráfico 11-3:</b> Resultados de sólidos suspendidos el prototipo .....	108
<b>Gráfico 12-3:</b> Resultados de temperatura y de oxígeno disuelto en el prototipo.....	110
<b>Gráfico 13-3:</b> Resultados de DBO <sub>5</sub> del prototipo .....	111
<b>Gráfico 14-3:</b> Resultados de DQO del prototipo .....	112
<b>Gráfico 15-3:</b> Resultados de Coliformes Fecales del prototipo .....	112
<b>Gráfico 16-3:</b> Resultados de Aceites y Grasas del prototipo .....	113

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A.** MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO A ESCALA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**ANEXO B:** MEDICIÓN DEL CAUDAL

**ANEXO C:** TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS

**ANEXO D:** PRUEBAS DE TRATABILIDAD DE LODOS ACTIVADOS

**ANEXO E:** PRUEBAS DE OXÍGENO DISUELTO

**ANEXO F:** INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS

**ANEXO G:** VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

**ANEXO H:** CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

**ANEXO I:** COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

**ANEXO J:** COSTOS ADICIONALES DEL PROYECTO

**ANEXO K:** COSTO TOTAL DEL PROYECTO

**ANEXO L:** PLANOS

## RESUMEN

Se construyó un prototipo a escala mediante el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales generadas por la Universidad Nacional de Chimborazo campus Edison Riera para el regadío de áreas verdes y descargas de baterías sanitarias del estadio Universitario. Se realizó la medición de caudales con la aplicación del método volumétrico y el cálculo del caudal de diseño con un valor de 1657,15 m<sup>3</sup>/día. Se caracterizó físico-química y microbiológicamente los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), coliformes fecales y aceites y grasas con los siguientes resultados 183 mg/L, 520 mg/L, 5300 UFC/100 mL y 1.52 mg/L respectivamente en la cual está fuera de norma. Los procesos de tratamiento que se establecen para cumplir con el límite permisible de las Tablas 2 y 3 del Acuerdo Ministerial 097-A., una vez realizado pruebas de tratabilidad, son: rejilla evitando la entrada de sólidos de gran tamaño que puede afectar al sistema, una trampa de grasas reteniendo el ingreso de aceites y grasas de las aguas residuales domésticas, un equalizador para homogenizar las concentraciones de los contaminantes, lodos activados (aireación y sedimentación secundaria) nos ayuda a disminuir la concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO y la cloración permite la eliminación de coliformes fecales y totales; logrando obtener como resultado una DBO<sub>5</sub> de 8 mg/L, de DQO 21 mg/L, coliformes fecales 240 UFC/100 mL y ausencia de aceites y grasas cumpliendo con la normativa y satisfaciendo el uso de agua como para regadío, obteniéndose un 96 % de eficiencias en el tratamiento del dimensionamiento del prototipo. Se recomienda una disposición final para los lodos generados por el tratamiento de lodos activados.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <CALIDAD DE AGUA>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES> <LODOS ACTIVADOS> < DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)> <DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)> <ACEITES Y GRASAS>, <COLIFORMES FECALES>.

## SUMMARY

This research was carried out with objective of constructing a prototype to scale by designing a sewage treatment plant generated from National University of Chimborazo “Edison Riera” campus, for irrigation of green areas and discharges sanitary batteries at University stadium. Flow measurement was performed with application of volumetric method and design flow calculation with a value of 1657.15 m<sup>3</sup>/day. It characterized physic-chemically and microbiologically parameters Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>), Chemical Oxygen Demand (COD), fecal coliforms and oils, and fats with the following results were determined: 183 mg/L, 520 mg/L, 5300 CFU/100 mL and 1.52 mg/L respectively which it is out standard. The treatment processes that are established to comply with permissible limit of Tables 2 and 3 of Ministerial Agreement 097-A. Once tested for treatability are: grid avoiding the entry of large solids that can affect system, a grease trap retaining the intake of oils and fats from domestic wastewater, an equalizer to homogenize concentrations contaminates, activated sludge (aeration and secondary sedimentation) helps to decrease the contraction of BOD<sub>5</sub> and COD and chlorination allows elimination of fecal and total coliforms; Resulting in a BOD<sub>5</sub> of 8 mg/L, COD 21 mg/, fecal coliforms 240 CFU/100 mL, and absence of oils and greases complying with regulations and satisfying the use of water as irrigation, obtaining a 96 % Efficiency in the treatment of prototype sizing. A final disposal is recommended for sludge generated by treatment for activated sludge.

Key words: <BIOTECHNOLOGY>, <WATER QUALITY>, <WASTEWATER TREATMENT>, <ACTIVATED SLUDGE>, < BIOCHEMICAL OXIGEN DEMAND (BOD<sub>5</sub>)>, < CHEMICAL OXIGEN DEMAND>, <OILS AND FATS>, <FECAL COLIFORMS>.

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente la concienciación sobre la problemática ambiental ha llevado a tener una legislación para el desarrollo y saneamiento ambiental, en la cual es primordial contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales, esto con el fin de disminuir el impacto ambiental generado al ecosistema.

En el Ecuador el tratamiento que se proporciona a las aguas residuales domésticas es limitado, ya que no todas las instituciones disponen de recursos económicos e interés suficiente para invertir en este tipo de procesos y cumplir con la normativa ambiental vigente con la implementación de un sistema de tratamiento requerido, dependiendo de la utilización que se le dé al agua, además que el uso y manejo de la misma no es el correcto.

La descarga de aguas residuales no tratadas produce impactos ambientales negativos en función de la concentración de contaminantes que dichas aguas contengan como: sólidos suspendidos, materia orgánica, microorganismos patógenos, nitrógeno, fosforo y sólidos inorgánicos disueltos.

Se considera que existe una falta de conciencia ambiental al no dar un tratamiento a las aguas grises y negras convirtiéndose así en un desperdicio de recursos hídricos, se encuentre éste disponible o no en gran cantidad, ya que al recibir un tratamiento adecuado se puede dar una nueva utilización de este recurso para diversas actividades y así lograr una disminución del consumo de agua.

En América Latina, apenas el 10% de las aguas residuales se someten a un tratamiento adecuado, según la Unesco. Algunos de los países latinos que cuentan con un mayor porcentaje de saneamiento público son: Chile, Guatemala, Colombia, Perú, Uruguay, Venezuela, Ecuador, entre otros. (UNIVERSO, 2013)

Por tanto, la Unidad de Riesgos Laborales, Seguridad Ocupacional y Gestión Ambiental del campus Edison Riera km 1/2 vía a guano, de la Universidad Nacional de Chimborazo, ubicada al Nor-Este de Riobamba; en cuanto a sus aguas residuales al ser una institución que fomenta procesos de implementación de carácter técnico en busca de crear medidas para reducir los contaminantes generados por el uso en las diferentes facultades y edificios administrativos.

## **ANTECEDENTES**

La eliminación de aguas residuales no tratadas produce impactos ambientales negativos en los cuerpos de agua receptores, en relación con la concentración de contaminantes de dichas aguas. Al dar un tratamiento a las aguas residuales, a través de procesos de tipo físico, químico o biológico conlleva a la mitigación o eliminación de la contaminación o a las características no deseables de las aguas residuales del Campus.

El Campus Edison Riera de la Universidad Nacional de Chimborazo tiene un área aproximada de 11,76 hectáreas con un estimado de 7400 estudiantes y de personal universitario aproximadamente 1000 entre los cuales corresponden a docentes, personal administrativo y de servicio, se encuentra ubicada al Nor-este del cantón Riobamba en el km  $\frac{1}{2}$  vía a Guano, tiene como responsabilidad la formación académica de los futuros profesionales en las diversas carreras que oferta; como parte del uso de las instalaciones se encuentran las baterías sanitaria, lavabos, consumo en los bares y el aseo de todas las áreas por lo que se genera un efluente de aguas residuales que son descargados por una tubería al alcantarillado público de la ciudad sin ningún tratamiento previo.

En la actualidad la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera no posee un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, por lo que el Área de Unidad de Riesgo Laboral, Seguridad Ocupacional y Gestión Ambiental y la Unidad Técnica de Control Académico facilitaron toda la información necesaria para la realización del presente trabajo.

La finalidad es dar tratamiento a las aguas residuales con características adecuadas dentro de la reglamentación, menciona sobre que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano, animal y agrícola, estos se organizan con frecuencia en tratamientos de depuración que debe contar con obras de infraestructura y planificación, personal, mantenimiento, suministro e insumos.

Se basa en el conjunto de operaciones unitarias cuya meta es acondicionar estas aguas residuales a los niveles permisibles que dicta la ley de Gestión Ambiental vigente.

## **JUSTIFICACIÓN**

La producción de agua limpia es una alternativa tecnológica y una tendencia global de la cultura de conservación para la renovación, como dictamina la Constitución de la República del Ecuador (Constitución De La República Del Ecuador, 2008), menciona en la sección quinta Art.14 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, el cual declara de interés público la preservación del ambiente, ecosistemas, biodiversidad e integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y recuperación de espacios naturales degradados.

Actualmente se viene reutilizando las aguas residuales una vez tratadas, con una calidad semejante a la del agua del abastecimiento al dar un tratamiento a las aguas residuales mediante un conjunto de operaciones unitarias.

La Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera no da tratamiento a las aguas residuales que genera y son vertidas a la red de alcantarillado municipal terminando como afluente del río Chibunga contribuyendo a la contaminación dificultando y aumentando el tiempo de autodepuración del mismo.

Por lo que se propone diseñar una planta de aguas residuales para darle una nueva vida útil utilizándola como agua de regadío para las áreas verdes y para la recirculación en las descargas de las baterías sanitarias, que se encuentran en el estadio de la Universidad la cual debe cumplir con los parámetros de reutilización como agua de riego, establecidos en las Tablas 2 y 3 del (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015). Además, la normativa ambiental del Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 en su objetivo 7, habla del reconocimiento de los derechos de la naturaleza, de la Política 7.8. Ítem m., hace referencia en prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental en los procesos posteriores al consumo como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Construir un prototipo a escala mediante el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales generadas por la Universidad Nacional de Chimborazo campus Edison Riera para el regadío de áreas verdes y descargas de baterías sanitarias del estadio Universitario.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar el caudal existente en la descarga de la Universidad Nacional de Chimborazo campus Edison Riera.
- ✓ Caracterizar física, química y microbiológicamente el agua residual proveniente de la Universidad Nacional de Chimborazo campus Edison Riera.
- ✓ Comparar los resultados de la caracterización del agua residual con la tabla 2 y 3 del Registro Oficial N° 387 Acuerdo N° 097-A.
- ✓ Realizar el dimensionamiento de la planta de tratamiento más adecuado para la reutilización del agua en base a su determinación previa.
- ✓ Construir el prototipo a escala a partir del dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la Universidad.

## CAPÍTULO I

### 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Agua Residual

##### 1.1.1 Generalidades

Las aguas residuales se generan por las diferentes actividades comunitarias, domésticas e industriales que modifican las características del agua. Se define como la mezcla de líquidos y desechos orgánicos humana o animal ya sean estos: orina, materia fecal que provienen de casas, fábricas, instituciones y edificios combinados con cualquier agua superficial o pluvial. (Secretariado Alianza Por El Agua / Ecología Y)



**Fotografía 1-1:** Descarga de aguas residuales

Fuente: (TECHNOLOGIES)

La descarga de aguas residuales provoca una variación perjudicial a la calidad de agua en relación con usos que se le pueda dar posteriormente, sin el tratamiento adecuado puede causar daños no solo al ambiente sino también a la salud pública por lo que es necesario e importante la depuración de estas aguas. Las mismas pueden ser tratadas in-situ donde son generadas o a su vez pueden ser recolectadas y transportadas a través de una red de tuberías a una planta de tratamiento municipal. (Secretariado Alianza Por El Agua / Ecología Y)

### ***1.1.2 Tipos de aguas residuales***

Las aguas residuales de acuerdo con su origen pueden clasificarse como: Domesticas, Industriales y Urbanas.

#### ***1.1.2.1 Domesticas:***

Son todas aquellas aguas de uso sanitario, de cocina, lavanderías, entre otras. Principalmente residuos humanos que se descargan directamente al alcantarillado. Entre este tipo de agua residual se combinan las aguas negras o también llamadas aguas sanitarias procedentes de las baterías sanitarias de las viviendas, locales comerciales, entre otros; también se considera las aguas de lavado domestico llamadas aguas grises procedente de uso doméstico antes de mezclarse con las aguas fecales. Las aguas residuales contienen cierta homogeneidad al hablar de composición y carga contaminante. (SANTAFÉ, pp. 20-21)

#### ***1.1.2.2 Industriales:***

Son residuos líquidos generados en procesos industriales con características determinadas ya que dependerán del tipo de industria cuyo proceso de producción, operación y transformación se la utilice, cabe indicar que las industrias no descargan agua residual de manera continua sino también en determinadas horas o incluso en determinadas épocas del año esto dependerá del tipo de producción. (SANTAFÉ, pp. 20-21)

De acuerdo con la biodegradación de la materia orgánica se clasifica en: (SANTAFÉ, pp. 20-21)

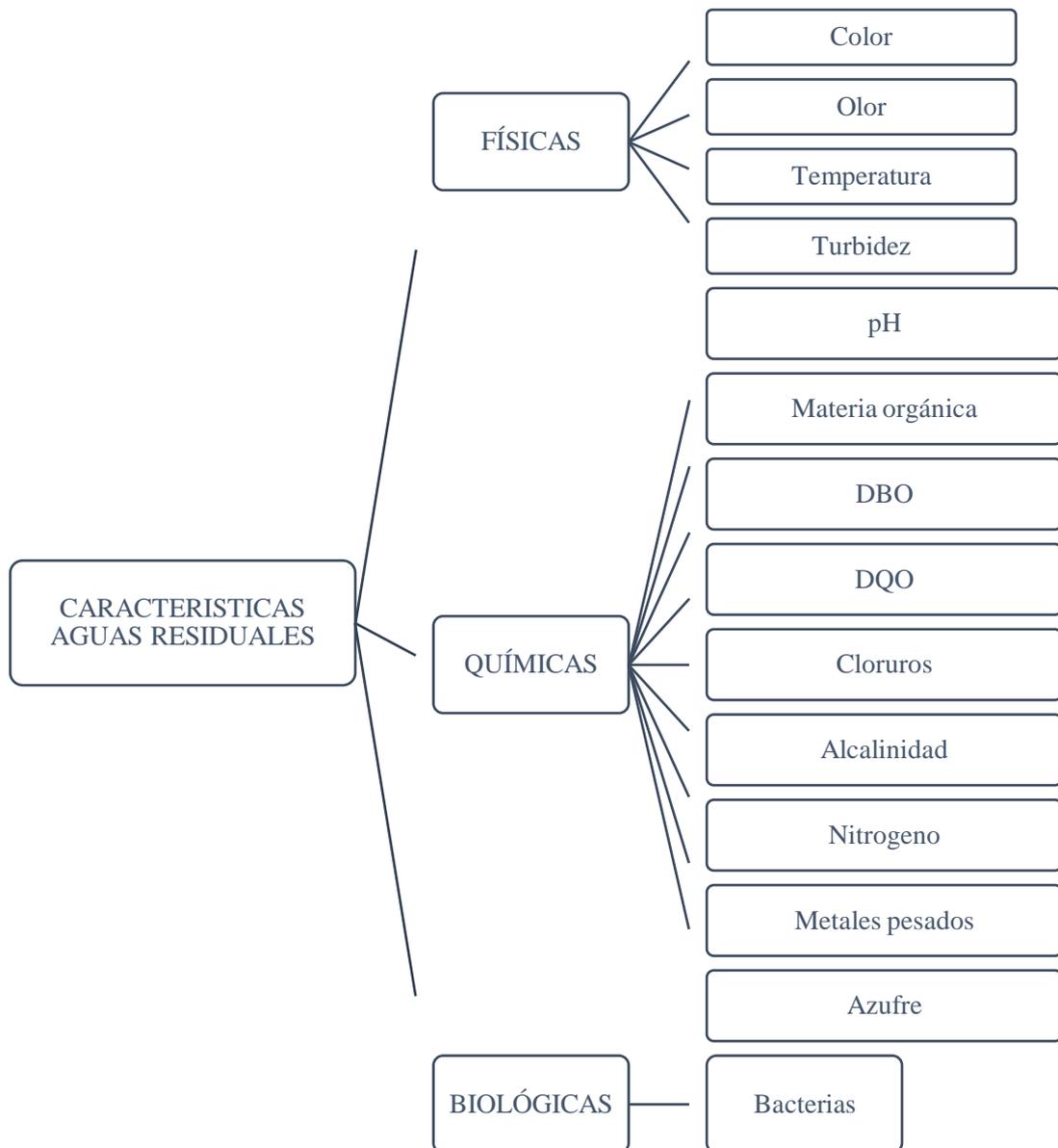
- Aguas residuales industriales que contienen materia orgánica
- Aguas residuales industriales que solo contienen sustancias minerales
- Aguas residuales mixtas

#### ***1.1.2.3 Urbanas:***

Se forman por la mezcla de aguas residuales domésticas, industriales además de las aguas de escorrentía pluvial la cual presentan una homogeneidad de composición y carga contaminante. (SANTAFÉ, pp. 20-21)

## 1.2 Características de las aguas residuales

Se menciona a continuación en el Fotografía 2-1, las características de un agua residual:



**Fotografía 2-1:** Características de las aguas residuales

Fuente: (ESPIGARES GARCIA, en.al)

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Entre las principales características que alteran la calidad del agua las cuales generan aguas residuales domesticas se describe a continuación: (GARCIA ESPIGARES)

### **1.2.1 FISICO**

Los parámetros físicos que pueden determinar la contaminación del agua son:

#### **1.2.1.1 Color:**

Las contaminaciones de las aguas tienen diversos colores, pero no se logran establecer correspondencia entre el color y el tipo de contaminación. (ESPIGARES GARCIA, en.al)

#### **1.2.1.2 Olor:**

Son generados por sustancias volátiles o gaseosas producidas por la materia orgánica en descomposición. Las sales o los minerales proveen de sabores salados o metálicos. (ESPIGARES GARCIA, en.al)

#### **1.2.1.3 Temperatura:**

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta por lo general los sólidos disueltos. A medida que aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo (aproximadamente se duplica cada diez grados) se acelera la degradación. (ESPIGARES GARCIA, en.al)

#### **1.2.1.4 Aceites y grasas:**

Aquellas sustancias líquidas que forman una película sobre el agua impidiendo la captación de oxígeno para los microorganismos disminuyendo la capacidad degradadora. (ESPIGARES GARCIA, en.al)

### **1.2.2 QUIMICOS**

El empleo de desinfectantes químicos para tratar el agua produce sustancias químicas secundarias, algunos de los cuales son potencialmente peligrosos. En cuanto a los parámetros químicos incluyen a sustancias orgánicas, inorgánicas y gases como muestra la Fotografía 3-1. (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

#### *1.2.2.1 pH:*

Es la medida de la concentración de iones hidronio en la disolución. Las aguas naturales llegan a tener pH ácidos debido al CO<sub>2</sub> disuelto desde la atmosfera o provenientes de los seres vivos. Con valores menores a 7 forma aguas ácidas lo que genera corrosión en tuberías y con valores mayores a 7 forman aguas básicas lo que genera precipitación de sales insolubles creando incrustaciones. Por ejemplo, una sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO<sub>2</sub> formando un sistema tampón carbonato. (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

#### *1.2.2.2 Oxígeno Disuelto:*

Es un indicador de la calidad de agua; en lo que corresponde a aguas superficiales limpias donde a menudo tiende a saturarse de oxígeno, lo que es elemental para la vida. Si el nivel de oxígeno es bajo indica contaminación por la presencia de materia orgánica señalando una mala calidad del agua. (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

#### *1.2.2.3 Materia Orgánica:*

En el agua residual forma la tercera parte de los elementos, teniendo en su composición los siguientes: (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

- Proteína (**40-60%**)
- Carbohidratos (**25-50%**)
- Grasas y Aceites (**10%**)

La urea y el amoníaco en las aguas residuales domésticas componen una importante fuente de nitrógeno además de proteínas. La materia orgánica también puede aportar azufre, hierro y fósforo. (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

#### *1.2.2.4 Demanda Química de Oxígeno: (Materia orgánica biodegradable)*

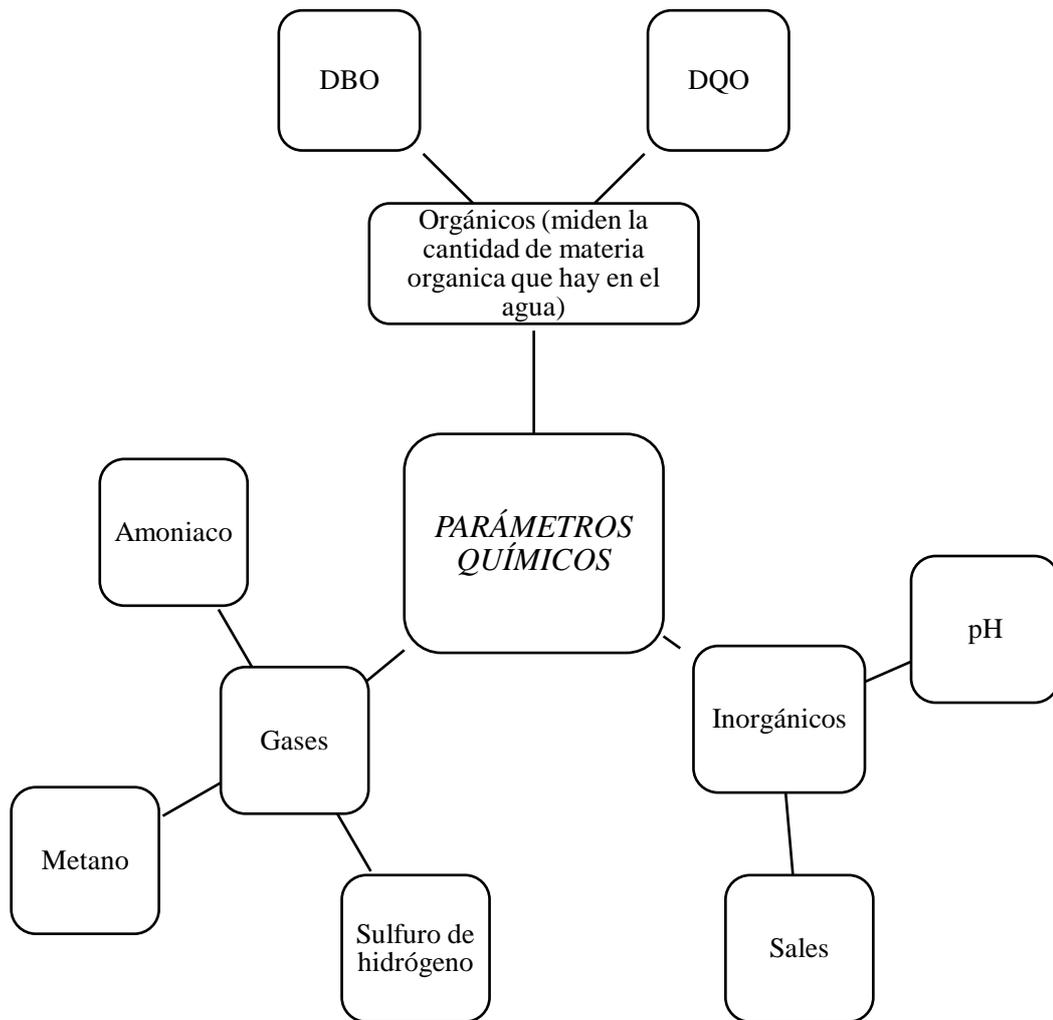
Se mide a los cinco días. Es la cantidad de oxígeno o cantidad de oxígeno consumida (mg/L) por los compuestos orgánicos presentes en el agua. Su valor indica la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente o carbono oxidable de una muestra. (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

### 1.2.2.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno: (Material Oxidable)

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico. Se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto de la muestra inicial y el medido en función del tiempo de incubación. (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

### 1.2.2.6 Sólidos:

Son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que solo dura mientras esté en movimiento el agua. Las suspendidas coloidales pueden precipitar después de una coagulación o floculación. (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)



**Fotografía 3-1:** Parámetros químicos

**Fuente:** (JIMÉNEZ, 2000: pp. 1-9)

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### **1.2.3 AGENTES BIÓTICOS**

Para (ECHARRI, Agosto 1998 b : p.1) las aguas residuales, la composición y concentración dependerán de la cantidad de microorganismos, en la cual influye temperatura y pH. Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por descargas de origen humano, ya que se estima que cada persona elimina diariamente de 100.000 a 400.000 millones a través de las heces, además de diferentes clases de bacterias. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua destinada para consumo humano presente una ausencia total de colonias de coliformes.

#### **1.2.3.1 Microorganismos patógenos:**

Se mide la presencia de bacterias coliformes que causa la contaminación fecal, además pueden existir diversos organismos bioindicadores de la calidad del agua como larvas de insectos, moluscos, entre otros. (ESPIGARES GARCIA, en.al)

Para identificar las características de las aguas residuales en su composición se destacan tres aspectos fundamentales: (ESPIGARES GARCIA, en.al)

- Cantidad de sólidos en el agua.
- Presencia de sustancias biodegradables.
- Número de microorganismos.

Según menciona (ESPIGARES GARCIA, en.al), la presencia de algunas sustancias en aguas residuales es utilizada como alimento por los microorganismos, puesto que no solo se nutren de sustratos solubles, sino también de los sustratos insolubles que son adsorbidos y reducidos a un nivel molecular por las exoenzimas como proteasas, carbohidrasas, esterases, etc. de las bacterias, es por esta razón que se denominan biodegradables al tener esta vía de eliminación .

## **1.3 Determinación de caudales**

### **1.3.1 Medición de caudal**

#### **1.3.1.1 Método Volumétrico**

Es el método más indicado para realizar el cálculo cuando son caudales pequeños mediante un recipiente del cual se conoce su volumen y con ayuda de un cronometro se mide el tiempo que se

tarda en llenar dicho envase. Para caudales mayores a 4 L/s, se sugiere un receptáculo con capacidad de 10 litros que se estima que se llene en 2,5 segundos. El tiempo debe ser medido con precisión, sobre todo cuando éste sea de pocos segundos. La variación entre las mediciones realizadas continuamente dará una indicación de que los resultados sean precisos. (HUDSON, 1997)

El caudal es producto de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen. (Agricultura, 2005: p.5)

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

Q = Caudal (L /s)

V = Volumen (L)

T = Tiempo (s)

## **1.4 Determinación del Caudal**

### **1.4.1 Caudal de diseño:**

Se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q_D = Q_M * M + Q_{INF} + Q_{CE} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Q<sub>D</sub> = Caudal de diseño (L/s)

Q<sub>M</sub> = Caudal medio teórico (L/s)

M = Coeficiente de mayoración

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

Q<sub>CE</sub> = Caudal de conexiones erradas

### **1.4.2 Caudal medio:**

El caudal es determinado en base a la dotación que tiene la población de interés, teniendo en cuenta el coeficiente de retorno según las normas EXIEOS 1993 el cual se encuentra en un rango de 70 y 80% y nos indica que no se devuelve al alcantarillado toda el agua que es utilizada.

$$Q_M = \frac{CR * Dot * P_p}{86400} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$Q_M$  = Caudal medio (L/s)

CR = Coeficiente de Retorno

Dot = Dotación de agua potable

$P_p$  = Población proyectada a futuro

#### **1.4.3 Coeficiente de mayoración:**

Se calcula cuando se tiene una población de entre 1000 y 1000000 de habitantes con la aplicación de la siguiente expresión.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P_p}{1000}}} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

M = Coeficiente de mayoración

$P_p$  = Población proyectada a futuro

#### **1.4.4 Caudal de infiltración:**

Es el agua que ingresa al alcantarillado cuando éste se encuentra en mal estado y es proveniente del suelo. Según valores establecidos de la RAS 2000 Título D y asumiendo una infiltración alta se encuentra en un rango de 0,15 – 0,4 L/s \* Ha y se determina con la siguiente expresión.

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

Donde:

$Q_{INF}$  = Caudal de infiltración

A = Área

#### **1.4.5 Caudal de conexiones erradas:**

Teniendo en consideración un caudal a causa de malas conexiones realizadas.

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

Ec. 6

Donde:

$Q_{CE}$  = Caudal de conexiones erradas

$Q_M$  = Caudal medio teórico (L/s)

M = Coeficiente de mayoración

$Q_{INF}$  = Caudal de infiltración

## **1.5 Muestreo**

### ***1.5.1 Tipo de muestras***

#### ***1.5.1.1 Muestra simple***

Presenta las características del agua residual en el momento en que es tomada, se recomienda que el volumen de esta muestra se encuentre entre 1 a 2 litros y se debe tomar un excedente de muestra por si el laboratorio lo requiere.

#### ***1.5.1.2 Muestra compuesta***

Son aquellas muestras que se encuentran formadas por la combinación de varias muestras simples; según (RAMALHO, 1983) se recomienda que la cantidad de cada muestra simple debe ser proporcional al flujo del caudal de cuando la muestra fue tomada.

### ***1.5.2 Tipo de envases***

Existen diferentes tipos de envases para el transporte de la muestra de agua recolectada por lo cual se recomienda que el recipiente de la muestra sea de vidrio o plástico, no debe interferir con la composición de la misma, debe ser resistente a la variedad de productos químicos que se pueden encontrar en la muestra y estar limpio. Para aguas residuales se sugiere el uso de botellas de boca ancha. (RAMOS OLMOS, en.al, 2003)

## 1.6 Dotación

Es la cantidad de agua que requiere una persona para cubrir sus necesidades básicas. Para determinar la dotación de agua que requiere un estudiante de universidad se acudió a la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011), como se especifica en la tabla 1-1.

**Tabla 1-1:** Dotaciones para edificaciones de uso específico

<b>Tipo de edificación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Dotación</b>
Universidades	L/estudiante/día	40 a 60

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

## 1.7 Planta de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales es un espacio físico donde el agua es tratada por diferentes procesos que requiera de manera que se retiren los contaminantes obteniendo un agua de calidad dentro de los límites permisibles, sin riesgo para la salud y el ambiente al verterla en el cuerpo receptor natural, o a su vez para el reuso de otras actividades.

