



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

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO,
PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO

TUTOR: DR. SEGUNDO TRUJILLO A.

Riobamba – Ecuador

2018

@2018, Brayan David Pazmiño Carrillo

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

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico de **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** de responsabilidad del señor BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Dr. Segundo Trujillo A.
**DIRECTORA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Rafaela Viteri U.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 27 de Febrero de 2018

BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO
0604038281

“Yo, BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación le dedico a Dios que nunca me ha defraudado y siempre ha estado presente en mi camino, a la virgen santísima que me ha protegido con su manto, a San Juan Bosco padre y maestro de la juventud siempre llevaré el legado de bondad, humildad y de lucha por los demás.

A mis padres que siempre confiaron en mí y sobre todo nunca me abandonaron en el recorrido de la vida, gracias por su ejemplo de lucha, por los valores que me impartieron y compartieron conmigo, serán siempre mi modelo a seguir y por quienes daré la vida siempre.

A mi hermano por sus consejos y su amor infinito a pesar de la distancia siempre estuviste ahí, y serás mi ejemplo a seguir, a toda mi familia, a mis amigos por su aprecio y su preocupación, a todos los docentes que me impartieron sus conocimientos, consejos y me brindaron su ayuda en este largo caminar politécnico y finalmente a mis sobrinas Gabriela y Emilia que son la fuente de inspiración para seguir y nunca bajar los brazos.

Brayan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme en este largo recorrido politécnico, por darme la vida, la salud, las fuerzas necesarias para luchar cada día con humildad y esfuerzo, por darles la vida a mis padres Washington y Mery que son el motor de mi existencia y por toda la ayuda brindada para continuar cumpliendo las metas propuestas hace varios años atrás.

Un agradecimiento a mi hermano Andrés por ayudarme siempre y nunca despreocuparse por mí a pesar de la distancia de su trabajo siempre estuvo presente cuando más lo necesitaba, de igual forma a mí cuñada Francisca, sobrinas Gabriela y Emilia gracias por todo.

Para mis abuelitos que están en el cielo Ulpiano, Rosa, Marcelo y mi abuelita Mercedes que está junto a mí, y a toda mi familia; en especial a mi tía Alexandra y primo Erik por ayudarme siempre y compartirme sus conocimientos, gracias por sus bendiciones y sus consejos.

Al Dr. Segundo Trujillo y a la Ing. Rafaelita Viteri por acogerme sin ningún problema y ayudarme a continuar mi trabajo de titulación, gracias por su tiempo, por su colaboración y sus conocimientos impartidos.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano con la Junta administradora de Agua Potable de la Parroquia San Isidro por darme la apertura y oportunidad de realizar este proyecto; a la Ing. Mónica Andrade por siempre apoyarme en todos los aspectos; a todos muchas gracias y un Dios le pague.

A todos los profesores que con sus conocimientos, experiencia y vivencias nos ayudaron a continuar con nuestra vida tanto en lo académico como en la vida misma, y finalmente a mis amigos y compañeros que a pesar de todos los percances de la vida siempre estuvieron presentes.

Brayan.

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Línea de base del proyecto	3
<i>1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Tipo de estudio.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.3 Métodos y Técnicas.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.4 Determinación del caudal</i>	<i>5</i>
<i>1.3.5 Métodos de muestreo</i>	<i>6</i>
<i>1.3.6 Porcentajes de remoción esperados.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.7 Tratamiento de aguas residuales.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.7.1 Operaciones Unitarias para el tratamiento de aguas residuales.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.8 Pruebas de tratabilidad.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3.8.1 Índice de biodegradabilidad.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.8.2 Aireación.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.8.3 Test de jarras (tratamiento químico con coagulantes)</i>	<i>14</i>
<i>1.3.8.4 Filtración con arena y grava.....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.9 Procesos para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual.....</i>	<i>17</i>
<i>1.3.10 Resultados de la tratabilidad</i>	<i>17</i>
1.4 Beneficiarios directos e indirectos.....	20
<i>1.4.1 Directos</i>	<i>20</i>
<i>1.4.2 Indirectos</i>	<i>20</i>
CAPÍTULO II	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	21
2.1 Objetivo General	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO III	
3. ESTUDIO TÉCNICO	22

3.1	Localización del proyecto.....	22
3.1.1	<i>Localización geográfica</i>	22
3.1.2	<i>Micro localización</i>	23
3.1.3	<i>Superficie de servicio.....</i>	23
3.1.4	<i>Clima de la zona</i>	24
3.1.5	<i>Topografía general de la zona.....</i>	24
3.1.6	<i>Hidrología.....</i>	24
3.2	Ingeniería del proyecto.....	24
3.2.1	<i>Aguas residuales</i>	24
3.2.1.1	<i>Clasificación del agua residual según las fuentes de descarga</i>	25
3.2.1.2	<i>Composición.....</i>	25
3.2.1.3	<i>Caracterización de aguas residuales.....</i>	26
3.2.1.4	<i>Indicadores de contaminación orgánica en el agua residual</i>	27
3.2.2	<i>Determinación de las variables de diseño de un Sistema de tratamiento de aguas residuales.....</i>	27
3.2.2.1	<i>Cálculo de la población futura</i>	27
3.2.2.2	<i>Determinación de caudales</i>	28
3.2.3	<i>Dimensionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....</i>	32
3.2.3.1	<i>Canal de entrada, dimensionamiento de un canal de entrada</i>	32
3.2.3.2	<i>Cribado, dimensionamiento de rejillas.....</i>	36
3.2.3.3	<i>Sedimentación, dimensionamiento de un sedimentador</i>	41
3.2.3.4	<i>Aireación, dimensionamiento de un aireador de bandejas</i>	48
3.2.3.5	<i>Canal Parshall, dimensionamiento de un canal Parshall.....</i>	53
3.2.3.6	<i>Floculación; dimensionamiento de un floculador hidráulico</i>	64
3.2.3.7	<i>Filtración; dimensionamiento de un filtro lento de arena y grava</i>	75
3.2.3.8	<i>Lecho de Secado; dimensionamiento de un lecho de secado</i>	83
3.3	Resultados	89
3.4	Proceso de producción	94
3.5	Requerimiento de tecnología, maquinaria y equipos	94
3.5.1	<i>Requerimientos de equipos y materiales para el muestreo, medición del caudal y tratabilidad de las aguas residuales</i>	94
3.5.2	<i>Equipos y métodos para la caracterización físico – químico y microbiológica del agua residual... ..</i>	96
3.6	Análisis Costo/beneficio para implementación de la planta	98
3.6.1	<i>Evaluación económica.....</i>	101

3.6.2	<i>Evaluación social</i>	102
3.6.3	<i>Porcentaje de remoción final</i>	108
3.6.4	<i>Análisis</i>	112
3.7	Cronograma	116
	CONCLUSIONES	116
	RECOMENDACIONES	118
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Aforo del caudal de agua residual semana del mes de Julio de 2017.....	5
Tabla 2-1	Aforo del caudal de agua residual semana el mes de Agosto de 2017.....	6
Tabla 3-1	Caudal promedio del agua residual	6
Tabla 4-1	Toma y recolección de muestras	7
Tabla 5-1	Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual.....	8
Tabla 6-1	Porcentajes de remoción esperados	8
Tabla 7-1	Relación entre DBO ₅ Y DQO	12
Tabla 8-1	Parámetros de biodegradabilidad de la muestra.....	15
Tabla 9-1	Tratabilidad con prueba de jarras con sulfato de aluminio	15
Tabla 10-1	Tratabilidad con prueba de jarras con Poli cloruro de Aluminio	16
Tabla 11-1	Tratabilidad con prueba de jarras con cloruro férrico.....	18
Tabla 12-1	Resultados del agua residual, culminada la aireación.....	18
Tabla 13-1	Resultados del agua residual, culminada la tratabilidad con PAC.....	18
Tabla 1-3	Ubicación geografica de San Isidro.....	22
Tabla 2-3	Distribución parroquia San Isidro	23
Tabla 3-3	Características Principales del agua residual	26
Tabla 4-3	Capacidades de conducción de los canales recubiertos	42
Tabla 5-3	Coefficientes de rugosidad	43
Tabla 6-3	Factores para determinar el borde libre.	47
Tabla 7-3	Condiciones de diseño de rejillas manual y mecánica.....	47
Tabla 8-3	Coefficientes de pérdida de carga,para rejillas.	47
Tabla 9-3	Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en tratamientos primarios.....	47
Tabla 10-3	Velocidades terminales del caudal.	47
Tabla 11-3	Constantes empíricos, a 20°C para porcentajes de remoción.....	47
Tabla 12-3	Parámetros para el diseño de aireadores de bandejas	49
Tabla 13-3	Ancho para las canaletas	54
Tabla 14-3	Valores n y K, según el tamaño de W _B	54
Tabla 15-3	Dimensiones estandarizadas para la canaleta Parshall.....	55
Tabla 16-3	Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas	63
Tabla 17-3	Criterios de diseño para floculadores hidráulicos de flujo horizontal	66
Tabla 18-3	Dimensiones específicas para cada pantalla	66
Tabla 19-3	Número de intensidad	66

Tabla 20-3	Parámetros de diseño de filtros de arena y grava.....	66
Tabla 21-3	Tiempo para la digestión del lodo	86
Tabla 22-3	Dimensiones para la digestión del lecho de secado	86
Tabla 23-3	Resultados de la determinación de población.....	89
Tabla 24-3	Resultados de los caudales.....	89
Tabla 25-3	Resultados para el canal de entrada.....	89
Tabla 26-3	Resultados del dimensionamiento del cribado.....	90
Tabla 27-3	Resultados del sedimentador	90
Tabla 28-3	Resultados de la torre de aireación.....	91
Tabla 29-3	Resultados del canal Parshall	91
Tabla 30-3	Resultados del floculador Hidráulico de flujo horizontal	92
Tabla 31-3	Resultados del dimensionamiento del filtro lento de arena y grava.....	92
Tabla 32-3	Resultados del dimensionamiento del lecho de secado	93
Tabla 33-3	Equipos y materiales para medición del caudal	95
Tabla 34-3	Materiales de muestreo	95
Tabla 35-3	Equipos, materiales y reactivos para la tratabilidad.....	95
Tabla 36-3	Equipos y materiales para el análisis físicos del agua residual	96
Tabla 37-3	Equipos y materiales para el análisis químicos del agua residual	96
Tabla 38-3	Equipos y materiales para el análisis microbiológico del agua residual	96
Tabla 39-3	Parámetros, unidad para la caracterización física – química y microbiológico del agua residual	97
Tabla 40-3	Costos de obras preliminares para la planta de tratamiento de aguas residuales.....	98
Tabla 41-3	Costos civil para el sistema de tratamiento de aguas residuales	98
Tabla 42-3	Costos de mano de obra	100
Tabla 43-3	Costos para la dosificación.....	100
Tabla 44-3	Costo total obra.....	101
Tabla 45-3	Fuentes principales de ingresos de la parroquia San Isidro	101
Tabla 46-3	Uso de superficie agropecuaria	101
Tabla 47-3	Usos de la superficie agropecuaria nacional.....	101
Tabla 48-3	Usos de la superficie productiva de San Isidro.....	101
Tabla 49-3	Resumen de producción agrícola sin proyecto, en el área de influencia.....	101
Tabla 50-3	Resumen de producción agrícola con proyecto, en el área de influencia	101
Tabla 51-3	Estimación de casos anuales y costos de enfermedades asociadas, sin proyecto...	101
Tabla 52-3	Estimación de casos anuales y costos de enfermedades asociadas, con proyecto...	101
Tabla 53-3	Efecto neto del proyecto.....	101

Tabla 54-3 Porcentajes de remoción obtenidos	108
Tabla 55-3 Porcentajes de remoción, color	109
Tabla 56-3 Porcentajes de remoción, turbiedad.....	109
Tabla 57-3 Porcentajes de remoción, pH.....	110
Tabla 58-3 Porcentajes de remoción, DQO	110
Tabla 59-3 Porcentajes de remoción, DBO ₅	111
Tabla 60-3 Porcentajes de remoción, Sólidos suspendidos totales	111
Tabla 61-3 Porcentajes de remoción, Sólidos coliformes fecales	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Aireación del agua residual.....	14
Figura 2-1	Test de jarras con PAC y poli electrolito	16
Figura 1-3	Cabecera parroquial de San Isidro	23
Figura 2-3	Micro localización de la planta.....	23
Figura 3-3	Sistema de desbaste - rejillas	36
Figura 4-3	Forma de las rejillas.....	40
Figura 5-3	Tanque rectangular	42
Figura 6-3	Tanque circular.....	42
Figura 7-3	Aireadores de bandeja	49
Figura 8-3	Gráfico canal Parshall.....	53
Figura 9-3	Floculador hidráulico horizontal.....	65
Figura 10-3	Floculador hidráulico vertical.....	65
Figura 11-3	Lecho de secado	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1	Análisis físico-químico del agua después de la aireación.....	19
Gráfico 2-1	Análisis físico-químico final	19
Gráfico 3-1	Análisis microbiológico	20
Gráfico 1-3	Porcentaje de remoción	108
Gráfico 2-3	Porcentaje de remoción del color	109
Gráfico 3-3	Porcentaje de remoción del, turbiedad	109
Gráfico 4-3	Porcentaje de remoción del pH	110
Gráfico 5-3	Porcentaje de remoción del DQO.....	110
Gráfico 6-3	Porcentaje de remoción del DBO ₅	111
Gráfico 7-3	Porcentaje de remoción de los SST	111
Gráfico 8-3	Porcentanje de remoción de coliformes fecales.....	112

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Equipos)
- Anexo B.** Determinación del DBO₅ Y DQO
- Anexo C.** Método de Test de Jarras
- Anexo D.** Coliformes Fecales
- Anexo E.** Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Materiales)
- Anexo F.** Materiales utilizados
- Anexo G.** Planos del sistema de tratamiento de agua residual.
- Anexo H.** Norma límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
- Anexo I.** Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Resultados agua cruda)
- Anexo J.** Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Resultados agua tratada)

RESUMEN

Se diseñó una planta de tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Isidro del cantón Guano que cumpla con todas las especificaciones técnicas, y permita reducir los contaminantes presentes en el agua hasta rangos que se encuentren dentro de los límites establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A reforma del TULSMA. Para ello se procedió a determinar el caudal generado por los habitantes de la parroquia y a la par se realizó un muestreo del efluente, el cual permitió conocer los parámetros fuera de norma a través de una caracterización inicial, entre ellos están: Color (1230 Upt-co), turbiedad (128 UNT), DBO₅ (326 mg O₂/L), DQO (858mg/L), Sólidos suspendidos totales (402 mg/L) y coliformes fecales (10 600 UFC/100mL). Una vez ejecutada esta determinación se pudo conocer que debido a las características del efluente, el tratamiento a aplicar será de carácter físico-químico. Para ello se realizaron pruebas piloto de tratabilidad, tales como: sedimentación, aireación de la muestra, coagulación-floculación, y filtración; ensayos que ayudaron a disminuir las concentraciones de los contaminantes hasta rangos que se encuentren dentro de la normativa ambiental, los cuales son: Color (1.4 Upt-co), turbiedad (1.5 UNT), DBO₅ (12 mg O₂/L), DQO (36 mg/L), sólidos suspendidos totales (7 mg/L) y coliformes fecales (2 UFC/100mL). Concluida la etapa de experimentación, se procedió a dimensionar la planta depuradora con cada una de sus unidades de tratamiento mediante cálculos ingenieriles, los cuales son: rejillas, canal de entrada, sedimentador, torre de aireación, canal Parshall, floculador horizontal, filtro lento de arena y grava y el lecho de secado, todos estos procesos corroboran para que la implementación de este sistema de saneamiento sea de gran utilidad en la conservación de la flora y fauna presentes en la parroquia, ayudando así a desvanecer los impactos ambientales que se generan día a día y que desembocan en el río Guano.