Para determinar el nivel de tratamiento apropiado de las aguas residuales se realiza fundamentalmente a partir de los límites de vertido del efluente. Los procesos de tratamiento de aguas residuales se pueden dar mediante métodos convencionales con el fin de eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos como muestra la Tabla 2-1. (RAMALHO, 1983)

El tratamiento primario es utilizado para el asentamiento de sólidos. Tratamiento secundario comprende la eliminación de la materia orgánica disuelta en el agua residual mediante el tratamiento biológico transformándolo en sólidos suspendidos que serán fácilmente removidos. (RAMALHO, 1983)

Tratamiento terciario es el proceso donde los contaminantes que no han podido ser eliminados en el tratamiento biológico se lo remueve mediante pasos complementarios como lagunas, micro filtración o desinfección. (RAMALHO, 1983)

**Tabla 2-1:** Tipo de tratamiento de aguas residuales

<b>Tratamiento Primario</b>	<b>Tratamiento Secundario</b>	<b>Tratamiento Terciario</b>
Cribado	Lodos activados	Microtamizado
Sedimentación	Aireación prologada	Filtración (lecho de arena)
Flotación	Estabilización por contacto	Precipitación y coagulación
Separación de aceites	Lagunaje con aireación	Adsorción
Homogenización	Estabilización por lagunaje	Intercambio iónico
Neutralización	Filtros biológicos	Ósmosis inversa
	Discos biológicos	Electrodialisis
		Cloración y ozonización
		Procesos de reducción de nutrientes

Fuente: (RAMALHO, 1983)

### **1.7.1 Rejilla**

También conocido como cribado son generalmente el primer proceso o tratamiento por el cual pasan las aguas que llegan a la planta de tratamiento, se encuentran fabricadas por barras de metal, que pueden ser rectas o curvadas, y se las ubica de manera paralela y a una distancia de separación igual entre ellas. (HESS)

Se utiliza para disminuir la cantidad de sólidos suspendidos de diferentes tamaños en especial gruesos o relativamente grandes; el espacio entre las barras dependerá de los objetos en sí y su mantenimiento y limpieza se la puede realizar de manera manual o mecánica y los residuos recogidos se los puede separar en finos y gruesos. Las rejillas para materiales finos presentan aberturas de 5 mm o menos y para los residuos gruesos los espacios pueden variar entre 4 – 9 cm. (RAMALHO, 1983)

Este pretratamiento ayuda a impedir el paso de objetos como tapas de botellas, fundas, papel de aseo, entre otros y evita que existan obstrucciones y daños en válvulas, bombas, tuberías, otros equipos mecánicos y siguientes procesos o tratamientos a los que sea sometida el agua. (HESS)

1.7.1.1 Reja de limpieza manual

Son rejillas sencillas que son instaladas mayormente en plantas de tratamiento pequeñas, con espaciamiento relativamente grande; su inclinación crea un ángulo de 30 a 45 grados en relación con la horizontal. (HESS)

1.7.1.2 Reja de limpieza mecánica

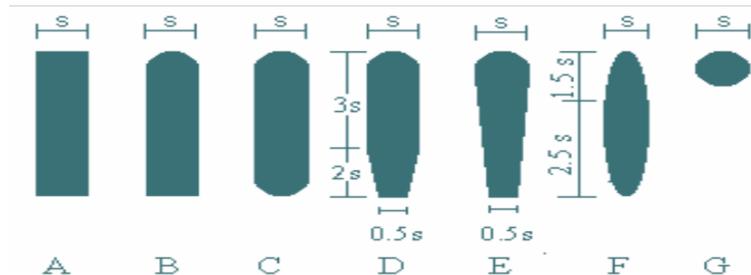
Este tipo necesita un mayor grado de cuidado y mantenimiento por lo cual se recomienda su instalación solo si así es requerido; en general las barras presentan un ángulo de 60 a 90 grados con la horizontal, siendo 75° lo sugerido. (HESS)

1.7.1.3 Criterios de diseño para rejillas

**Tabla 3-1:** Factor Forma de Barras

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

Fuente: RAS 2000, Título E



**Fotografía 4-1:** Diferentes Formas de las Barras

Fuente: (RAS - 2000)

Para el dimensionamiento de las rejillas se utilizan las siguientes ecuaciones:

a) Área Libre del Canal de Rejillas,  $A_L$  (m<sup>2</sup>)

$$Q_{maxd} = v * A_L ; A_L = \frac{Q_{maxd}}{v} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$Q_{maxd}$ = Caudal máximo horario, m<sup>3</sup>/hab/día

$v$  = Velocidad a través de las rejillas, m/s

**b) Suma de separación de barras,  $bg$  (m)**

$$bg = \frac{A_L}{h} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$h$  = altura del tirante del agua en el canal asumido, m

**c) Ancho del canal,  $b$  (m)**

$$b = \left( \frac{bg}{e} - 1 \right) (S + e) + e \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$e$  = separación entre barras, m

$S$  = Espesor de la barra, m

**d) Número de barras,  $n$**

$$n = \left( \frac{bg}{e} \right) - 1 \quad \text{Ec. 10}$$

**e) Pérdida de carga en las rejillas,  $hf$  (m)**

La pérdida de carga a través de las barras puede ser determinada mediante la fórmula de Kirschmer: (SUÁREZ, en.al, pp.5-6)

$$hf = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{\frac{4}{3}} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \sin \theta \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

$\beta$  = Factor que depende de la fórmula de la sección de las barras:

- Sección rectangular: 2.42
- Sección circular: 1.79

$g$ = Aceleración gravitacional =  $9.8\text{m/s}^2$

$\theta$ = Angulo que las barras hacen con la horizontal, limpieza manual  $45^\circ$

**f) Altura Total del canal de la rejilla,  $H$  (m)**

$$H = (h + hs) \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$hs$ = altura de seguridad asumida, m

**g) Largo de la barra en relación con la horizontal,  $L$  (m)**

$$\tan \theta = \left(\frac{H}{L}\right) \quad \text{Ec. 13}$$

$$L = \left(\frac{H}{\tan \theta}\right) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

$\theta$ = Angulo que las barras hacen con la horizontal, limpieza manual  $45^\circ$

**h) Largo de la barra,  $l$  (m)**

$$\sin \theta = \left(\frac{H}{l}\right) \quad \text{Ec. 15}$$

$$l = \left(\frac{H}{\sin \theta}\right) \quad \text{Ec. 16}$$

### ***1.7.2 Trampa de grasas***

Tienen como función eliminar la presencia de sustancias con un peso específico menor al agua como son aceites y grasas que se encuentren en el agua residual doméstica para que no afecten los procesos siguientes de tratamiento del agua. (Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico, 2003: pp.6-8)

Las trampas de grasa deben dar una permanencia tranquila al agua residual por el tiempo adecuado para que las grasas puedan irse acumulando en la superficie por su menor densidad, en comparación con el agua. (HESS)

### *1.7.2.1 Características de la trampa de grasa*

Para el diseño de la trampa de grasas se debe tomar en cuenta las siguientes características: (Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico, 2003: pp.6-8)

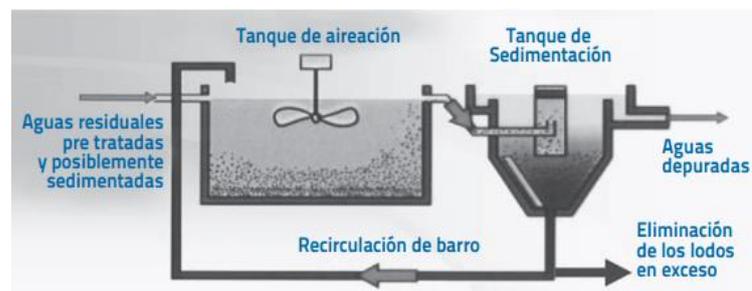
- a) La relación largo:ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendido entre 2:1 a 3:2.
- b) La profundidad no deberá ser menor a 0,80 m.
- c) El ingreso a la trampa de grasa se hará por medio de codo de 90° y un diámetro mínimo de 75 mm. La salida será por medio de una tee con un diámetro mínimo de 75 mm.
- d) La parte inferior del codo de entrada deberá prolongarse hasta 0,15 m por debajo del nivel de líquido.
- e) La diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y de salida deberá de ser no menor a 0,05 m.
- f) La parte superior del dispositivo de salida deberá dejar una luz libre para ventilación de no más de 0,05 m por debajo del nivel de la losa del techo.
- g) La parte inferior de la tubería de salida deberá estar no menos de 0,075 m ni más de 0,15 m del fondo.
- h) El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo 0,30 m.
- i) La trampa de grasa deberá ser de forma tronco-cónica o piramidal invertida con la pared del lado de salida vertical. El área horizontal de la base deberá ser de por lo menos 0,25 x 0,25 m por lado o de 0,25 m de diámetro. Y el lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45° a 60° con respecto a la horizontal.
- j) Se podrá aceptar diseños con un depósito adjunto para almacenamiento de grasas, cuando la capacidad total supere los 0,6 m<sup>3</sup> o donde el establecimiento trabaje en forma continua por más de 16 horas diarias.
- k) La trampa de grasa y el compartimento de almacenamiento de grasa estarán conectados a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua. El volumen máximo de acumulación de grasa será de por lo menos 1/3 del volumen total de la trampa de grasa.

### *1.7.3 Lodos Activados*

El proceso de lodos activados se inició en Inglaterra en el año de 1914 por Ardern y Lockett, se basa en una masa activa de microorganismos los cuales son tratados en un tanque de aireación.

Las aguas residuales domesticas son estabilizadas mediante el proceso natural de degradación biológica y transformación de materia orgánica en presencia de oxígeno realizado por los microorganismos aerobios para luego ser llevados al sedimentador secundario donde se forman lodos secundarios que son sedimentados o precipitados siendo uno de los subproductos más importantes, este sedimentador tiene una tolva para juntar o almacenar los lodos sedimentados para luego ser recirculados al tanque de aireación para mantener una cantidad apropiada de microorganismos, finalmente se hace fluir como agua depurada. (OSORIO UGARTE, 2002; p. 1) Y (LIMON MACIAS, 2013)

A continuación, en la Fotografía 5-1 y 6-1 se presenta el proceso de tratamiento de lodos activados con recirculación externa e interna:



**Fotografía 5-1:** Proceso de Tratamiento de Lodos Activados con recirculación externa

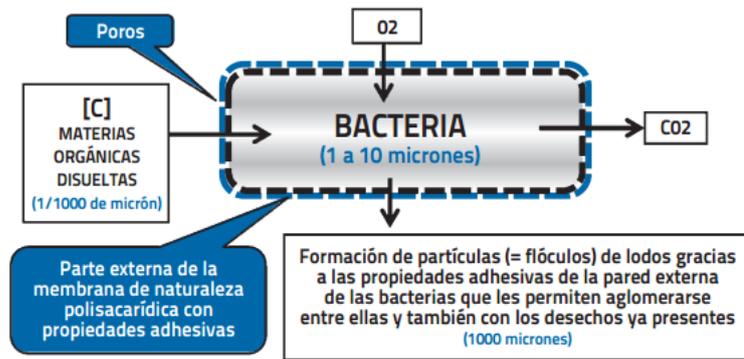
Fuente: (CHARPENTIER, 2014)



**Fotografía 6-1:** Proceso de Tratamiento de Lodos Activados con recirculación interna.

Fuente: (Alquiser Servicios Ambientales CIA. LTDA, 2013)

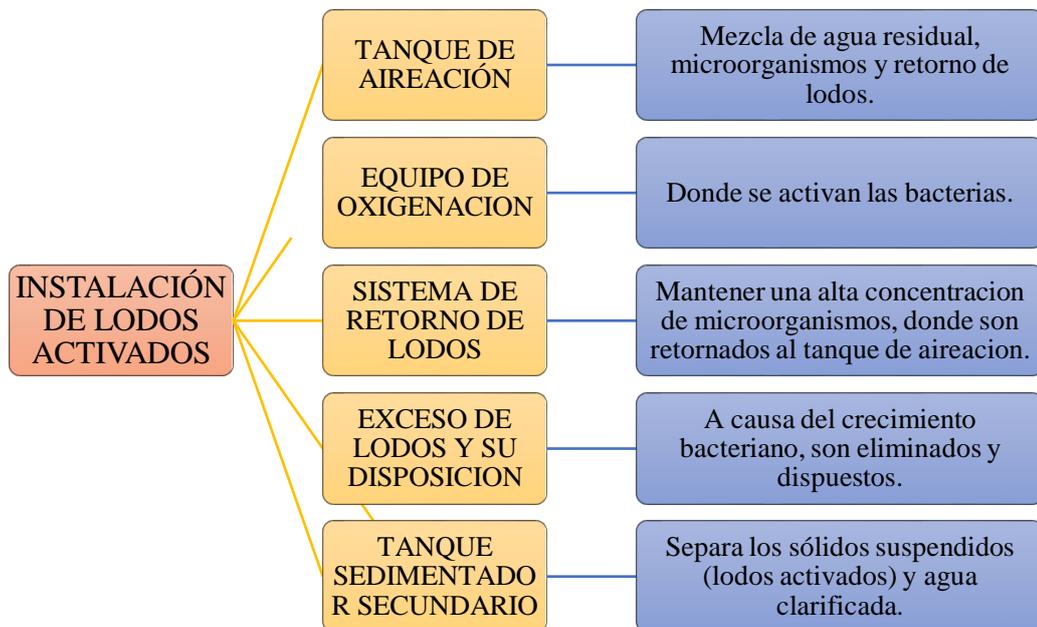
La aglomeración de partículas inertes es adherida a bacterias de tamaño  $\approx 1$  a  $5 \mu m$  creando flóculos (biomasa) cercano a 1 mm, como muestra en la Fotografía 7-1 lo que permite la separación física del agua clarificada de los lodos formados en el sedimentador secundario. (CHARPENTIER, 2014)



**Fotografía 7-1:** Proceso biológico de las bacterias en lodos activados.

Fuente: (CHARPENTIER, 2014)

En resumen, para la ejecución del proceso de lodos activados es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos que se muestran en la Fotografía 8-1. (SANCHEZ MARES, 2005; p. 3)



**Fotografía 8-1:** Instalación de lodos activados.

Fuente: (SANCHEZ MARES, 2005; p. 3)

### 1.7.3.1 Reactor Biológico

#### 1.7.3.1.1 Etapa de Aireación (Modalidad Extendida)

Se colocan aireadores para suministrar oxígeno a los microorganismos en el tanque. La inyección de aire se da mediante la modalidad de Aireación Extendida o también conocida como oxidación total, por medio de difusores de aire colocados en el fondo del tanque, por lo tanto, el movimiento

constante y prolongado de sólidos disueltos implica una alta eficiencia de eliminación de materia orgánica. (CHARPENTIER, 2014)

Un buen funcionamiento del tanque de aireación se puede determinar mediante las características: cantidad de materia orgánica, cantidad de bacterias y cantidad de oxígeno. (CHARPENTIER, 2014)

### 1.7.3.1.2 Parámetros de Diseño

#### a) Volumen del reactor biológico, $V_{Tanq}$ ( $m^3$ )

Para determinar el volumen se lo realiza mediante la siguiente formula: (RAMALHO, 1983)

$$V_{Tanq} = \frac{\theta_c * Q * Y * (cs\ DBO_5\ inicial - cs\ DBO_5\ final)}{X * (1 + Kd * \theta_c)} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$\theta_c$  = Tiempo de retención celular, d

$cs\ DBO_5\ inicial$  = Concentración inicial de la  $DBO_5$ , mg  $DBO_5/L$

$cs\ DBO_5\ final$  = Concentración final de la  $DBO_5$ ,

$Kd$  = Constante de degradación endógena,  $d^{-1}$

$Q$  = Caudal de entrada,  $m^3/d$

$Y$  = Coeficiente de producción celular, mg  $mLVSS/mg\ DBO_5$

$X$  = Concentración de lodo activado en el reactor biológico (SSVLM), (3000 – 6000 mg/L) (METCALF & EDDY)

#### b) Tiempo de retención celular, $\Theta_c$ (día)

Es el tiempo de permanecía de los microorganismos en el sistema, calculándose con la siguiente ecuación: (METCALF & EDDY)

$$\Theta_c = \frac{V_{Tanq} * X}{(Q_p * X_p + Q_e * X_e)} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

$Q_p$  = Caudal de purga,  $m^3/día$

$X_p$  = Sólidos suspendidos volátiles de purga, mg/L

$Q_e$  = Caudal del efluente,  $m^3/día$

$X_e$  = Sólidos suspendidos volátiles del efluente, mg/L

### c) **Tiempo de Retención Hidráulico, TRH (día)**

Se considera uno de los parámetros de gran importancia del sistema de tratamiento biológico, este varía según la concentración del agua a tratar, si la concentración de sólidos suspendidos es relativamente alta se puede calcular el tiempo de retención para remover sólidos y materia orgánica, según (CHARPENTIER, 2014).

### d) **Edad de Lodos, EL (día)**

La edad de lodos es el tiempo de la replicación de las bacterias nitrificantes la cual es más larga que de bacterias que degradan los contaminantes que contienen carbono. (CHARPENTIER, 2014)

$$\text{Edad de Lodo (EL)} = \frac{\text{Masa de SS en el tanque de aireación (Kg SS)}}{\text{Masa de SS de lodos en exceso producido (Kg SS/día)}} \quad \text{Ec. 19}$$

### e) **Relación (Alimento/microorganismo) F/M, (día<sup>-1</sup>)**

La relación F/M es el alimento que los organismos requieren para que puedan desarrollarse y proveerse de energía, ya que la disminución o el agotamiento de alimento puede provocar la disminución de la actividad bacteriana e incluso la muerte celular, por ende, va a depender la cantidad de alimento en la velocidad de crecimiento de los microorganismos, esto se puede controlar mediante el caudal de purga y la recirculación a partir del sedimentador secundario, se expresa en Kg DBO<sub>5</sub>/ Kg SSV. (MORERA ARGUEDAS, 2013)

$$\frac{F}{M} = \frac{DBO_5}{TRH * X} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

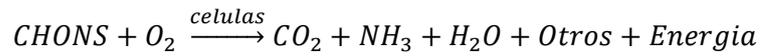
**TRH**= Tiempo de retención hidráulica, día

**X**= Concentración de lodo activado en el reactor biológico (SSVLM), mg/L

#### 1.7.3.1.3 *Cinética Microbiana*

El proceso de respiración aerobia se basa en el catabolismo, mientras que el crecimiento y división celular está ligado al anabolismo. (ANDA MUNGUIA, 2012)

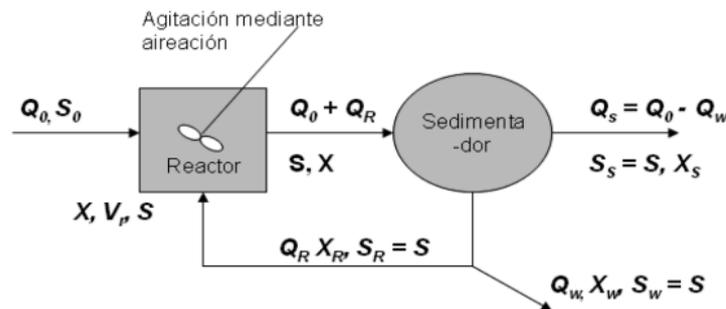
A. **Catabolismo:** es una ruta de degradación enzimática donde pasa de moléculas orgánicas complejas a moléculas más sencillas, por medio de la oxidación. (ANDA MUNGUIA, 2012)



B. **Anabolismo:** es una ruta de formación enzimática a partir de moléculas sencillas hasta llegar a moléculas complejas necesarias para las actividades de las células. (ANDA MUNGUIA, 2012)



En la Fotografía 9-1 se muestra el principio básico del tratamiento biológico con las variables a tomar en cuenta: (JIMENEZ TORRES, 2014, pp. 22-23)



**Fotografía 9-1:** Principio básico del tratamiento de lodos activados con sus variables de entrada y salida.

Fuente: (JIMENEZ TORRES, 2014, pp. 22-23)

A continuación, en la Tabla 4-1, 5-1 y 6-1 se especifica la notación utilizada anteriormente: Fotografía 9-1 (JIMENEZ TORRES, 2014, pp. 22-23)

**Tabla 4-1:** Notación Caudales  $m^3/s$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
$Q_0$	Caudal de entrada
$Q_R$	Caudal de recirculación
$Q_s$	Caudal de salida
$Q_w$	Caudal de purga

Fuente: (JIMENEZ TORRES, 2014, pp. 22-23)

**Tabla 5-1:** Notación Materia Orgánica o DBO soluble (mg DBO/L)

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
$S_0$	Concentración de M.O. / DBO soluble de entrada
$S_R$	Concentración de M.O. / DBO soluble de recirculación
$S_S$	Concentración de M.O. / DBO soluble de salida
$S_W$	Concentración de M.O. / DBO soluble de purga

Fuente: (JIMENEZ TORRES, 2014, pp. 22-23)

**Tabla 6-1:** Notación Biomasa activa (mg SSV/L)

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
$X_R$	Concentración de Biomasa en recirculación
$X_S$	Concentración de Biomasa a la salida
$X_W$	Concentración de Biomasa en la purga
$X$	Concentración de Biomasa en el reactor

Fuente: (JIMENEZ TORRES, 2014, pp. 22-23)

#### 1.7.3.1.4 Equipo de Oxigenación

El equipo de aireación es la encargada de suministrar el aire que requiere el sistema para su funcionamiento. El aire entra a la unidad a través de un filtro de aire y sale a través de la tubería que lo transporta al sistema.

##### a) Aporte Horario de O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> necesario (Kg O<sub>2</sub>/día)

Se necesita de la instalación de una bomba que permita la aireación adecuada para el desarrollo óptimo de las bacterias aerobias y así puedan ejercer sus actividades metabólicas durante el tratamiento de las aguas residuales, para ello se requiere calcular el oxígeno que necesitan las bacterias a partir del consumo específico mínimo que es de 2 Kg O<sub>2</sub>/Kg DBO<sub>5</sub>. (BETETA RIERA, pp. 177-179)

Para la aireación de modalidad extendida se calcula la cantidad de oxígeno que debe ser capaz de disolver por hora en agua limpia los aireadores: (BETETA RIERA, pp. 177-179)

##### b) Producción observada de fango:

$$Y_{abs} = \frac{Y}{(1+Kd*\theta c)} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

**Y**= Coeficiente de producción celular, mg mLVSS/mg DBO<sub>5</sub>

**Kd**= Coeficiente de muerte celular, día<sup>-1</sup>

**c) Masa de fango activado o producción de lodos,  $P_x$  (Kg/día)**

$$P_x = Y_{abs} * Q * (cs\ DBO_5\ inicial - cs\ DBO_5\ final) \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

**Q**= Caudal del afluente, L/día

**cs DBO<sub>5</sub> inicial**= Concentración inicial de la DBO<sub>5</sub>, Kg DBO<sub>5</sub>/L

**cs DBO<sub>5</sub> final**= Concentración final de la DBO<sub>5</sub>, considerando el 95% de remoción de DBO<sub>5</sub>, Kg DBO<sub>5</sub>/L

Se reemplaza los valores para determinar la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos mediante la siguiente ecuación: (BETETA RIERA, pp. 177-179)

$$O_2\ necesario = Q(cs\ DBO_5\ inicial - cs\ DBO_5\ final) - 1.42(P_x) \quad \text{Ec. 23}$$

**d) Cantidad de Aire Teórico,  $A_T$  (m<sup>3</sup> Aire/día)**

$$A_T = \left( O_2\ necesario * \frac{Kg\ Aire}{Kg\ O_2} * \rho_{aire} \right) \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

$\frac{Kg\ Aire}{Kg\ O_2}$  = 100 Kg de Aire en 23.3% de O<sub>2</sub>, considerando el porcentual en el aire.

$\rho_{aire}$  = Densidad del Aire, 1.210 Kg Aire/m<sup>3</sup>

**e) Cantidad de Aire Real,  $A_R$  (m<sup>3</sup> Aire/día)**

$$A_R = \frac{A_T}{8\%} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

**8%**= Eficiencia de aireación en los equipos

#### f) Potencia del motor, $P_m$ (KW)

Para determinar la bomba de aireación se calcula a partir del aporte horario de oxígeno y de la potencia que necesita el motor de la bomba para ejercer su funcionamiento, por ende, su cálculo se expresa de la siguiente manera: (Fangos Activados, pp. 11-13)

$$P_m = \frac{O_2 \text{ necesario}}{(f_{mot} * CE_{oxig} * R_{mot})} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

$f_{mot}$  = Factor de condiciones estándar a condiciones real, 0.6

$CE_{oxig}$  = Capacidad específica de oxigenación, 2Kg  $O_2$  /KWh

$R_{mot}$  = Rendimiento del motor, 90%

#### 1.7.3.1.5 Retorno de Lodos

Al hablar de cantidad de lodos generados se debe a ciertos factores como: cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes, relación de SST a DBO y criterios de diseño del tratamiento. En cuanto a las características de los lodos secundarios van a depender de su origen, tiempo de retención y el tipo de tratamiento que se le ha dado. A continuación, se presenta la composición química general de los lodos en la tabla 7-1: (LIMON MACIAS, 2013)

**Tabla 7-1:** Composición química de los lodos generados en el proceso de PTAR

Concepto	Unidades	Lodo Primario digerido	Lodo secundario
Concentración de sólidos	%	2 - 5	0.8 – 1.2
Sólidos volátiles	% de ST	30 - 60	59 – 88
Proteína	% de ST	15 - 20	32 – 41
Nitrógeno (N)	% de ST	1.6 - 3	2.4 – 5
Fósforo	% de ST	1.5 - 4	2.8 – 11
Celulosa	% de ST	8.5- 15	-
Hierro	% de ST	3 - 8	-
pH	u. pH	6.5 – 7.5	6.5 - 8
Ácidos orgánicos	KJ ST/Kg	9000 - 14000	19000 - 23000

Fuente: (LIMON MACIAS, 2013)

**a) Caudal de Recirculación,  $Q_R$  ( $m^3/dia$ )**

En cuanto al retorno de lodos se asume que se encuentra el proceso en un estado estacionario, donde no existe perdida de lodos ni acumulación de la misma. (GIRALDO VALENCIA, 2003)

Para la determinar la recirculación de los lodos se lo hace mediante la siguiente expresión: (GIRALDO VALENCIA, 2003)

$$R = \frac{SST_{Reac}}{SST_{Sed} - SST_{Reac}} \quad \text{Ec. 27}$$

Por lo tanto, el caudal de recirculación es:

$$Q_R = R * Q \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

**R**= Recirculación

**$SST_{Reac}$** = Sólidos Suspendidos Totales en el reactor, mg/L

**$SST_{Sed}$** = Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador, mg/L

**Q**= Caudal del afluente,  $m^3/dia$

*1.7.3.1.6 Exceso de Lodos*

**a) ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)**

Para determinar la calidad de sedimentación de los lodos producidos en el tanque de aireación se utiliza como parámetro el índice volumétrico de lodos, este proceso desarrollado por Mohlman se fundamenta en las propiedades físicas de los sólidos suspendidos del licor mezcla (SSLM), cuantificando el volumen de los lodos en mL/g al terminar una sedimentación de 30 minutos en un Cono Imhoff de 1000 mL. (FERRARA-GINER, y otros, 2013. p 3)

Este parámetro nos indica las características de sedimentación que tiene el lodo tras a ver sido tratado por la aireación modalidad extendida. (ABEFASE, 2012)

$$IVL = \frac{SC_I}{ccs S_{SED}} \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

**$SC_I$** = Sedimentación Cono Imhoff, mL/L

**$ccs S_{SED}$** = Concentración Sólidos Sedimentables, g/L

Se tiene una escala de evaluación de la calidad de lodos para sedimentar según (ABEFASE, 2012):

- IVL < 90 mL/g** – excelente sedimentabilidad
- 90 < IVL < 150 mL/g** – buena sedimentabilidad
- IVL > 150 mL/g** – malas condiciones de sedimentabilidad

#### b) Caudal de Purga, $Q_P$

El cálculo para determinar el caudal de lodo se lo hace tomando en cuenta la edad de lodos, que viene expresado con la siguiente ecuación: (ABEFASE, 2012)

$$Q_P = \frac{V_{Tanq} * SST_{REAC}}{EL * SST_{SED}} \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

$V_{Tanq}$  **de aireacion**= Volumen del tanque,  $m^3$

$SST_{REAC}$ = Concentración Sólidos Suspendidos Totales en el reactor, (3000 a 6000) mg/L

$SST_{SED}$ = Concentración Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador, (8000 a 12000) mg/L

$EL$ = Edad de Lodos, día

Existen varios métodos para la estabilización de lodos como digestión aerobia, anaerobia, composteo, adición de cal; que tiene como principal ventaja reducir la masa y el volumen, organismos patógenos y olores, así mismo las dificultades que presentan son los costos de inversión y operación. (LIMON MACIAS, 2013)

#### 1.7.3.2 Sedimentador Secundario

Conocido también como decantador secundario o clarificador secundario, forma parte principal del sistema del tratamiento biológico por lodos activados, se encuentra a continuación del reactor biológico, en el cual su función es clarificar el agua al separar la que ya se encuentra tratada del lodo activado que precipita para después ser retornado al reactor biológico. (RAMALHO, 1983)

Cuando se formen los flóculos de sólidos suspendidos y coloidales, entra al sedimentador secundario. En este tanque reposa la mezcla de agua tratada y los lodos para que precipite el material orgánico, el efluente de agua ya clarificada saldrá del sistema. Los lodos que sedimentan y para mantener el crecimiento microbiano, una parte, recircula al reactor biológico y un

porcentaje de los mismos es purgado. La purga evita la sobrepoblación de microorganismos en el sistema y eliminar la masa de lodos que ya no es necesaria para el tratamiento. (RAMALHO, 1983)

Los tanques que se utilizan para este proceso de sedimentación suelen ser circulares, rectangulares o cuadrados, pero este no se recomienda ya que no son eficientes en la remoción de lodos ya que tiende a quedarse acumulado en las esquinas por esta razón es que los circulares son los más utilizados para este proceso. (METCALF & EDDY)

- a) **Tanques circulares:** se han construido con diámetros variables entre 3 y 60 m, sin embargo, las dimensiones comunes se encuentran entre 10 y 40 m. Recomienda que el radio del tanque no debería exceder en cinco veces la profundidad de agua. (METCALF & EDDY)

Existen dos tipos de tanques circulares: de *alimentación central*, y de *alimentación periférica*. Ambos tipos manejan mecanismos rotatorios para trasladar y evacuar el fango del fondo del sedimentador, estos mecanismos también pueden ser de dos tipos: aquellos que limpian el fondo arrastrando el lodo al centro y aquellos que eliminan el lodo directamente del fondo del tanque con dispositivos de succión que limpian el tanque en cada revolución. (METCALF & EDDY)

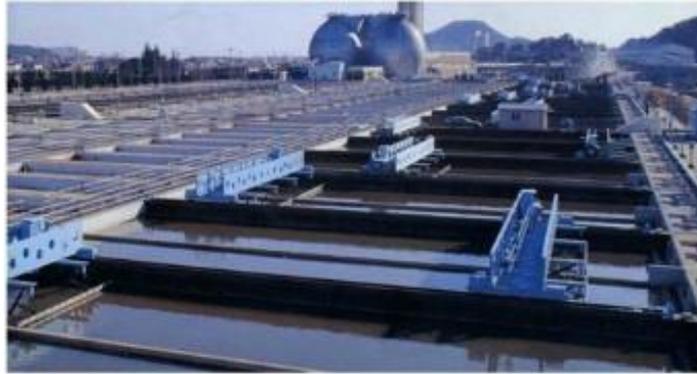


**Fotografía 10-1:** Sedimentador Secundario Circular

Fuente: (METCALF & EDDY)

- b) **Tanques rectangulares:** deben estar reguladas para conseguir una adecuada distribución del caudal de forma que las velocidades horizontales no resulten grandes. Se recomienda que la longitud total del tanque no exceda de 10 a 15 veces su profundidad. En los casos en los que la anchura de los tanques supera los 6 m, se pueden emplear sistemas múltiples de recogida de fangos para instalar tanques de hasta 24 m de anchura. (METCALF & EDDY)

En los tanques rectangulares se utilizan dos tipos de sistemas de extracción los limpiadores múltiples, y puentes de traslación. Los limpiadores múltiples son similares a los que se emplean en los tanques de sedimentación primaria. (METCALF & EDDY)



**Fotografía 11-1:** Sedimentador Secundario Rectangular

Fuente: (METCALF & EDDY)

Independientemente de la geometría del tanque, el sistema de recogida de lodos elegido deberá satisfacer las dos siguientes condiciones operativas: (METCALF & EDDY)

- 1) Deberá tener una capacidad suficientemente elevada como para que, cuando se desee funcionar con un caudal de recirculación de fangos elevado, no se produzca una succión del líquido existente en la parte superior a través del fango
- 2) El mecanismo debe ser suficientemente firme para poder transportar y extraer lodos densos que se pueden depositar en el tanque de sedimentación durante los períodos de fallo en el sistema energético.