Palabras Clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD>, <TORRE DE AIREACIÓN>, <TEST DE JARRAS>, <FILTRO LENTO DE ARENA Y GRAVA>, <POLICLORURO DE ALUMINIO>, <DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO>.

ABSTRACT

A wastewater treatment plant was designed for the San Isidro parish of the Guano canton, which meets all the technical specifications and allows to reduce the contaminants present in the water up to ranges that are within the limits established by Ministerial Agreement 097-To reform of the TULSMA. To do this, he proceeded to determine the flow generated by the inhabitants of the parish and at the same time a sampling of the effluent was carried out, which allowed to know the parameters outside the norm through an initial characterization, among them are: Color (1230 Upt-co), Turbidity (128 UNT), BOD5 (326 mgO₂/L), COD (858 mg/L), Total suspended solids (402 mg/L) and fecal coliforms (10600 CFU/100mL). Once this determination was carried out, it could be known that due to the characteristics of the effluent, the treatment to be applied was of a physical-chemical nature. For this, pilot tests of treatability were carried out, such as: sedimentation, aeration of the sample, coagulation-flocculation, and filtration; trials that helped to reduce concentrations of contaminants to ranges that are within the environmental regulations, which are: Color (1.4 Upt-co), Turbidity (1.5 UNT), BOD5 (12 mgO₂/L), COD (36 mg/L), suspended solids (7 mg/L) and fecal coliforms (2 CFU/100mL). After the experimentation stage, the treatment plant was sized with each of its treatment units by engineering calculations, which are: grids, inlet channel, settler, aeration tower, Parshall channel, horizontal flocculator, sand filter and gravel, and the drying bed. All these processes corroborate so that the implementation of this system of sanitation is of great utility in the conservation of the flora and fauna present in the parish, thus helping to dispel the environmental impacts that are generated day by day and that flow into the river Guano.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <SEWAGE TREATMENT>, <BIODEGRADABILITY INDEX>, <AERATION TOWER>, <JAR TEST>, <SLOW FILTER OF SAND AND GRAVEL>, <ALUMINUM POLYCHLORIDE>, <TREATMENT PLANT DESIGN>.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado de la Parroquia San Isidro perteneciente a la cabecera cantonal de Guano - Provincia de Chimborazo administra y mantiene los servicios de Agua Potable y Saneamiento. En los últimos años ha sufrido el aumento de efluentes provenientes de las viviendas de la zona debido al crecimiento de su población, conducido por el sistema de alcantarillado y que se descarga al río Guano sin ningún tratamiento, ocasionando la degradación de la calidad del agua receptora, el deterioro de la fauna, flora; y, la propagación de afecciones a la salud de la gente que habita en las riberas de la micro cuenca hídrica aguas abajo y consecuentemente a la agricultura.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano, consciente de su responsabilidad con la población, a más de ser responsable de la planificación, del diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales es responsable de la conducción y descarga de las mismas, por lo que esta entidad gubernamental ve la necesidad de dar solución a la problemática, a través de la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado.

1.2 Justificación del proyecto

El agua es un compuesto con características únicas, de gran importancia para la vida, indispensable e irremplazable en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan nuestro medio natural. Por esto, el agua residual doméstica generada de las actividades cotidianas de los habitantes de la Parroquia de San Isidro requiere urgente atención, dado que la situación del agua del río Guano desde el ámbito ambiental deja mucho que desear, por ello existe la necesidad de realizar el diseño de una planta de tratamiento de agua residual doméstica, para evitar la contaminación de las aguas receptoras del río y en un futuro con la construcción de la planta y puesta en marcha del proyecto de saneamiento ambiental garantizar la disminución de la contaminación ambiental, garantizar la salud de los habitantes, reducir

enfermedades en animales, mejorar la producción agrícola, evitar la presencia de agentes patógenos y ejecutar la correcta disposición del agua tratada al río Guano.

Según la Constitución de la República del Ecuador, Título II, Capítulo segundo, de los Derechos del buen vivir: “Los ciudadanos tienen el derecho a vivir en un ambiente sano, apartado de contaminantes que perjudiquen su salud y que garantice su buen vivir; rodeada de ecosistemas limpios y equilibrados.” Este proyecto será una herramienta fundamental para ayudar a disminuir los daños generados por el agua residual doméstica, vertida al río Guano.

Con todo lo planteado y mencionado anteriormente, para lograr los objetivos planteados será necesario utilizar como marco de referencia lo establecido en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9”, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.” Y que se da cumplimiento a través de las agencias de regulación competentes, la Autoridad Ambiental Nacional en coordinación con las autoridades del agua. Es importante señalar que el Ministerio del Ambiente del Ecuador es la entidad que emite las diferentes normativas ambientales.

Dentro de la planificación estratégica de la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo tiene como Misión: "Formar profesionales competitivos y emprendedores, que logren transformar el sector productivo, mediante la aplicación del conocimiento científico y tecnológico, permitiendo mejorar la calidad de vida y contribuyendo al desarrollo sustentable de la región y el país." Esto se cumplirá con la formación integral de los futuros profesionales que oferta la Carrera a sus estudiantes, fortaleciendo un espíritu crítico y reflexivo basado en la investigación y la producción de bienes y servicios; orientados a la despliegue de la producción científica y a la transferencia e innovación tecnológica en un ámbito de los derechos de la naturaleza, la preservación de un ambiente sano, una educación y cultura ecológica (Información curricular Ingeniería Química). Por ello, la ESPOCH-Escuela de Ingeniería Química en un marco de cooperación inter institucional con la Junta Parroquial del San Isidro, a través de un estudiante se ha comprometido realizar el “Diseño de una planta de tratamiento de agua residual en la Parroquia San Isidro, Cantón Guano-Provincia de Chimborazo”

1.3 Línea de base del proyecto

1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación

Para la ejecución de este proyecto técnico se realizó un recorrido previo por la zona dónde se descarga el agua residual doméstica al río Guano, para tener un conocimiento claro del terreno a trabajar, se identificó el lugar más seguro y óptimo para la toma de las muestras y a su vez para el monitoreo del caudal. Es importante señalar que el agua residual proveniente de los habitantes de la Parroquia San Isidro que son conducidas por un sistema de alcantarillado, no cuenta con ningún tipo de tratamiento previo a su descarga al cuerpo receptor. El lugar de descarga y sus alrededores son propicios para poder implantar el diseño propuesto de la planta debido a su geografía y el área terreno.

1.3.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio que vamos aplicar en este proyecto de titulación, es el estudio técnico que abarca aspectos de orden analítico, descriptivo y sintético, que nos permitirán desarrollar y explicar la metodología para el tratamiento de aguas, donde efectuaremos pruebas de caracterización física, química y microbiológica del agua residual para estas pruebas nos basamos en la investigación documental donde están establecidas y fundamentadas los procedimientos y técnicas a seguir para los análisis, dicha caracterización se realizara antes y después de la tratabilidad, para identificar las variables de diseño y desarrollar los cálculos de ingeniería para poder dimensionar la planta de tratamiento.

1.3.3 Métodos y Técnicas

1.3.3.1 Métodos

La herramienta más importante para alcanzar la solución al problema depende de los métodos aplicados, si no aplicamos los distintos métodos adecuados es imposible lograr resultados correctos para que sean la base de otras investigaciones y el progreso del conocimiento en sí (Gómez, 2012, p.14).

Por consiguiente los métodos que aplicaremos en este proyecto para su desarrollo son el inductivo y el analítico, rodeado de un estudio pormenorizado de la problemática ocasionada al ambiente del agua residual para llegar a una medida adecuada y eficiente.

- Método Inductivo

El método inductivo básicamente trata que todas las ideas o hechos particulares sean llevadas a ideas generales (Ruiz, 2007, p.18), con la aplicación de este método logramos realizar la caracterización físico-químico y microbiológicos del agua residual y así conocer los porcentajes de los contaminantes presentes, que provienen de los habitantes de la Parroquia de San Isidro, con esto vamos a tener conclusiones muy específicas y claras para poder escoger y realizar el tratamiento más adecuado para nuestro sistema de tratamiento de aguas residuales.

- Método Analítico

Es de vital importancia para el análisis de resultados antes y después de la tratabilidad de los parámetros caracterizados, con estos valores ayudaran al dimensionamiento de la planta de tratamiento.

Por ser un método directo y minucioso, se concentra en detallar todos los aspectos que conforman un todo para buscar la relación causa efecto (Gómez, 2012, p.15).

1.3.3.2 Técnicas

- Investigación documental

Para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual, nos basamos en las técnicas establecidas y fundamentadas en el Estandar Methods for Examination of Water and Wastewater, especificadas y detalladas en la última edición y el manual de Análisis de Agua, Métodos HACH; y, en las que se encuentran en el manual de procedimientos técnicos del laboratorio de calidad de agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias.

1.3.4 Determinación del caudal

Para la medición del caudal se utilizó el método volumétrico, debido a que en la Parroquia San Isidro el caudal no es constante, es muy pequeño y llega por una tubería para su descarga, por ello no se puede utilizar otros métodos o instrumentos de medición. Para la determinación del caudal se realizaron los siguientes pasos:

- Se efectuó aforaciones directas, con un balde de 10 litros y con la ayuda de un cronómetro, con éste establecemos el tiempo de llenado.
- Todas las aforaciones se llevó a cabo de lunes a domingo, en horas planificadas considerando el mayor volumen de agua residual generada, los horarios fueron de 06H00 a 08H00, de 11H00 a 14H00, y de 17H00 a 19:00.
- Se calculó el caudal promedio a partir de las tabulaciones obtenidas, fundamentando el promedio del caudal más elevado y se incrementó el 4% por cualquier contratiempo que pueda presentarse.

A continuación se muestran los datos tabulados durante las semanas de muestreo, realizados en los días con mayor actividad y en sus horas picos:

Tabla 1-1 Aforo del caudal de agua residual primera semana del mes de Julio de 2017

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)
06:00	4,30	3,80	4,00	4,04	4,20	4,36	4,30
07:00	4,80	4,70	4,40	4,40	4,40	4,80	4,68
08:00	3,90	4,00	4,20	4,32	4,10	2,96	4,36
11:00	3,80	3,88	4,00	4,16	4,24	4,94	4,24
12:00	3,90	3,84	4,20	4,28	4,32	4,56	4,10
13:00	4,44	4,36	4,70	4,52	4,68	4,68	4,30
14:00	3,92	3,80	4,04	3,96	4,20	4,40	4,20
17:00	3,72	3,76	3,80	4,00	4,20	4,36	3,90
18:00	4,24	4,10	4,30	4,40	4,52	4,30	4,28
19:00	3,90	3,60	3,70	4,20	4,40	4,00	4,30
Promedio	4,26	4,16	4,30	4,38	4,50	4,72	4,42
Promedio del aforo diario	4,40						

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Tabla 2-1 Aforo del caudal de agua residual primera semana el mes de Agosto de 2017

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)
06:00	4,00	3,80	3,90	4,10	4,00	4,70	3,80
07:00	4,48	4,50	4,20	4,70	4,60	4,78	4,76
08:00	3,96	4,40	4,30	4,30	4,20	4,80	4,60
11:00	3,80	3,80	4,10	4,10	4,20	4,50	4,40
12:00	4,20	3,90	4,30	4,30	4,36	4,50	4,28
13:00	4,60	3,84	4,60	4,76	4,50	4,62	4,72
14:00	4,64	3,80	4,10	3,90	4,10	4,30	4,20
17:00	4,00	3,70	3,80	4,00	4,34	4,40	3,90
18:00	4,20	4,50	3,70	4,30	4,40	4,60	4,36
19:00	3,80	3,50	3,60	3,40	3,90	4,00	4,30
Promedio	4,32	4,14	4,22	4,34	4,44	4,70	4,52
Promedio del aforo diario			4,38				

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Tabla 3-1 Caudal promedio del agua residual

Mes	Caudal(L/s)
Julio	4,40
Agosto	4,38
CAUDAL PROMEDIO	4,39

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

1.3.5 Métodos de Muestreo

Para este proyecto se recogió las muestras de una forma manual, se tomaron muestras simples para luego proceder homogenizar y conseguir una muestra compuesta con el objetivo de tener una muestra más segura que nos permitirá lograr resultados confiables de los distintos análisis que se realicen. El cronograma de muestreo se aprecia a continuación:

Tabla 4-1 Toma y recolección de muestras

Días	Lugar	Muestras Simples	Hora	Homogenizado
Jueves	Zona de descarga al Río	1	7:00	1
		2	13:00	
		3	18:00	
Viernes	Zona de descarga al Río	1	7:00	1
		2	13:00	
		3	18:00	
Sábado	Zona de descarga al Río	1	7:00	1
		2	13:00	
		3	18:00	
Domingo	Zona de descarga al Río	1	7:00	1
		2	13:00	
		3	18:00	
TOTAL NÚMERO DE MUESTRAS		12		

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

1.3.5.1 Caracterización del Agua Residual

La caracterización se efectuó de jueves a domingo siendo estos días los de mayor actividad doméstica, recogiendo tres muestras por día, todas estas se recolectó en las horas con mayor caudal llamadas horas pico. El agua residual de la muestra compuesta de la Parroquia San Isidro se caracterizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.5.2 Parámetros caracterizados