Para que el tratamiento de lodos activados funcione adecuadamente debe existir una rápida separación en el sedimentador secundario. En ocasiones se presentan condiciones en las que el lodo es ligero y disperso, conocido también como lodo inflado, y lo cual dificulta la precipitación del lodo a lo cual se lo denomina *bulking*. El lodo con estas características pasa por los vertederos junto con el efluente clarificado. (RAMALHO, 1983)

Ya que la concentración presente de sustrato en el efluente es baja, no existe alimento suficiente para mantener el crecimiento microbiano que constituye el lodo. Por esta razón los microorganismos se ven forzados a funcionar en régimen de respiración endógena, acontece una auto oxidación al existir agotamiento del almacenamiento de alimento; los microorganismos

metabolizan su propio material celular sin reposición, lo que provoca una destrucción de sus células y una sucesión de nuevas especies, causando que el efluente tenga una DBO alta. (RAMALHO, 1983)

Para el diseño del sedimentador secundario se toman ciertas consideraciones propuestas por (METCALF & EDDY) cómo se puede ver en la Tabla 8-1.

**Tabla 8-1:** Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios

Tipo de tratamiento	Carga de superficie m <sup>3</sup> /md		Carga de sólidos Kg/m <sup>2</sup> h		Profundidad m
	Media	Punta	Media	Punta	
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados (excepto en la aireación prolongada)	16 - 32	41 - 49	3,90 – 5,85	9,76	3,6 – 6,0
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados con oxígeno	16 - 32	41 - 49	4,88 – 6,83	9,76	3,5 – 6,0
Sedimentación a continuación del proceso de aireación prolongada	8 - 16	24,42 - 32	0,97 – 4,88	6,83	3,6 – 6,0
Sedimentación a continuación de filtros percoladores	16 - 24	41 - 49	2,93 – 4,88	7,81	3,0 – 4,5
Sedimentación a continuación de biodiscos:					
Efluente secundario	16 – 32	41 – 49	3,90 – 5,85	9,76	3,0 – 4,5
Efluente nitrificado	16 - 32	32 - 41	2,93 – 4,88	7,81	3,0 – 4,5

Fuente: (METCALF & EDDY)

#### a) Velocidad de sedimentación

Para determinar la velocidad de sedimentación se realiza la prueba de la probeta se aplica la siguiente ecuación.

$$v_s = \frac{H_0}{t} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

$v_s$  = velocidad de sedimentación (m/min)

$H_o$  = altura de la probeta (m)

$t$  = tiempo (min)

### b) Área del sedimentador

Para el cálculo del área del sedimentador secundario se la obtiene aplicando la relación propuesta por (RAMALHO, 1983).

$$A_{sed} = \frac{(1 + \alpha) * Q_a * C_o}{SF_L} \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000g} \right) \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

$A_{sed}$  = área del sedimentador secundario (m<sup>2</sup>)

$Q_a$  = caudal del afluente del sedimentador secundario (m<sup>3</sup>/d)

$C_o$  = concentración de sólidos en el caudal de entrada al sedimentador (g/m<sup>3</sup>)

$SF_L$  = flujo de sólidos límite (Kg/m<sup>2</sup>d)

$\alpha$  =  $Q_U/Q$

$$SF_L = K * C * V_S \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

$SF_L$  = flujo de sólidos límite (Kg/m<sup>2</sup> h)

$K$  = 1/1000

$C$  = concentración de sólidos (mg/L)

$v_s$  = velocidad de sedimentación (m/h)

$$Q * X_o + Q_r * X_U = (Q + Q_r) * SSLM \rightarrow Q_r = \alpha * Q \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

$Q$  = caudal afluente (m<sup>3</sup>/d)

$X_o$  = sólidos suspendidos del afluente (mg/L)

$Q_r$  = caudal de recirculación (m<sup>3</sup>/d)

$X_U$  = sólidos suspendidos del caudal inferior (mg/L)

$SSLM$  = sólidos suspendidos del licor mezcla (mg/L)

**c) Diámetro del sedimentador**

Para determinar el diámetro del sedimentador se utiliza la siguiente expresión:

$$\emptyset = \sqrt{4 \frac{A_{sed}}{\pi}} \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

$\emptyset$  = diámetro del sedimentador

$A_{sed}$  = área del sedimentador secundario (m<sup>2</sup>)

**d) Diámetro del reparto central**

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\emptyset_{int} = \emptyset * 0,25 \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

$\emptyset_{int}$  = diámetro del reparto central

$\emptyset$  = diámetro del sedimentador

**e) Carga sobre el vertedero de salida**

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{vertedero} = \frac{Q}{\pi * \emptyset} \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

$C_{vertedero}$  = carga sobre el vertedero (m<sup>3</sup>/m d)

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

$\emptyset$  = diámetro del sedimentador

**f) Volumen del sedimentador**

$$V = H * A_{sed} \quad \text{Ec. 38}$$

Donde:

V = volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)

H = altura del sedimentador

A<sub>sed</sub> = área del sedimentador secundario (m<sup>2</sup>)

### **g) Altura de reparto**

Para calcular la altura de reparto se utiliza la siguiente expresión.

$$h_r = \frac{1}{4} * H \quad \text{Ec. 39}$$

Donde:

h<sub>r</sub> = altura de reparto (m)

H = altura del sedimentador (m)

### **h) Altura pendiente del sedimentador**

Con una pendiente mínima de 1/12 como lo recomienda (RAMALHO, 1983).

$$\tan \alpha = \frac{1}{12} = \frac{\phi/2}{12} \quad \text{Ec. 40}$$

$$H_C = \frac{\phi/2}{12} \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

H<sub>C</sub> = altura pendiente del sedimentador (m)

Ø = diámetro del sedimentador

### **i) Altura total del sedimentador**

$$H_T = H + H_C \quad \text{Ec. 42}$$

Donde:

H<sub>T</sub> = altura total del sedimentador

H = altura del sedimentador

H<sub>C</sub> = altura pendiente del sedimentador (m)

#### j) Caudal del efluente del sedimentador secundario

$$Q_e = \frac{Q_o * (X_U - X_o)}{X_U - X_e} \quad \text{Ec. 43}$$

Donde:

$Q_e$  = caudal del efluente del sedimentador secundario (m<sup>3</sup>/d)

$Q_o$  = caudal secundario a tratar (m<sup>3</sup>/d)

$X_U$  = sólidos en suspensión del caudal separado (mg/L)

$X_e$  = sólidos en suspensión del afluente (mg/L)

$X_o$  = sólidos en suspensión del que permanecen en el líquido clarificado (mg/L)

#### 1.7.4 Cloración

La cloración es el método más utilizado para la desinfección del agua ya que reúne la mayor parte de las propiedades del “desinfectante ideal”; su principal objetivo es la eliminación de los microorganismos por su acción germicida. (PÉREZ LOPEZ, y otros)

Su alta utilización es por la accesibilidad que tiene en la mayoría de países del mundo por su bajo costo, su alta capacidad oxidante, el mecanismo de eliminación de la materia orgánica, y por su efecto residual. Esto garantiza la inocuidad del agua desde que se trata hasta el instante que se utiliza, y esto es beneficioso para pequeños y grandes sistemas. (SOLSONA, y otros, 2002)

El tipo de microorganismos existentes en el agua tiene influencia en el proceso de desinfección. La reacción de los microorganismos frente a un desinfectante depende de la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del mismo. Tanto las bacterias como coliformes y salmonelas presentan menor resistencia a la desinfección, ya que la respiración la realizan en la superficie de la célula. (VARGAS, y otros)

El número de microorganismos que se encuentran presentes en el agua no afecta la desinfección. Ya que la concentración del desinfectante indicará el tiempo de contacto requerido para la eliminación de microorganismos que se encuentren en el agua. (VARGAS, y otros)

Las diversas presentaciones de cloro disponibles en el mercado para efectuar una desinfección del agua se mencionan a continuación:

- ✓ Cloro Gaseoso
- ✓ Cal Clorada
- ✓ Hipoclorito De Sodio
- ✓ Hipoclorito De Calcio.

Según (SOLSONA, y otros, 2002) el método utilizado de desinfección con cloro y sus derivados se debe efectuar en tres pasos consecutivos, las cuales varían respecto a la cantidad dependiendo del compuesto a utilizar:

“Paso 1: Evaluación de la cantidad de cloro que se va a dosificar en la red

Paso 2: Preparación de las soluciones de los productos no gaseosos

Paso 3: Calibración del dosificador.”

#### *1.7.4.1 Características del cloro como desinfectante*

- a) Elimina los organismos patógenos que se encuentran en el agua en condiciones ambientales y con un tiempo corto.
- b) De fácil dosificación, manejo y bajo costo.
- c) La determinación de su concentración en el agua es sencilla y de bajo costo.
- d) En las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.
- e) Deja un efecto residual que protege el agua de una posterior contaminación en la red de distribución.

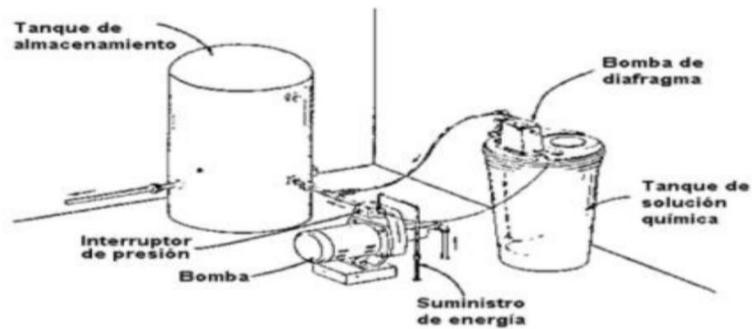
**Tabla 9-2:** Tipos de desinfectantes con cloro

Nombre y formula	Nombre comercial o común	Características	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad
<b>Cloro gas</b> <b>Cl<sub>2</sub></b>	Cloro licuado Cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99.5%	Muy buena.	Gas altamente tóxico
<b>Cal clorada</b> <b>CaO<sub>2</sub>CaCl<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Cal clorada, polvo blanqueador, hipoclorito de cal, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1%	Corrosivo
<b>Hipoclorito de sodio NaClO</b>	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% son inestables	Baja. Pérdida de 2- 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo
	Hipoclorito de sodio por electrólisis in situ	Solución líquida amarillenta	0.1 – 0.6 %	Baja	Oxidante
<b>Hipoclorito de calcio</b> <b>Ca(ClO)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O</b>	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 – 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 – 70%	Buena. Pérdida de 2 a 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.

Fuente: (SOLSONA, y otros, 2002)

#### 1.7.4.2 Hipoclorito de Calcio

El hipoclorito de calcio se encuentra de forma sólida o líquida, el hipoclorito de calcio contiene desde 70% de cloro disponible, cuando está en estado seco se abastece en gránulos o en polvo, comprimidos (tabletas) o en pastillas.



**Fotografía 12-1:** Instalación típica de hipocloración

Fuente: (VALDEZ & VAZQUEZ, 2003)

**Tabla 10-1:** Criterios para el almacenamiento de productos desinfectantes

Producto	Tiempo de almacenamiento (meses)	Dosis (mg/L)		Concentración de la solución (mg/L)
		Mínima	Máxima	
Cloro en cilindros a presión	3 – 6	1	3	3500
Hipoclorito de calcio	3 – 6	1,4	4,3	10000 - 50000
Hipoclorito de sodio	< 1 mes	1,7	23,1	10000 - 50000

Fuente: (RODRIGUEZ AYARA, 2000)

**a) Cálculo del tiempo de contacto**

$$t = \frac{\ln \frac{N_i}{N_f}}{k} \quad \text{Ec. 44}$$

Donde:

t = tiempo de contacto (min)

$N_i$  = Número de Coliformes totales inicial

$N_f$  = Número de Coliformes totales final

k = Constante de microorganismos ( $0,24 \text{ min}^{-1}$ )

**b) Dosis promedio del desinfectante**

$$D = \frac{D_M + D_m}{2} \quad \text{Ec. 45}$$

Dónde:

D = Dosis promedio del desinfectante, mg/L.

D<sub>M</sub>= Dosis máxima, mg/L.

D<sub>m</sub>= Dosis mínima, mg/L

**c) Peso necesario del desinfectante**

$$P = Q * D \quad \text{Ec. 46}$$

Donde:

P = peso necesario del desinfectante, mg/s o kg/d.

Q = Caudal, L/s.

D = Dosis promedio del desinfectante, mg/L.

**d) Volumen del tanque donde se mezcla el cloro**

$$V = Q * T_r \quad \text{Ec. 47}$$

Dónde:

V = volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

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

T<sub>r</sub> = Tiempo de retención, s

**e) Largo del tanque**

Relación largo:ancho es 2:1

$$L = 2 B \quad \text{Ec. 48}$$

Donde:

L = largo del tanque (m)

B = ancho del tanque (m)

**f) Altura del tanque**

$$A_T = \frac{V}{L*B} \quad \text{Ec. 49}$$

Dónde:

$A_T$  = altura del tanque (m)

$V$  = volumen del tanque ( $m^3$ )

$B$  = ancho del tanque (m)

$L$  = largo del tanque (m)

## **1.8 Reutilización de agua residual**

La construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales es un mecanismo de mitigación de contaminación del agua que se delimita a cumplir con un límite permisible de las descargas a ríos más cercanos con 10, 20, o 30% de materia orgánica, lo cual surge un desgaste económico-social, es por ello se ha buscado mejorar y es así que al darle un tratamiento a las aguas residuales, éste efluente se convierte en materia prima con condiciones de aprovechamiento para la reutilización de cualquier actividad como: riego agrícola, riego de césped, procesos industriales, cría de peces, usos estéticos, etc. (AYALA FANOLA, y otros, 2008: pp. 305-306)

## **1.9 Normativa Ambiental**

En el presente trabajo técnico la caracterización del agua residual proveniente de la red de alcantarillado del campus Edison Riera Universidad Nacional de Chimborazo, la misma que se registrará de acuerdo al uso posterior como es el riego de agua en el estadio Universitario y la recirculación de agua en las baterías sanitarias del estadio.

La legislación ambiental Ecuatoriana está comprendida por un cuerpo legal que integra la Constitución Política, tratados y convenios, leyes, normas, decretos, reglamentos, ordenanzas, acuerdos y resoluciones que deben ser regidos los procesos y actividades para el tratamiento de aguas residuales, a continuación se presenta el marco legal:

### ***1.9.1 Constitución Política del Ecuador 2008 (Constitución De La República Del Ecuador, 2008)***

Título II Derechos

Capítulo Segundo, Derechos del Buen Vivir, Sección Segunda, Ambiente Sano

**Art. 12.-** Derecho al agua. El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

**Art. 14.-** 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 preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

### Capítulo III Derechos de la Naturaleza

**Art. 71.-** De los derechos de la Naturaleza.- La Naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

**Art. 72.-** Derecho a la restauración.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

**Art. 74.-** Derecho a beneficiarse del ambiente.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que le permita el buen vivir.

### Sección VI, Agua

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, además de regular toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

**Art. 6.-** Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que

contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

- **La Ley de Gestión ambiental** (R.O. Suplemento 418, 2004/09/10 (Ley De Prevención Y Control De La Contaminación Ambiental, 2004)

## **TÍTULO I**

### **AMBITO Y PRINCIPIOS DE LA LEY**

**Art. 1.-** La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

- **Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua**(R.O. 305, 2014/08/06) (Ley Orgánica De Recursos Hidricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua, 2014)

Título I; Disposiciones Preliminares

#### **Capítulo I; De los Principios**

**Art. 1.-** El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

**Art. 3.-** Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos.

**Art. 4.-** Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios:

- a) La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas;
- b) El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;

- c) El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable;
- d) El agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades;
- e) El acceso al agua es un derecho humano;
- f) El Estado garantiza el acceso equitativo al agua;
- g) El Estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua; y,
- h) La gestión del agua es pública o comunitaria.

**1.9.2 ACUERDO MINISTERIAL 097 A, RECURSO AGUA (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015)**

La cual corresponde a la normativa emitida por el Ministerio del Ambiente, Registro Oficial N° 387 Acuerdo 097 – A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente “TULSMA”, ANEXO 1 DEL LIBRO VI: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, señala el cumplimiento con los criterios de calidad establecidos en las Tabla 2 y 3.

**Tabla 11-1:** Criterio de calidad de aguas para uso agrícola en riego

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	20
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	DQO	mg/L	40
<b>Aceites y Grasas</b>	Película Visible	mg/L	Ausencia
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP	NMP/100mL	1000

Fuente: (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015)

De acuerdo con la reforma 097-A Reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria en el “PARÁGRAFO I DEL AGUA, Art. 209 De la calidad del agua. - Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.” (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015)

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Diseño experimental

##### 2.1.1 Tipo de estudio

El presente proyecto tiene como tipo de estudio lo siguiente: exploratorio, experimental y la aplicación del método deductivo.

- ❖ **Exploratorio:** debido a que se realizaron análisis del agua residual para la determinación de los contaminantes presentes en la misma.
- ❖ **Experimental:** porque el factor de estudio es asignado, siendo la planta de tratamiento de aguas residuales controlando los procesos de ésta además de la verificación de la calidad del efluente.
- ❖ **Método Deductivo:** parte de principios generales para demostrar principios secundarios, sigue pasos específicos para lograr el cumplimiento de un objetivo.

##### 2.1.2 Localización del proyecto

Se encuentra ubicado en la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera, localizado al Nor-Este del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, parroquia Velasco, Km 1 ½ vía Guano.

Las condiciones meteorológicas de la ciudad de Riobamba reportadas por la estación meteorológica Riobamba Politécnica con código M1036 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), presenta una temperatura promedio de alrededor de 13.7°C; la precipitación media que se presenta en el cantón es de aproximadamente 560 mm.

## 2.2 Materiales y equipos

A continuación, se detallan los materiales y equipos utilizados para la medición del caudal y la toma de muestras.

**Tabla 12-2:** Materiales y equipos para medición de caudal y muestreo

<b>Medición del caudal</b>	
Balde de 10 litros	Cronometro
Soga	GPS
<b>Toma de muestras para análisis</b>	
Frascos de muestreo	Mandil
Guantes	Mascarilla

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

## 2.3 Metodología

### 2.3.1 *Medición del caudal*

Para la determinación del caudal de aguas residuales que genera actualmente la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera en la caja de revisión del alcantarillado que se encuentra ubicada junto al estadio de la institución y se realizó mediante la utilización del método volumétrico, con la utilización de un balde de 10 L y un cronómetro.

La (RAS - 2000) recomienda un número mínimo de 3 muestreos por día por lo que se decidió realizar 7 mediciones diarias que se efectuaron en un periodo de 6 días consecutivos, siendo éstos de lunes a sábado ya que son los días en los que la Universidad realiza actividades académicas, las tomas llegan a un total de 42 y se hicieron en un lapso de 12 horas con intervalo de 2 horas entre tomas, empezando a las 07:00 y finalizando a la 19:00, debido a que en este transcurso es donde existe una mayor actividad estudiantil. Cuando ya se tiene los valores de las mediciones de tiempo y volumen se procede a calcular el caudal con la aplicación de la ecuación 1.

### 2.3.2 *Muestreo del agua residual*

Se procedió a tomar las muestras en el punto de descarga final del campus, mediante una muestra simple y se realizó en tres instantes de tiempo cuyas fechas son las siguientes: del 3 al 18 de Agosto del 2016, del 24 al 28 de Septiembre del 2016 y el 11 de Mayo del 2017, con la finalidad de conseguir una mayor cantidad de datos representativos.

Las muestras fueron trasladadas y entregadas de inmediato al laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo en el frasco de plástico de 1 L para efectuar la caracterización físico – química y en un frasco de plástico estéril para el análisis microbiológico del agua residual.

### 2.3.3 Caracterización físico – química y microbiológica del agua residual

La caracterización físico – química y microbiológica del agua residual de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera, se llevó a cabo en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, con un total de 15 muestras entregadas en los periodos de tiempo siguientes: del 3 al 18 de Agosto del 2016, del 24 al 28 de Septiembre del 2016 y el 11 de Mayo del 2017, especificando los parámetros de interés a ser analizados.

Los métodos que se utilizan en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo para la realización de los análisis se especifican en la siguiente tabla.

**Tabla 13-2:** Métodos del análisis físico–químico y microbiológico del agua residual

PARAMETRO	METODO/ PROCEDIMIENTO
<b>pH</b>	PE-LSA-01
<b>Aceites y grasas</b>	EPA418.1
<b>Sólidos totales</b>	PE-LSA-04
<b>Sólidos sedimentables</b>	STÁNDAR METHODS 2540 – F
<b>Sólidos suspendidos</b>	STÁNDAR METHODS 2540 – D
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	STÁNDAR METHODS 5220 – D mod
<b>Demanda Biológica de Oxígeno</b>	STÁNDAR METHODS 5210 - B
<b>Coliformes totales</b>	STÁNDAR METHODS 9221 C
<b>Coliformes fecales</b>	STÁNDAR METHODS 9221 C

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo.

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

## **2.4 Prueba de tratabilidad de lodos activados**

Para la realización de la prueba de tratabilidad con el proceso de lodos activados y determinar la eficiencia del mismo, se construyó un recipiente de 15 L y tratando un volumen fijo de 10 L de agua residual, por un periodo de 7 días, provenientes de la Universidad Nacional de Chimborazo campus Edison Riera, acondicionada la aireación continúa utilizando una bomba de pecera, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la Fotografía 13-2.

Al controlar los parámetros de diseño se añade lodo en una cantidad de  $900 \text{ cm}^3$  para un volumen de agua residual de 10 L, lo que equivale a poner al ras de la manguera de aireación, proporcionado el dato por la empresa de Servicios Ambientales Alquiser (Construcción de plantas de tratamiento de aguas grises y negras y de agua potable), este lodo tratado se obtiene de las eras de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de la Libertad (barrio de San Luis-Riobamba). Una vez finalizado este proceso el agua tratada será analizada en los parámetros de interés.

### ***2.4.1 Determinación del índice volumétrico de lodos***

Para determinar el índice volumétrico de lodos se realiza en el laboratorio para lo cual se toma una muestra de 1000 mL de licor mezcla, del tanque de aireación, y se coloca en un Cono Imhoff tomando mediciones cada 5 minutos del volumen de sedimentación que se da.

### ***2.4.2 Determinación de la velocidad de sedimentación***

Para establecer la velocidad de sedimentación se realizó la prueba de la probeta, la cual consiste en llenar una probeta de 1000 mL con licor mezcla, del tanque de aireación, y medir la altura de la misma en el tiempo inicial, cuando la muestra se encuentra todavía homogenizada, se la deja en reposo durante 30 minutos y en intervalos de tiempo de 5 minutos se toma nota de la altura que ocupa la suspensión.



Bajo consumo de energía de la bomba de aire de los animales acuáticos

VOLTIOS: AC230 / 115V / 12V

FREQ: 50 / 60Hz

POTENCIA: 3.5W

PRESIÓN: 0.012MPa

SALIDA: 2x3L / min

PESO: 0.45kg

TAMAÑO: 95x70x142mm

SC-7500 + Enlarge

Seleccionar un modelo ▼

Instruction

**Fotografía 13-2:** Especificaciones técnicas de la bomba de aire

Fuente: (SC-7500)

### 2.4.3 Determinación de oxígeno disuelto

- Se realizan 5 pruebas de oxígeno disuelto en el laboratorio de Calidad de agua ESPOCH.
- Se toma una muestra de agua en una botella Wheaton sumergiéndola de manera que no ingresen burbujas.
- Se procede a colocar 1mL de Cloruro de Manganeso ( $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  40%) y 1 mL de Ácido Sódico ( $NaN_3$ ) se tapa la botella y se agita homogenizando.
- Seguidamente se deja en reposo unos 2 minutos, luego se añade 2 mL de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).
- Para determinar la cantidad de oxígeno se procede a titular con Tiosulfato a 0.025 N, previamente haber colocado unas gotas de solución de almidón.
- La cantidad de reactivo utilizado será la cantidad de yodo consumido mediante el respectivo calculo, lo que es equivalente a determinar el oxígeno disuelto en el agua.

**Fotografía 14-2:** Determinación de oxígeno disuelto

Fuente: Laboratorio Calidad de Agua ESPOCH

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Con la siguiente ecuación se calculó la cantidad de oxígeno disuelto que presenta el tratamiento del agua residual durante el control de la prueba de tratabilidad y del prototipo.

$$OD \left( \frac{mgO_2}{L} \right) = \frac{mL (Tiosulfato) * 0.025 (Normal) * 8 (Eq O_2) * 1000}{(300 - 4)}$$

## **2.5 Dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Para proceder con el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales generadas Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera se lo realizó a partir del cálculo del caudal de diseño y además tomando en consideración los análisis físico – químicos y microbiológicos del agua residual para determinar el mejor tratamiento de la misma.

En el diseño de la planta de tratamiento se utilizó las ecuaciones y parámetros de diseño de normas vigentes, mencionados en el capítulo anterior, como la Norma Ecuatoriana de Construcción, RAS 2000, SENAGUA y de diversos autores como Ramalho, Metcalf & Eddy, entre otros.

## **2.6 Construcción del prototipo**

Una vez dimensionada la planta de tratamiento se optó por la escala de reducción 1/15, por costo y espacio, para la construcción del prototipo; los materiales y equipos utilizados en la construcción se detallan en la Tabla 14-2.

Una vez adquiridos los materiales y equipos necesarios se realizó la construcción del prototipo con ayuda de personas con conocimientos básicos en mecánica, instalación de tuberías y parte eléctrica. A continuación, se especifica el procedimiento:

- a) Se armó la estructura metálica ( $\frac{1}{2}$  X 2 mm) de 2 pisos en la cual en la parte superior se colocó una base de madera resistente a la humedad y al peso.
- b) Se unieron las piezas de policarbonato para formar los tanques que delimitan los diferentes procesos del tratamiento del agua.
- c) Se procede a colocar las tuberías de  $\frac{1}{2}$  pulgada controlando con llaves de paso la circulación del agua entre tanques.
- d) Se instala el sistema de aireación con la ayuda de bombas de aire unidad a difusores mediante mangueras y llaves de paso.
- e) Se coloca el agitador en el tanque equalizador y la bomba para la recirculación.
- f) Se finaliza con una prueba de funcionamiento del prototipo mediante la colocación de agua cruda para identificar si existen problemas de fugas de líquido o aire, resistencia del policarbonato o en algún equipo para así poder dar una inmediata solución.