Cada procedimiento realizado con respecto a los parámetros físico-químicos y microbiológicos se realizó la tabulación respectiva, con todos estos resultados se puede determinar los procesos de tratabilidad y depuración de las aguas residuales, mediante estos procedimientos se van recolectando datos de los cambios y así poder comparar con el “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9”

Tabla 5-1 Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual

Parámetros	Agua Residual caracterizada	Norma Límites máximos permisibles	Unidades
TURBIEDAD	128	----	FTU-NTU
COLOR	1230	Inapreciable en disolución 1/20	UTC-Co
CONDUCTIVIDAD	925	----	uS/cm
TEMPERATURA	18.1	Cond. + - 3	°C
PH	8,32	6,1 - 9	----
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	858	200	mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DEL OXÍGENO (DBO ₅)	326	100	mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	402	130	mg/L
SÓLIDOS TOTALES	896	1600	mg/L
NITRÓGENO AMONIAICAL	29,8	30,0	mg/L
NITRATOS	20	---	mg/L
NITRITOS	0,028	---	mg/L
SULFATOS	86	1000	mg/L
COLIFORMES FECALES	10 600	2000	NPM/100mL
COLIFORMES TOTALES	14 500	----	NPM/100mL

Fuente: (Laboratorio de Análisis técnico ESPOCH, 2017)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

1.3.6 Porcentajes de remoción esperados

Tabla 6-1 Porcentajes de remoción esperados

Parámetro	Valor Inicial	Limite Permisibles	% de remoción mínimo necesario	Unidad
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	858	200	76,69	mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DEL OXÍGENO (DBO ₅)	326	100	69,33	mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	402	130	67,66	mg/L
TURBIEDAD	128	<5(valor estimado)	96,09	FTU-NTU

COLOR	1230	<5(valor estimado)	99,62	UTC-Co
PH	8,14	6-9	6,63	----
COLIFORMES FECALES	10600	2000	81.13	UFC/100mL

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

1.3.7 Tratamiento de aguas residuales

Todos los tratamientos que se someten los efluentes tienen que garantizarnos la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual requerida por la legislación que regula la descarga del efluente hacia los cuerpos receptores, la aplicación de cualquier tipo de proceso, método o técnica dependen esencialmente de la concentración del contaminante.

1.3.7.1 Operaciones unitarias para el tratamiento de aguas residuales

- **Operaciones físicas unitarias**

Contienen métodos de tratamientos donde prevalece la acción de las fuerzas físicas que permiten la remoción de la mayor parte de materia en suspensión presente en el agua residual, en general los sólidos en suspensión están formados por diferentes partículas que tienen forma, tamaño y densidad desigual, es habitual efectuar estas operaciones inicialmente, porque la presencia de las partículas obstaculiza y genera problemas para los demás procesos del tratamiento, el uso de estas operaciones está en función de las diferentes características de partículas y la más importante de la concentración (Valencia, 2013, p.11).

Desbaste: El propósito es eliminar los sólidos de gran tamaño, visibles en el agua residual y evitar daños en los procesos posteriores y por lo tanto en los equipos donde se efectúen los tratamientos. Suele ser este el primer tratamiento que se realiza; previo a cualquier otro (Rodríguez et al., 2002: p.18).

Sedimentación/Decantación: Se aprovecha la fuerza de gravedad de la mayoría de las partículas más densas que el agua, con una trayectoria descendente y colocándose en el fondo del sedimentador. El objetivo es eliminar partículas pequeñas, por lo que en éstas se reducirá en un gran porcentaje el nivel de contaminantes presentes (Valencia, 2013, p.11).

Coagulación/Floculación: Esta operación en general se utiliza en los tratamientos de aguas residuales urbanas y potables, siempre va una a continuación de otra; se efectúa la adición de químicos que favorezcan a la coagulación y floculación (Valencia, 2013, p.11).

Filtración: El agua pasa por un medio poroso con el objetivo de retener la mayor cantidad de materia en suspensión, reducir los microorganismos patógenos que están presentes en el agua, es muy utilizado en el tratamiento de aguas para reutilización; aguas residuales y urbanas (Rodríguez et al., 2002: p.20).

Transferencia de gases: Elimina gases disueltos no deseados que provocan olores desagradables, turbiedades altas y eliminar sustancias inorgánicas disueltas, lo más relevante es la transferencia de oxígeno al agua residual (Stefan, 2001, p.1).

Flotación: Crea diminutas burbujas de gas (aire), que se ponen en contacto con las partículas presentes en el agua residual y que se pueden observar hasta la superficie, de donde son arrastradas y eliminadas del sistema (Ramalho, 2003, p. 146).

- **Operaciones químicas unitarias**

Permiten la remoción de la materia que se encuentra disuelta en el agua residual, con la adición de productos químicos que generan el desarrollo de diferentes reacciones químicas. Los sólidos presentes pueden tener características y concentraciones muy diferentes; como magnas cantidades de sales inorgánicas disueltas, orgánicas, y muy diminutas cantidades inorgánicas como metales pesados, orgánicos como los pesticidas que son muy peligrosos, por lo que es necesario su eliminación (Valencia, 2013, p.12).

Procesos electroquímicos: Se utiliza mucho en tratamientos de aguas residuales industriales, la técnica consiste en hacer pasar corriente eléctrica a través del agua, esta provoca reacciones de oxidación y reducción (Rodríguez et al., 2002: p.24).

Precipitación: Esta operación tiene como objetivo eliminar una sustancia disuelta indeseable, con la adición de reactivos para crear un compuesto insoluble, esto facilitará su eliminación, es muy utilizada en tratamientos de aguas industriales (Valencia, 2013, p.12).

Desinfección: Es utilizado en tratamientos de aguas residuales en general se emplea como tratamiento final; este consiste en la destrucción de los microorganismos que ocasionan enfermedades, es indispensable para la salud pública (Rodríguez et al., 2002: p.28).

- **Operaciones biológicas unitarias**

Para realizar la eliminación de los diferentes componentes indeseables del agua residual se emplea la actividad metabólica, en estos tratamientos los microorganismos especialmente bacterias son la base fundamental para que se efectúe dicho proceso se utiliza para tratamientos de aguas residuales industriales y urbanas. Los tratamientos biológicos se efectúan para eliminar las sustancias biodegradables que se encuentran en el agua residual de forma coloidal y soluble, estas sustancias se transforman en gases y se disipan a la atmósfera (Valencia, 2013, pp.12-13).

Sistemas aerobios: En aguas residuales no es muy aceptado, está restringido por la baja solubilidad del oxígeno al agua, puede ocasionar fangos, debido al incremento de bacterias aerobias (Rodríguez et al., 2002: p.30).

Sistemas anaerobios: No necesita muchos nutrientes, tiene la posibilidad de realizar periodos de parada sin dañar la población bacteriana, produce una baja cantidad de fangos y tiene beneficios como obtener un combustible y consumir poca cantidad de energía (Valencia, 2013, p.13).

Sistemas anóxicos: En muchos de los casos se consigue la eliminación biológica de los nitratos debido a la ausencia de oxígeno disuelto y la presencia de nitratos, éste se convierte en aceptor de electrones para transformarse en Nitrógeno (N_2) (Rodríguez et al., 2002: p.30).

1.3.8 Pruebas de tratabilidad

La elección de un tratamiento para aguas residuales se basará en el grado de contaminación, éste se lo realiza con un análisis cuantitativo, se obtendrá a partir del índice de biodegradabilidad, este parámetro nos ayudará a seleccionar el tratamiento y proceso a seguir, a partir de este índice podemos continuar con las pruebas de tratabilidad agua residual.

1.3.8.1 Índice de biodegradabilidad

La proporción entre los parámetros DBO₅/DQO es un indicador del tratamiento a llevarse a cabo en el agua residual por lo que existe una relación entre estos indicadores, que nos mostrarán si el tratamiento es físico – químico o biológico

Tabla 7-1 Relación entre DBO₅ y DQO

TIPO DE BIODEGRADABILIDA	TIPO DE TRATAMIENTO	$\frac{DQO}{DBO}$
Muy Biodegradable	Nos muestra una descomposición biológica rápida, tiene una buena eficiencia en tratamientos biológicos	>0,5
Biodegradable	Nos indica un tratamiento físico o biológico susceptible, debido a una descomposición lenta, por la razón que los microorganismos se deben adaptar al agua residual	0,2-0,5
No biodegradable	Nos indica graves limitaciones a tratamientos biológicos.	<0,2

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

La caracterización del agua residual que se describe en las tabla, 1-5 y nos muestra los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio del DQO y el DBO₅, que señalan que estos dos indicadores no cumplen con límites establecidos en el, “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.”

Tabla 8-1 Parámetros de biodegradabilidad de la muestra.

Parámetros	Resultado	Unidad	Norma Límites permisibles
DBO ₅	326	mg/L	100
DQO	858	mg/L	200

Fuente: (Laboratorio de Análisis técnico ESPOCH, 2017)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

- Considerando el índice de biodegradabilidad muestra

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \text{DBO}_5/\text{DQO}$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = 326/858$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = 0,38$$

Con la determinación del índice de biodegradabilidad del agua residual el resultado de la relación DBO_5/DQO es 0,38, lo que nos señala que es menor a 0,5 indicativo que puede realizarse un tratamiento físico químico como biológico (Cisterna y Peña, 2015: p. 9).

1.3.8.2 Aireación

Este tratamiento es un proceso en el cual el agua tiene mayor contacto con el aire, lo que facilita proporcionar oxígeno para alterar y disminuir concentraciones elevadas de sustancias volátiles contenidas en el agua residual, tales como: sustancias biodegradables que son aquellas que se pueden descomponer en elementos químicos naturales por acción de agentes biológicos como el agua, el sol, las bacterias, las plantas; y, también los olores desagradables provenientes del sulfuro de hidrógeno, del amoníaco que se forman por la actividad biológica (Carvajal, 2015, p.13).

Esta prueba de tratabilidad es necesaria para poder ayudar a reducir los parámetros que están fuera de norma en la tabla 5-1 respectivamente, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) sólidos suspendidos, coliformes fecales que están fuera de los límites permisibles, según el “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9”. Así también como el color, la conductividad y la turbiedad que tienen valores muy elevados, por estos motivos es pertinente realizar la aireación y mejorar la calidad del agua en un gran porcentaje para continuar con los demás procesos.

Para este procedimiento colocamos el agua residual en un tanque receptor, seguidamente se realizó la aireación por intermedio de una bomba de aire con un difusor para lograr el efecto de micro burbujas, este proceso se lo efectuó por un espacio 72 horas. Al terminar la aireación, se pudo observar diferentes cambios como la clarificación y disminución del olor. Después se realizó los análisis correspondientes y se pudo constatar la disminución y remoción considerable de los diferentes parámetros como: la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda Química

de Oxígeno (DQO), nitrógeno amoniacal, sólidos totales, sólidos en suspensión, la turbiedad, el color, la conductividad y los coliformes fecales.



Figura 1-1 Aireación del agua residual
Realizado por: Brayán Pazmiño 2017.

1.3.8.3 Test de jarras (tratamiento químico con coagulantes)

Este proceso de tratabilidad se lo realizó mediante la precipitación química con distintos coagulantes para probar su efectividad, para esto efectuamos el test de jarras que es muy utilizado en pruebas a nivel de laboratorio, para poder guiarnos de una forma acertada y tener resultados eficaces al escoger el coagulante que nos demuestre su alta eficiencia y que el costo sea bajo. Con esto encontraremos la concentración óptima para poder obtener un floc con excelentes características y así poder tener criterios apropiados para la aplicación de polímeros que nos van ayudar a la coagulación.

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancia químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible (Restrepo, 2009, p.7).

Estos procedimientos son importantes para la eliminación de virus, bacterias, organismos patógenos susceptibles de separación por coagulación, remoción de turbiedad inorgánica y orgánica que no se puede sedimentar rápidamente, remoción de color verdadero y aparente, la eliminación de sustancias que producen el mal olor, en ocasiones de precipitados químicos suspendidos en otros.

Para realizar el test de jarras se utilizó seis muestras, el primer coagulante utilizado fue el sulfato de aluminio, se trabajó con una concentración al 5% no dando resultado, por lo que, se añadió un ayudante poli electrolito al 0,5% la remoción fue mínima, el segundo coagulante utilizado fue el polímero Policloruro de Aluminio PAC y también con el ayudante poli electrolito con las mismas

concentraciones, donde se observó unos resultados más efectivos y finalmente se trabajó con cloruro férrico también con el ayudante poli electrolito, mediante las dosificaciones de estos coagulantes se realizó a diferentes concentraciones hasta encontrar el más adecuado, los datos podemos observar en la Tabla 9-1, Tabla 10-1 y en la Tabla 11-1.

Para realizar los diferentes ensayos necesitamos seis recipientes de 1000mL, el equipo de test de jarras, un turbidímetro, un pH metro, en los recipientes colocamos la muestra a trabajar, en cada uno de los recipientes se añadió las dosificaciones de los diferentes químicos utilizando una jeringuilla hipodérmica, a cada una de las muestras se le realizó una mezcla rápida por 3 minutos a 130 rpm, con esto realizamos una simulación del efecto que ocasiona el resalto hidráulico del canal Parshall, inmediatamente una mezcla lenta de 10 minutos a 20 rpm, lo que conlleva a que las partículas por turbulencia tengan contacto creándose flóculos, medimos la turbidez; que nos indicó la efectividad de cada a químico utilizado.

Tabla 9-1 Tratabilidad con prueba de jarras con sulfato de aluminio

Sulfato de aluminio 5% , Turbiedad inicial=30, pH inicial=8,32 (150rpm)					
Dosis (mL)	Dosis Auxiliar (mL)	Concentración Auxiliar (mL)	Turbiedad Final (NTU)	pH	% Remoción
2	0,5	0,5	19,1	8,23	36,33
3	0,5	0,5	17,6	8,14	41,33
4	0,5	0,5	14,6	8,04	51,33
4,5	0,5	0,5	11,50	7,98	61,67
5	0,5	0,5	8,1	7,95	73,00
5,5	0,5	0,5	6,4	7,92	78,67

Fuente: (Laboratorio de Análisis técnico ESPOCH, 2017)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Tabla 10-1 Tratabilidad con prueba de jarras con Poli cloruro de Aluminio

Poli cloruro de Aluminio 5% , Turbiedad inicial=30, pH inicial= 8,31,(150rpm)					
Dosis (mL)	Dosis Auxiliar (mL)	Concentración Auxiliar (mL)	Turbiedad Final (NTU)	pH	% Remoción
2	0,5	0,5	5,4	8,19	67,67
3	0,5	0,5	3,6	8,00	75,00
4	0,5	0,5	2,9	7,82	83,50
4,5	0,5	0,5	2,3	7,70	87,67
5	0,5	0,5	1,5	7,58	91,33
5,5	0,5	0,5	0,9	7,49	93,67

Fuente: (Laboratorio de Análisis técnico ESPOCH, 2017)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Tabla 11-1 Tratabilidad con prueba de jarras con cloruro férrico

Cloruro férrico 5% , Turbiedad inicial=30, pH inicial=8,31 (150rpm)					
Dosis (mL)	Dosis Auxiliar (mL)	Concentración Auxiliar (mL)	Turbiedad Final (NTU)	pH	% Remoción
2	0,5	0,5	18,3	8,19	39,00
3	0,5	0,5	14,5	8,09	51,67
4	0,5	0,5	11,7	7,99	61,00
4,5	0,5	0,5	10,1	7,93	66,33
5	0,5	0,5	7,9	7,86	73,67
5,5	0,5	0,5	5,9	7,79	80,33

Fuente: (Laboratorio de Análisis técnico ESPOCH, 2017)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Al culminar el test de jarras con los diferentes coagulantes, se escogió el poli cloruro de aluminio (PAC) al 5%, con una dosificación de 5 mL y 0,5 de poli electrolito al 0,5% observar la tabla 10-1, este coagulante más el auxiliar presenta una alta eficacia de remoción y reducción de los diferentes parámetros que se encuentra fuera de norma en nuestra agua residual, después se realiza una filtración con arena y grava para poder retirar todo el material que se formó.



Figura 2-1 Test de jarras con PAC y poli electrolito

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

1.3.8.4 Filtración con arena y grava

La filtración es una operación utilizada con el objetivo de remover sólidos, materia no sedimentable, turbiedad, fosforo, DQO, DBO₅, metales pesados, virus; es decir asegurando una calidad superior del efluente secundario (Rojas, 1999, p. 659).

Este procedimiento se fundamenta en llevar el efluente por las distintas capas filtrantes de tal manera que la mayor parte de los residuos contaminantes tanto orgánicos e inorgánicos se puedan

mantener en el medio granuloso para asegurar la retención de los sólidos suspendidos en el agua, los medios filtrantes pueden ser de diferentes tipos, según los parámetros de diseño y el costo; estos pueden estar formados de grava, zeolita, arena, carbón activado.

Para este proceso se prefirió la filtración a través de medios porosos a nivel de laboratorio, este procedimiento se llevó a cabo en un envase de polietileno con grava y arena, el agua a filtrar fluyó con el objetivo de mejorar el agua residual y que todos los contaminantes sean retenidos en el medio filtrante, se escogió este mecanismo por ser muy utilizado y la facilidad de obtención en el mercado, demostrando una alta eficiencia para poder filtrar.

1.3.9 Procesos para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual

Para iniciar, vamos a tener un canal de entrada y las rejillas, serán encargadas de retener los sólidos de gran tamaño; en general en todas las plantas de tratamiento se encuentran presentes debido a su importancia (Metcalf & Eddy, 1995). Seguidamente se dimensionará el sedimentador, éste nos ayudará con la retención del material particulado más pequeño y también a reducir los contaminantes presentes en el agua residual (Romero, 1999, p.639), después se diseñó la torre de aireación que ayudará a reducir la turbiedad del agua, el olor desagradable y la concentración de los contaminantes; después se ubicará el canal Parshall y el floculador donde específicamente se realizará la adición de químicos y se dará el proceso de coagulación (mezcla rápida) y floculación (mezcla lenta), (Aguilar et al., 2002: pp. 16-17). A continuación se diseñó el filtro lento de arena y grava que retendrá todo el material particulado, microorganismos presentes, por ende, la disminución de la concentración de los contaminantes; y, para finalizar el lecho de secado; donde se retendrán los lodos formados durante el proceso (Rodríguez et al., 2002: p.30).

1.3.10 Resultados de la tratabilidad

Culminada la tratabilidad del agua residual de la Parroquia San Isidro perteneciente al cantón Guano se obtuvieron los siguientes resultados tabulados en las siguientes tablas:

Tabla 12-1 Resultados del agua residual, culminada la aireación

Parámetros	Agua residual caracterizada	Agua residual tratada	Límites máximos permisibles(Norma)	Unidades
TURBIEDAD	128	30	----	FTU-NTU
COLOR	1230	172	Inapreciable en disolución 1/20	UTC-Co
CONDUCTIVIDAD	925	564	----	uS/cm
pH	8,32	8,14	6,1 - 9	----
DQO	858	418	200	mg/L
DBO ₅	326	198	100	mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	402	194	130	mg/L
SÓLIDOS TOTALES	896	424	1600	mg/L
NITRATOS	20	----	----	mg/L
NITRITOS	0,028	----	----	mg/L
NITRÓGENO AMONICAL	37,2	15,1	30,0	mg/L
SULFATOS	74	-----	1000	mg/L
COLIFORMES FECALES	10600	4220	2000	UFC/100L
COLIFORMES TOTALES	14500	5400	----	UFC/100L

Fuente: (Laboratorio de Análisis técnico ESPOCH, 2017)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Tabla 13-1 Resultados del agua residual, culminada la tratabilidad con PAC

Parámetros	Agua residual caracterizada	Agua residual tratada	Límites máximos permisibles(Norma)	Unidades
TURBIEDAD	30	1,5	----	FTU-NTU
COLOR	172	1,4	Inapreciable en disolución 1/20	UTC-Co
CONDUCTIVIDAD	564	298	----	uS/cm
pH	8,14	7,59	6,1 - 9	----
DQO	418	36	200	mg/L
DBO ₅	198	12	100	mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	194	7	130	mg/L
SÓLIDOS TOTALES	414	156	1600	mg/L
NITRATOS	-----	----	----	mg/L
NITRITOS	-----	----	----	mg/L

NITRÓGENO AMONIACAL	15,1	6	30,0	mg/L
SULFATOS	-----	-----	1000	mg/L
COLIFORMES FECALES	612	Imperceptibles< 2	2000	NPM/100mL
COLIFORMES TOTALES	812	----	----	NPM/100mL

Fuente: (Laboratorio de Análisis técnico ESPOCH, 2017)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

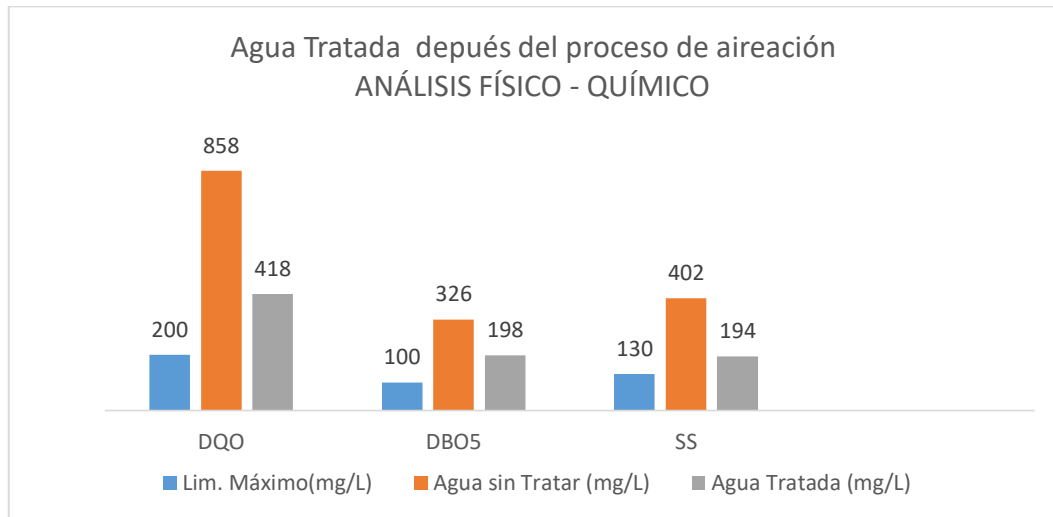


Gráfico 1-1 Análisis físico-químico del agua después de la aireación

Realizado por: Brayan Pazmiño

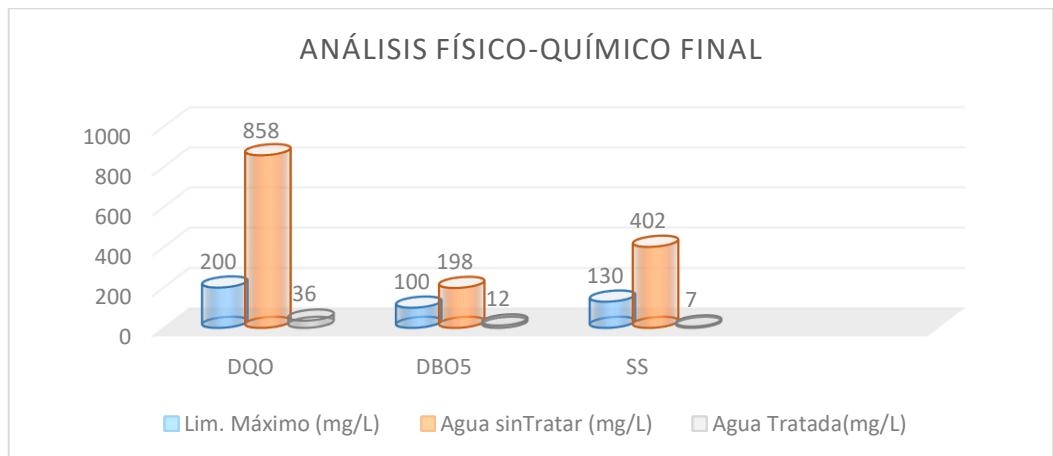


Gráfico 2-1 Análisis físico-químico final

Realizado por: Brayan Pazmiño



Gráfico 3-1 Análisis microbiológico
 Realizado por: Brayan Pazmiño

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1 Directos

Este proyecto técnico está dirigido directamente al Gobierno Autónomo Descentralizado del Catón Guano, y la Junta Administradora de Agua Potable de la Parroquia San Isidro, para el cual será diseñado el sistema de tratamiento de aguas residuales por ser los responsables de la prestación de servicios a través de los proyectos de inversión para otorgar un buen vivir para los habitantes y la conservación del ambiente.

1.4.2 Indirectos

Los habitantes que radican en esta Parroquia San Isidro, dueños de las zonas del área de influencia, la vegetación, el medio ambiente y los animales serán los beneficiarios indirectos, esta zona al tener una capacidad de producción agrícola, bovina muy grande este proyecto será de gran utilidad.

CAPÍTULO II

2. Objetivos del Proyecto

2.1 Objetivo General

- Diseñar una planta de tratamiento de agua residual para la Parroquia San Isidro en el Cantón Guano, provincia de Chimborazo.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual de la Parroquia San Isidro, basándonos en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9.”
- Determinar los parámetros fuera de norma y las variables de diseño apropiadas para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, según la normativa vigente.
- Realizar pruebas de tratabilidad para poder validar el diseño propuesto con la caracterización físico-química, microbiológica del agua tratada, de acuerdo a la normativa vigente.
- Desarrollar los cálculos de ingeniería para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual San Isidro.
- Establecer la factibilidad técnica y económica del diseño de la planta.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del Proyecto

3.1.1 Localización geográfica

Este proyecto técnico se realizó en la Parroquia de San Isidro, cantón Guano, está ubicada en la sierra central del país, se encuentra a una distancia de 12 kilómetros de la ciudad de Riobamba por la panamericana norte vía a la ciudad de Ambato (Plan de Ordenamiento Territorial, 2015, p. 22).

Tabla 1-3 Ubicación Geográfica de San Isidro

PAÍS	Ecuador
PROVINCIA	Chimborazo
CANTÓN	Guano
PARROQUIA	San Isidro
RANGO ALTITUD	2960 a 3080 msnm
LÍMITES	Norte: Provincia de Tungurahua
	Sur: San Andrés, Cerro Igualata y Cantón Guano
	Este: Cantón Guano y Parroquia Valparaíso
	Oeste: Parroquia San Andrés

Fuente: (Plan de ordenamiento Territorial, 2015)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

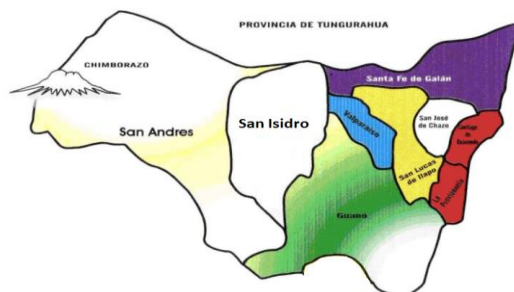


Figura 1-3 Cabecera Parroquial de San Isidro

Fuente: (Plan de Ordenamiento Territorial, 2015)

3.1.2 Micro localización

La planta de tratamiento de agua residual se localizará en una zona cercana al río Guano denominado barrio 15 de Mayo, que pertenece a la parroquia San Isidro, se dispone un terreno de 440 m² con una pendiente aproximada de 30° y está ubicado en las siguientes coordenadas 78° 41' 21" LONG W y 1° 35' 02" LAT S, este lugar fue adquirido por el Municipio de Guano para su implementación de la planta.



Figura 2-3 Micro localización de la planta

Fuente: Brayan Pazmiño, 2017

3.1.3 Superficie de servicio

La superficie total de la Parroquia de San Isidro es de 7846,22 Ha, de las mismas 95,50 Ha aproximadamente comprende el área de estudio para la ejecución del presente proyecto (Plan de Ordenamiento Territorial, 2015).

Tabla 2-3 Distribución Parroquia San Isidro

Parroquia San Isidro							
ÁREA	URBANO	%	RURAL	%	TOTAL	%	UNIDAD
	84.96	1.08	7761.43	98.92	7846.29	100	Ha
	0.84	1.08	77.62	98.92	78.46	100	Km ²

Fuente: (Plan de Ordenamiento Territorial, 2015)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

3.1.4 Clima de la zona

En general el clima de la región es frío por encontrarse en las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes, con temperaturas medias que fluctúan entre una mínima de 8° C y una máxima de 19 ° C, en tanto que la temperatura media mensual es de 17 °C. Según datos de la estación M408 del INAMHI, estación ubicada en Guano, el período lluvioso corresponde a los meses comprendidos entre enero y mayo (Plan de Ordenamiento territorial, 2015, p. 26).