**Tabla 14-2:** Materiales y equipos para la construcción del prototipo

DESCRIPCIÓN	
<b>POLICARBONATO (8 mm)</b>	VÁLVULA BOLA COMPACTA R/R 1/2"
<b>CINTA ADHESIVA</b>	CODO ROSC PP 1/2" X 90"
<b>SILICONA EN TUBO</b>	TEE R/R PP 1/2"
<b>AL 3/4 X 2 MM</b>	CINTA TEFLON GRANDE AMARILO "GERMANY"
<b>TC C1 1/2 X 2 MM</b>	ADAP TANQUE PP 1"
<b>Amarra cable 12" x4.5 MM NEGRO</b>	UNION UNIVERSAL R/R PP 1/2"
<b>CODO POLIPROP ROSC. 1/2" X 45</b>	CEMENTO C
<b>Abrazadera A. INOX 16-32X12.7MM C/U FIERRO</b>	TABLERO M
<b>CODO POLIPR. CACHIMBA 1/2"X90</b>	SUELDAAGA 60 11X3/32 LIBRA
<b>NEPLO POLIPR. CORRIDO 1/2"</b>	MACILLA UNIPLAS
<b>NEPLO POLIPR. 1/2"X 6CM R/R</b>	CARTUCHO SILICON ABRO
<b>NEPLO POLIPR. 1/2"X10CM</b>	NUDO UNIVERSAL PLASTIGAMA 1/2"
<b>BUSHING POLIPR. 1 1/2" A 1/2"</b>	MANG GAS IND 5/16" AMARILLA C/METRO
<b>ANGULAR P/ESQUINA 4 "ZINCAD 4PC MINTCRAFT</b>	ABRAZADERA 3/4" TITAN JARDIN (10- 06)
<b>TORNILLO NEGRO 3/4X8 P/AGLOMERADO 20U</b>	REGLETA K5-75W7P (7 INTERRUPTOR) KING SONG (-5%)
<b>MANGUERA 1" CRISTAL LISA C/M</b>	DIFUSORES DE PIEDRA
<b>ANGULAR P/ESQUINA 1.5 "X1/2" ZINCADO 4PZ</b>	DIFUSORES FLEXIBLES
<b>GARRUCHA 926917</b>	MANGUERA FLEXIBLE (10m)
<b>GARRUCHA 926904</b>	LLAVES DE PASO
<b>PAPEL RL</b>	CIFONADOR
<b>ETIQUE CJ</b>	BOMBA AIRE SE-314
<b>JUEGO 5 PIEZAS SIERRS BEDTVALUE</b>	BOMBA AIRE SC-7500
<b>TUBO PROSC 1/2" X 6M PLASTIDOR</b>	BOMBA AIRE S-4000
<b>ADAP TANQUE PP 1/2"</b>	

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

## **2.7 Verificación del cumplimiento de parámetros tratados en el prototipo**

### **2.7.1 Funcionamiento del prototipo**

Para poner en funcionamiento el prototipo se decidió recolectar un volumen de 90 litros, con un periodo de 7 días de tratamiento, por motivos didácticos, tomados en el punto de descarga de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera; una vez que se encuentra el volumen indicado en el tanque ecualizador se enciende el agitador, homogenizando el afluente.

En el tanque se aireación se dispuso colocar 11 litros de lodo tratado cubriendo una altura de 2,5 cm, teniendo en cuenta los datos obtenidos en la prueba de tratabilidad realizada previamente, a continuación se abre la llave de paso un 50%, ingresando un caudal de 0.06 L/s, que se encuentra entre el tanque ecualizador y el tanque de aireación hasta cubrir la mitad del volumen de dicho tanque, controlando parámetros de sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos totales del licor mezcla, temperatura y de oxígeno disuelto.

Una vez que se confirmó la estabilización del proceso, por control de parámetros como medición de sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, temperatura y oxígeno disuelto, se fijó un tiempo de retención hidráulico de 24 horas, una vez transcurrido este tiempo se abre la llave de paso entre el tanque de aireación y el sedimentador secundario, permitiendo la circulación del licor mezcla, y a su vez también el paso del agua del ecualizador al tanque de aireación, esto para mantener el volumen de licor mezcla existente.

Cuando en el sedimentador secundario se puede diferenciar la sedimentación de los lodos, se puede activar la bomba para la recirculación de los mismos y para su eliminación, del agua ya clarificada ésta es dirigida al tanque de cloración y por último se recolecta en el tanque destinado para su almacenamiento.

## **2.8 Elaboración de planos**

Los planos de la planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera se elaboraron con el software AutoCAD 2015, realizando la vista planta y los cortes longitudinal y transversal.

## CAPÍTULO III

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

A continuación, se presentan los cálculos de los parámetros que son necesarios para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera.

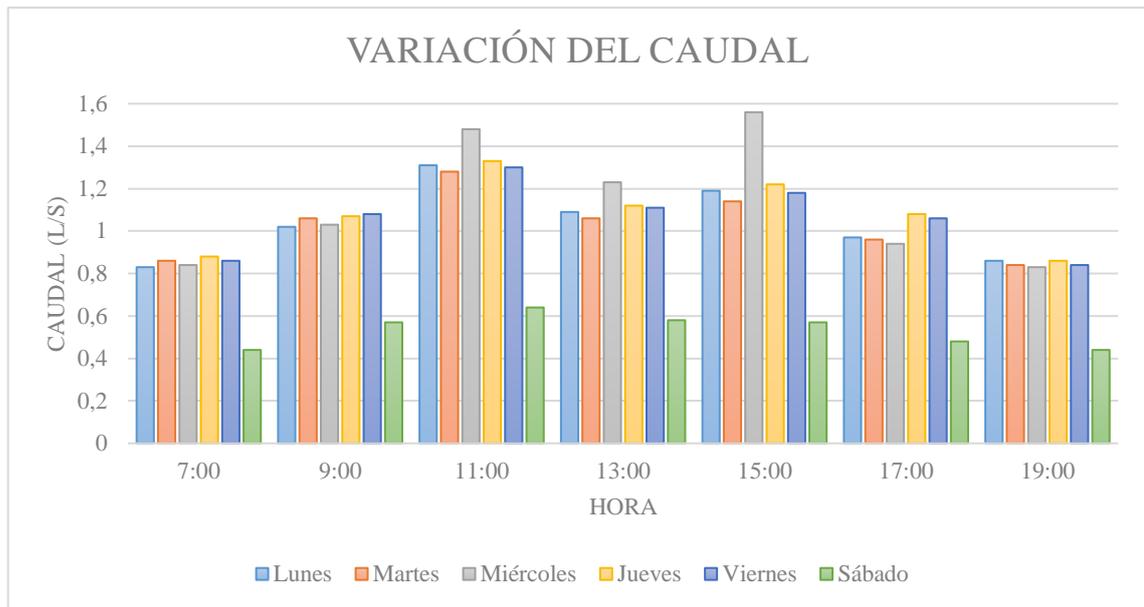
#### 3.1 Medición de caudales

La Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera presenta actividades académicas de lunes a viernes, para los estudiantes que obtendrán títulos de tercer nivel y el día sábado para los profesionales que conseguirán los títulos de cuarto nivel, por lo cual, y teniendo estos aspectos en consideración es que se decidió realizar las mediciones de los caudales durante una semana en diferentes horas del día para minimizar errores de la medición y poder determinar si existe un alza o baja de los caudales a lo largo de la semana siendo los resultados los que se presentan en la Tabla 15-3.

**Tabla 15-3:** Resultado de la medición de caudales

	Caudal (L/s)					
Hora/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
<b>7:00</b>	0.83	0.86	0.84	0.88	0.86	0.44
<b>9:00</b>	1.02	1.06	1.03	1.07	1.08	0.57
<b>11:00</b>	1.31	1.28	1.48	1.33	1.3	0.64
<b>13:00</b>	1.09	1.06	1.23	1.12	1.11	0.58
<b>15:00</b>	1.19	1.14	1.56	1.22	1.18	0.57
<b>17:00</b>	0.97	0.96	0.94	1.08	1.06	0.48
<b>19:00</b>	0.86	0.84	0.83	0.86	0.84	0.44
Promedio diario	1.04	1.03	1.13	1.08	1.06	0.53

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017



**Gráfico 1-3:** Caudal diario promedio

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Como se puede observar en el Gráfico 1-3 el caudal medido durante una semana regular no presenta una variación significativa de lunes a viernes, pero existe una disminución notoria en el sábado en comparación a los demás días; el día con mayor caudal es el miércoles con un valor de 1.13 L/s.

En lo que respecta a las siguientes horas 11:00, 13:00 y 15:00 existe un incremento en todos los días de la semana, sobre todo el miércoles; y en las horas que menos caudal se midió es a las 07:00 y 19:00.

### 3.2 Caracterización físico – química y microbiológica de las aguas residuales

La caracterización físico – química y microbiológica del agua residual de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera, se la realizó en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, con un total de 15 muestras entregadas en frasco estériles de un litro con el fin de minimizar errores en los resultados obtenidos.

**Tabla 16-3:** Valores de los resultados de análisis de las aguas residuales

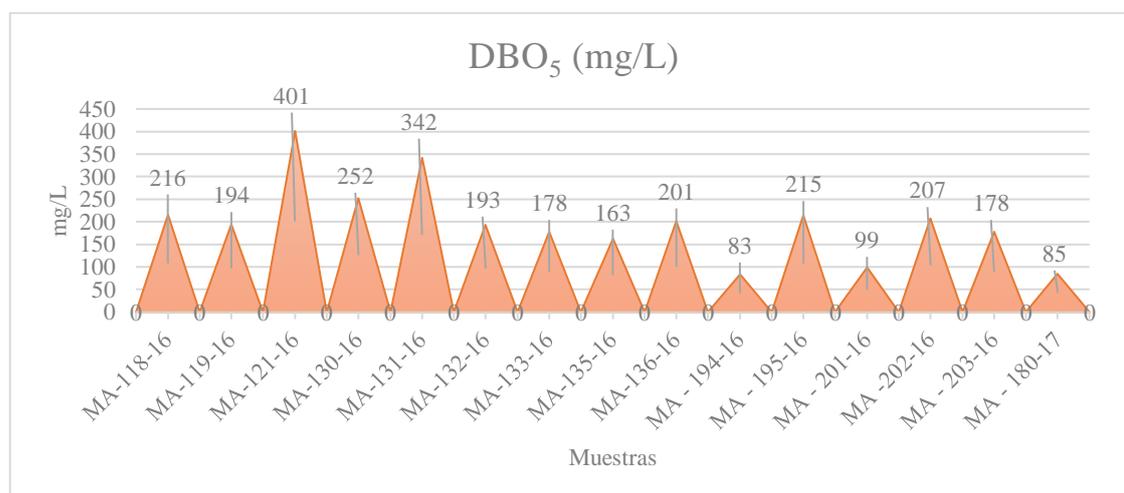
MUESTRA	PARAMETROS				
	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	COLIFORMES FECALIS (UFC/100 mL)	ACEITES Y GRASAS (mg/L)	pH (H+)
MA-118-16 03/08/2016	216	344	3400	2.34	6.72
MA-119-16 04/08/2016	194	388	4700	2.06	6.83
MA-121-16 05/08/2016	401	782	2700	2.47	7.13
MA-130-16 08/08/2016	252	491	3100	1.92	6.69
MA-131-16 10/08/2016	342	519	7400	1.74	6.88
MA-132-16 15/08/2016	193	426	4200	1.63	6.56
MA-133-16 16/08/2016	178	469	6800	1.78	6.93
MA-135-16 17/08/2016	163	399	3900	1.49	7.24
MA-136-16 18/08/2016	201	447	6300	1.68	6.61
MA - 194-16 24/08/2016	83	112	2000	1.02	7.03
MA - 195-16 25/08/2016	215	278	4900	0.78	7.49
MA - 201-16 26/08/2016	99	173	22000	0.83	6.96
MA - 202-16 27/08/2016	207	331	3800	0.77	7.39
MA - 203-16 28/08/2016	178	251	3500	0.62	7.24
MA - 180-17 11/05/2017	85	194	9100	1.64	8.8
<b>LIMITE MAXIMO PERMISIBLE</b>	20	40	1000	AUSENCIA	6-9
<b>CUMPLIMIENTO</b>	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	Si Cumple

**Fuente:** Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo y (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015)

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Los resultados presentados en la Tabla 16-3 son de la caracterización físico – química y microbiológica del agua residual de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera presenta un alto grado de contaminación orgánica determinado por los parámetros de  $DBO_5$  y DQO, una concentración alta de coliformes fecales y presencia de aceites y grasas. Todos los parámetros antes mencionados se encuentran fuera de norma, según la Tabla 2 y 3 del Acuerdo ministerial 097-A.

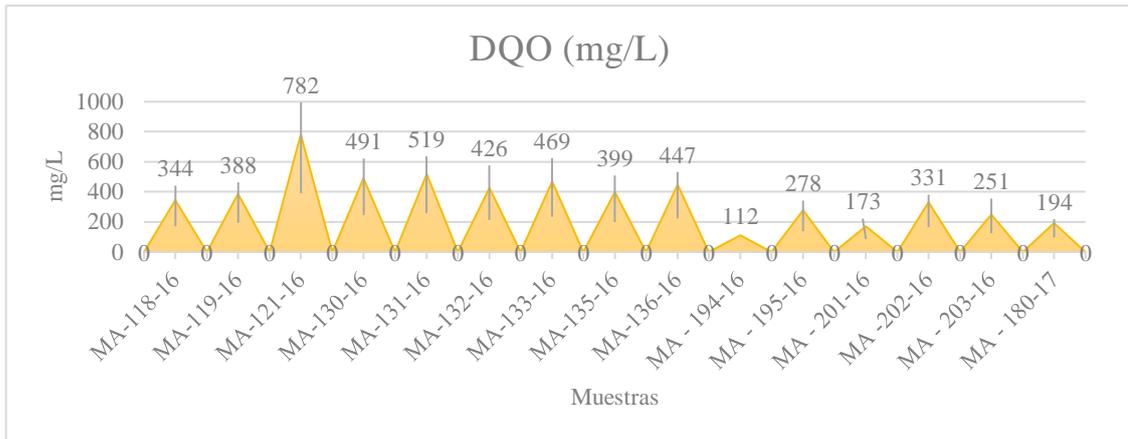
Como se puede observar los resultados en el Grafico 2-3 de la  $DBO_5$ , Gráfico 3-3 de DQO y en el Gráfico 4-3 de coliformes fecales de las aguas residuales analizadas en el Campus Universitario, presentaron fluctuaciones en las mediciones de dichos parámetro, el valor más alto registrado corresponde a 401 mg/L, y el valor más bajo es de 83 mg/L de  $DBO_5$ , 782 mg/L como el valor más alto y un mínimo de 112 mg/L de DQO y en coliformes fecales registrando el dato más alto de 22000 UFC/100 mL y el más bajo de 2000 UFC/100 mL esta variación puede ser por factores como: concentración en mayor o menor medida de la naturaleza del agua residual por ser de origen doméstico, también considerando la actividad microbiana con relación a la temperatura ambiente local razón por la cual cuando existe una mayor temperatura incrementa el metabolismo de los microorganismos y en el descenso de temperatura hay una reducción de velocidad en su metabolismo; la presencia de aceites y grasas tiene una cantidad máxima de 2.47 mg/L y mínima de 0.62 mg/L, que se debe al servicio que prestan los bares al preparar alimentos para la comunidad universitaria, como se muestra en el Gráfico 5-3.



**Gráfico 2-3:** Resultados de análisis de  $DBO_5$  de las aguas residuales

**Fuente:** Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo

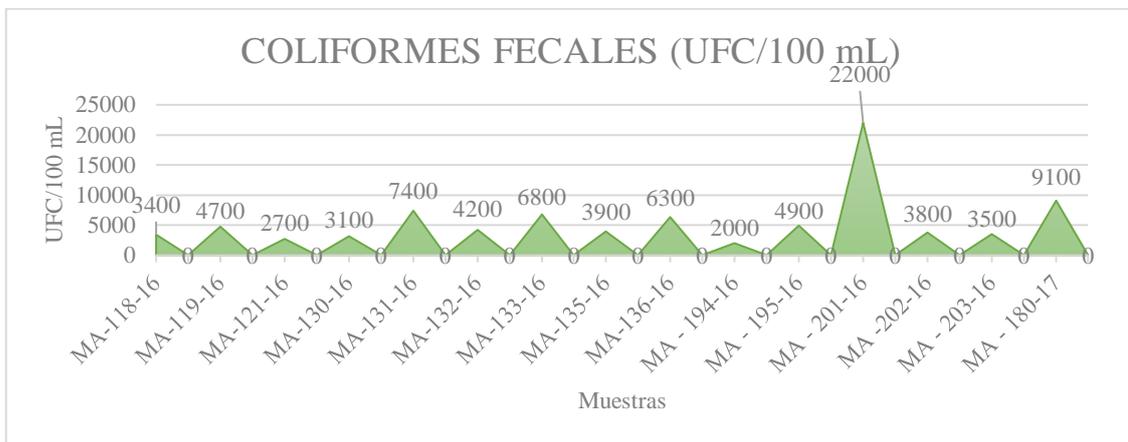
**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017



**Gráfico 3-3:** Resultados de análisis de DQO de las aguas residuales

**Fuente:** Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo

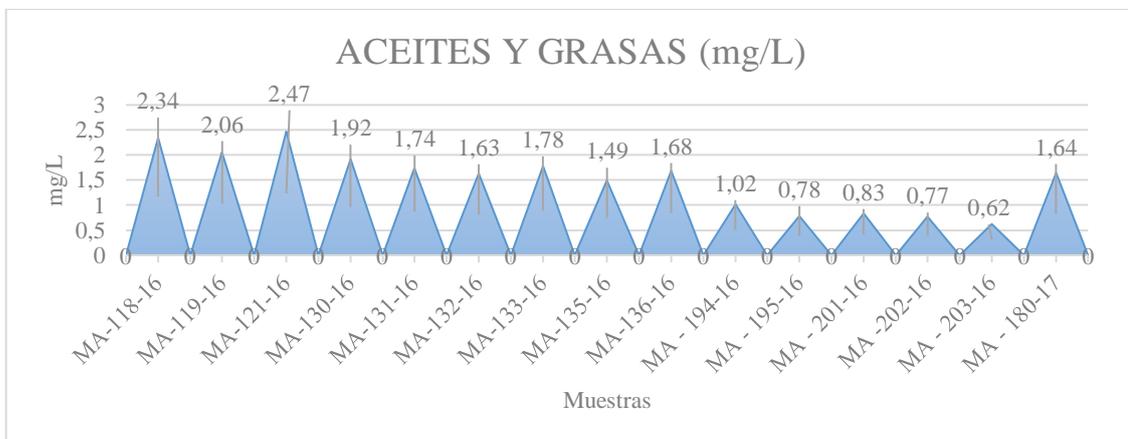
**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017



**Gráfico 4-3:** Resultados de análisis de coliformes fecales de las aguas residuales

**Fuente:** Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017



**Gráfico 5-3:** Resultados de análisis de aceites y grasas de las aguas residuales

**Fuente:** Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.3 Prueba de tratabilidad de lodos activados

Para realizar el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera se efectuó una prueba de tratabilidad de lodos activados para la cual se adecuaron las condiciones que requiere este proceso durante 7 días, obteniendo resultados de los parámetros de control que se muestran en las Tablas 17-3 y 18-3.

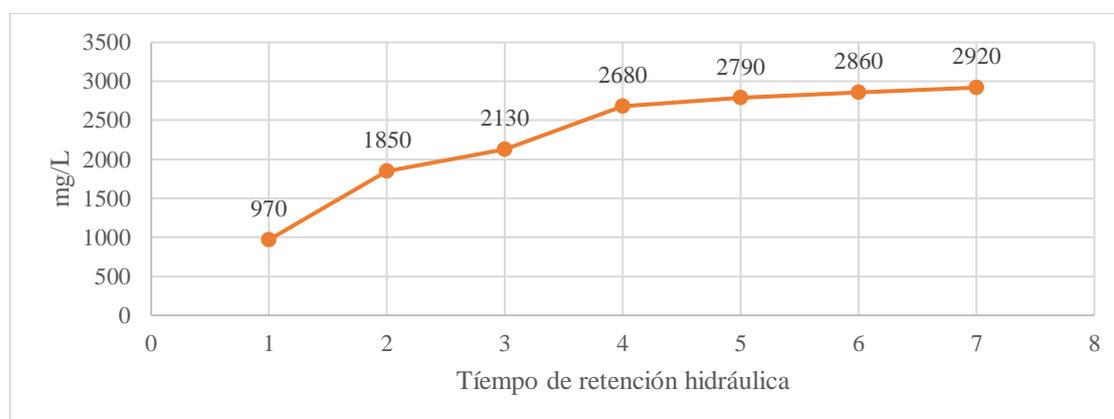
**Tabla 17-3:** Resultados de sólidos suspendidos del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad de lodos activados

TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (día)	PARAMETROS DE CONTROL	
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (mg/L)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)
1	970	1030
2	1850	1970
3	2130	2260
4	2680	2850
5	2790	2940
6	2860	3050
7	2920	3120

Fuente: Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

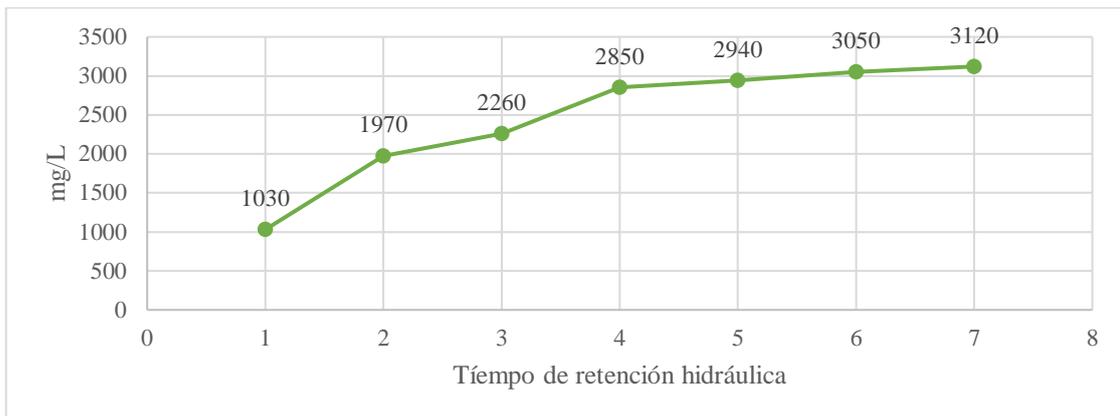
#### 3.3.1 Parámetros de control sólidos suspendidos volátiles



**Gráfico 6-3:** Resultados de sólidos suspendidos volátiles del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad de lodos activados

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.3.2 Parámetros de control sólidos suspendidos totales



**Gráfico 7-3:** Resultados de sólidos suspendidos totales del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad de lodos activados

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Como se puede percibir en el Gráfico 6-3 existe un crecimiento en la cantidad de sólidos suspendidos volátiles, estos valores representan la biomasa existente en el reactor biológico (tanque de aireación), comparando el primer día y el último día de la prueba de tratabilidad.

Las mediciones de la concentración de sólidos suspendidos volátiles se realizaron cada 24 horas y se determinó que durante los tres primeros días se presenta una alta fluctuación creciente de los sólidos y a partir del día cuarto hasta el final de la prueba presenta una nivelación en la concentración de los mismos lo que nos indica que el sistema ya se encuentra estabilizado y que el sistema de depuración de las aguas ha comenzado.

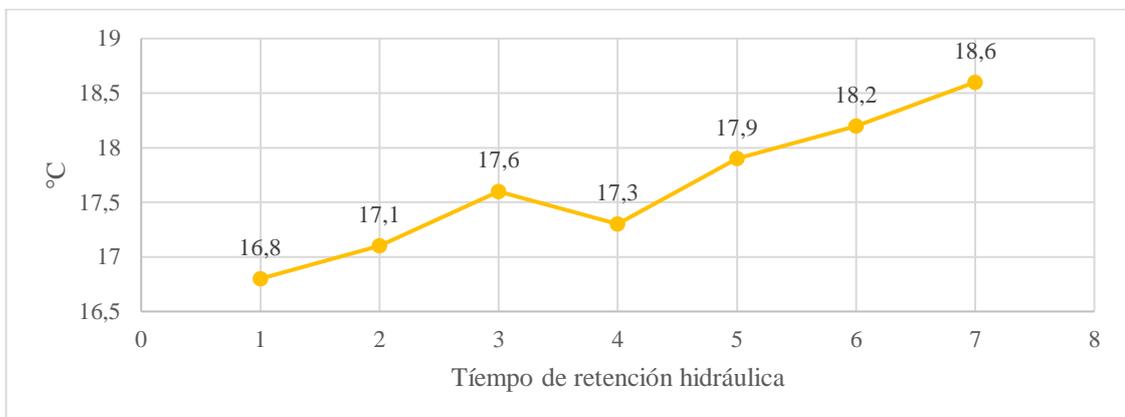
Al igual en el Gráfico 7-3 la línea de tendencia se incrementa de 1034 mg/L a 3120 mg/L durante 7 días de control de sólidos suspendidos totales en el reactor biológico (tanque de aireación), representando en mayor cantidad, ya que la conformación de sólidos suspendidos volátiles (materia orgánica) y sólidos suspendidos no volátiles (materia inorgánica) constituyen los sólidos suspendidos totales.

**Tabla 18-3:** Resultados de temperatura y oxígeno disuelto del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad

TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (día)	PARAMETROS DE CONTROL	
	TEMPERATURA (°C)	OXIGENO DISUELTO (mg/L)
1	16.8	4.11
2	17.1	3.22
3	17.6	3.47
4	17.3	3.18
5	17.9	2.84
6	18.2	2.93
7	18.6	3.08

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

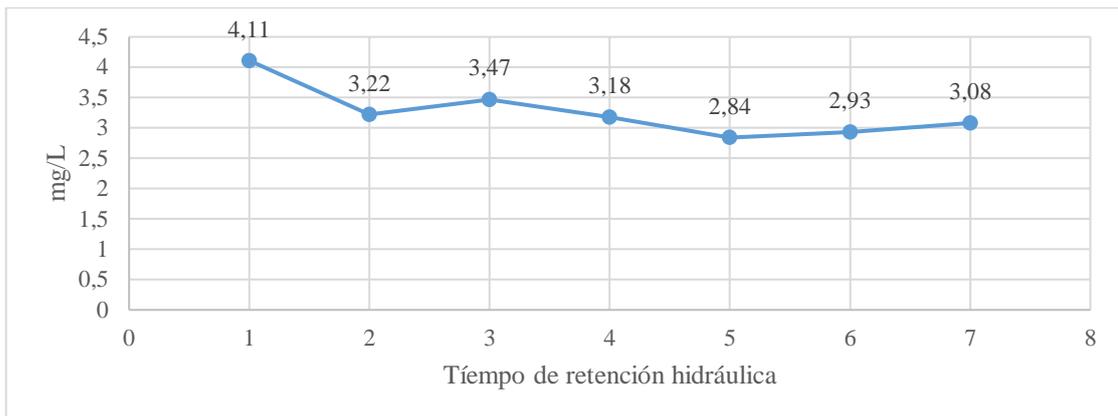
### 3.3.3 Parámetros de control temperatura



**Gráfico 8-3:** Resultados de temperatura del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.3.4 Parámetros de control oxígeno disuelto



**Gráfico 9-3:** Resultados de oxígeno disuelto del reactor biológico (tanque de aireación) en la prueba de tratabilidad

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

El Gráfico 8-3 nos indica el resultado del control que se efectuó en el reactor biológico (tanque de aireación) de la temperatura que fue medida in-situ, mediante a través de la utilización de un termómetro digital, en los cuales se controlaron llevando un registro cada 24 horas, durante siete días.

En este periodo se constató que existe un crecimiento leve en la temperatura en el proceso debido a la actividad microbiana.

Mediante la utilización de la botella Wheaton se determinó la cantidad de oxígeno disuelto, en el Laboratorio Calidad de Agua de la ESPOCH, presente en el reactor biológico (tanque de aireación) cuyos resultados se pueden ver en el Gráfico 9-3.

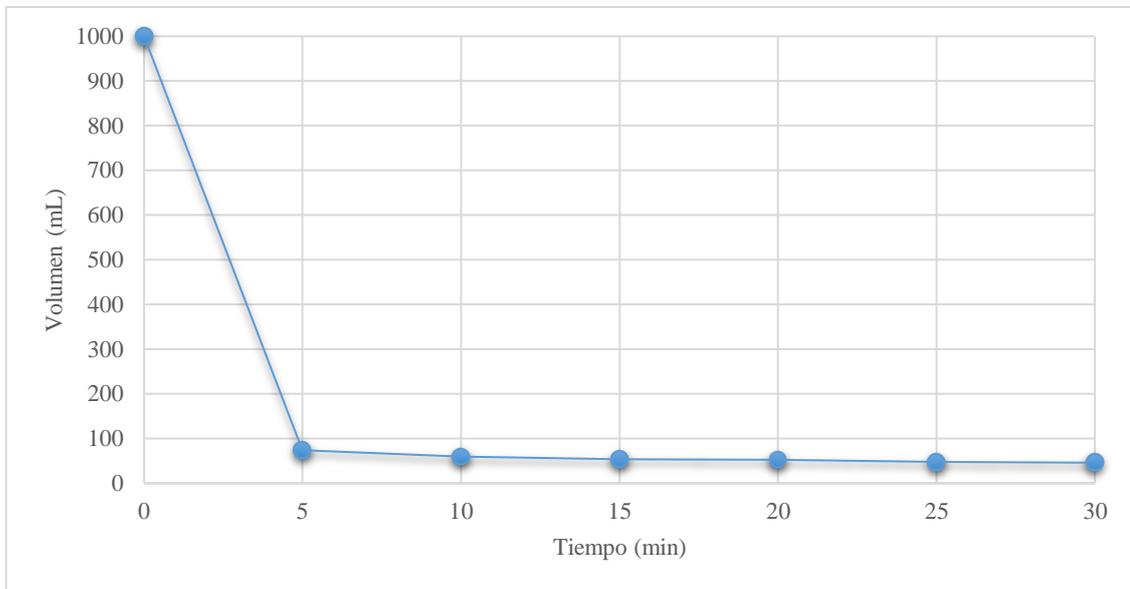
Este control se hizo durante un tiempo de siete días consecutivos presentando una variación a lo largo de toda la prueba de tratabilidad el cual nunca llega a alcanzar un valor menor a 2 mg O<sub>2</sub>/L, lo que nos indica que la aireación suministrada por la bomba de aireación fue la adecuada para que se desarrolle favorablemente el metabolismo microbiano.