3.1.5 Topografía general de la zona

La parroquia de San Isidro perteneciente al cantón Guano, se encuentra situada en la Sierra Central del Ecuador, la cobertura real de la Parroquia San Isidro es de 7846,22 hectáreas de las cuales el 52% corresponde a zonas de producción, el 22% área poblada o de asentamientos humanos, el 10% a zonas de páramo, el 6% bosque plantado, el 5% pasto natural, el 2% pasto cultivado, adicionalmente en la Parroquia existe un 3% de zonas erosionadas o parcelas abandonadas (Plan de Ordenamiento territorial, 2015, p. 32).

3.1.6 Hidrología

La parroquia San Isidro, Cantón Guano, pertenece a la subcuenta hidrográfica del Río Chambo que nace en la cordillera central de los Andes ecuatorianos que tiene una superficie aproximada de 3580 Km², cubre alrededor del 54 % de la superficie general de la provincia de Chimborazo y también corresponde a la cuenca hidrográfica del río Pastaza que está formada por la confluencia de los Ríos Patate y Chambo (Plan de Ordenamiento territorial, 2015, p. 36).

3.2 Ingeniería del Proyecto

3.2.1 Aguas residuales

El agua residual se conoce como aquella agua de composición variable que ha sufrido degradación o cambios en su estado inicial, esta procede de la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, que resultan del sector doméstico, instituciones públicas, efluentes industriales y comerciales (Metcalf & Eddy, 1995, p.1).

Es importante que estas aguas residuales cumplan con los diferentes procesos y tratamientos establecidos antes de retornar al lugar de su descarga, con esto se logrará proteger el medio ambiente. Es indispensable la implementación de plantas o sistemas dónde se pueda depurar esta agua residual.

3.2.1.1 *Clasificación del agua residual según las fuentes de descarga.*

- Doméstico: Los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales o instituciones (Romero, 1999, p. 17).
- Municipal: son los residuos líquidos provenientes de una población que son transportados por medio un alcantarillado hacia una planta de tratamiento (Romero, 1999, p. 17).
- Industrial: las aguas residuales provenientes de los residuos generados por instrucciones industriales (Romero, 1999, p. 17).
- Aguas Negras: son aguas residuales que provienen de los inodoros y transportan excrementos humanos y orina que contienen grandes cantidades de contaminantes (Romero, 1999, p. 17).
- Aguas grises: a las aguas residuales producidas en tinajas, duchas lavamanos y lavadoras, aportantes de contaminantes como: tensoactivos, DQO, sólidos suspendidos, fósforo, grasa y coliformes fecales (Romero, 1999, p. 17).

3.2.1.2 Composición

El agua residual está compuesta básicamente por agua potable que representa el 99.99% y de sólidos suspendidos o disueltos en un 0,1% que provienen esencialmente de la actividad del ser humano (Muyón, 2017, p.21), el agua es muy importante nos servirá como medio de conducción de los sólidos presentes, que pueden ser sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas, en suspensión o que se hallen flotando en la superficie del líquido. (Cisterna y Peña, 2015).

3.2.1.3 Caracterización de aguas residuales.

Tabla 3-3 Características Principales del agua residual.

Características Físicas	
Temperatura	Influye en reacciones químicas y la viscosidad.
Turbiedad	Presencia de Impurezas que se encuentran suspendidas en el agua que obstaculiza el paso de la luz.
Conductividad	Capacidad del agua para conducir electricidad por la presencia de iones de las sales disueltas.
Sólidos Disueltos	Están presentes en el agua en forma de sales o gases
Sólidos Sedimentables	Material que reposa en el fondo del recipiente, por acción de la sedimentación.
Sólidos Suspendidos	Diferencia entre sólidos totales y sólidos disueltos, quedan suspendidos en el agua, son muy útiles para el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de agua residual.
Sólidos Totales	Suma de sólidos disueltos y sólidos suspendidos.
Características Químicas	
Potencial de Hidrógeno	Indicativo de las condiciones del agua en medio básico y ácido.
Componentes Orgánicos	
Aceites y Grasas	La presencia de grasas en el agua puede afectar en los procesos biológicos.
Carbohidratos	Sustancias que son biodegradables, estas se encuentran en forma de azúcares, almidones fibras, celulosa, entre otras.
Detergentes	Reducen la tensión superficial del agua, son productores de espuma y esta característica es perjudicial para la disolución y absorción del oxígeno en el agua por lo que aumentan parámetros como el DBO y DQO.
Compuestos Inorgánicos	
Fosfatos	Este compuesto ayuda a la formación de algas.
Nitrógeno	Incrementa la eutrofización y se encuentra en forma de nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos y nitrógeno orgánico
Características Biológicas	
Fecales	Se reproducen en altas temperaturas, en su gran mayoría están compuestas por Escherichia coli y pocas especies de Klesbiella
Coliformes Fecales	Bacterias gram negativas aeróbicas y anaeróbicas.
Características Organolépticas	
Olor	Se producen por la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos
Color	La contaminación, descomposición del agua y presencia de algunos minerales

Fuente: (Cisterna & Peña, 2015)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

3.2.1.4 Indicadores de contaminación orgánica en el agua residual

Parámetros que nos indican la cantidad de materia orgánica presentes en una muestra de agua residual, los indicativos son el DBO₅. Y el DQO.

- Demanda Bioquímica del oxígeno (DBO₅)

Este parámetro nos indica la cantidad necesaria de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar, degradar y estabilizar la materia orgánica presente en la muestra. Por lo general la prueba más utilizada es el DBO₅, esta se la efectúa con la incubación de la muestra de agua durante 5 días con el objetivo de medir el consumo de oxígeno de los microorganismos (Cisterna & Peña, 2015)

- Demanda química del oxígeno (DQO)

Este parámetro nos indica la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica por medios químicos, se utiliza el dicromato de potasio como oxidante, esta reacción tiene una duración de aproximadamente 3 horas que nos mostrarán si las sustancias presentes en el agua son degradables o no (Cisterna & Peña, 2015)

El DQO siempre tendrá un valor más alto porque este engloba al DBO₅, la razón es que este está relacionado directamente con el material orgánico degradado biológicamente, mientras el DQO se busca una oxidación más completa mediante la vía química por lo que los compuestos lo harán con más facilidad tanto los biodegradables y no biodegradables, por todo esto existe una relación directa entre estos dos parámetros (Metcalf & Eddy, 1995, p.177).

3.2.2 Determinación de las variables de diseño de un Sistema de tratamiento de aguas residuales.

3.2.2.1 Cálculo de la población futura

Para la planta de tratamiento de agua residual, según la norma INEN 005-9-1 (1992), el tiempo de vida útil de las plantas es de 15 a 30 años, por lo que el gobierno Municipal del Cantón Guano, Dirección de Saneamiento Ambiental, Memoria Técnica de San Isidro decidió que esta planta tenga un período de vida útil de 20 años.

$$P_f = P_{fa}(1 + rt)$$

Ecuación 1

$$P_{fa} = P(1 + rAt)$$

Ecuación 2

dónde:

Pf: Población futura

P: Población; 5744 habitantes (INEC 2010)

Pfa: Población actual: habitantes

r: Índice de crecimiento anual (%); 1,01%

At: Variación del tiempo; 7 años

t: Período de vida útil (años); 20 años

$$P_{fa} = 5744 * [1 + 0,0101 * (2017 - 2010)]$$

$$P_{fa} = 5744 * [1 + 0,0101 * (7)]$$

$$P_{fa} = \mathbf{6150,10 \text{ Habitantes}}$$

$$Pf = P_{fa}(1 + rt)$$

$$Pf = 6150,10 * [1 + 0,0101 * (2037 - 2017)]$$

$$Pf = 5079,41 * [1 + 0,0101 * (20)]$$

$$Pf = \mathbf{7392,42 = 7392 \text{ habitantes}}$$

3.2.2.2 Determinación de caudales

- Caudal servido, Q_{sd} :

Para este cálculo vamos a tomar en cuenta la población 7392 habitantes y la dotación de agua diaria consumida de 50,88 L/hab. día según los datos del INEC 2010 y considerando el caudal más alto del muestreo, además para el caudal de aguas servidas utilizamos la constante que está establecida entre 0,6 y 0,8 el mismo que se considera la cantidad de agua potable, que después de ingresar a los diferentes domicilios, no regresa al sistema de alcantarillado en forma de aguas servidas, por lo tanto se adopta el valor de 0,7 por razones de seguridad y según la norma EX - IEOS.1993, y podemos calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_{sd} = \frac{P_f * Dac * C}{1000 \text{ L/m}^3}$$

Ecuación 3

dónde:

Q_{sd}: Caudal servido; m³/ día

P_f: Población futura; 7392 habitantes

Dac : Dotación del agua consumida (L/hab. día); 55,88 L/hab. día (INEC 2010)

C: Coeficiente de retorno: (entre el 60 y 80%, se toma el promedio), 70 %

$$Q_{sd} = \frac{7392 \text{ hab} * 55,88 \text{ L/hab. día} * 0,7}{1000 \text{ L/m}^3}$$

$$Q_{sd} = 289,16 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Caudal medio diario, Q_m

Para el cálculo del caudal medio utilizamos el valor de 0,8 que es una constante que está establecida para poblaciones pequeñas.

$$Q_m = k * Q_{sd}$$

Ecuación 4

dónde:

Q_m : Caudal medio diario m³/ día

k: Constante del caudal medio diario; 0,8 adimensional

Q_{sd}: Caudal servido; 289,16 m³/día

$$Q_m = 0,8 * 289,16 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_m = 231,33 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Caudal de diseño, Q_{ds}

$$Q_{ds} = \frac{Q_m}{24}$$

Ecuación 5

dónde:

Q_{ds} : Caudal de diseño diario; $m^3/\text{día}$

Q_m : Caudal medio diario; $231,33 m^3/\text{día}$

$$Q_{ds} = \frac{231,33 m^3/\text{día}}{24}$$

$$Q_{ds} = 9,64 m^3/h$$

$$Q_{ds} = 2,68 l/s$$

- Caudal máximo diario, $Q_{máxd}$

$$Q_{máxd} = k_1 * Q_m$$

Ecuación 6

dónde:

Q_m : Caudal medio diario; $231,33 m^3/\text{día}$

$Q_{máxd}$: Caudal máximo diario; $m^3/\text{día}$

k_1 : Constante para el caudal máximo diario; 1,5 adimensional (esta constante se la utiliza para determinar el consumo máximo que se espera que realice la población en un día y se lo denomina factor de ampliación, se recomienda utilizar el valor de 150% para poblaciones cercanas a zonas urbanas).

$$Q_{máxd} = 1,5 * 231,33 m^3/\text{día}$$

$$Q_{máxd} = 346,99 m^3/\text{día}$$

$$Q_{máxd} = 14,46 m^3/h$$

- Caudal mínimo diario, Q_{mind} :

$$Q_{mind} = k_2 * Q_m$$

Ecuación 7

dónde:

Q_m : Caudal medio diario ($m^3/día$); $231,33 m^3/día$

Q_{mind} : Caudal mínimo diario; $m^3/día$

k_2 : Constante para el caudal mínimo diario; 0,3 adimensional; esta constante se la utiliza para determinar el consumo mínimo que se espera que realice la población en un día, se recomienda utilizar el valor de 30% para poblaciones cercanas a zonas urbanas.

$$Q_{mind} = 0,3 * 231,33 m^3/día$$

$$Q_{mind} = 69,40 m^3/día$$

$$Q_{mind} = 2,89 m^3/h$$

- Caudal punta, Q_{pnt}

Es una variable de diseño necesaria y fundamental para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual, para poblaciones pequeñas menores de 10000 habitantes se utiliza el coeficiente de factor punta 2.

$$Q_{pnt} = k_3 * Q_m$$

Ecuación 8

dónde:

Q_{pnt} : Caudal punta $m^3/día$

Q_m : Caudal medio diario $231,33 m^3/día$

k_3 : Constante para el caudal punta; 2 adimensional

$$Q_{pnt} = 2 * 231,33 m^3/día$$

$$Q_{pnt} = 462,66 m^3/día$$

$$Q_{pnt} = 19,28 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{pnt} = 0,0054 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{pnt} = 5,35 \text{ L/s}$$

3.2.3 Dimensionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

3.2.3.1 Canal de entrada, dimensionamiento de un canal de entrada

El canal de entrada está conectado a la descarga del agua residual, este canal transportara el flujo hacia el sistema de tratamiento, son utilizados cuando los líquidos fluyen por acción de la gravedad y se encuentran envueltos parcialmente por un contorno sólido (Rodríguez, 2008, p.16).

- Cálculo del radio hidráulico, Rh

Para el caso de una sección rectangular el radio hidráulico estará en función del ancho y la altura del canal. Generalmente se diseñan con figuras geométricas siendo el más utilizado el rectangular, para nuestro canal necesitamos un diseño con una altura de 0,40m y un ancho de 0,50m, debido que el conducto de llegada del agua residual es similar a estas medidas y se ajusta a las necesidades para el diseño.

Tabla 4-3 Capacidades de conducción de los canales recubiertos

Ancho del fondo (m)	Alto del agua(m)	Pendiente longitud(porcentaje)			
		0,15	0,10	0,005	0,02
0,50-0,80	0,40-0,60	40-70	40-60	30-40	0-30*

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

$$Rh = \frac{b_c * h}{b_c + 2h}$$

Ecuación 9

dónde:

Rh: Radio hidráulico (m)

h_c: Altura del agua en el canal (m); 0,40 m (ver tabla 4-3, esta medida se escogió de acuerdo a las medidas tomadas del conducto de llegada del agua residual y descritas por la normativa EX – IEOS, RAS 2000)

b_c= Ancho del canal (m); 0,50 m (ver tabla 4-3, esta medida se escogió de acuerdo a las medidas tomadas del conducto de llegada del agua residual y descritas por la normativa EX – IEOS, RAS 2000)

$$Rh = \frac{(0,50 * 0,40) \text{ m}^2}{0,50 \text{ m} + 2(0,40 \text{ m})}$$

$$Rh = 0,15\text{m}$$

Tabla 5-3 Coeficientes de Rugosidad

Canales abiertos revestidos	n	1/n
Tablas bien cepilladas y firmemente fijas	0,011	90,91
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0,013	76,92
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0,015	66,67
Ladrillos de mortero de cemento	0,020	50,00
Membrana de plástico sumergida	0,027	37,04
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015	66,67
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0,013	76,92
Ladrillos, paredes rugosas	0,015	66,67
Ladrillos, paredes bien construidas	0,013	76,92

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

- Cálculo de la velocidad de flujo en el canal, v_c

Para el cálculo de la velocidad en el canal, se realizará por medio de la fórmula de Manning:

$$v_c = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación 10

dónde:

v_c: Velocidad del canal m/s

n: Coeficiente de rugosidad de Manning; para canales abiertos de hormigón revestidos: 0,013 adimensional (ver tabla 5-3, Se escoge el hormigón con paredes lisas debido a sus múltiples características; es utilizado para caudales muy bajos, la larga durabilidad, economía de construcción, bajo costo de mano de obra para su mantenimiento)

S: Pendiente canal rectangular; 0,02 % (ver tabla 4-3 se aprovechar la gravedad para el diseño de los canales, por eso es importante considerar una pendiente, se escogió el valor mínimo debido que el caudal no es constante, ni uniforme; ésta pendiente nos va ayudar a regular el flujo del agua.)