### 3.3.5 Índice volumétrico de lodos

**Tabla 19-3:** Resultado de la prueba de sedimentación en el Cono Imhoff

INDICE VOLUMETRICO DE LODOS	
TIEMPO (min)	VOLUMEN (mL)
0	1000
5	74
10	60
15	54
20	52
25	48
30	46

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017



**Gráfico 10-3:** Resultado de la prueba de sedimentación en el Cono Imhoff

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

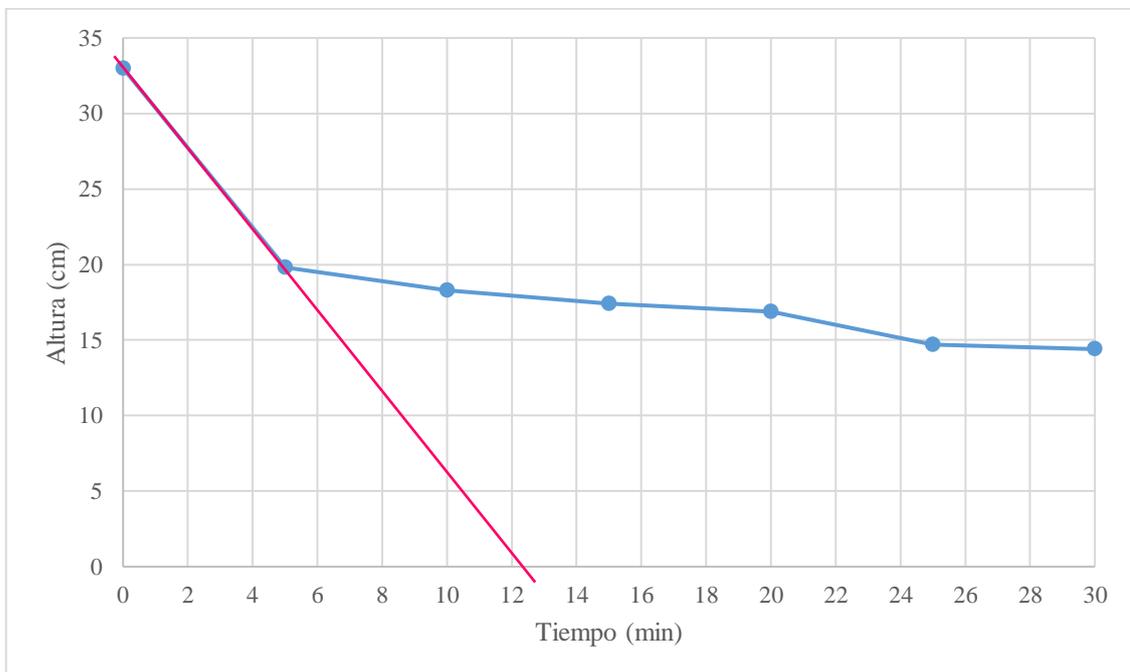
Tras haber realizado la prueba de sedimentación en el cono Imhoff durante 30 minutos y cuyos resultados se muestran en el Gráfico 10-3 se determinó que existe una excelente sedimentación de lodos con un valor de 14.84 mL/g, ya que es menor a 90 mL/g, según (ABEFASE, 2012)

### 3.3.6 Velocidad de sedimentación

**Tabla 20-3:** Resultado de la prueba de probeta para la velocidad de sedimentación de lodos

VELOCIDAD DE SEDIMENTACION	
TIEMPO (min)	ALTURA (Cm)
0	33
5	19.8
10	18.3
15	17.4
20	16.9
25	14.7
30	14.4

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017



**Gráfico 11-3:** Resultado de la prueba de probeta para la velocidad de sedimentación de lodos

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Después de realizar la prueba de velocidad de sedimentación en una probeta de 1000 mL durante 30 minutos, estos resultados se pueden observar en el Gráfico 11-3; se puede decir que se presenta una buena velocidad de sedimentación teniendo esta un valor de 0.026 m/min lo cual nos indica que existe la formación de flóculos provocando la precipitación de los mismos y logrando una clarificación del agua, este dato nos ayuda para poder realizar los cálculos para el dimensionamiento del sedimentador secundario.

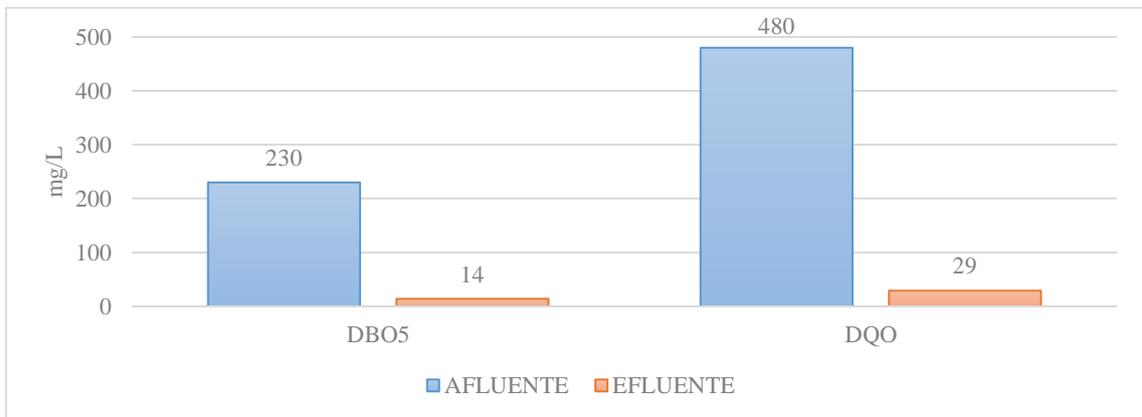
### 3.3.7 Resultados de la prueba de tratabilidad de lodos activados

**Tabla 21-3:** Resultados de la prueba de tratabilidad de lodos activados

MUESTRA/PARAMETRO	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)
AFLUENTE	230	480
EFLUENTE	14	29

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Como resultado de la prueba de tratabilidad de lodos activados se puede constatar en el Gráfico 12-3 que el proceso fue eficiente en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y en la Demanda Química de Oxígeno, presentando un afluente de 230 mg/L y 480 mg/L respectivamente y logrando una disminución del 94% en un periodo de siete días de tratamiento con un efluente de 14 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 29 mg/L de DQO.



**Gráfico 12-3:** Resultados de la prueba de tratabilidad de lodos activados

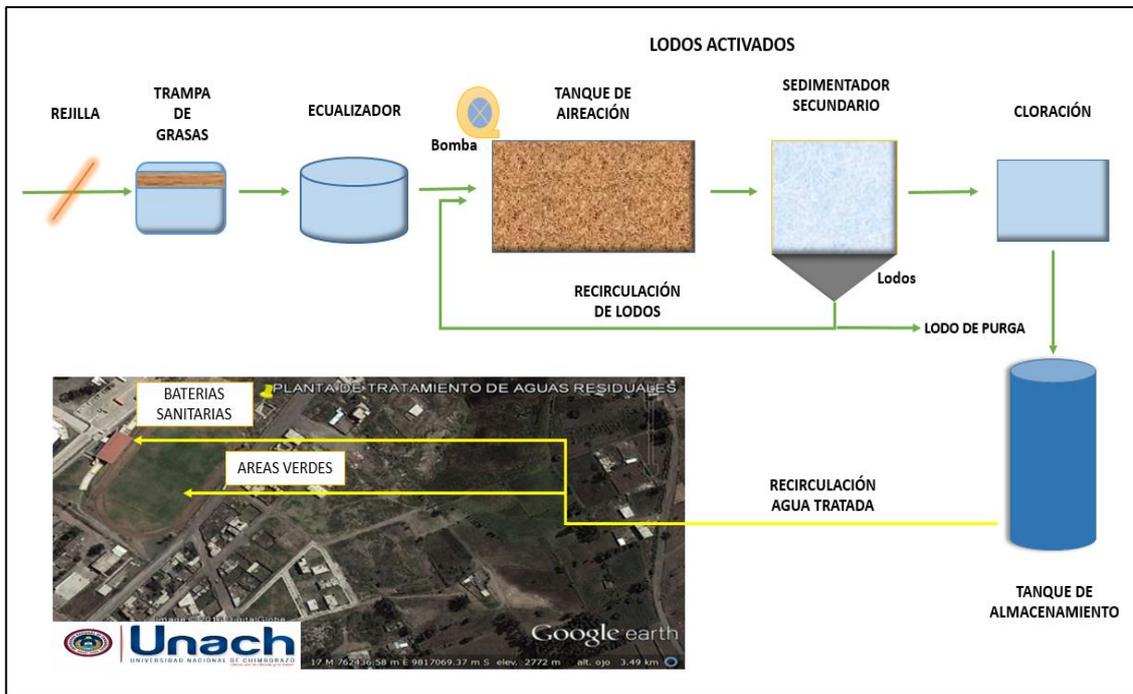
Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.4 Propuesta para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera

Como se observa en la Fotografía 15-3 el diagrama de flujo de los sistemas de tratamiento que se van a implementar para el tratamiento de las aguas residuales del campus universitario, teniendo en cuenta que el afluente son aguas residuales netamente domésticas y no presentan contaminación química.

Este proceso de depuración empieza por el pre tratamiento que son: sistema de rejillas, trampa de grasas, equalizador; como tratamiento secundario por lodos activados con recirculación de los

mismos y finalmente como método desinfectante se realizará la cloración de donde pasará, el agua ya tratada, a un tanque de almacenamiento y será repartida para su utilización.



**Fotografía 15-3:** Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.5 Dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales

#### 3.5.1 Cálculo de la tasa de crecimiento

Para el cálculo de la tasa de crecimiento se requiere la cantidad de estudiantes que se encuentran asistiendo a clases en los diferentes periodos académicos; estos datos fueron facilitados y proporcionados por la Unidad Técnica de Control Académico de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera la cual lleva registro de los estudiantes matriculados.

**Tabla 22-3:** Valores para el cálculo de la tasa de crecimiento

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Valor inicial	s	6843	Estudiantes
Valor final	f	7400	Estudiantes
Cantidad de periodos académicos	y	5	Periodos académicos

Fuente: Unidad Técnica de Control Académico de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$T_C = \left( \left( \frac{f}{s} \right)^{\frac{1}{y}} - 1 \right) * 100$$

$$T_C = \left( \left( \frac{7400}{6843} \right)^{\frac{1}{5}} - 1 \right) * 100$$

$$T_C = 1,58\%$$

### 3.5.2 Determinación de la población proyectada

Para el diseño adecuado de una planta de tratamiento de aguas residuales es necesario determinar la población estudiantil proyectada a 20 años (Ecuador Secretaría Nacional del Agua, p.330) lo que equivale a un total de 40 periodos académicos.

**Tabla 23-3:** Valores para el cálculo de la población proyectada

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Población inicial	$P_0$	7400	Estudiantes
Tasa de crecimiento	$T_C$	1,58%	-
Número de periodos académicos	n	40	Periodos académicos

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$P_P = P_0 (1 + T_C)^n$$

$$P_P = 7400 * (1 + 0,0158)^{40}$$

$$P_P = 13854$$

Debido a que en la Universidad Nacional de Chimborazo no existe solamente cuerpo estudiantil sino también diversos departamentos como los siguientes:

**Tabla 24-3:** Personal de la Universidad Nacional de Chimborazo

PERSONAL UNIVERSITARIO	CANTIDAD
Administrativo y de servicio	330
Docentes	600

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$P_T = P_P + \text{Personal Administrativo y de servicio} + \text{Docentes}$$

$$P_T = 13854 + 330 + 600$$

$$P_T = 14784$$

### 3.5.3 Caudal de diseño

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

$$Q_D = (8,21 * 1,91) + 1,76 + 1,74$$

$$Q_D = 1657,15 \text{ m}^3/d$$

### 3.5.4 Caudal medio

Para la dotación que se encuentra en un rango de 40 a 60 L/estudiante día, como lo especifica la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011), se tomó el valor de 60 L/estudiantes día:

**Tabla 25-3:** Valores para el cálculo del caudal medio teórico

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Constante de retorno	CR	0,8	-
Dotación	Dot	60	L/est día
Población	P <sub>T</sub>	14784	Estudiantes

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$Q_M = \frac{CR * Dot * P_T}{86400}$$

$$Q_M = \frac{0,8 * 60 * 14784}{86400}$$

$$Q_M = 8,21 \text{ L/s}$$

### 3.5.5 Coeficiente de mayoración

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P_T}{1000}}}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{14784}{1000}}}$$

$$M = 1,91$$

### 3.5.6 Caudal de infiltración

$$Q_{INF} = \frac{0,15 L}{S_s H a} * A$$

$$Q_{INF} = \frac{0,15 L}{s H a} * (11,76) H a$$

$$Q_{INF} = 1,76 L/s$$

### 3.5.7 Caudal de conexiones erradas

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

$$Q_{CE} = 10\% (8,21 * 1,91 + 1,76)$$

$$Q_{CE} = 1,74 L/s$$

### 3.5.8 Parámetros de diseño teóricos

**Tabla 26-3:** Parámetros de diseño teóricos

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Rejillas			
Velocidad	$v$	0,6	m/s
Separación barras	$e$	25	mm
Espesor barras	$S$	25	mm
Factor forma de barras	$\beta$	2.42-	---
Gravedad	$g$	9.8-	m/s <sup>2</sup>
Inclinación barras	$\theta$	45	°
Trampa de grasas			
Relación larga/ancho	L: B	3:2	-
Alto	$H$	1,5	m
Espacio sobre el nivel del líquido	$H_s$	0.3	m
Tiempo de retención hidráulico	$Tr_h$	< 45	min
Reactor biológico (tanque de aireación)			
Tiempo retención celular/ Edad de lodos	$\theta_c$	15	día
Coefficiente de producción celular	$Y$	0.6	mg mLVSS /mg DBO <sub>5</sub>
Constante de degradación endógena	$K_d$	0.06	d <sup>-1</sup>
Factor de condiciones estándar a condiciones real	$f_{mot}$	0.6	-
Capacidad específica de oxigenación	$CE_{oxig}$	2	Kg O <sub>2</sub> /KWh
Rendimiento motor	$R_{mot}$	90	%
Sedimentador secundario			
Altura del sedimentador	$H$	3,6	m
Pendiente del sedimentador	-	1/12	-
Cloración			
Constante Microorganismo	$K$	0,24	min <sup>-1</sup>

**Fuente:** (OAKLEY, 2005: p. 45); (SUÁREZ, pp.5-6); (Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico, 2003: pp.6-8); (RAMALHO, 1983) y (TORRES LOZADA, 2011 p. 385); (Fangos Activados, pp. 11-13); (METCALF & EDDY)

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

**Nota:** Los datos teóricos que se encuentran en la presente tabla serán utilizados para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y para el prototipo.

### 3.5.9 Rejillas

**Tabla 27-3:** Parámetros de diseño para el dimensionamiento de rejillas

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	$Q_D$	1657,15	m <sup>3</sup> /día
Alto del agua en el canal	h	0.2	m
Alto de seguridad	hs	25	%

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

a) Calcular el Área Libre del Canal de Rejillas,  $A_L$  (m<sup>2</sup>)

$$Q_D = v * A_L ; A_L = \frac{Q_D}{v}$$

$$A_L = \frac{1657,15 \text{ m}^3 \text{ s}}{0.6 \text{ m día}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}$$

$$A_L = 0.032 \text{ m}^2$$

b) Calcular la Suma de separación de barras,  $bg$  (m)

$$bg = \frac{A_L}{h}$$

$$bg = \frac{0.032 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}}$$

$$bg = 0.16 \text{ m}^2$$

c) Calcular el ancho del canal,  $b$  (m)

$$b = \left( \frac{bg}{e} - 1 \right) (S + e) + e$$

$$b = \left( \frac{0.16 \text{ m}^2}{0.025 \text{ m}} - 1 \right) (0.025 \text{ m} + 0.025 \text{ m}) + 0.025 \text{ m}$$

$$b = 0.30 \text{ m}$$

d) Número de barras,  $n$

$$n = \left(\frac{bg}{e}\right) - 1$$

$$n = \left(\frac{0.16 \text{ m}}{0.025 \text{ m}}\right) - 1$$

$$n = 6 \text{ barras}$$

e) Perdida de carga en las rejillas,  $hf$  (m)

$$hf = \beta \left(\frac{S}{e}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{v^2}{2g}\right) \sin \theta$$

$$hf = 2.42 \left(\frac{0.01 \text{ m}}{0.025 \text{ m}}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0.6^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}\right) \sin 45^\circ$$

$$hf = 0.012 \text{ m}$$

f) Altura Total del canal de la rejilla,  $H$  (m)

$$H = (h + hs)$$

$$H = (0.20 \text{ m} + (0.20)(0.25))$$

$$H = 0.25 \text{ m}$$

g) Largo de la barra en relación con la horizontal,  $L$  (m)

$$\tan \theta = \left(\frac{H}{L}\right) ; L = \left(\frac{H}{\tan \theta}\right)$$

$$L = \left(\frac{0.25 \text{ m}}{\tan 45^\circ}\right)$$

$$L = 0.25 \text{ m}$$

h) Largo de la barra, l (m)

$$\sin \theta = \left(\frac{H}{l}\right) ; l = \left(\frac{H}{\sin \theta}\right)$$

$$l = \left(\frac{0.25 \text{ m}}{\sin 45^\circ}\right)$$

$$l = 0.35 \text{ m}$$

### 3.5.10 Trampa de grasas

- Relación larga/ancho de la trampa de grasas:

$$L = \frac{3}{2} B ; \text{ Si } B= 2\text{m}$$

- Volumen Útil:

$$V_{util} = (B)(L)(H)$$

- Tiempo de retención hidráulica

$$Trh = \frac{V_{util}}{Q_D}$$

Según la OPS/CEPIS (2003) recomienda especificaciones técnicas para el dimensionamiento de la trampa de grasas (Tabla 27-3).

**Tabla 28-3:** Parámetros de diseño para Trampa de grasas.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	$Q_D$	1657,15	m <sup>3</sup> /día

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

a) Calculo de Relación Largo/Ancho de la trampa de grasas 2:1

$$L = \frac{3}{2} B ; \text{ Si } B= 2\text{m}$$

$$L = \frac{3}{2}(2\text{ m}) = 3\text{ m}$$

b) **Calculo del Volumen Útil de la trampa de grasas:**

$$V_{util} = (B)(L)(H)$$

$$V_{util} = (2\text{m})(3\text{m})(1.5\text{m})$$

$$V_{util} = 9\text{ m}^3$$

c) **Calculo del Tiempo de retención hidráulica:**

$$Trh = \frac{V_{util}}{Q_D}$$

$$Trh = \frac{9\text{ m}^3}{1657,15\text{ m}^3/d}$$

$$Trh = 7,82\text{ min}$$

### 3.5.11 Ecuador

En base a la ecuación 1 se calcula:

**Tabla 29-3:** Valores para el cálculo del ecuador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	Q <sub>D</sub>	1657,15	m <sup>3</sup> /día
Tiempo	T	4.5	horas

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$V = Q_M * T$$

$$V = (1657,15) \frac{\text{m}^3}{d} * (0.1875)d$$

$$V = 310.72\text{ m}^3$$

### 3.5.12 Reactor biológico

#### 3.5.12.1 LODOS ACTIVADOS

##### a) Cálculo del volumen del tanque:

El caudal de entrada es controlado por una bomba sumergible de 190 GPM para así mantener un afluente constante en el reactor biológico (tanque de aireación).

**Tabla 30-3:** Parámetros de diseño del volumen del tanque

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
DBO <sub>5</sub> inicial	<i>DBO<sub>5</sub>inicial</i>	183	mgDBO <sub>5</sub> /L
Concentración final de la DBO <sub>5</sub>	<i>DBO<sub>5</sub>final</i>	8	mgDBO <sub>5</sub> /L
Caudal de entrada	Q	1035.85	m <sup>3</sup> /día
Concentración de lodo activado en el reactor biológico (SSVLM)	X	3000	mg/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$V_{Tanq} = \frac{\theta c * Q * Y * (cs DBO_5 inicial - cs DBO_5 final)}{X * (1 + Kd * \theta c)}$$

$$V_{Tanq} = \frac{15 * 1035.58 * 0.6 * (183 - 8)}{3000 * (1 + 0.06 * 15)}$$

$$V_{Tanq} = 286.15 \text{ m}^3$$

##### b) Edad de Lodos, EL (día)

Según (BETETA RIERA, pp. 177-179), menciona tener una estrecha relación con el tiempo de retención celular ( $\theta c$ ) respecto a la velocidad con que la biomasa se elimina del sistema se determina la edad de lodos formados, para ello se tiene un rango que varía entre 5 - 15 días en el proceso de aireación extendida, por ende se tomar un valor de 15 días de edad de lodos.

c) **Tiempo de Retención Hidráulico, TRH (día)**

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

$$TRH = \frac{286.15}{1035.58}$$

$$TRH = 0.28 \text{ día} \quad TRH = 6.63 \text{ horas}$$

d) **Cálculo de relación F/M**

**Tabla 31-3:** Valores para el cálculo de diseño para la Relación F/M

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Concentración inicial de la DBO <sub>5</sub>	cs DBO <sub>5</sub>	183	mgDBO <sub>5</sub> /L
Concentración de lodo activado en el reactor biológico (SSVLM)	X	3000	mg/L
Tiempo de retención hidráulico	TRH	6.63	h

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$\frac{F}{M} = \frac{DBO_5}{TRH * X}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{183}{0.28 * 3000}$$

$$\frac{F}{M} = 0.22 \text{ día}^{-1}$$

e) **Cálculo del Aporte Horario de O<sub>2</sub>**

**Tabla 32-3:** Valores para el cálculo de diseño para Aporte Horario de O<sub>2</sub>

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal	Q	1035580	L/día
DBO <sub>5</sub> inicial	cs DBO <sub>5</sub> inicial	0.000183	Kg DBO <sub>5</sub> /L
DBO <sub>5</sub> final	cs DBO <sub>5</sub> final	0.00008	Kg DBO <sub>5</sub> /L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

f) Producción observada de fango:

$$Y_{abs} = \frac{Y}{(1 + Kd * \theta c)}$$

$$Y_{abs} = \frac{0.6}{(1 + 0.06 * 15)}$$

$$Y_{abs} = 0.32$$

g) Masa de fango activado o producción de lodos

$$Px = Y_{abs} * Q(cs\ DBO_5\ inicial - cs\ DBO_5\ final)$$

$$Px = 0.32 * 1035580 (0.000183 - 0.00008)$$

$$Px = 34.13\ Kg/dia$$

$$O_2\ necesario = Q(cs\ DBO_5\ inicial - cs\ DBO_5\ final) - 1.42(Px)$$

$$O_2\ necesario = 1035580 (0.000183 - 0.00008) - 1.42 (34.13)$$

$$O_2\ necesario = 58.20\ Kg\ O_2 / dia$$

h) Cantidad de Aire Teórico

$$A_T = \left( O_2\ necesario * \frac{Kg\ Aire}{Kg\ O_2} * \rho_{aire} \right)$$

$$A_T = \left( \frac{58.20\ Kg\ O_2}{dia} * \frac{100\ Kg\ Aire}{23.2\ Kg\ O_2} * \frac{1\ m^3}{1.210\ Kg\ Aire} \right)$$

$$A_T = 207.32 \frac{m^3}{dia}$$

**i) Cantidad de Aire Real**

$$A_R = \frac{A_T}{8\%}$$

$$A_R = \frac{207.32}{8\%}$$

$$A_R = 2591.57 \frac{m^3}{dia}$$

**j) Calculo de la Potencia del motor,  $P_m$  (KW)**

**Tabla 33-3:** Parámetro de diseño de la Potencia del motor

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Aporte de O2	$O_2$ necesario	58.20	$KgO_2 / dia$

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$P_m = \frac{O_2 \text{ necesario}}{(f_{mot} * CE_{oxig} * R_{mot})}$$

$$P_m = \frac{58.20}{(0.6 * 2 * 0.9)}$$

$$P_m = 53.89 \text{ KW}$$

$$P_m = 53889 \text{ W}$$

**k) Cálculo del Caudal de Recirculación**

La estimación de la variación de retorno (R) está entre (0.75 - 0.15) como parámetro de diseño según (GIRALDO VALENCIA, 2003), para lo cual se calcula mediante el caudal del afluente por el retorno del sistema de lodos activados.

**Tabla 34-3:** Valores para el cálculo del Caudal de Recirculación

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de entrada	Q	1035.58	m <sup>3</sup> /día
Sólidos Suspendidos Totales en el reactor	$SST_{Reac}$	3100	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador	$SST_{Sed}$	8000	mg/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$R = \frac{SST_{Reac}}{SST_{Sed} - SST_{Reac}}$$

$$R = \frac{3100}{8000 - 3100}$$

$$R = 0.63$$

$$Q_R = R * Q$$

$$Q_R = (0.63 * 1035.58)$$

$$Q_R = 652.42 \text{ m}^3/\text{dia}$$

#### D) Cálculo del Índice Volumétrico de Lodo

En la prueba realizada en el laboratorio de sedimentación mediante el cono Imhoff nos dio un resultado de 46 mL/L, para ello se coloca 1 L de agua tratada de la aireación que se efectuó a nivel de laboratorio dejando que precipite totalmente todos los sólidos generados en el reactor biológico durante 30 minutos, seguido a esto se hace la respectiva observación y registro de la medida que se produjo los lodos.

**Tabla 35-3:** Valores para el cálculo del Índice Volumétrico de Lodo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Sedimentación Cono Imhoff	$SC_I$	46	mL/L
Sólidos Suspendidos Totales en el reactor	$SST_{REAC}$	3.1	g/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$IVL = \frac{SC_I}{SST_{REAC}}$$

$$IVL = \frac{46}{3.1}$$

$$IVL = 14.84 \text{ ml/g}$$

Escala de evaluación de la calidad de lodos para sedimentar según (ABEFASE, 2012):

**IVL < 90 mL/g** – excelente sedimentabilidad

**90 < IVL < 150 mL/g** – buena sedimentabilidad

**IVL > 150 mL/g** – malas condiciones de sedimentabilidad

De acuerdo con la escala se determina una excelente sedimentabilidad de lodos correspondiendo a **IVL < 90 ml/g**.

#### m) Cálculo del Caudal de Purga

**Tabla 36-3:** Valores para el cálculo del Caudal de Purga

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen del Tanque de aireación	$V_{Tanq}$	286.15	$m^3$
Sólidos Suspendidos Totales en el reactor	$SST_{REAC}$	3100	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador	$SST_{SED}$	8000	mg/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$Q_P = \frac{V_{Tanq} * SST_{REAC}}{EL * SST_{SED}}$$

$$Q_P = \frac{286.15 * 3100}{15 * 8000}$$

$$Q_P = 7.39 \frac{m^3}{dia}$$

### 3.5.13 Sedimentador secundario

**Tabla 37-3:** Valores para el cálculo del sedimentador secundario

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de entrada	Q	1035.58	m <sup>3</sup> /día
Sólidos en suspensión del afluente	X <sub>e</sub>	3100	mg/L
Sólidos en suspensión del caudal separado	X <sub>U</sub>	8000	mg/L
Sólidos en suspensión en el líquido clarificado	X <sub>e</sub>	Despreciable	mg/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

#### a) Velocidad de sedimentación

$$v_s = \frac{H_0}{t}$$

$$v_s = \frac{0,33 \text{ m}}{12,6 \text{ min}}$$

$$v_s = 0,026 \text{ m/min}$$

#### b) Área del sedimentador

$$A_{sed} = \frac{(1 + \alpha) * Q * X_0}{SF_L} \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000g} \right)$$

$$A_{sed} = \frac{(1 + 0,63) * (1035.58) * (3100)}{(4.84)} \left| \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right| \left| \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \right| \left| \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right|$$

$$A_{sed} = 45 \text{ m}^2$$

$$SF_L = K * C * V_S$$

$$SF_L = \left( \frac{1}{1000} \right) (3100) (1,56)$$

$$SF_L = 4.84 \frac{Kg}{m^2 h}$$

$$Q * X_0 + Q_r * X_U = (Q + Q_r) * SSLM \rightarrow Q_r = \alpha * Q$$

$$Q_r * X_U = (Q + Q_r) * 3100 \rightarrow Q_r = \alpha * Q$$

$$\alpha = \frac{3100}{8000 - 3100}$$

$$\alpha = 0,63$$

### c) Diámetro del sedimentador

Para determinar el diámetro del sedimentador se utiliza la siguiente expresión:

$$\emptyset = \sqrt{4 \frac{A_{sed}}{\pi}}$$

$$\emptyset = \sqrt{4 \frac{(45)}{\pi}}$$

$$\emptyset = 7.57 m$$

### d) Diámetro del reparto central

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\emptyset_{int} = \emptyset * 0,25$$

$$\emptyset_{int} = 7.57 * 0,25$$

$$\emptyset_{int} = 1.90 m$$

**e) Carga sobre el vertedero de salida**

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{Q}{\pi * \emptyset}$$

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{1035.58}{\pi * 7.57}$$

$$C_{\text{vertedero}} = 43.55$$

**f) Volumen del sedimentador**

$$V = H * A_{\text{sed}}$$

$$V = 3.6 * 45$$

$$V = 162 \text{ m}^3$$

Según, (METCALF & EDDY) recomienda como altura mínima del sedimentador secundario un valor de 3.6 m.