R_h: = Radio hidráulico; 0,15 m

$$v_c = \frac{1}{0,013} (0,15\text{m})^{2/3} (0,0002)^{1/2}$$

$$v_c = 0,31 \text{ m/s}$$

- Cálculo del área de la sección transversal del canal de entrada, **A_t**

$$A_t = \frac{Q_{\text{pnt}}}{v_c}$$

Ecuación 11

donde:

A_t: Área transversal del canal de entrada; m²

Q_{pnt} : Caudal punta (m³/s); 5,35L/s o 0,0054 m³/s

v_c : Velocidad de flujo en el canal (m/s)

$$A_t = \frac{0,0054\text{m}^3/\text{s}}{0,31 \text{ m/s}}$$

$$A_t = 0,0174 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la altura máxima del agua en el canal, h_{cm} :

Para el canal abierto tenemos $h=b/2$, por lo tanto para el dimensionamiento tenemos, $b=2h$

$$A_t = B_t * h$$

$$A_t = 2H * H$$

$$A_t = 2H^2$$

$$h_{cm} = \sqrt{\frac{A_t}{2}}$$

Ecuación 12

dónde:

A_t : Área transversal del canal: 0,10 m²

h_{cm} : Altura máxima del agua en el canal (m)

$$h_{cm} = \sqrt{\frac{0,0174 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h_{cm} = 0,10 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura total del canal , h_{total} :

Tabla 6-3 Factores para determinar el borde libre

Borde Libre(m)	Caudal (m ³ /s)
0,30	< 0,50
0,40	>0,50

Fuente: (Villón, 2007)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

$$h_{total} = h_{cm} + b_{lb}$$

Ecuación 13

donde:

b_{lb} : Borde libre; 0,30m (ver tabla 6-3, se considera al borde libre como un factor de seguridad según las normas EX – IEOS, por cualquier contratiempo que pueda ocurrir en el transcurso de los días, se toma 0,30 debido a que el caudal para nuestro diseño es menor a $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$)

h_{cm} : Altura máxima del agua en el canal; 0,10 m

$$h_{total} = (0,10\text{m} + 0,30)\text{m}$$

$$h_{total} = 0,42 \text{ m}$$

3.2.3.2 Cribado, dimensionamiento de rejillas

Lo primero que se realiza en el tratamiento de aguas residuales es el cribado, es una operación que fundamentalmente se utiliza para separar o retener el material grueso sólido de origen orgánico o inorgánico que flotan o están suspendidos en el agua residual, a través del paso de ella por una criba malla o rejilla. En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas, principalmente de barras o varillas de acero, este tratamiento es utilizado para precautelar el funcionamiento de bombas, válvulas, tuberías y equipos, etc. (Romero, 2002, p. 287).



Figura 3-3 Sistema de desbaste - rejillas
Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Tabla 7-3 Condiciones de Diseño de rejillas manual y mecánica

Característica	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Profundidad de las barras	25-37,5 mm	25-37,5 mm
Ancho de las barras	5-15 mm	5-15 mm
Separación entre barras	25-50 mm	15-75 mm
Espesor	10-15 mm	5-20 mm
Velocidad de acercamiento	0,3-0,6 m/s	0,6-1,1 m/s
Pendiente con la vertical	45°-60°	0°-60°

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Según el tipo de rejillas de limpieza existen dos clases:

Manual: Son muy utilizadas en plantas de tratamiento medianas y pequeñas, la función más importante es retener, obstruir el paso de sólidos de dimensiones grandes como: residuos plásticos, palos, basura, piedras, entre otros, es importante que la rejilla tenga un grado de inclinación para la facilidad de limpieza, estos desechos serán almacenados en rellenos sanitarios o se realizara su incineración (Muyón, 2017, p. 34).

Mecánica: Utilizadas en plantas de tratamiento que tienen caudales muy altos, por lo tanto se requiere plantas con más capacidad, tienen una alta cantidad de sólidos que es imposible realizar una limpieza manual, en este caso se necesita componentes mecánicos para ejecutar el proceso, el problema de las rejillas mecánicas que tienen un elevado costo (Romero, 2002).

- Cálculo del área libre del paso del agua; A_1

$$A_1 = \frac{Q_{pnt}}{v}$$

Ecuación 9

dónde:

Q_{pnt} : Caudal punta; $0,0054 \text{ m}^3/\text{s}$

A_1 : Área libre del paso de agua de las rejillas; m^2

v : Velocidad de flujo; $0,50 \text{ m}/\text{s}$ (ver tabla 8-3, para nuestro cálculo vamos a diseñar con el valor $0,50 \text{ m}/\text{s}$ valor sugerido por las normas EX – IEOS, para evitar sedimentaciones y obstaculización de sólidos de gran tamaño entre el espacio libre de las rejillas, este valor es el más utilizado en los diseños de plantas de tratamientos en poblaciones pequeñas).

$$A_1 = \frac{0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}{0,50 \text{ m/s}}$$

$$A_1 = 0,011 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la Altura de Tirante de agua del canal, h_t :

Indica la altura del agua dentro del canal.

$$h_t = \frac{A_1}{b_c}$$

Ecuación 10

dónde:

A_1 : Área libre del paso de agua por las rejillas; 0,011 m²

h_t : Altura del tirante en el canal; m

b_c : Ancho del canal (m); 0,50 m (ancho del canal de llegada)

$$h_t = \frac{0,011 \text{ m}^2}{0,50\text{m}}$$

$$\mathbf{h_t = 0,022 m}$$

- Cálculo de la Altura construcción, h_{ct} :

Es la sumatoria de la altura del agua del tirante del canal y un valor dispuesto o sugerido de seguridad según el canal de entrada para el tratamiento.

$$h_{ct} = h_t + h_{se}$$

Ecuación 11

dónde:

h_{ct} : Altura del tirante de construcción; m

h_t : Altura del tirante en el canal; 0,022 m

h_{se} : Altura de seguridad (m); 0,45 m (la altura de seguridad se toma en relación a la altura del canal de entrada)

$$h_c = 0,022 \text{ m} + 0,45\text{m}$$

$$\mathbf{h_c = 0,452 m}$$

- Cálculo del número de barras, N_{barras} :

$$N_{\text{barras}} = \frac{b_c - S_b}{e_b + S_b}$$

Ecuación 12

dónde:

N_{barras} = Número de barras; m

b_c = Ancho del canal; 0,5 m

e_b = Espesor de barra: 10 (mm), (ver tabla 7-3, valor relacionado con la limpieza manual, nos ayudara a la retención de sólidos de gran tamaño y dar la firmeza necesaria de las barras para que pueda soportar cualquier contacto que este tenga, según EX – IEOS este valor se utiliza para caudales relativamente bajos.)

S_b = Separación entre barras: 25 (mm), (ver tabla 7-3, según EX – IEOS este valor es el más habitual para el diseño de plantas de tratamiento con caudales bajos y es por eso que se escogió el intervalo con menor espacio para obtener el número de barras suficientes para retener y reducir el paso de los sólidos visibles que estén presentes en el agua).

$$N_{\text{barras}} = \frac{0,50 \text{ m} - 0,025 \text{ m}}{0,010 \text{ m} + 0,025 \text{ m}}$$

$$N_{\text{barras}} = 13,27 = 14 \text{ barras}$$

- Cálculo de longitud de las barras, L_{ba} :

$$L_{ba} = \frac{h_c}{\theta}$$

Ecuación 13

dónde:

h_c : Altura del tirante de construcción; 0,452 m

L_{ba} : Longitud de las barra (m)

θ : Ángulo de inclinación de las barra; 45° (ver tabla 7-3, según la norma EX – IEOS, el intervalo de inclinación es de 45° a 60°, el motivo que se escogió este valor es por la facilidad de mantenimiento manual, operación y se diseña para plantas, instalaciones pequeñas.)

$$L_{ba} = \frac{0,452 \text{ m}}{\text{Sen } 45}$$

$$L_{ba} = 0,64 \text{ m}$$

- Pérdida de carga en las rejillas, H_b :

Para el factor forma de las rejillas nos vamos a basar en la tabla de valores que se presenta a continuación, los mismos que son adimensionales:

Tabla 8-3 Coeficientes de pérdida de carga, para rejillas

Sección Transversal							
Formas	A	B	C	D	E	F	G
B	2,48	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

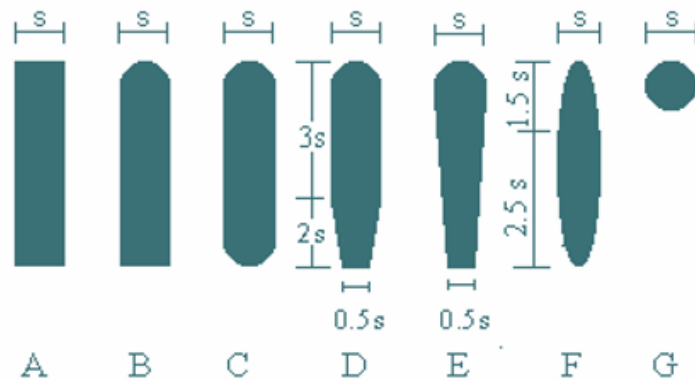


Figura 4-3 Forma de las rejillas

Fuente: (RAS, 2000)

$$H_b = \beta \left(\frac{S_b}{eba} \right)^{4/3} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \text{sen } \theta$$

Ecuación 14

dónde:

g: Gravedad (m/s^2) = $9,8 \text{ m/s}^2$

β: Factor de forma de las barras; 1,79 adimensional (ver tabla 8-3, según RAS 2000, las rejillas de forma circular son las más utilizadas para plantas de tratamiento, estas no producen alta pérdida de carga o atascamiento)

v : Velocidad de flujo (m/s); $0,50 m/s$

θ : Ángulo de inclinación de las barras (grados); 45° (ver tabla 7-3, según RAS 2000 se debe escoger el rango menor en para limpieza manual; favorecerá a una limpieza y mantenimiento sencillo)

e_b = Espesor de barra: 10mm ver tabla 7-3

S_b = Separación entre barras: 25 mm, ver tabla 7-3

$$H_b = 1,79 \left(\frac{0,025 \text{ m}}{0,10\text{m}} \right)^{4/3} \left(\frac{0,50^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} \right) \text{Sen } 45$$

$$H_b = 0,00254\text{m}$$

3.2.3.3 Sedimentación, dimensionamiento de un sedimentador

La sedimentación es un proceso utilizado para la remoción aproximadamente de 70% de sólidos en suspensión, materia flotante de aguas crudas mediante las fuerzas gravitacionales, las partículas se presentan como partículas independientes para la sedimentación constante. La función es reducir la velocidad de flujo del agua residual para dejar en estado de reposo y de manera ascendente los sólidos se transporten al fondo del tanque sedimentador (Enríquez, 2015, pp.26-27).

Tanques de sedimentación

Se denomina tanques primarios de sedimentación aquellos que reciben aguas residuales crudas, estos tanques pueden ser circulares o rectangulares, el material orgánico es más pesado que el agua por lo que la sedimentación se lo realiza de una forma lenta aproximadamente a 1 y 3 min/h.

- Tanques Rectangulares

Este tanque son de flujo horizontal, el agua residual cruda ingresa a través de una serie de aberturas, cerca de la superficie del extremo de entrada al tanque, y se mueve a lo largo de este, con una velocidad muy baja hasta su descarga el material sólido sedimentable se deposita en el fondo del tanque por acción de la pendiente provista, poseen una longitud de 3 a 6 veces su anchura, pero diferentes factores como: profundidad, terreno y número de tanques puede modificarse su relación (Romero, 2002, p. 635).

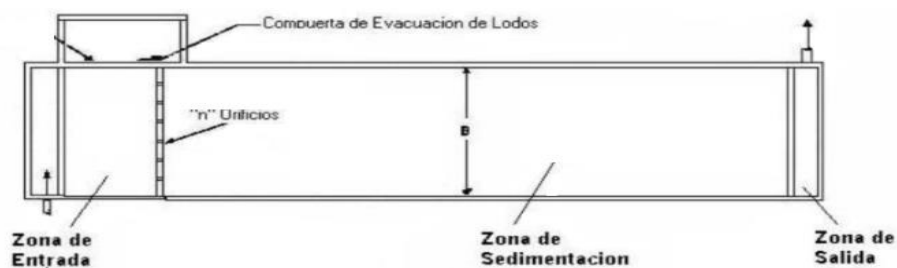


Figura 5-3 Tanque rectangular

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

- Tanques Circulares

El flujo en los tanques circulares el agua residual entra a través de aberturas en la parte Superior de una tubería vertical central y fluye de una forma radial, la corriente de alimentación se difunde de forma homogénea, esta agua es introducida por el centro del tanque y pasa por una campana difundiéndose el flujo en todas las direcciones (Romero, 2002, p. 638). Este tipo de tanques es uno de los más utilizados en el tratamiento de aguas residuales ayudando de manera eficiente en la remoción de lodos con diámetros menores a 15mm (Hernández, 2015, p. 32).

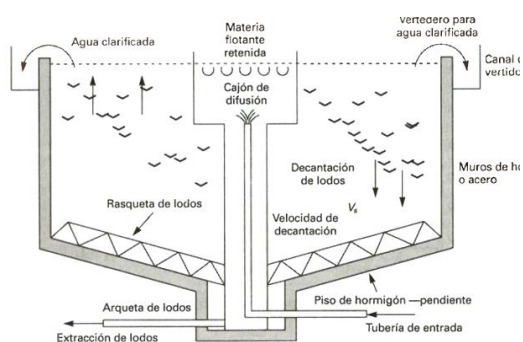


Figura 5-3 Tanque circular

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

Tabla 9-3 Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en tratamientos primarios.

Parámetro	Intervalo	Valor usual	Unidad
Circular			
Longitud	3-60	12-45	m
Profundidad	3-4,5	3,6	m
Velocidad de los rascadores	0,02-0,05	0,03	(r/min)
Pendiente de la solera	6,25-16	8	mm/m

Rectangular			
Longitud	15-90	25-40	m
Profundidad	3-4,5	3,6	m
Ancho	3-25	5-10	m
Velocidad del barredor	0,6-1,2	0,9	m/s

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Tabla 10-3 Velocidades terminales del caudal

Decantación primaria	Valor máximo(m/h)	Valor medio(m/h)	Valor mínimo(m/h)
Decantadores rectangulares	2,6	2,2	1,8
Decantadores circulares	3,0	2,5	2,0

Fuente: (HERNANDEZ, 2015)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

- Cálculo del área superficial, A_s

$$A_s = \frac{Q_{pnt}}{V_t}$$

Ecuación 15

dónde:

A_s : Área superficial del tanque sedimentador, m^2

Q_{pnt} : Caudal punta, $19,28 m^3/h$

V_t : Velocidad terminal, $2,0 m/h$ (ver tabla 10-3, se escogió este valor debido que el flujo de agua que ingresa al sedimentador no debe ser alto, porque crea turbulencia y mayor movilidad o mezcla del agua, siendo menor la velocidad del agua tendremos una mejor eficiencia de sedimentación de las partículas.)

$$A_s = \frac{19,28 m^3/h}{2,0 m/h}$$

$$A_s = 9,64 m^2$$

- Cálculo del ancho del sedimentador, S_a

$$S_a = \sqrt{\frac{A_s}{2}}$$

Ecuación 16

dónde:

A_s: Área superficial del tanque sedimentador, 9,64m²

S_a: Ancho del sedimentador, m

$$S_a = \sqrt{\frac{9,64 \text{ m}^2}{2}}$$

$$S_a = 2,20 \text{ m}$$

- Cálculo del largo del sedimentador, L_s

$$L_s = \frac{A_s}{S_a}$$

Ecuación 17

dónde:

L_s: Largo del sedimentador, m

A_s: Área superficial del tanque sedimentador, 9,64m²

S_a: Ancho del sedimentador, 2,20m

$$L_s = \frac{9,64\text{m}^2}{2,20\text{m}}$$

$$L_s = 4,38 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del sedimentador, V_s

$$V_s = L_s * S_a * h_s$$

Ecuación18

dónde:

V_s: Volumen del sedimentador, m³

h_s: Altura del sedimentador; 3,6m (ver tabla 9-3, según la norma RAS 2000, y criterios bibliográficos se tomara el valor más usual para poblaciones pequeñas, para nuestros cálculo utilizaremos el valor considerado en tabla)

S_a: Ancho del tanque sedimentador, 2,20m

L_s: Largo del sedimentador, 4,38m

$$V_s = 4,38m * 2,20m * 3,6m$$

$$V_s = 34,68m^3$$

- Cálculo del diámetro del sedimentador, d_s

$$d_s = \sqrt{4 * \frac{A_s}{\pi}}$$

Ecuación 19

dónde:

d_s: Diámetro del sedimentador, m

π: Número irracional; 3,14159

A_s: Área superficial del tanque sedimentador, 7,71m²

$$d_s = \sqrt{4 * \frac{9,64m^2}{\pi}}$$

$$d_s = 3,50m$$

- Cálculo del tiempo de retención hidráulica, t_{iH}

$$t_{iH} = \frac{V_s}{Q_{pnt}}$$

Ecuación 20

dónde:

t_{iH} : Tiempo de retención hidráulico, h

V_s : Volumen del sedimentador, 34,68 m³

Q_{pnt} : Caudal punta, 19,28 m³/h

$$t_{iH} = \frac{34,68 \text{ m}^3}{19,28 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$t_{iH} = \mathbf{1,80 \text{ h}}$$

- Cálculo del área de sección transversal, A_{st}

$$A_{st} = \frac{V_s}{L_s}$$

Ecuación 21

dónde:

A_{st} : Área de la sección transversal, m²

V_s : Volumen del sedimentador, 34,68 m³

L_s : Largo del sedimentador, 4,38m

$$A_{st} = \frac{34,68 \text{ m}^3}{4,38\text{m}}$$

$$A_{st} = \mathbf{7,92\text{m}^2}$$

- Cálculo de la velocidad de arrastre, A_{ve}

$$A_{ve} = \frac{Q_{pnt}}{A_s}$$

Ecuación 22

dónde:

A_{ve} : Velocidad de arrastre horizontal, m/s

Q_{pnt} : Caudal punta, 0,0054 m³/s

As: Área superficial del tanque sedimentador, 9,64

$$A_{ve} = \frac{0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}{9,64 \text{ m}^2}$$

$$A_{ve} = 0,00056 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la remoción del DBO₅, R_{dbo5}

Tabla 11-3 Constantes empíricas, a 20°C para porcentajes de remoción.

Variable	b	a,h
SST	0,014	0,0075
DBO	0,02	0,018

Fuente: (CRITES, 2000)

Realizado por: Brayan Pazmiño

$$R_{dbo5} = \frac{t_{iH}}{a + (b * t_{iH})}$$

Ecuación 24

dónde:

R_{dbo5}: Porcentaje de remoción esperado, %

t_{iH}: Tiempo de retención hidráulico; 1,44 h

a: Valores empíricos, 0,018(ver tabla 11-3)

b: Valores empíricos, 0,02 (ver tabla 11-3)

$$R_{dbo5} = \frac{1,44 \text{ h}}{0,018 + (0,02 * 1,44) \text{ h}}$$

$$R_{dbo5} = 30,77\%$$

- Cálculo de la remoción de sólidos suspendidos, R_{ss}

$$R_{ss} = \frac{t_{iH}}{a + (b * t_{iH})}$$

Ecuación 25

dónde:

R_{ss}: Porcentaje de remoción esperado, %

t_H: Tiempo de retención hidráulico; 1,44 h

a: Valores empíricos, 0,0075(ver tabla 11-3)

b: Valores empíricos, 0,014 (ver tabla 11-3)

$$R_{ss} = \frac{1,44 \text{ h}}{0,0075 + (0,014 * 1,44)\text{h}}$$

$$R_{ss} = 52,06\%$$

3.2.3.4 Aireación, dimensionamiento de un aireador de bandejas

Esta etapa es muy importante en el tratamiento, consiste poner en contacto íntimo al agua con el aire con el objetivo de disminuir las concentraciones de sustancias volátiles que se encuentran presentes en ella por lo que la exposición del agua residual al aire reducirá altamente los porcentajes de contaminantes, la aireación es fundamental por:

Elimina gases disueltos presentes como el bióxido de carbono y ácido sulfhídrico, eliminar el mal olor que es provocado por sustancias volátiles y se transfiere oxígeno para mejorar la calidad del efluente (Villegas, 2007, p. 41).

La aireación puede realizarse de diferentes maneras pero se debe tomar en cuenta diferentes aspectos, la fácil operación, mantenimiento y la economía son factores muy importantes por esto las más utilizadas y dan buenos resultados en los tratamientos de aguas residuales son los aireadores de bandejas, cascadas, canales inclinados, en este proyecto se diseñara los aireadores de bandejas (Villegas, 2007, p. 42).

- Aireador de bandejas

Fundamentan en sucesiones de bandejas con perforaciones en la parte inferior, están colocadas de forma sucesiva, la entrada del agua es por la parte Superior y se distribuye por una tubería perforada, esta debe caer en la primera bandeja y así sucesivamente, un aspecto muy importante es la ventilación en el diseño, se debe seleccionar cuidadosamente el sitio de localización si no se lo hace de esta manera se podría tener complicaciones por lo que es recomendable que se

construya con materiales duraderos como: el acero inoxidable, aluminio, concreto o maderas resistentes (Romero, 1999, p.379).



Figura 7-3 Aireadores de bandeja
Fuente: <http://nesvin-aireacion.blogspot.com/>

Tabla 12-3 Parámetros para el diseño de aireadores de bandejas

Parámetros	RAS 2000		Otros
Separación de bandejas (m)	0,30-0,75		<0,30
Carga Hidráulica(m ³ /m ² d)	<600		
Número de bandejas n	3-5		>3
Lecho contacto	Altura (m)	0,10-0,30	0,15-0,30
	Ø (cm)	5-15	4-15
Perforaciones	Separación (cm)		2,5-7,5
	Ø (plg)		3/16"-1/2"
Profundidad del agua de la bandeja(cm)	0,15		
Profundidad de cada bandeja(cm)	0,15-0,25		0,20-0,025

Fuente: (Villegas, 2007)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

- Cálculo del área de las bandejas, A_b

$$A_{\text{Bandejas}} = \frac{Q_{\text{pnt}}}{C_h}$$

Ecuación 26

dónde:

Q_{pnt} : Caudal punta ($462,66 \text{ m}^3/\text{día}$)

C_h : Carga hidráulica; $200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$; (ver tabla 12-3, este valor se escogió con el criterio de las normas RAS 2000, y el dato utilizado es similar al dato manejado para la construcción de la planta de tratamiento de agua potable de la Parroquia San Isidro)

$$A_b = \frac{462,66 \text{ m}^3/\text{día}}{200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

$$A_b = 2,31 \text{ m}^2$$

- Cálculo del tiempo de retención; t_{re}

$$t_{\text{re}} = \frac{n_b}{\sqrt{2 * e_{\text{eb}} * g}}$$

Ecuación 27

dónde:

g : Gravedad; 9.8 m/s^2

e_{eb} : Espacio entre bandeja; $0,30 \text{ m}$ (ver tabla 12-3, según RAS 2000 y Villegas se debe considerar el valor más alto del intervalo, para que el agua tenga más contacto con el aire y se puede realizar la operación con mayor eficacia.)

n_b : Número de bandejas; 5 (ver tabla 12-3, se tomó este valor según las normas RAS 2000 y con el criterio de tener el número máximo de bandejas para que el agua residual tenga más contacto con las misma, por lo tanto el proceso de aireación sea más eficaz).

$$t_{re} = \frac{5 \text{ unidades}}{\sqrt{\frac{9,8 \text{ m/s}^2}{2 * 0,30 \text{ m}}}}$$

$$t_{re} = 1,24 \text{ s}$$

- Cálculo del área de cada bandeja, A_{cb}

$$A_{cb} = \frac{A_b}{n_b}$$

Ecuación 28

dónde:

A_{cb} : Área de cada bandeja, m^2

n_b : Número de bandejas (unidades); 5

A_b : Área de las bandejas; $2,31 \text{ m}^2$

$$A_{cb} = \frac{2,31 \text{ m}^2}{5}$$

$$A_{cb} = 0,46 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la longitud de cada bandeja, L_{cb}

$$L_{cb} = \sqrt{A_{cb}}$$

Ecuación 29

dónde:

L_{cb} : Longitud de cada bandeja, m

A_{cb} : Área de cada bandeja; $0,46 \text{ m}^2$

$$L_{cb} = \sqrt{0,46 \text{ m}^2}$$

$$L_{cb} = 0,68 \text{ m} = 68,0 \text{ cm}$$

Los cálculos para la bandeja son de geometría cuadrada

- Cálculo del área de cada orificio, A_{c_o}

El diámetro de cada orificio será de 1/2"

$$A_{c_o} = \frac{\pi * \phi_{or}^2}{4}$$

Ecuación 30

dónde:

A_{c_o} : Área de cada orificio, (m^2)

ϕ_{or} : Diámetro de cada orificio; 0,0127m, (ver tabla 12-3, se consideró el valor más alto, para cuidar que la descarga del agua por los orificios o ranuras de las bandejas sea eficaz y no rebose, el criterio se lo escogió según Romero Rojas Jairo)

$$A_{c_o} = \frac{\pi * (0,0127 \text{ m})^2}{4}$$
$$A_{c_o} = 1,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Cálculo del caudal que pasa por la bandeja, Q_{ba}

$$Q_{ba} = L_{cb} * A_{c_o} * \sqrt{2 * g * h_b}$$

Ecuación 31

dónde:

A_{c_o} : Área de cada orificio, $1,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

L_{cb} : Largo de la bandeja 0,68 m

h_b : Profundidad de la bandeja 0,20m (ver tabla 12-3, según las normas RAS 2000 y Romero Rojas Jairo se debe elegir el valor que se acerque más a los requerimientos, necesidades de cada población y sobre todo en el que el agua tenga más contacto con el aire del entorno, por lo que se eligió un valor intermedio, para que el proceso se dé sin ningún contratiempo, el agua residual fluya con normalidad y se cumpla con el objetivo de la aireación)

$$Q_{ba} = 0,68 \text{ m} * 1,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * \sqrt{2 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 0,20 \text{ m}}$$
$$Q_{ba} = 1,71 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,17 \text{ L/s}$$

- Cálculo del número de orificios en cada bandeja, N_{or}

$$N_{or} = \frac{Q_{pnt}}{Q_{ba}}$$

Ecuación 32

dónde:

N_{or} : Número de orificios en cada bandeja

Q_{pnt} : Caudal punta, 5,35 (L/s)

Q_{ba} : Caudal que pasa por la bandeja; 0,17 (L/s)

$$N_{or} = \frac{5,35 \text{ L/s}}{0,17 \text{ L/s}}$$

$$N_{or} = 31,47 \pm 1 \text{ unidades}$$

3.2.3.5 Canal Parshall, dimensionamiento de un canal Parshall

El canal Parshall generalmente se lo utiliza para medir los caudales de descargas de aguas residuales, es conveniente el uso de éste, debido a que se lo puede construir dónde se requiere medir bajos y altos flujos, en periodos cortos o prolongados; ya sea que estos tengan o no sólidos en suspensión. Lo más importante es que el flujo se traslade por acción de la gravedad, la estructura de este canal provoca el aumento de la velocidad del flujo, por lo que se aprovecha para realizar la mezcla rápida del coagulante con el agua residual, por la turbulencia generada a su salida (Villón, 2007, p.64).