**g) Tiempo de retención hidráulica**

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

$$TRH = \frac{162}{1035.58}$$

$$TRH = 0.16 \text{ día}$$

$$TRH = 3.84 \text{ h}$$

#### **h) Altura de reparto**

Para calcular la altura de reparto se utiliza la siguiente expresión.

$$h_r = \frac{1}{4} * H$$

$$h_r = \frac{1}{4} * 3,6$$

$$h_r = 0,9 \text{ m}$$

#### **i) Altura pendiente del sedimentador**

Con una pendiente mínima de 1/12 como lo recomienda (RAMALHO, 1983).

$$\tan \alpha = \frac{1}{12} = \frac{\phi/2}{12}$$

$$H_C = \frac{\phi/2}{12}$$

$$H_C = \frac{7.57/2}{12}$$

$$H_C = 0.32$$

#### **j) Altura total del sedimentador**

$$H_T = H + H_C$$

$$H_T = 3,6 + 0,32$$

$$H_T = 3.92 \text{ m}$$

**k) Caudal del efluente del sedimentador secundario**

$$Q_e = \frac{Q_o * (X_U - X_o)}{X_U - X_e}$$

$$Q_e = \frac{(1035.58) * (8000 - 3100)}{8000}$$

$$Q_e = 634.3 \text{ m}^3/d$$

**3.5.14 Cloración**

**Tabla 38-3:** Valores para el cálculo de cloración

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Coliformes totales inicial	$N_i$	76000	UFC/100 mL
Coliformes totales final	$N_f$	500	UFC/100 mL
Caudal afluente	Q	0.44	m <sup>3</sup> /min

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

**a) Cálculo del tiempo de contacto**

$$t = \frac{\ln \frac{N_i}{N_f}}{k}$$

$$t = \frac{\ln \frac{76000}{500}}{0,24 \text{ min}^{-1}}$$

$$t = 20.93 \text{ min}$$

**b) Dosis promedio del desinfectante**

$$D = \frac{D_M + D_m}{2}$$

$$D = \frac{(1,6) + (1,4)}{2}$$

$$D = 1,5 \text{ mg/L}$$

**c) Peso necesario del desinfectante**

$$P = Q_e * D$$

$$P = (7.34) \frac{L}{s} * (1,5) \frac{mg}{L}$$

$$P = 11 \text{ mg/s}$$

**d) Volumen del tanque donde se mezcla el cloro**

$$V = Q_e * T_r$$

$$V = (0,44) \frac{m^3}{min} * (20,93) \text{ min}$$

$$V = 9.21 \text{ m}^3$$

**e) Largo del tanque**

$$L = 2 B$$

$$L = 2 (2) \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

**f) Altura del tanque**

$$A_T = \frac{V}{L * B}$$

$$A_T = \frac{(9.21) \text{ m}^3}{(4) \text{ m} * (2) \text{ m}}$$

$$A_T = 1.15 \text{ m}$$

### 3.6 Dimensionamiento del prototipo

#### 3.6.1 Rejillas del prototipo

Para determinar el caudal de entrada al prototipo se consideró el valor de 0.138 L/s, a través de la abertura completa de la llave de paso de ½ pulgada.

**Tabla 39-3:** Parámetros de diseño para el dimensionamiento de rejillas del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	$Q_D$	0.138	L/s
Alto del agua en el canal	$h$	0.015	m
Alto de seguridad	$h_s$	25	%
Separación barras	$e$	1.5	mm
Espesor barras	$S$	2.5	mm

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

**a) Calcular el Área Libre del Canal de Rejillas,  $A_L$  (m<sup>2</sup>)**

$$Q_D = v * A_L ; A_L = \frac{Q_D}{v}$$

$$A_L = \frac{0.138 \text{ L/s}}{0.6 \text{ m/s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$A_L = 0.0023 \text{ m}^2$$

**b) Calcular la Suma de separación de barras,  $bg$  (m)**

$$bg = \frac{A_L}{h}$$

$$bg = \frac{0.0023 \text{ m}^2}{0.015 \text{ m}}$$

$$bg = 0.0153 \text{ m}^2$$

c) Calcular el ancho del canal,  $b$  (m)

$$b = \left( \frac{bg}{e} - 1 \right) (S + e) + e$$

$$b = \left( \frac{0.0153 \text{ m}^2}{0.0025 \text{ m}} - 1 \right) (0.0015 \text{ m} + 0.0025 \text{ m}) + 0.025 \text{ m}$$

$$b = 0.20 \text{ m}$$

d) Número de barras,  $n$

$$n = \left( \frac{bg}{e} \right) - 1$$

$$n = \left( \frac{0.0153 \text{ m}}{0.0025 \text{ m}} \right) - 1$$

$$n = 6 \text{ barras}$$

e) Perdida de carga en las rejillas,  $hf$  (m)

$$hf = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{\frac{4}{3}} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \sin \theta$$

$$hf = 2.42 \left( \frac{0.0015 \text{ m}}{0.0025 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} \left( \frac{0.6^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)} \right) \sin 45^\circ$$

$$hf = 0.016 \text{ m}$$

f) Altura Total del canal de la rejilla,  $H$  (m)

$$H = (h + hs)$$

$$H = (0.015 \text{ m} + (0.015)(0.25))$$

$$H = 0.02 \text{ m}$$

g) **Largo de la barra en relación con la horizontal, L (m)**

$$\tan \theta = \left(\frac{H}{L}\right) ; L = \left(\frac{H}{\tan \theta}\right)$$

$$L = \left(\frac{0.02 \text{ m}}{\tan 45^\circ}\right)$$

$$L = 0.02 \text{ m}$$

h) **Largo de la barra, l (m)**

$$\sin \theta = \left(\frac{H}{l}\right) ; l = \left(\frac{H}{\sin \theta}\right)$$

$$l = \left(\frac{0.02 \text{ m}}{\sin 45^\circ}\right)$$

$$l = 0.03 \text{ m}$$

### 3.6.2 Trampa de grasas del prototipo

Según la OPS/CEPIS (2003) recomienda especificaciones técnicas para el dimensionamiento de la trampa de grasas (Tabla 28-3).

**Tabla 40-3:** Parámetros de diseño para Trampa de grasas del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	Q <sub>D</sub>	0.138	L/s
Alto	H	0.1	m

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

a) **Calculo de Relación Largo/Ancho de la trampa de grasas 2:1**

$$L = \frac{3}{2} B ; \text{ Si } B = 0.15\text{m}$$

$$L = \frac{3}{2} (0.15 \text{ m}) = 0.2 \text{ m}$$

b) **Calculo del Volumen Útil de la trampa de grasas:**

$$V_{util} = (B)(L)(H)$$

$$V_{util} = (0.15m)(0.2m)(0.1m)$$

$$V_{util} = 0.003 m^3$$

$$V_{util} = 3 L$$

c) **Calculo del Tiempo de retención hidráulica:**

$$Trh = \frac{V_{util}}{Q_D}$$

$$Trh = \frac{3 L}{0.138 L/s}$$

$$Trh = 0.36 min$$

**3.6.3 Medición de caudales en el prototipo**

Los caudales medidos en el prototipo entre la trampa de grasas y el ecualizador son tomados con una apertura de la llave de paso del 50%.

**Tabla 41-3:** Medición de caudales en el prototipo

<b>VOLUMEN (L)</b>	<b>TIEMPO (s)</b>	<b>CAUDAL (L/s)</b>
1	17.83	0.056
1	16.21	0.062
1	16.46	0.061
1	16.18	0.062
1	17.08	0.059
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		<b>0.06</b>

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.6.4 Ecuador prototipo

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

$$T = \frac{105.63}{0.06}$$

$$T = 29.34 \text{ min}$$

### 3.6.5 Reactor biológico del prototipo

#### 3.6.5.1 Lodos activados

#### a) Tiempo de retención celular, $\theta_c$ (día) del prototipo

Se conoce el volumen del reactor biológico (tanque de aireación) debido a que se realizó la reducción a escala 1:15 del dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 42-3:** Valores para el cálculo del tiempo de retención celular del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen del reactor biológico	$V_{Tanq}$	112.5	L
Concentración de lodo activado en el reactor biológico (SSVLM)	$X$	3300	mg/L
Caudal de purga	$Q_p$	6.78	L/día
Sólidos suspendidos volátiles de purga	$X_p$	7400	mg/L
Caudal del efluente	$Q_e$	2998	L/día
Sólidos suspendidos volátiles del efluente	$X_e$	Despreciable	mg/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$\theta_c = \frac{V_{Tanq} * X}{(Q_p * X_p + Q_e * X_e)}$$

$$\theta_c = \frac{112.5 * 3300}{(6.78 * 7400)}$$

$$\theta_c = 7 \text{ días}$$

**b) Edad de Lodos, EL (día) del prototipo**

Tiene una relación con el tiempo de retención celular ( $\theta_c$ ), según (BETETA RIERA, pp. 177-179), es por ello por lo que se presenta un rango que varía entre 5 - 15 días en el sistema de aireación extendida, tomando el valor del tiempo de retención celular.

**c) Tiempo de Retención Hidráulico, TRH (día) del prototipo**

**Tabla 43-3:** Valores para el cálculo del tiempo de retención hidráulico del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen del reactor biológico	$V_{Tanq}$	112.5	L
Caudal	Q	5184	L/día

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$TRH = \frac{V_{Tanq}}{Q}$$

$$TRH = \frac{112.5}{5184}$$

$$TRH = 0.022 \text{ dia}$$

$$TRH = 31.25 \text{ min}$$

**d) Cálculo de relación F/M del prototipo**

**Tabla 44-3:** Valores para el cálculo de diseño para la Relación F/M del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Concentración inicial de la DBO <sub>5</sub>	cs DBO <sub>5</sub>	183	mgDBO <sub>5</sub> /L
Concentración de lodo activado en el reactor biológico (SSVLM)	X	3300	mg/L
Tiempo de retención hidráulico	TRH	0.022	día

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$\frac{F}{M} = \frac{DBO_5}{TRH * X}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{183}{0.022 * 3300}$$

$$\frac{F}{M} = 2.58 \text{ día}^{-1}$$

e) Cálculo del Aporte Horario de O<sub>2</sub> del prototipo

**Tabla 45-3:** Valores para el cálculo de diseño para Aporte Horario de O<sub>2</sub> del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal	Q	5184	L/día
DBO <sub>5</sub> inicial	<i>cs DBO<sub>5</sub> inicial</i>	0.000183	Kg DBO <sub>5</sub> /L
DBO <sub>5</sub> final	<i>cs DBO<sub>5</sub> final</i>	0.00008	Kg DBO <sub>5</sub> /L
Tiempo de Retención Celular	<i>θ<sub>c</sub></i>	7	día

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

f) Producción observada de fango del prototipo:

$$Y_{abs} = \frac{Y}{(1 + Kd * \theta_c)}$$

$$Y_{abs} = \frac{0.6}{(1 + 0.06 * 7)}$$

$$Y_{abs} = 0.42$$

g) Masa de fango activado o producción de lodos del prototipo

$$Px = Y_{abs} * Q(cs DBO_5 inicial - cs DBO_5 final)$$

$$Px = 0.42 * 5184 (0.000183 - 0.00008)$$

$$Px = 0.22 \text{ Kg/día}$$

$$O_2 \text{ necesario} = Q(cs \text{ DBO}_5 \text{ inicial} - cs \text{ DBO}_5 \text{ final}) - 1.42(Px)$$

$$O_2 \text{ necesario} = 5184 (0.000183 - 0.00008) - 1.42 (0.22)$$

$$O_2 \text{ necesario} = 0.22 \text{ Kg } O_2 / \text{dia}$$

**h) Cantidad de Aire Teórico del prototipo**

$$A_T = \left( O_2 \text{ necesario} * \frac{\text{Kg Aire}}{\text{Kg } O_2} * \rho_{\text{aire}} \right)$$

$$A_T = \left( \frac{0.22 \text{ Kg } O_2}{\text{dia}} * \frac{100 \text{ Kg Aire}}{23.2 \text{ Kg } O_2} * \frac{1 \text{ m}^3}{1.210 \text{ Kg Aire}} \right)$$

$$A_T = 0.79 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$A_T = 790 \text{ L/día}$$

**i) Cantidad de Aire Real del prototipo**

$$A_R = \frac{A_T}{8\%}$$

$$A_R = \frac{790}{8\%}$$

$$A_R = 9875 \frac{\text{L}}{\text{dia}}$$

$$A_R = 6.86 \text{ L/min}$$

**j) Cálculo del Caudal de Recirculación del prototipo**

La estimación de la variación de retorno (R) está entre (0.75 - 0.15) como parámetro de diseño según (GIRALDO VALENCIA, 2003), para lo cual se calcula mediante el caudal del afluente por el retorno del sistema de lodos activados.

**Tabla 46-3:** Valores para el cálculo del Caudal de Recirculación del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de entrada al reactor biológico (tanque de aireación)	Q	5184	L/día
Sólidos Suspendidos Totales en el reactor	$SST_{Reac}$	3500	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador	$SST_{Sed}$	8300	mg/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$R = \frac{SST_{Reac}}{SST_{Sed} - SST_{Reac}}$$

$$R = \frac{3500}{8300 - 3500}$$

$$R = 0.73$$

$$Q_R = R * Q$$

$$Q_R = (0.73 * 5184)$$

$$Q_R = 3784.32 \text{ L/dia}$$

**k) Cálculo del Caudal de Purga del prototipo**

**Tabla 47-3:** Valores para el cálculo del Caudal de Purga del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen del Tanque de aireación	$V_{Tanq}$	112.5	L
Sólidos Suspendidos Totales en el reactor	$SST_{REAC}$	3500	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador	$SST_{SED}$	8300	mg/L
Edad de Lodos	$EL$	7	día

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

$$Q_P = \frac{V_{Tanq} * SST_{REAC}}{EL * SST_{SED}}$$

$$Q_P = \frac{112.5 * 3500}{7 * 8300}$$

$$Q_P = 6.78 \frac{L}{dia}$$

### 3.6.6 Sedimentador secundario del prototipo

**Tabla 48-3:** Valores para el cálculo del sedimentador secundario del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de entrada	Q	5184	L/día
Sólidos en suspensión del afluente	X <sub>e</sub>	3500	mg/L
Sólidos en suspensión del caudal separado	X <sub>U</sub>	8300	mg/L
Sólidos en suspensión en el líquido clarificado	X <sub>e</sub>	Despreciable	mg/L

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

#### a) Velocidad de sedimentación

$$v_s = \frac{H_0}{t}$$

$$v_s = \frac{0,33 \text{ m}}{12,6 \text{ min}}$$

$$v_s = 0,026 \text{ m/min}$$

#### b) Área del sedimentador

$$A_{sed} = \frac{(1 + \alpha) * Q * X_0}{SF_L} \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000g} \right)$$

$$A_{sed} = \frac{(1 + 0,73) * (5.184) * (3500)}{(5.46)} \left| \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right| \left| \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \right| \left| \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right|$$

$$A_{sed} = 0.24 \text{ m}^2$$

$$SF_L = K * C * V_S$$

$$SF_L = \left(\frac{1}{1000}\right) (3500) (1,56)$$

$$SF_L = 5.46 \frac{Kg}{m^2 h}$$

$$Q * X_0 + Q_r * X_U = (Q + Q_r) * SSLM \rightarrow Q_r = \alpha * Q$$

$$Q_r * X_U = (Q + Q_r) * 3500 \rightarrow Q_r = \alpha * Q$$

$$\alpha = \frac{3500}{8300 - 3500}$$

$$\alpha = 0,73$$

**c) Caudal del efluente del sedimentador secundario**

$$Q_e = \frac{Q_o * (X_U - X_o)}{X_U - X_e}$$

$$Q_e = \frac{(5184) * (8300 - 3500)}{8300}$$

$$Q_e = 2998 \text{ L/d}$$

**3.6.7 Cloración del prototipo**

**Tabla 49-3:** Valores para el cálculo de cloración del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Coliformes totales inicial	$N_i$	8700	UFC/100 mL
Coliformes totales final	$N_f$	580	UFC/100 mL
Caudal afluente	Q	2.08	L/min

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

**a) Cálculo del tiempo de contacto**

$$t = \frac{\ln \frac{N_i}{N_f}}{k}$$

$$t = \frac{\ln \frac{8700}{580}}{0,24 \text{ min}^{-1}}$$

$$t = 11.3 \text{ min}$$

**b) Dosis promedio del desinfectante**

$$D = \frac{D_M + D_m}{2}$$

$$D = \frac{(1,6) + (1,4)}{2}$$

$$D = 1,5 \text{ mg/L}$$

**c) Peso necesario del desinfectante**

$$P = Q * D$$

$$P = (0.035) \frac{L}{s} * (1,5) \frac{mg}{L}$$

$$P = 0.053 \text{ mg/s}$$

### **3.7 Discusión de resultados**

#### **3.7.1 Resultados de la medición del caudal**

En la Tabla 15-3 se observan los valores promedios de la medición de los caudales en el periodo establecido de 6 días, que son los días que se encuentra en funcionamiento la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera.

**Tabla 50-3:** Resultado de la medición del caudal

<b>FECHA DE MEDICIÓN</b>	<b>CAUDAL (m<sup>3</sup>/d)</b>
Lunes 10/07/2017	89.73
Martes 11/07/2017	88.87
Miércoles 12/07/2017	97.63
Jueves 13/07/2017	93.31
Viernes 14/07/2017	91.71
Sábado 15/07/2017	45.92
<b>PROMEDIO CAUDAL MEDIDO</b>	<b>84.53</b>
<b>CAUDAL TEORICO ACTUAL</b>	<b>355.2</b>

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Se realizó 7 muestreos de caudal por día, ya que como menciona la (RAS - 2000) se requiere un mínimo de 3 mediciones para poder identificar mínimos y máximos caudales, durante seis días consecutivos llegando a un total de 42 monitoreos de caudal.

En la Tabla 50-3 se presenta los resultados de la medición del caudal de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera presenta un caudal máximo y mínimo en los días miércoles y sábado de 97.63 m<sup>3</sup>/d y 45.92 m<sup>3</sup>/d respectivamente y el caudal promedio que presenta es de 84.53 m<sup>3</sup>/d, estos datos fueron obtenidos por mediciones insitu.

Sin embargo, el caudal teórico que se obtiene es de 355.2 m<sup>3</sup>/d; la diferencia que existe entre estos caudales se puede deber a varias razones como el agua que se utiliza en el regadío de las áreas verdes y el agua que se utiliza en el aseo de los edificios.

### **3.7.2 Resultados de la caracterización del agua**

A partir de los resultados presentados en la Tabla 16-3 de la caracterización físico – química y microbiológica del agua residual de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera indica altos valores de contaminación orgánica determinados por DBO<sub>5</sub> y DQO debido a que es un agua residual de uso doméstico; al igual que la existencia de coliformes fecales.

En cuanto a la presencia de aceites y grasas es por las actividades de cocina que realizan los diferentes bares del campus

### 3.7.3 Resultados del dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se presenta los resultados obtenidos a partir del dimensionamiento del diseño de tratamiento que recibirán las aguas residuales de la Universidad Nacional de Chimborazo campus Edison Riera, posterior a haber realizado la prueba de tratabilidad de lodos activados, para su reutilización tanto para el regadío de áreas verdes como para las descargas de baterías sanitarias ubicadas en el estadio.

#### 3.7.3.1 Resultado de Cálculos de Caudales

**Tabla 51-3:** Resultado caudal de diseño

PARAMETRO	SÍMBOLO	RESULTADO	UNIDAD
Caudal de Diseño	$Q_D$	1657.15	m <sup>3</sup> /d

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Mediante la proyección a 20 años de población y vida útil de la planta de tratamiento se obtuvo un caudal de diseño de 1657.15 m<sup>3</sup>/d.

#### 3.7.3.2 Rejillas

**Tabla 52-3:** Resultados de diseño del sistema de rejillas

PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de Diseño	$Q_D$	1657.15	m <sup>3</sup> /d
Alto del tirante del agua en el canal	h	0.2	m
Área Libre del Canal	$A_L$	0,032	m <sup>2</sup>
Ancho del canal	b	0,30	m
Número de barras	n	6	-
Pérdida de carga en las rejillas	hf	0,012	m
Altura total del canal	H	0,25	m
Largo de la barra en relación con la horizontal	L	0,25	m
Largo de las barras	l	0,35	m
Inclinación de las barras	$\theta$	45	grados
Separación barras	e	0,025	m
Espesor barras	S	0,025	m

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

En el dimensionamiento de las rejillas se tiene un ancho y alto de 0,30 y 0,25 respectivamente, con un ángulo de inclinación de 45° lo cual permite una limpieza manual de las rejillas, con el objetivo de retener sólidos que pueden afectar el funcionamiento de la planta de tratamiento.

### 3.7.3.3 Trampa de grasas

**Tabla 53-3:** Resultados de diseño de la trampa de grasas

PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Largo</b>	L	3	m
<b>Ancho</b>	B	2	m
<b>Alto</b>	H	1,5	m
<b>Volumen útil</b>	V <sub>útil</sub>	9	m <sup>3</sup>
<b>Tiempo de retención hidráulico</b>	T <sub>rh</sub>	7.82	min

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

La trampa de grasas presenta dimensiones de ancho 2 m, largo 3 m y alto de 1,5 m, con un tiempo de retención de 7.82 minutos, donde se separarán aceites y grasas del agua residual. Con la finalidad de obtener una ausencia total del mismo en el efluente final como lo dictamina el criterio de calidad de agua del Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 3.

### 3.7.3.4 Ecuallizador

**Tabla 54-3:** Resultados de diseño del ecuallizador

PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Volumen</b>	V <sub>E</sub>	310.72	m <sup>3</sup>
<b>Largo</b>	L	10	m
<b>Ancho</b>	B	9	m
<b>Alto</b>	H	3.5	m

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

El ecuallizador presenta las siguientes medidas ancho 9 m, largo 10 m y alto de 3,5 m con un volumen de 310.72 m<sup>3</sup>, es aquí donde se homogeniza la concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO de donde se dirigirá al reactor biológico (tanque de aireación).

### 3.7.3.5 Reactor biológico

**Tabla 55-3:** Resultados de diseño del reactor biológico

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen del tanque aireación	$V_{Tanq}$	286.15	m <sup>3</sup>
Concentración inicial de DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub>	183	mg DBO <sub>5</sub> /L
Tiempo de retención hidráulico	TRH	6.63	h
Relación Alimento / Microorganismo	F/M	0.22	día <sup>-1</sup>
Unidad de muerte celular	Kd	0.06	día <sup>-1</sup>
Tiempo de retención celular	$\theta_c$	15	Día
Oxígeno necesario	O <sub>2</sub> necesario	58.20	kg O <sub>2</sub> / día
Potencia del motor	P <sub>m</sub>	53889	W
Caudal de Recirculación	Q <sub>R</sub>	652.42	m <sup>3</sup> /día
Índice Volumétrico de Lodo	IVL	14.84	mL/g
Caudal de Purga	Q <sub>p</sub>	7.39	m <sup>3</sup> /día
Largo	L	10.5	m
Ancho	B	8	m
Alto	H	3.5	m

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

El proceso de lodos activados consta de dos partes que son: la aireación y sedimentación secundaria; el reactor biológico (tanque de aireación) tiene un ancho de 8 m, largo de 10.5 m y alto de 3.5 m con un volumen de 286.15 m<sup>3</sup>; aquí es donde se administra el oxígeno necesario, con un valor de 58.2 Kg O<sub>2</sub>/día, para el proceso de aireación extendida y para la actividad microbiana.

A partir de la prueba de Índice Volumétrico de Lodos realizada en el laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH se obtuvo un valor de 14.84 mL/g y de acuerdo con la escala de IVL corresponde a un valor por debajo de 90 mL/g representa una excelente sedimentabilidad.

El caudal del afluente tomado desde el ecualizador hacia el reactor biológico (tanque de aireación) del agua residual es constante al ser suministrado por una bomba sumergible que tiene una capacidad de 190 GPM.

### 3.7.3.6 Sedimentador secundario

**Tabla 56-3:** Resultados de diseño del sedimentador secundario

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Velocidad de sedimentación	$v_s$	0,026	m/min
Área del sedimentador	$A_{sed}$	45	m <sup>2</sup>
Diámetro del sedimentador	$\emptyset$	7.57	m
Diámetro del reparto central	$\emptyset_{int}$	1.90	m
Carga sobre el vertedero de salida	$C_{vertedero}$	43.55	m <sup>2</sup> /d
Volumen del sedimentador	V	162	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención Hidráulico	TRH	3.84	h
Altura del sedimentador	H	3,6	m
Altura del reparto	$h_T$	0,9	m
Altura total del sedimentador	$H_T$	3.92	m
Caudal del efluente del sedimentador secundario	$Q_e$	634.3	m <sup>3</sup> /d

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

A partir de la prueba realizada en el laboratorio se determina la velocidad de sedimentación, con un valor de 0.026 m/min, de los lodos provenientes del reactor biológico (tanque de aireación) y posterior a realizar los cálculos para el dimensionamiento del sedimentador secundario se tiene un diámetro de 7.57 m, una altura de 3.92 m y un volumen de 162 m<sup>3</sup>.

Por acción de la gravedad es aquí es donde ocurre la separación del agua clarificada, que se ubica en la parte superior del sedimentador, y de los lodos que precipitan de los cuales una parte regresa al reactor biológico (tanque de aireación), caudal de recirculación, y el resto es expulsado del sistema, caudal de purga.

El sedimentador secundario cuenta con un tiempo de retención hidráulico de 3.84 horas, del cual, posteriormente el agua que se encuentra ya clarificada es dirigida hacia el proceso de cloración.

### 3.7.3.7 Cloración

**Tabla 57-3:** Resultados de diseño de cloración

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Tiempo de contacto del agua con el cloro	t	20.93	min
Dosis promedio del desinfectante	D	1.5	mg/l
Peso necesario del desinfectante	P	11	mg/s
Volumen del tanque donde se mezcla el cloro	V	9.21	m <sup>3</sup>
Largo del tanque de cloración	L	4	m
Ancho del tanque de cloración	B	2	m
Altura del tanque de cloración	A <sub>T</sub>	1.15	m

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Para el dimensionamiento del tanque clorador se obtuvieron valores de ancho 2 m, largo 4 m, una altura de 1.15 m y un volumen de 9.21 m<sup>3</sup>, al aplicar una dosis de 1.5 mg/l de hipoclorito de calcio (pastilla) con un tiempo de contacto de 20.93 minutos para lograr una eliminación de las coliformes fecales y totales al igual que microorganismos patógenos que se encuentren presentes en el agua.

Finalmente, el agua tratada es dirigida al tanque de almacenamiento de donde podrá ser utilizada como agua de regadío y en la descarga de baterías sanitarias ubicadas en el estadio de la Universidad Nacional de Chimborazo campus Edison Riera.

### 3.7.4 Resultados del dimensionamiento del prototipo

#### 3.7.4.1 Rejillas del prototipo

**Tabla 58-3:** Resultados de diseño del sistema de rejillas del prototipo

PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal	Q	0.138	L/d
Alto del tirante del agua en el canal	h	0.015	m
Área Libre del Canal	$A_L$	0.0023	m <sup>2</sup>
Ancho del canal	b	0.2	m
Número de barras	n	6	-
Pérdida de carga en las rejillas	hf	0.016	m
Altura total del canal	H	0.02	m
Largo de la barra en relación con la horizontal	L	0.02	m
Largo de las barras	l	0.03	m
Inclinación de las barras	$\theta$	45	grados
Separación barras	e	0.0025	m
Espesor barras	S	0.0015	m

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

#### 3.7.4.2 Trampa de grasas del prototipo

**Tabla 59-3:** Resultados de diseño de la trampa de grasas del prototipo

PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Largo</b>	L	0.2	m
<b>Ancho</b>	B	0.15	m
<b>Alto</b>	H	0.1	m
<b>Volumen útil</b>	$V_{\text{útil}}$	3	L
<b>Tiempo de retención hidráulico</b>	$T_{rh}$	0.36	min

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.4.3 Ecuador del prototipo

**Tabla 60-3:** Resultados del ecualizador del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Caudal del prototipo</b>	Q	0.06	L/s
<b>Volumen</b>	V	105.63	L
<b>Tiempo de retención hidráulico</b>	T	29.34	min

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.4.4 Reactor biológico (tanque de aireación) del prototipo

**Tabla 61-3:** Resultados del reactor biológico (tanque de aireación) del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Volumen reactor biológico</b>	V	112.5	L
<b>Tiempo de retención celular</b>	$\theta_c$	7	día
<b>DBO<sub>5</sub> inicial</b>	<i>DBO<sub>5</sub> inicial</i>	183	mgDBO <sub>5</sub> /L
<b>Concentración final de la DBO<sub>5</sub></b>	<i>DBO<sub>5</sub> final</i>	8	mgDBO <sub>5</sub> /L
<b>Caudal de entrada</b>	Q	0.06	L/s
<b>Concentración de lodo activado en el reactor biológico (SSVLM)</b>	X	3300	mg/L
<b>Tiempo de retención hidráulica</b>	TRH	31.25	min
<b>Relación Alimento Microorganismo</b>	$\frac{F}{M}$	2.58	día <sup>-1</sup>
<b>Producción de lodos</b>	<i>P<sub>x</sub></i>	0.22	Kg/día
<b>Oxígeno necesario</b>	<i>O<sub>2</sub> necesario</i>	0.22	Kg O <sub>2</sub> /día
<b>Aire real</b>	A <sub>R</sub>	6.86	L/min
<b>Caudal de recirculación</b>	<i>Q<sub>R</sub></i>	3784.32	L/día
<b>Caudal de Purga</b>	<i>Q<sub>P</sub></i>	6.78	L/día

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.4.5 Sedimentador secundario del prototipo

**Tabla 62-3:** Resultado del sedimentador secundario del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de entrada al sedimentador secundario	Q	5184	L/día
Sólidos en suspensión del afluente	$X_e$	3500	mg/L
Sólidos en suspensión del caudal separado	$X_U$	8300	mg/L
Sólidos en suspensión en el líquido clarificado	$X_e$	Despreciable	mg/L
Sólidos Suspendidos Volátiles	SSV	7400	mg/L
Velocidad de sedimentación	$v_s$	0,026	m/min
Volumen del sedimentador secundario	V	33	L
Caudal del efluente del sedimentador secundario	Qe	2.08	L/min

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.5 Cloración del prototipo

**Tabla 63-3:** Resultados de cloración del prototipo

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal	Q	2.08	L/min
Tiempo de contacto	t	11.3	min
Peso del desinfectante	P	0.053	mg/s
Volumen	V	2	L
Largo del tanque de cloración	L	0.10	m
Ancho del tanque de cloración	B	0.2	m
Altura del tanque de cloración	A <sub>T</sub>	0.10	m

Realizado por: Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.6 Resultados de parámetros de control del prototipo

**Tabla 64-3:** Resultados de sólidos suspendidos del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo

TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (día)	PARAMETROS DE CONTROL	
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (mg/L)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)
1	1090	1180
2	2090	2240
3	2400	2580
4	3030	3250
5	3160	3370
6	3240	3480
7	3300	3560

**Fuente:** Servicios Ambientales Universidad Nacional de Chimborazo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

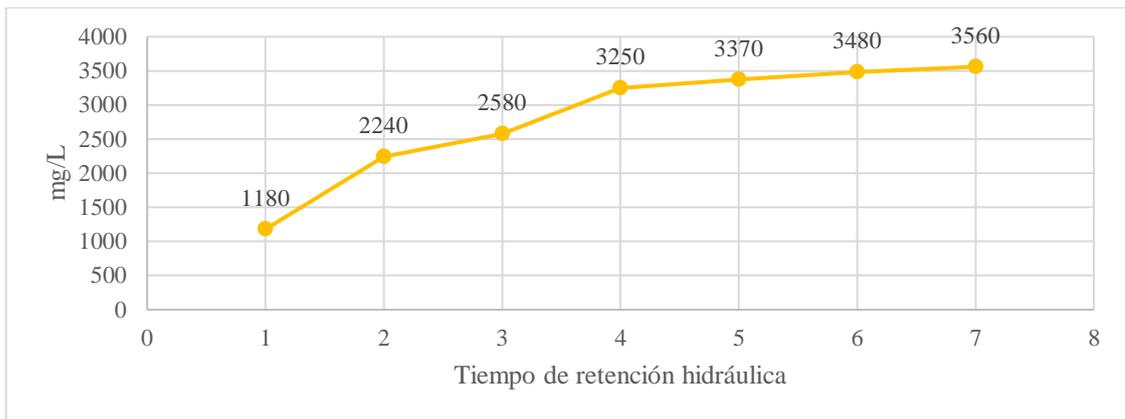
#### 3.7.6.1 Parámetros de control sólidos suspendidos volátiles del prototipo



**Gráfico 13-3:** Resultados de sólidos suspendidos volátiles del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.6.2 Parámetros de control sólidos suspendidos totales del prototipo



**Gráfico 14-3:** Resultados de sólidos suspendidos totales del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo

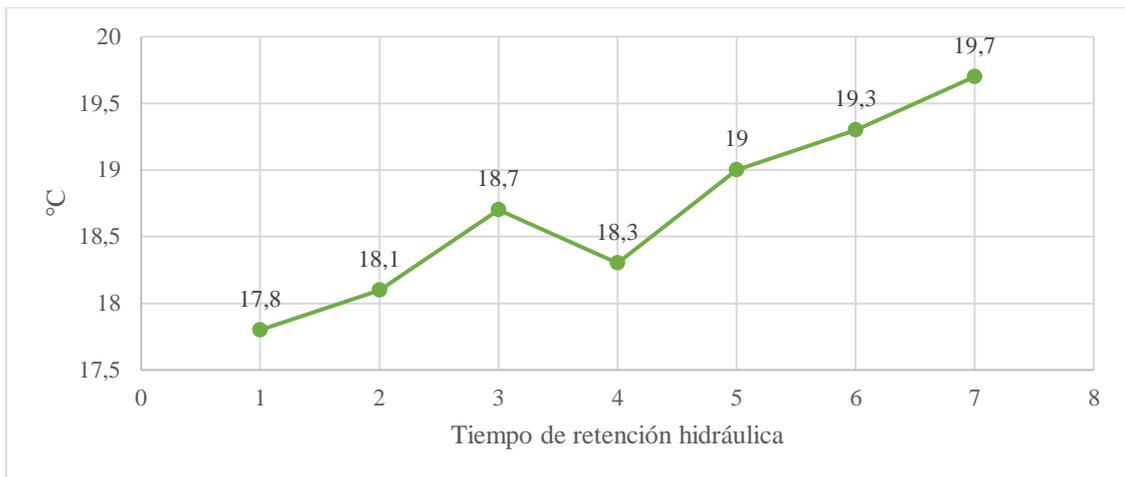
**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

**Tabla 65-3:** Resultados de temperatura y de oxígeno disuelto del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo.

TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (día)	PARAMETROS DE CONTROL	
	TEMPERATURA (°C)	OXIGENO DISUELTO (mg/L)
1	17.8	4.45
2	18.1	3.94
3	18.7	3.08
4	18.3	3.43
5	19.0	3.04
6	19.3	3.69
7	19.7	3.85

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

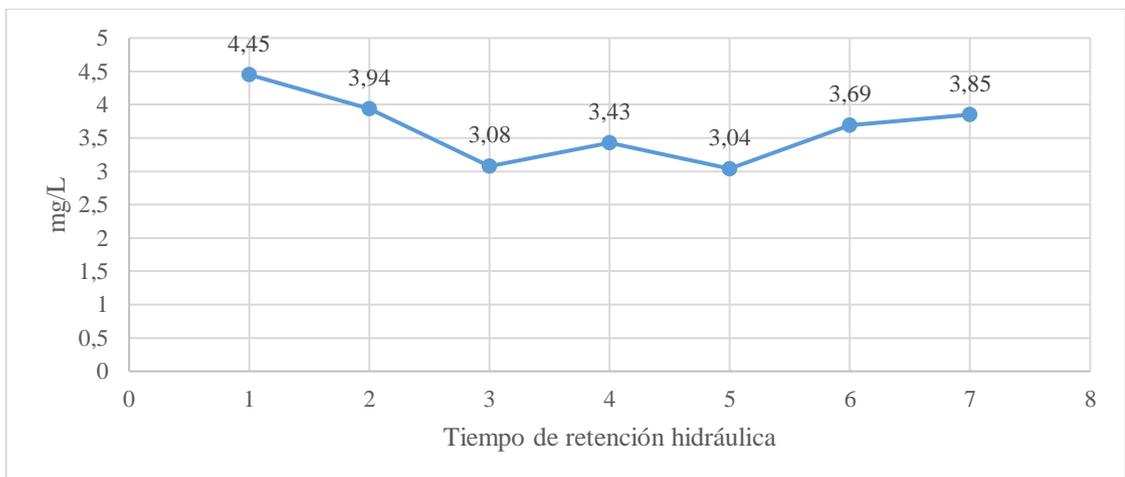
### 3.7.6.3 Parámetros de control temperatura del prototipo



**Gráfico 15-3:** Resultados de temperatura del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.7 Parámetros de control oxígeno disuelto del prototipo



**Gráfico 16-3:** Resultados de oxígeno disuelto del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.8 Resultados del prototipo

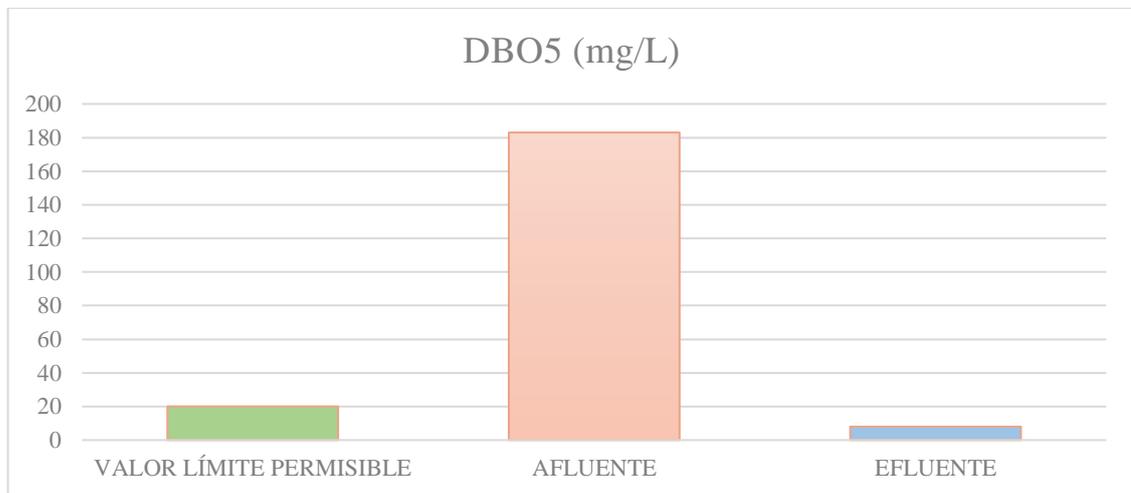
**Tabla 66-3:** Resultados del prototipo

PARAMETRO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	MUESTRA	
		AFLUENTE	EFLUENTE
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	20	183	8
<b>DQO (mg/L)</b>	40	520	21
<b>COLIFORMES FECALES (UFC/100mL)</b>	1000	5300	240
<b>ACEITES Y GRASAS (mg/L)</b>	Ausencia	1.52	Ausencia
<b>CUMPLIMIENTO</b>		No Cumple	Si Cumple

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

**Fuente:** (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015)

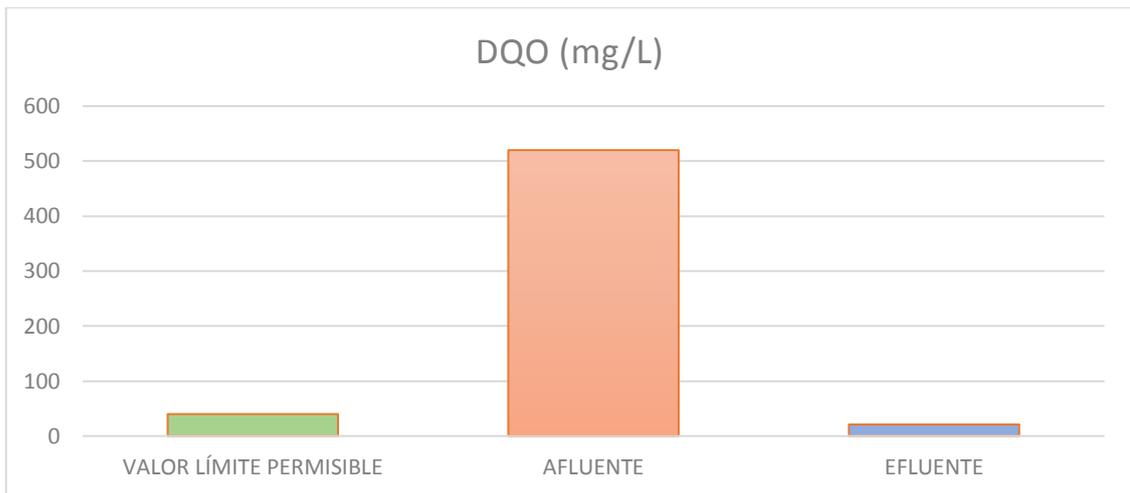
#### 3.7.8.1 Resultados de DBO<sub>5</sub> del prototipo



**Gráfico 17-3:** Resultados de DBO<sub>5</sub> del prototipo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

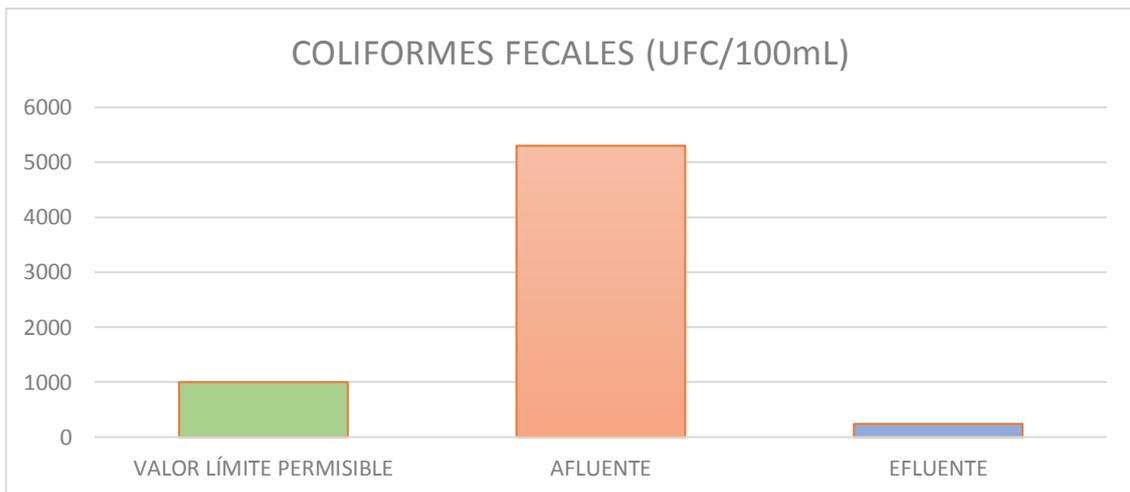
### 3.7.8.2 Resultados de DQO del prototipo



**Gráfico 18-3:** Resultados de DQO del prototipo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

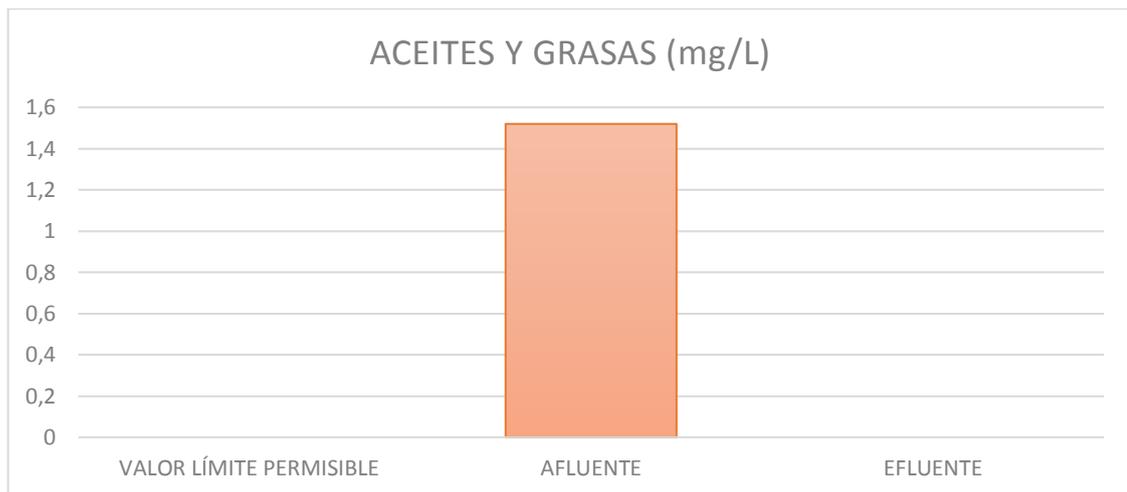
### 3.7.8.3 Resultados de Coliformes Fecales del prototipo



**Gráfico 19-3:** Resultados de Coliformes Fecales del prototipo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.7.8.4 Resultados de Aceites y Grasas del prototipo

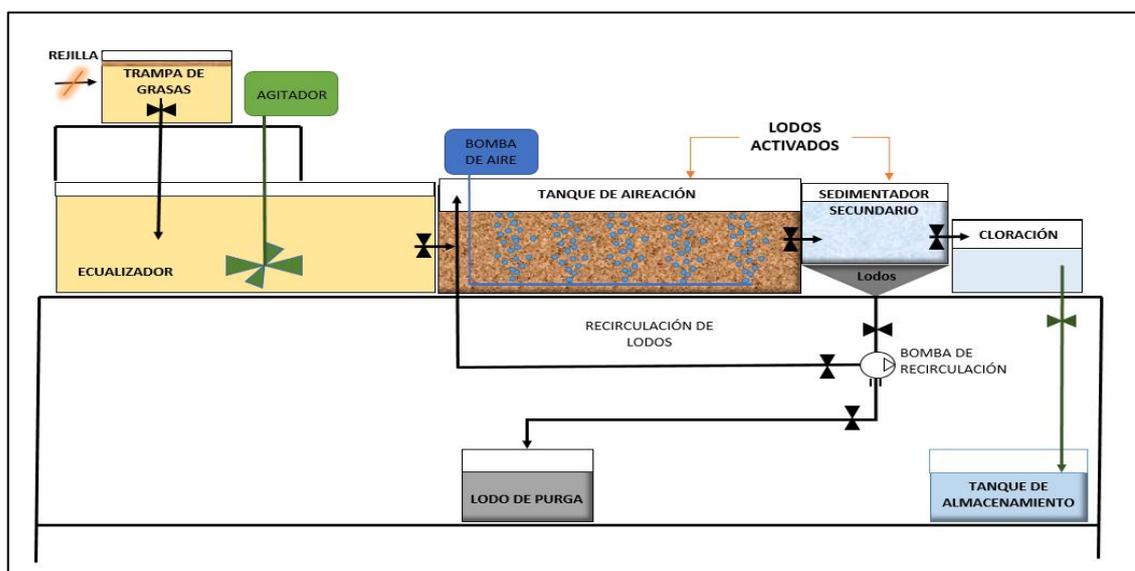


**Gráfico 20-3:** Resultados de Aceites y Grasas del prototipo

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.8 Resultados de la construcción del prototipo

En la Fotografía 16-3 se puede evidenciar el esquema del prototipo que, por fines didácticos, minimización de costos y de espacio se optó por la escala de reducción de 1/15 teniendo las dimensiones que se especifican en la Tabla 67-3.



**Fotografía 16-3:** Esquema del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

El diseño del prototipo presenta todos los procesos dimensionados para la planta de tratamiento de aguas residuales los cuales son: rejilla, trampa de grasas, ecualizador, reactor biológico,

sedimentador secundario, clorador, tanque para lodos de purga y tanque de almacenamiento, además de los equipos de agitación, aireación y de recirculación de lodos.

El material del que está construido el prototipo es policarbonato de 8 mm de espesor unido por silicona específica de dicho material, se ha escogido por condiciones de resistencia al volumen de agua que va a contener además factores económicos; se optó por las tuberías, llaves de paso de ½ pulgada debido al volumen que se maneja en los tanques y adaptadores de tanque para evitar fugas y como conexión a las tuberías.

La tubería que se encuentra entre el sedimentador a la bomba de recirculación de lodos tiene la forma de sifón para evitar obstrucciones que puede provocar el lodo a recircular. Se pintó las tuberías de color negro para identificar el paso de aguas grises y negras, de color verde para el agua tratada y azul a lo que corresponde el paso del aire, según (INEN 440).

**Tabla 67-3:** Dimensiones del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales

<b>LARGO (m)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>ALTO (m)</b>	<b>VOLUMEN (L)</b>
<i>Estructura</i>			
1,80	0,75	0,90	-
<i>Canal Rejillas</i>			
0,02	0,20	0,02	0,08
<i>Trampa de Grasas</i>			
0,15	0,20	0,10	3
<i>Tanque Ecuilizador</i>			
0,65	0,65	0,25	105,63
<i>Tanque de Aireación</i>			
0,60	0,75	0,25	112,5
<i>Sedimentador Secundario</i>			
0,40	0,35	0,25	33
<i>Cloración</i>			
0,10	0,20	0,10	2
<i>Tanque de Almacenamiento</i>			
0,20	0,20	0,15	6
<i>Tanque de Purga de Lodos</i>			
0,20	0,20	0,15	6

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

### 3.9 Análisis comparativo de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales con el prototipo

**Tabla 68-3:** Análisis comparativo de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales con el prototipo

PARÁMETRO	RANGO DE DISEÑO	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	PROTOTIPO
Relación Alimento / Microorganismo (F/M)	$\approx 2.27 \text{ día}^{-1}$	*0.22 $\text{día}^{-1}$	2.58 $\text{día}^{-1}$
Tiempo de retención celular ( $\theta_c$ )	5-15 días	15 días	7 días
Oxígeno ( $O_2$ )	$> 2 \text{ mg } O_2/L$	2.84 – 4.11 mg/L (prueba de tratabilidad)	3.04 - 4.45 mg/L
Retorno de lodos (R)	0.75 - 0.15	0.63	0.73
Sólidos suspendidos totales en el reactor biológico ( $SST_{\text{Reactor}}$ )	3000-6000 mg/L	3120 mg/L (prueba de tratabilidad)	3500 mg/L
Sólidos suspendidos totales en el sedimentador ( $SST_{\text{Sedimentador}}$ )	8000-12000 mg/L	8000 mg/L (prueba de tratabilidad)	8300 mg/L
Temperatura en el reactor biológico ( $T^\circ$ )	12-38 $^\circ C$	16.8-18.6 $^\circ C$	17.8-19.7 $^\circ C$
Nota: * Valor fuera de rango de diseño			

**Fuente:** (MORERA ARGUEDAS, 2013); (METCALF & EDDY); (RAMALHO, 1983); (ROMERO, 2008)

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

Una vez realizado los cálculos del dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales se obtuvo que la relación alimento/microorganismo (F/M) con un valor de  $0.22 \text{ día}^{-1}$

el cual se encuentra fuera de rango de diseño ( $\approx 2.27 \text{ día}^{-1}$ ), esto es debido a la cantidad de carga orgánica presente en la  $\text{DBO}_5$ , la cual indica si se requiere adición de nutrientes, e indirectamente al volumen del tanque aireación puesto que este valor influye en el tiempo de retención hidráulico, sin embargo, no afecta al dimensionamiento.

Como se puede observar en la Tabla 68-3 más del 90% de los valores calculados y analizados se encuentran dentro del rango de diseño que presentan los autores citados, lo que indica que con el dimensionamiento y el diseño del proceso biológico se va a obtener resultados favorables en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

### **3.10 Resultados del funcionamiento del prototipo**

El caudal de ingreso del prototipo se determinó mediante la utilización del método volumétrico mediante el paso del agua residual domestica a través de una tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro con la llave de paso completamente abierta, llegando a un valor de 0.183 L/s, a partir de este dato se procede al dimensionamiento de rejillas y trampa de grasas.

Como resultado del dimensionamiento de las rejillas como se observa en la Tabla 58-3, se tiene un ancho y alto de 0,020 y 0,020 respectivamente, con un ángulo de inclinación de  $45^\circ$  lo cual permite una limpieza manual de las rejillas.

A lo que corresponde la trampa de grasas tiene un largo de 0.2 m, un ancho de 0.15 m y alto de 0.1 m con un volumen útil de 3 L, mediante un tiempo de retención hidráulico de 0.36 minutos con el objetivo de retener grasas y aceites que puedan estar presentes en el agua residual doméstica.

A partir del ecualizador el prototipo operó con un caudal de 5184 L/día con una apertura de la llave de paso del 50 % mediante los respectivos cálculos, con la finalidad de tener un flujo controlado.

El ecualizador presenta las siguientes medidas de largo, ancho y alto 0.65 m, 0.65 m y 0.25 m respectivamente, con un volumen de 105.63 L. Para mantener una homogenización constante de la carga orgánica entrante se implementó un agitador eléctrico con una hélice con 30 revoluciones por minuto.

El reactor biológico (tanque de aireación) cuenta con un largo de 0.6 m, ancho de 0.75 m y alto de 0.25 m con un volumen de 112.5 L, mediante cálculos se determinó el tiempo de retención celular, el cual fue de 7 días, este último dato se encuentra dentro del rango de parámetros de diseño que son entre 5-15 días, y la relación de alimento-microorganismo (F/M) con un valor de  $2.58 \text{ día}^{-1}$ , lo que se acerca al dato recomendado de  $2.27 \text{ día}^{-1}$ , según (METCALF & EDDY).

Mediante el resultado de los análisis de sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos totales realizados en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo se puede observar que existe un incremento en la cantidad de sólidos suspendidos volátiles del reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo, como se puede observar en el Gráfico 13-3, debido a que estos son la biomasa que se encuentra en el licor mezcla presentando variaciones de concentración en los primeros tres días y a partir del cuarto día adquiere una tendencia casi lineal lo que nos indica que el proceso de lodos activados ya se ha estabilizado en un rango aproximado de 3300 mg/L valor que se encuentra dentro de los parámetros de diseño lo que señala que el proceso de lodos activados está en buen funcionamiento.

En el Gráfico 14-3 se presentan los resultados de los sólidos suspendidos totales, con un valor máximo de 3560 mg/L, pero para fines de diseño se optó por 3500 mg/L, de los cuales aproximadamente un 90% corresponden a los sólidos suspendidos volátiles y nos indican la cantidad de materia orgánica y el restante corresponde a los sólidos suspendidos no volátiles representando la parte inorgánica o inerte.

Al realizar una comparación de los valores del prototipo y de la prueba de tratabilidad nos indica que el proceso de lodos activados presenta una estabilización al cuarto día de funcionamiento y esto es debido a que en las dos ocasiones anteriormente mencionadas se utilizó el mismo lodo tratado proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales La Libertad-Riobamba.

En cuestión a sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos totales se registra en la prueba de tratabilidad de lodos activados (2920 mg/L y 3120 mg/L) y en el reactor biológico (tanque de aireación) en el prototipo (3300 mg/L y 3500 mg/L), en comparación con el parámetro de diseño de sólidos suspendidos totales, según (METCALF & EDDY) comprenden valores entre (3000 mg/L a 6000 mg/L), para la prueba de tratabilidad se sobrepasa el rango mínimo, mientras que en el prototipo supera el valor más pequeño. Lo cual valida el proceso de lodos activados.

La relación de recirculación de lodos del prototipo es del 73% lo que implica que se tiene un caudal de recirculación de 3784.32 L/día y un caudal de purga de 6.78 L/día los cuales son

movidos y dirigidos al reactor biológico (tanque de aireación) y al tanque de almacenamiento de lodos por medio de la bomba de recirculación, cumpliendo con los valores calculados, resultando eficiente para la recirculación.

Como se puede constatar en el Gráfico 15-3 la temperatura (in-situ) en el reactor biológico (tanque de aireación) del prototipo presenta un ligero incremento, debido al metabolismo microbiano, llegando a una temperatura máxima de 19.7 °C. Encontrándose dentro del rango de condiciones operativas de 12-38 °C, según lo menciona (MORERA ARGUEDAS, 2013)

Se realizó el mismo procedimiento que durante la prueba de tratabilidad de lodos activados para la determinación de la cantidad de oxígeno disuelto en el reactor biológico (tanque de aireación) del prototipo, en el Gráfico 16-3 se expresa un valor máximo de 4.45 mg/L y un mínimo de 3.04 mg/L lo que nos indica que se mantiene una buena oxigenación durante todo el proceso de aireación, ya que el valor mínimo para que el sistema funcione es de 2 mg/L de oxígeno.

Mediante cálculos se determinó que el sistema del reactor biológico (tanque de aireación) del prototipo requiere un caudal de aire real de 6.86 L/min, el cual es abastecido al introducir un caudal de aire de 8 L/min a través de bombas de aire conectadas a difusores de aire manteniendo una mezcla continua y homogénea en el reactor biológico (tanque de aireación).

Al realizar el control de temperatura y oxígeno disuelto entre el prototipo y las pruebas de tratabilidad se puede apreciar una ligera diferencia por motivo del volumen de agua que se trata, además de condiciones externas.

Las medidas obtenidas en el sedimentador secundario son de largo 0.4 m, de ancho 0.35 m y de alto 0.25m con un volumen de 33 L como se muestra en la Tabla 62-3, aquí se encuentran valores de sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos totales de 7400 mg/L y 8300 mg/L respectivamente, determinados por análisis de laboratorio.

En el tanque de cloración se tiene mediadas de largo, ancho y alto de 0.10 m, 0.20 m y 0.10m con un volumen de 2 L, siendo su caudal de entrada de 2.08 L/min, con un tiempo de contacto de 11.3 minutos del agua tratada con el hipoclorito de calcio. Al finalizar el tratamiento del agua es dirigida al tanque de almacenamiento.

Finalmente, para determinar la funcionalidad del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales generadas por la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera se realizó

una caracterización del afluente (agua residual) y del efluente (agua tratada) para los siguientes parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes fecales y aceites y grasas. Para llegar a cumplir con el criterio de calidad que exige el agua para riego, como se muestra en la Tabla 66-3.

Una vez realizada la homogenización del agua residual se analizó la Demanda Biológica de Oxígeno dando un resultado de 183 mg/L y posteriormente al tratamiento se tiene un resultado de 8 mg/L, como se puede ver en el Gráfico 17-3, el cual al compararse con el límite permisible se encuentra bajo la norma consiguiendo una eliminación del 96%.

La Demanda Química de Oxígeno de entrada al sistema es de 520 mg/L y presenta una salida de 21 mg/L, como se observa en el Gráfico 18-3, representando una reducción del 96%.

En lo que corresponde a las coliformes fecales ingresa con un valor de 5300 UFC/100mL y termina con 240 UFC/100mL, como se comprueba en el Gráfico 19-3, obteniéndose una disminución de aproximadamente 96%.

En el Gráfico 20-3 se muestra el parámetro de aceites y grasas con un valor inicial de 1.52 mg/L y finaliza con un criterio de calidad de ausencia de los mismos.

Los parámetros de interés a ser analizados y tratados se presentan en la Tabla 66-3, los valores del afluente del prototipo no cumplen con la normativa mientras que la calidad del efluente cumple con los límites permisibles de las Tablas 2 y 3 de la normativa según él (Ecuador Acuerdo N° 097-A, 2015), logrando el objetivo de nuestra propuesta.

## CONCLUSIONES

- ❖ Se determinó el caudal existente en la descarga de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera, mediante la utilización del método volumétrico, con la implementación de un balde de 10 litros, una soga y un cronometro, en la caja de revisión ubicada junto al Estadio Universitario, el cual presentó un valor de 84.53 m<sup>3</sup>/d y un caudal de diseño de 1657.15 m<sup>3</sup>/d
- ❖ Se caracterizó física – química y microbiológicamente el agua residual proveniente de la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera, cuyos análisis se efectuaron en el laboratorio de Servicios Ambientales, ubicados en el mismo campus, cumpliendo con las técnicas y transporte de las muestras de agua residual. Una vez que se obtuvieron los resultados de la caracterización del agua residual se procedió a realizar la comparación de estos valores con los límites permisibles de las Tablas 2 y 3 del Acuerdo N 097-A y del cual se pudo constatar que los parámetros que se encontraban fuera de la norma fueron la DBO, DQO, coliformes fecales y aceites y grasas con valores de 183 mg/L, 520 mg/L, 5300 UFC/100 mL y 1.52 mg/L respectivamente, lo cual no permite la utilización de esta descarga como agua de regadío.
- ❖ Se determinó como sistemas de tratamiento para el agua residual en la planta de tratamiento y en el prototipo un tratamiento primario que consiste en rejillas para evitar el ingreso de sólidos de gran tamaño y trampa de grasas para que la presencia de estas no afecte en el sistema; seguido de un proceso de tratamiento por lodos activados, teniendo resultados en el prototipo de relación Alimento/Microorganismo: 2.58 día<sup>-1</sup>, sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico: 3500 mg/L – 3300 mg/L respectivamente; la relación de recirculación de lodos es del 73% lo que implica que se tiene un caudal de recirculación de 3784.32 L/día y un caudal de purga de 6.78 L/día; un valor máximo de 4.45 mg/L y un mínimo de 3.04 mg/L de Oxígeno suministrado para disminuir la contaminación orgánica y, en el cual se elimina aproximadamente un 96% de los contaminantes presentes en el afluente de la planta pasando a un sedimentador secundario para que se clarifique el agua por precipitación de los lodos, y por último el agua es sometida a desinfección por hipoclorito de calcio para asegurar la reducción de la presencia de coliformes fecales y otros microorganismos patógenos que pudieron pasar los procesos previos.

- ❖ Se construyó el prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales a una escala de reducción de 1/15, de las medidas de la propuesta del dimensionamiento de la planta, con policarbonato de 8 mm de espesor y se realizaron las conexiones de tuberías, respetando la norma INEN 440 de color de la tubería, y presentando una eficiencia de remoción de los contaminantes de un 96% aproximadamente. El prototipo presenta medidas de largo, ancho y alto de 1.8 m, 0.75 m y 0.9 m.
  
- ❖ Se llegó a cumplir con la propuesta de la construcción del prototipo a escala mediante el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales generadas por la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera para el regadío de áreas verdes y descarga de baterías sanitarias, disminuyendo la concentración de la carga contaminante del agua residual doméstica y llegando a valores que se encuentran por debajo del límite permisible como se mencionen en las Tablas 2 y 3 del Acuerdo N 097-A, Anexo I, dejando el agua en óptimas condiciones para poder ser reutilizada.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Para la medición de caudales por método volumétrico, que se realicen en un alcantarillado, es necesario la utilización de un recipiente de boca ancha para facilitar la toma de datos.
- ✓ El número de muestras tanto de caudales como de caracterizaciones del agua residual debe ser el mayor posible para así minimizar el margen de error y tener datos más representativos.
- ✓ Realizar la limpieza de las rejillas para evitar taponamientos y el mal funcionamiento del sistema de tratamiento.
- ✓ En el ecualizador debe existir una agitación constante para asegurar la homogenización y una concentración lineal de los contaminantes que entran al reactor biológico (tanque de aireación).
- ✓ Se debe controlar los parámetros como el oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico (tanque de aireación) para asegurar que el proceso no pierda su eficiencia.
- ✓ Se recomienda una adecuada disposición final de los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Se debe limpiar periódicamente los difusores de aire que se encuentran en el reactor biológico (tanque de aireación) para evitar que el lodo se adhiera a estos impidiendo la salida de aire.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABEFASE, JOSÉ.** Cálculo básicos para operación planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Canelos. [En línea] 2012. Disponible en: [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjTmaqrodrUAhUCNT4KHeY1BBoQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ose.com.uy%2Fdescargas%2Frecrutamiento%2Fcalculos\\_basicos.docx&usq=AFQjCNF-5nu0RvREINjHCHYIg](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjTmaqrodrUAhUCNT4KHeY1BBoQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ose.com.uy%2Fdescargas%2Frecrutamiento%2Fcalculos_basicos.docx&usq=AFQjCNF-5nu0RvREINjHCHYIg).

**MINISTERIO DE AGRICULTURA PERÚ.** Convenio Marco De Cooperación Interinstitucional INRENA - UCPSI. [En línea] 2005: p.5. Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/hidrometria/material/hidrometria.pdf>.

**ALARCON PEREZ, FAUSTO EMIR.** *Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas.* ZONA POZA RICA-TUXPAN : s.n., 2011.

**ALQUISE SERVICIOS AMBIENTALES CIA. LTDA.** Equipos portátiles para tratamiento de aguas residuales y de consumo. Lago Agrio : s.n., 2013.

**ANDA MUNGUÍA, MARÍA LETICIA.** Guía para el examen extraordinario de biología III. [En línea] 2012. Disponible en: <http://www.cch-sur.unam.mx/guias/experimentales/bioIII.pdf>.

**AYALA FANOLA, RODRIGO MARCELO Y GONZALES MARQUEZ, GREBY.** Apoyo didáctico en la enseñanza-aprendizaje de las asignaturas de plantas de tratamiento de aguas residuales. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Civil. Cochabamba-Bolivia. [En línea] Junio de 2008: pp. 305-306. Disponible en: [http://www.academia.edu/8042546/UNIVERSIDAD\\_MAYOR\\_DE\\_SAN\\_SIMON%20N\\_APOYO\\_DIDACTICO\\_EN\\_LA\\_ENSEANZA\\_APRENDIZAJE\\_Presentado\\_por](http://www.academia.edu/8042546/UNIVERSIDAD_MAYOR_DE_SAN_SIMON%20N_APOYO_DIDACTICO_EN_LA_ENSEANZA_APRENDIZAJE_Presentado_por).

**BETETA RIERA, ANDREU.** Capítulo 21: Tratamiento Biológico. [En línea] pp. 177-179. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13058/C3%A0lculs.pdf?sequence=5>.

**CHARPENTIER, JOSEPH.** Tratamiento de aguas residuales con lodo activado. *Proyecto mejora de las economías regionales y desarrollo local.* [En línea] 2014. Disponible en: <http://www.ue-inti.gob.ar/pdf/publicaciones/cuadernillo6.pdf>.

**CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.** [En línea] 2008. Disponible en:  
[http://www.inocar.mil.ec/web/images/lotaip/2015/literal\\_a/base\\_legal/A.\\_Constitucion\\_republica\\_ecuador\\_2008constitucion.pdf](http://www.inocar.mil.ec/web/images/lotaip/2015/literal_a/base_legal/A._Constitucion_republica_ecuador_2008constitucion.pdf).

**ECHARRI, LUIS. AGOSTO 1998 B :** Ciencias de la tierra y del medio ambiente. *Substancias contaminantes del agua.* [En línea] Agosto 1998 b : p.1. Disponible en:  
<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/110ConAg.htm>.

**ACUERDO N° 097-A.** *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria.*  
Quito : s.n., 2015.

**ECUADOR SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA.** Código ecuatoriano de la construcción de parte IX obras sanitarias. *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.* p.330.

**ESPIGARES GARCIA, EN.AL, M.** Aguas residuales composición. *Características generales de composición de las aguas residuales urbanas.* [En línea] Disponible en:  
[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf).

**FANGOS ACTIVADOS.** Capitulo 10 Fangos Activados. [En línea] pp. 11-13. Disponible en:  
[ftp://ceres.udc.es/ITS\\_Caminos/2\\_Ciclo/Ingenieria\\_Sanitaria\\_Ambiental/Libro\\_Problemas/Capitulo10.doc.pdf](ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/2_Ciclo/Ingenieria_Sanitaria_Ambiental/Libro_Problemas/Capitulo10.doc.pdf).

**FERRARA-GINER, GRISELDA Y RAMIREZ, ARMANDO.** Análisis de la sedimentabilidad de los lodos biológicos producidos en un rcs durante la desnitrificación de un efluente de un biorreactor de crecimiento adherido. [En línea] 2013. p 3. Disponible en:  
<http://www.scielo.org.ve/pdf/rfiucv/v28n1/art05.pdf>.

**GARCIA ESPIGARES, M.** AGUAS RESIDUALES. *Composición.* [En línea]  
[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf).

**GIRALDO VALENCIA, LUIS FERNANDO.** Arranque y operacion de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. [En línea] 2003. Disponible:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/977/1/luisfernandogiraldov.isabelcristinarestrepom.2003.pdf>.

**HESS, MAX LOTHAR.** Tratamientos Preliminares. Sao Paulo, Brasil : s.n. págs. 1-13.

**HUDSON, N. W.** *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía.* Roma : s.n., 1997. pág. 57.

**INEN 440.** *Colores de Identificación de Tuberías.*

**JIMENEZ TORRES, NURIA.** Diseño de un Reactor Biológico de Fangos Activados. [En línea] Julio de 2014, pp. 22-23. Disponible en: [http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3717/2111\\_Disen%20de%20un%20reactor%20biologico%20de%20fangos%20activos.pdf?sequence=1](http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3717/2111_Disen%20de%20un%20reactor%20biologico%20de%20fangos%20activos.pdf?sequence=1).

**JIMÉNEZ, ANTONIO AZNAR.** Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. [En línea] 2000: pp. 1-9. Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>.

**LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.** [En línea] 2004. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf>.

**LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA.** [En línea] 2014. Disponible en: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>.

**LIMON MACIAS, JUAN.** Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o Recurso? [En línea] Julio de 2013. Disponible en: [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_gualberto\\_limon\\_trabajo\\_de\\_ingreso.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf).

**METCALF & EDDY.** Proyecto de instalaciones para el tratamiento biológico del agua residual. [En línea] Disponible en: [http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/instalacion\\_tratamiento\\_biologico.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/instalacion_tratamiento_biologico.pdf).

**MORERA ARGUEDAS, ANDRÉS.** Parámetros de control de un sistema biológico. [En línea] 2013. Disponible en: <http://www.serquimsa.com/articulo-informativo-mayo-2013/>.

**NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN.** 2011, 16 Norma Hidrosanitaria NHE Agua, págs. 16-17.

**OAKLEY, STEWART M.** Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad. [En línea] Junio de 2005: p. 45. Disponible en: <http://www.desastres.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilizacion-en-honduras.pdf>.

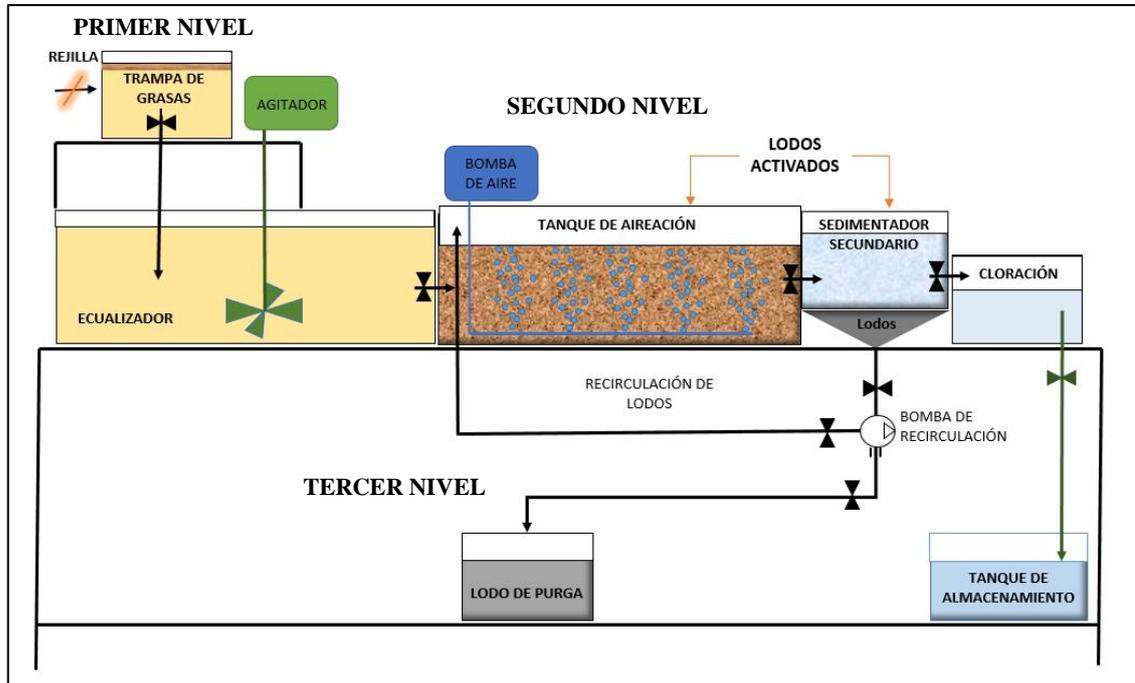
**OSORIO UGARTE, HAYDÉE.** Tratamiento de aguas residuales domesticas, por el proceso de lodos activados ¿Una alternativa para centroamérica ? [En línea] Octubre de 2002; p. 1. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-098.pdf>.

- PÉREZ LOPEZ, J.A. Y ESPIGARES GARCIA, M.** Desinfección del Agua. *Cloración*. [En línea] Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/CLORACION.pdf>.
- RAMALHO, R.S.** Tratamiento de aguas residuales. [aut. libro] R.S. Ramalho. *3. Niveles de tratamiento de aguas residuales y normas de calidad de las aguas*. Barcelona : REVERTÉ. S. A, 1983.
- RAMOS OLMOS, EN.AL.** *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. s.l. : Plaza y Valdés, S.A. de C.V., 2003. pág. 170.
- RAS - 2000.** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. *Sección II Título E Tratamiento de Aguas Residuales*. [En línea] Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tituloecolombia.pdf>.
- RODRIGUEZ AYARA.** 2000.
- ROMERO, J.** Tratamiento de aguasresiduales. Principos y teoría de diseño. [En línea] 2008. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24701/1/Tesis%20AMH.pdf>.
- SANCHEZ MARES, FRANCISCO.** Software para diseñar sistemas de lodos activados y lagunas aireadas. [En línea] 2005; p. 3. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/944/94403010.pdf>.
- SANTAFÉ, MARTA FÉLEZ.** Capítulo 1: El Agua. *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*. [En línea] pp. 20-21. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03\\_Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03_Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y).
- SC-7500, AIR PUMP ROYAL.** BOYU. [En línea] Disponible en: [http://www.boyuaquarium.com/en\\_ArticleShow.asp?ArticleID=314](http://www.boyuaquarium.com/en_ArticleShow.asp?ArticleID=314).
- SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA / ECOLOGÍA Y, DESARROLLO COLOMBIA.** Manual de depuración de aguas residuales urbanas. *Las aguas Residuales Urbanas pp. 17-18*. [En línea] Disponible en: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>.
- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, POR LODOS ACTIVADOS.** Tratamiento de Aguas Residuales. [En línea] 2008. Disponible en: <https://aguasresiduales.wordpress.com/tag/lodos-activados/>.

- SOLSONA, FELIPE Y MÉNDEZ, JUAN PABLO.** Desinfección del Agua. [En línea] 2002.  
Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>.
- SUÁREZ, A., JÁCOME, J. Y TEJERO, J.** Tema28 Pretratamientos. [En línea] pp.5-6.  
Disponible en:  
[ftp://ceres.udc.es/ITS\\_Caminos/2\\_Ciclo/Ingenieria\\_Sanitaria\\_Ambiental/TEMA28-rev070509-ajb.pdf](ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/2_Ciclo/Ingenieria_Sanitaria_Ambiental/TEMA28-rev070509-ajb.pdf).
- SUÁREZ, ENAL, A.** Tema28 Pretratamientos. [En línea] pp.5-6. Disponible en:  
[ftp://ceres.udc.es/ITS\\_Caminos/2\\_Ciclo/Ingenieria\\_Sanitaria\\_Ambiental/TEMA28-rev070509-ajb.pdf](ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/2_Ciclo/Ingenieria_Sanitaria_Ambiental/TEMA28-rev070509-ajb.pdf).
- TECHNOLOGIES, WATER.** SSTP Soluciones en Tratamiento y Reuso de Agua. [En línea]  
Disponible en: <http://www.sstp.mx/que-es-el-agua-residual.html>.
- TORRES LOZADA, PATRICIA.** Alternativas de tratamiento biológico aerobio para el agua residual doméstico del municipio de Cali, Colombia. [En línea] 18 de Agosto de 2011 p. 385. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/268129-363939-1-SM.pdf>.
- UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO.** Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasas. [En línea] 2003: pp.6-8. Disponible en: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.bvsde.paho.org/teca-pro/documentos/sanea/etTrampa\\_grasa.pdf](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.bvsde.paho.org/teca-pro/documentos/sanea/etTrampa_grasa.pdf).
- EL UNIVERSO, ECUADOR.** Solo el 10% de las aguas residuales de Latinoamérica reciben tratamiento, informa Unesco. [En línea] Octubre de 2013. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2013/10/10/nota/1567016/solo-10-aguas-residuales-latinoamerica-reciben-tratamiento-informa>.
- VALDEZ & VAZQUEZ.** *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. México D F : Fundación ICA, 2003. págs. 37 - 57.
- VARGAS, LIDIA Y BARRENECHEA MARTEL, ADA.** Desinfección. [En línea] Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO A. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO A ESCALA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



**Fotografía:** Esquema del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales

**Realizado por:** Valeria Astudillo y Greys Herrera, 2017

El prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales consta de 3 niveles, como se puede ver en la Fotografía I con medidas de alto 1 m, de largo 1.8 m y de ancho 0.75 m, la distribución de los procesos se describen a continuación.

**Primer nivel:** En este nivel se encuentran las rejillas, cuya función es retener sólidos, y la trampa de grasas, lo que consiste en el pretratamiento de aguas residuales domésticas.

**Segundo nivel:** Aquí se encuentran los tanques que son: ecualizador, reactor biológico (tanque de aireación), sedimentador secundario y el tanque de cloración.

**Tercer nivel:** En este nivel están el tanque de almacenamiento del agua ya tratada y el tanque donde se recolecta el lodo de purga además de la bomba de recirculación de lodos.

## **OPERACIÓN DEL PROTOTIPO**

- 1) Previo a la utilización del prototipo es necesario realizar la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual doméstica a utilizar en el sistema.
- 2) El caudal de ingreso al prototipo debe ser 0.138 L/s.
- 3) Cuando la trampa de grasas llega a su nivel máximo se abre la llave de paso al 50% para que el agua pase a la siguiente etapa.
- 4) Para el funcionamiento adecuado del ecualizador se debe encender el agitador para mantener una constante homogenización del agua residual y de su carga contaminante, tiene un volumen de 105.6 L; cuando el nivel del agua residual llegue a la llave de paso ésta debe ser abierta al 50% para que pase al siguiente proceso.
- 5) El reactor biológico (tanque de aireación) tiene una capacidad de 112.5 L, en la base se encuentran distribuidos difusores de aire conectados a tres compresores de aire; para disminuir el tiempo de tratamiento se recomienda colocar lodo activado ya tratado. Los difusores de aire deben estar encendidos durante todo el proceso de tratamiento del agua residual.
- 6) Es necesario controlar los parámetros de oxígeno disuelto, temperatura, sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles del licor mezcla en el reactor biológico (tanque de aireación) con la finalidad de determinar si el proceso de lodos activados se estabilizó y para proveer de condiciones óptimas a los microorganismos y lograr la reducción de la carga contaminante y así pueda pasar al siguiente proceso con la llave de paso abierta al 50%.
- 7) En el sedimentador secundario se tiene un volumen de 33 L, aquí precipitan los lodos provenientes del reactor biológico (tanque de aireación), se recomienda una hora de tiempo de sedimentación.
- 8) Se enciende la bomba de recirculación, a medida que el proceso lo requiera, para que una parte de los lodos generados retornen al reactor biológico (tanque de aireación) o sean purgados del sistema.

- 9) En la parte superior del sedimentador secundario se encuentra ya clarificada, la cual es dirigida al siguiente proceso a través de la llave de paso abierta al 50%.
- 10) Para finalizar el tratamiento se encuentra el tanque de cloración con un volumen de 2 L donde el agua ya tratada es desinfectada mediante la utilización de cloro, el agua ya clorada es dirigida al tanque de almacenamiento a través de la llave de paso abierta al 50%.
- 11) Del agua tratada se realiza la caracterización físico-química y microbiológica para determinar la eficiencia en la remoción de los contaminantes.

**NOTA:**

Según la normativa (INEN 440) menciona que:

- ❖ Las tuberías de color negro sirven para identificar el paso de aguas grises y negras.
- ❖ Las tuberías de color verde sirven para identificar el agua tratada.
- ❖ Las tuberías de color azul sirven para identificar el paso del aire.

## ANEXO B. MEDICIÓN DEL CAUDAL



**Fotografía 1:** Caja de revisión para medición de caudales UNACH.



**Fotografía 2:** Medición de caudales.

## ANEXO C. TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS



**Fotografía 3:** Toma de muestra para análisis físico-químico y microbiológico del agua residual UNACH.



**Fotografía 3:** Laboratorio de servicios ambientales UNACH.

## ANEXO D: PRUEBAS DE TRATABILIDAD DE LODOS ACTIVADOS

	
<p><b>Fotografía 4:</b> Tanque aireador, difusores de aire, mangueras y llaves de paso para la entrada de aire para el proceso de lodos activados.</p>	<p><b>Fotografía 5:</b> Recolección de Lodo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de la Libertad (barrio de San Luis-Riobamba)</p>
	
<p><b>Fotografía 6:</b> Tanque de Aireación con 10 Litros de agua residual proveniente de la UNACH y 0.9 L de Lodo recolectado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de la Libertad.</p>	<p><b>Fotografía 7:</b> Prueba de tratabilidad de lodos activados, mediante la utilización de bomba de aire, lodos tratados y agua residual doméstica.</p>
	<p><b>Fotografía 8:</b> Agua tratada después del tratamiento con lodos activados.</p>

## ANEXO E: PRUEBAS DE OXÍGENO DISUELTTO



**Fotografía 9:** Botella Wheaton con una muestra de agua del tanque de aireación para la determinación de oxígeno disuelto.



**Fotografía 10:** Reactivos para la determinación de oxígeno disuelto en el reactor biológico de lodos activados. Acida Sódica ( $\text{NaN}_3$ ), Cloruro de Manganeso ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  40%), Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), Almidón y Tiosulfato a 0.025 N (izquierda a derecha).



**Fotografía 11:** Colocación 1mL de Cloruro de Manganeso ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  40%) y 1 mL de Acida Sódica ( $\text{NaN}_3$ ).



**Fotografía 12:** Colocación de 2mL de Ácido Sulfúrico



**Fotografía 13:** Titulación con Tiosulfato a 0.025 N.

#### ANEXO F: INDICE VOLUMETRICO DE LODOS



**Fotografía 14:** Cono Imhoff con una muestra de agua en el proceso de aireación de 1000 mL para pruebas de nivel de sedimentación.



**Fotografía 15:** Determinación de la muestra a los 5 primeros minutos en el Cono Imhoff.



**Fotografía 16:** Determinación de la muestra a los 30 minutos en el Cono Imhoff.

## ANEXO G: VELOCIDAD DE SEDIMENTACION



**Fotografía 17:** Colocación de 1000 mL en la probeta con una muestra del licor mezcla para la determinación de la velocidad de sedimentación.



**Fotografía 18:** Determinación de la velocidad de sedimentación mediante una regla.

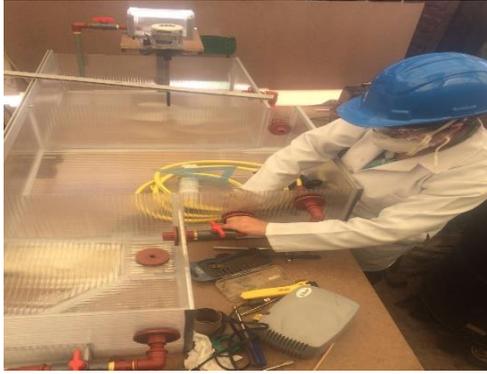
## ANEXO H: CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO



**Fotografía 19:** Construcción de la mesa metálica como base para el prototipo y armado de los tanques de policarbonato.



**Fotografía 20:** Instalación del agitador en el tanque equalizador



**Fotografía 21:** Colocación de la tubería de ½ pulgada con sus respectivas llaves de paso para la circulación del agua entre tanques.



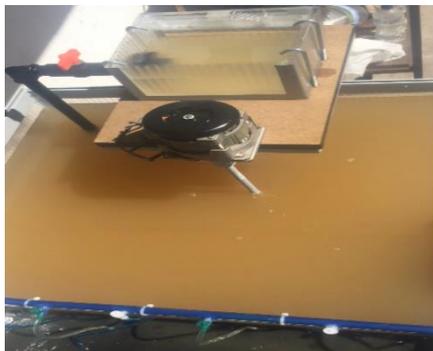
**Fotografía 22:** Instalación de sistema de aireación mediante bombas de aire unidas a difusores.



**Fotografía 23:** Instalación de la bomba para la recirculación.



**Fotografía 24:** Prueba de funcionamiento del prototipo.



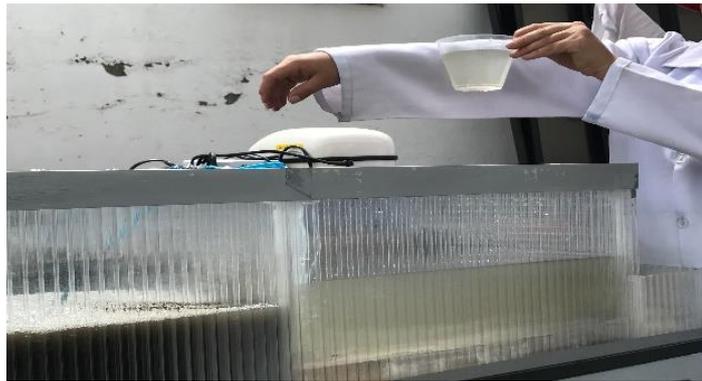
**Fotografía 25:** Paso del agua residual proveniente de la UNACH por rejillas, trampa de grasas hasta el equalizador.



**Fotografía 25:** Recolección de lodo de la planta de tratamiento de agua residual de la Libertad. (izquierda)  
Colocación de 11 litros de lodos en el tanque aireador del prototipo. (derecha)



**Fotografía 26:** Prototipo de la Planta de tratamiento de aguas residuales en funcionamiento.



**Fotografía 27:** Agua Residual Tratada.

### ANEXO I: COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

N°	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	POLICARBONATO	64	64
1	CINTA ADHESIVA	10	10
3	SILICONA EN TUBO	4	12
2	AL 3/4 X 2 MM	3.52	7.04
2	TC C1 1/2 X 2 MM	13.63	27.26
1	Amarra cable 12" x4.5 MM NEGRO	2.73	2.44
2	CODO POLIPROP ROSC. 1/2" X 45	0.76	1.52
2	Abrazadera A. INOX 16-32X12.7MM C/U FIERRO	0.51	1.02
2	CODO POLIPR. CACHIMBA 1/2"X90	0.95	1.89
15	NEPLO POLIPR. CORRIDO 1/2"	0.38	5.76
4	NEPLO POLIPR. 1/2"X 6CM R/R	0.25	1

2	NEPLO POLIPR. 1/2"X10CM	0.37	0.73
1	BUSHING POLIPR. 1 1/2" A 1/2"	1.29	1.29
1	ANGULAR P/ESQUINA 4 "ZINCAD 4PC MINTCRAFT	1.96	1.96
1	TORNILLO NEGRO 3/4X8 P/AGLOMERADO 20U	0.51	0.51
1	MANGUERA 1" CRISTAL LISA C/M	3.3	3.3
2	ANGULAR P/ESQUINA 1.5 "X1/2" ZINCADO 4PZ	1.56	3.13
2	GARRUCHA 926917	4.37	8.74
2	GARRUCHA 926904	3.47	6.94
1	PAPEL RL	4.36	4.36
1	ETIQUE CJ	4.66	4.66
1	JUEGO 5 PIEZAS SIERRS BEDTVALUE	4.83	4.83
1	TUBO PROSC 1/2" X 6M PLASTIDOR	3.57	3.57
9	ADAP TANQUE PP 1/2"	2.14	19.28
7	VALVULA BOLA COMPACTA R/R 1/2"	1.52	11.01
15	CODO ROSC PP 1/2" X 90"	0.41	6.12
1	TEE R/R PP 1/2"	0.52	0.52
1	CINTA TEFLON GRANDE AMARILO "GERMANY"	0.72	0.72
1	ADAP TANQUE PP 1"	5.17	5.17
1	UNION UNIVERSAL R/R PP 1/2"	0.93	0.93
1	CEMENTO C	0.77	0.77
1	TABLERO M	29.99	29.99
2	SUELDAAGA 60 11X3/32 LIBRA	1.8	3.6
1	MACILLA UNIPLAS	1.5	1.5
1	CARTUCHO SILICON ABRO	3.14	3.14
1	NUDO UNIVERSAL PLASTIGAMA 1/2"	0.99	0.99
3	MANG GAS IND 5/16" AMARILLA C/METRO	0.88	2.64
1	ABRAZADERA 3/4" TITAN JARDIN (10-06)	0.27	0.27
1	REGLETAK5-75W7P (7 INTERRUOTOR) KING SONG (-5%)	6.14	6.14
8	DIFUSORES DE PIEDRA	15	120
7	DIFUSORES FLEXIBLES	6	105
1	MANGUERA FLEXIBLE (10m)	1	4

8	LLAVES DE PASO	4	32
1	CIFONADOR	7.5	7.5
1	BOMBA AIRE SE-314	13.75	13.75
1	BOMBA AIRE SC-7500	20	20
1	BOMBA AIRE S-4000	45	45
<b>TOTAL</b>			<b>617.99</b>

#### **ANEXO J: COSTOS ADICIONALES DEL PROYECTO**

<b>DETALLES</b>	<b>COSTOS</b>
Envase de muestreo de agua	17.5
Frasco estéril para muestra de agua	5.00
Materiales de medición de caudal	10
Tanques de vidrio para pruebas de tratabilidad	50
Envase para el transporte de agua residual	5
Análisis de Laboratorio en prueba de tratabilidad y prototipo	180
Movilización	40
<b>TOTAL</b>	<b>307.50</b>

#### **ANEXO K: COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

<b>DETALLES</b>	<b>COSTOS</b>
COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO	617.99
COSTOS ADICIONALES DEL PROYECTO	307.50
<b>TOTAL</b>	<b>925.49</b>

#### **ANEXO L: PLANOS**