Su estructura tiene cuatro partes principales y estas son: la transición de entrada, sección convergente, garganta y la sección divergente (Rodríguez, 2008, p. 120)

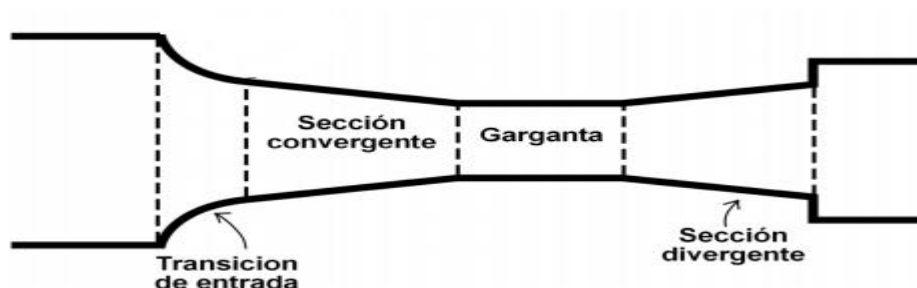


Ilustración 8-3 Gráfico canal Parshall

Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pág. 477

- Ancho de la garganta W_B

Tabla 13-3 Ancho para las canaletas

Ancho B_W (pulgadas)	Límite de Caudales (L/s)	
	Caudal Mínimo	Caudal Máximo
1	0,28	5,67
2	0,57	14,15
3	0,85	28,31
6	1,42	110,44
9	2,58	252,00

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

$$W_B = 3 \text{ pulgadas} = 0,075\text{m}$$

Se escogió este dato, debido a que este valor se encuentra entre los límites de los caudales mínimo y máximo a trabajar, los valores para el ancho de la canaleta se encuentran en la tabla 14-3

- Cálculo de la altura del agua en la sección de medición, H_{sm}

Tabla 14-3 Valores n y K , según el tamaño de W_B

Ancho de la Garganta Parshall (m)	K	n
0,075	3,704	0,646
0,015	1,842	0,636
0,229	1,486	0,633
0,305	1,276	0,657
0,460	0,966	0,650
0,610	0,795	0,645
0,915	0,608	0,639
1,22	0,505	0,634
1,525	0,436	0,630

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

$$H_{sm} = k * (Q_{pnt})^n$$

Ecuación 33

dónde:

H_{sm}: Altura del agua en la sección de medición; m

Q_{pnt}: Caudal de punta; 0,0054 m³/s

n: Constante 0,646 adimensional (ver tabla 14-3)

k: Constante; 3,704 adimensional (ver tabla 14-3)

$$H_{sm} = 3,704 * (0,0054 \text{ m}^3/\text{s})^{0,646}$$

$$H_{sm} = 0,13 \text{ m}$$

- Ancho de entrada de la sección convergente, W_{BC}

Tabla 15-3 Dimensiones estandarizadas para la canaleta Parshall

W _B		A	B	C	D	E	F	G	K'	N
Pulg-Pie	cm	cm	cm	Cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4
9"	22,9	88,0	86,4	39,0	57,5	76,3	30,5	61,0	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	45,7	7,6	22,9
1½'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5'	152,3	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9

Fuente: (Cepis, 2012)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

$$W_{BC} = \frac{2}{3}(D - W_B) + W_B$$

Ecuación 34

dónde:

W_{BC}: Ancho entrada sección convergente (m)

D: Dimensión de la canaleta; 0,259 m (ver Tabla 15-3, la entrada de la sección convergente debe ser aproximadamente tres veces mayor al ancho de la garganta, este criterio se lo utiliza cuando se va a tratar caudales pequeños o medianos y según Romero y Cepis se recomienda utilizar los valores tabulados en la letra D de la tabla)

W_B: Ancho de la garganta (m); 0,075 m

$$W_{BC} = \frac{2}{3} * (0,259 - 0,075) + 0,075$$

$$W_{BC} = 0,20m$$

- Cálculo de la velocidad en la sección de medición, S_v

$$S_v = \frac{Q_{pnt}}{H_{sm} * W_{BC}}$$

Ecuación 35

dónde:

S_v: Velocidad en la sección de medición m/s

Q_{pnt}: Caudal de punta; 0,0054 m³/s

W_{BC}: Ancho entrada sección convergente; 0,20 m

H_{sm}: Altura del agua en la sección de medición; 0,13 m

$$S_v = \frac{0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}{0,13 \text{ m} * 0,20 \text{ m}}$$

$$S_v = 0,21 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la carga hidráulica disponible, C_D

$$C_D = \frac{S_v^2}{2g} + H_{sm} + N$$

Ecuación 36

dónde:

C_D: Carga hidráulica disponible; m

S_v: Velocidad en la sección de medición; 0,21 m/s

N: Dimensiones de la canaleta; 0,057 m (ver tabla 15-3, Para calcular la carga hidráulica disponible se debe considerar el valor más aproximado al ancho de la garganta, según Romero y CEPIS los datos tabulados en columna N son los valores a utilizar.)

H_{sm}: Altura del agua en la sección de medición; 0.13 m

g: Gravedad; 9,8 m/s²

$$C_D = \frac{(0,21 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} + 0,13\text{m} + 0,057 \text{ m}$$

$$C_D = 0,19 \text{ m}$$

- Cálculo del caudal en la garganta de la canaleta, Q_{ct}

$$Q_{ct} = \frac{Q_{pnt}}{W_B}$$

Ecuación 37

dónde:

Q_{ct}: Caudal específico en la garganta de la canaleta (m³/s.m)

Q_{pnt}: Caudal de punta; 0,0054 m³/s

W_B: Ancho de la garganta (m); 0,075m

$$Q_{ct} = \frac{0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}{0,075 \text{ m}}$$

$$Q_{CT} = 0,072 \text{ m}^3/\text{s.m}$$

- Cálculo del ángulo de inclinación, θ_{IC}

$$\theta_{IC} = \cos^{-1} \left[- \frac{Q_{CT} * g}{\left(\frac{2g * C_{HD}}{3} \right)^{1,5}} \right]$$

Ecuación 38

dónde:

θ_{IC} : Ángulo de inclinación; grados

Q_{CT} : Caudal específico en la garganta de la canaleta; $0,072 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$

C_D : Carga hidráulica; $0,19 \text{ m}$

g : Gravedad; $9,8 \text{ m/s}^2$

$$\theta_{IC} = \cos^{-1} \left[\frac{0,072 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m} * 9,8 \text{ m/s}^2}{\left(\frac{2 \left(9,8 \text{ m/s}^2 \right) * 0,19 \text{ m}}{3} \right)^{1,5}} \right]$$

$$\theta_{IC} = 120,68^\circ$$

- Cálculo de la velocidad antes del resalto, v_{rs}

$$v_{rs} = 2 \sqrt{\left(\frac{2C_D * g}{3} \right) * \cos\left(\frac{\theta_{CI}}{3}\right)}$$

Ecuación 39

dónde:

v_{rs} : Velocidad antes del resalto (m/s)

θ_c : Ángulo de inclinación; $120,68^\circ$

C_D : Carga hidráulica; $0,19 \text{ m}$

g : Gravedad; $9,8 \text{ m/s}^2$

$$v_{rs} = 2 \sqrt{\left(\frac{2(0,19 \text{ m}) * 9,8 \text{ m/s}^2}{3} \right) * \cos\left(\frac{120,21^\circ}{3}\right)}$$

$$v_{rs} = 1,70 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la altura de agua antes del resalto, h_{ag}

$$h_{ag} = \frac{Q_{CT}}{v_{rs}}$$

Ecuación 40

donde:

h_{ag} : Altura de agua antes del resalto; m

Q_{CT} : Caudal específico en la garganta de la canaleta; $0,071 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$

v_{rs} : Velocidad antes del resalto; 1,70 m/s

$$h_{ag} = \frac{0,070 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}}{1,71 \text{ m/s}}$$

$$h_{ag} = 0,04 \text{ m}$$

- Número de Froude, F

Relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad que actúan sobre el fluido, este número es adimensional (White, 2004, p.672).

$$F = \frac{v_{rs}}{(g * h_{ag})^{0,5}}; \quad 3 \geq F \geq 2$$

Ecuación 41

dónde:

F: Número de Froude; adimensional

h_{ag} : Altura de agua antes del resalto; 0,04 m

g: Gravedad; $9,8 \text{ m/s}^2$

v_{rs} : Velocidad antes del resalto; 1,70 m/s

$$F = \frac{1,70 \text{ m/s}}{(9,8 \text{ m/s}^2 * 0,04 \text{ m})^{0,5}}$$

$$F = 2,71$$

- Cálculo de la altura después del resalto, h_{ad}

$$h_{ad} = \frac{h_{ag}}{2} * (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

Ecuación 42

dónde:

h_{ad} : Altura de agua después del resalto; m

F : Número de Froude; adimensional; 2,71

h_{ag} : Altura de agua antes del resalto; 0,04 m

$$h_{ad} = \frac{0,04 \text{ m}}{2} * (\sqrt{1 + 8(2,71)^2} - 1)$$

$$h_{ad} = 0,13 \text{ m}$$

- Cálculo de la velocidad de resalto del canal, v_{ca}

$$v_{ca} = \frac{Q_{pnt}}{h_{ad} * W_B}$$

Ecuación 43

dónde:

v_{ca} : Velocidad después del resalto m/s

W_B : Ancho de la garganta (m); 0,075 m

h_{ad} : Altura de agua después del resalto; 0,13 m

Q_{pnt} : Caudal de punta; 0,0054 m³/s

$$v_{ca} = \frac{0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}{0,13 \text{ m} * 0,075 \text{ m}}$$

$$v_{ca} = 0,55 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la altura a la salida del canal , h_{as} :

$$h_{as} = h_{ad} - (n - k)$$

Ecuación 44

dónde:

h_{as} : Altura a la salida del canal; m

N: Dimensiones de la canaleta; 0,057 m (ver tabla 15-3, según Romero y Cepis se recomienda utilizar los valores tabulados en la columna D, dependiendo del ancho de la garganta que corresponda)

h_{ad} : Altura de agua después del resalto; 0,13m

K' : Dimensiones de la canaleta; 0,025 m (ver tabla 15-3, según Romero y Cepis se recomiendan utilizar los valores tabulados de la columna K, según el dato del ancho de la garganta utilizada.)

$$h_{as} = 0,13m - (0,057m - 0,025m)$$

$$h_{as} = 0,10m$$

- Cálculo de la velocidad a la salida del canal **v_{sc}** :

$$v_{sc} = \frac{Q_{pnt}}{C * h_{as}}$$

Ecuación 45

dónde:

v_{sc} : Velocidad en la sección de salida (m/s)

h_{as} : Altura a la salida del canal; 0,10 m

Q_{pnt} : Caudal de punta; 0,0054 m³/s

C: Dimensiones de la canaleta; 0,178 m (ver tabla 3-16, según Romero y Cepis se recomienda utilizar los valores tabulados en la columna de la letra C dependiendo del ancho de la garganta que corresponda)

$$v_{sc} = \frac{0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}{0,178\text{m} * 0,10 \text{ m}}$$

$$v_{sc} = 0,30 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la pérdida de carga en el resalto, **P_R** :

$$P_R = H_{sm} + K' - h_{as}$$

Ecuación 46

dónde:

P_R: Pérdida de carga en el resalto; m

K': Constantes de la canaleta; 0,025 m (ver tabla 15-3, según Romero y CEPIS se recomienda utilizar los valores tabulados en la columna K)

H_{sm}: Altura del agua en la sección de medición; 0,13 m

h_{as}: Altura a la salida del canal; 0,10 m

$$P_R = 0.13 \text{ m} + 0,025 \text{ m} - 0,10 \text{ m}$$

$$P_R = 0,055 \text{ m}$$

- Cálculo del tiempo de mezcla **t_r**:

$$T_r = \frac{2G'}{v_{ca} + v_{sc}}$$

Ecuación 47

dónde:

T_r: Tiempo de mezcla en el resalto (s)

v_{ca}: Velocidad después del resalto 0,55 m/s

v_{sc}: Velocidad en la sección de salida (m/s) ; 0,30 m/s

G: Dimensión de la canaleta (m); 0,305 m (ver tabla 3-11, según Romero y CEPIS se recomienda utilizar los valores tabulados en la columna G)

$$T_r = \frac{2(0,305\text{m})}{0,55 \text{ m/s} + 0,30 \text{ m/s}}$$

$$T_r = 0,72 \text{ s}$$

- Gradiente de velocidad G_v :

Tabla 16-3 Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas

Temperatura (T)°C	Viscosidad Dinámica ($\mu * 10^3$) N.s/m ²	Tensión Superficial (σ) N/m	VISCOSIDAD CINEMÁTICA ($\nu * 10^6$) m ² /s	DENSIDAD(ρ) kg/m ³
0	1,781	0,0756	1,785	999,8
5	1,518	0,0749	1,519	1000,0
10	1,307	0,0742	1,306	999,7
15	1,139	0,0735	1,140	999,1
20	1,002	0,0728	1,003	998,2
25	0,890	0,0720	0,893	997,0
30	0,798	0,0710	0,800	995,7

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

$$G_v = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \left(\frac{P_{cr}}{T_r}\right)$$

Ecuación 48

dónde:

G_v : Gradiente de velocidad (s^{-1})

γ : Peso específico (kN/m^3); 9,789 kN/m^3 (ver tabla 3-17, el peso específico se obtiene del producto de la densidad y la gravedad, se tomará la temperatura de 20°C para este cálculo)

T_r : Tiempo de mezcla; 0,72(s)

P_R : Pérdida de carga en el resalto; 0,055m

μ : Viscosidad dinámica (N.s/m²); 1,102x10⁻³ N.s/m² (ver Tabla 3-17)

$$G_v = \sqrt{\frac{9,789 \text{ kN/m}^3}{1,102 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2}} * \left(\frac{0,055 \text{ m}}{0,72 \text{ s}}\right)^{0,5}$$

$$G_v = 25,98 \text{ s}^{-1}$$

3.2.3.6 Floculación; dimensionamiento de un floculador hidráulico

La floculación es el proceso que le sigue a la coagulación, esta operación consiste en la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculantes, una vez introducido y mezclado el coagulante las partículas diminutas coaguladas se ponen en contacto entre ellas mediante una agitación lenta prolongada, las moléculas se aglomeran y se estabilizan aumentando su tamaño, por la consecuencia de su peso formaran flóculos que facilitarían su sedimentación (Aguilar, J., et al., 2002, p. 35).

Existen diferentes factores que incluyen la floculación: la naturaleza del agua, intensidad de agitación, pH, variaciones de caudal, la temperatura del agua, número de compartimientos de la unidad y el gradiente de velocidad.

Clasificación de los Floculadores

La floculación puede efectuarse hidráulicamente, como resultado del movimiento del agua; o mecánicamente, usando rotores de paletas, en ambos casos se realizara una mezcla lenta para la floculación, el objetivo de los floculadores es proporcionar movimiento para la formación de flóculos, estos se diseñan de acuerdo a la energía que se utilizara para la agitación (Quindigalle, 2015, p. 63).

Floculadores Hidráulicos

Los más utilizados son los de flujo horizontal y flujo vertical

- **Floculadores Hidráulicos de flujo Horizontal**

Fundamenta en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otros materiales adecuados, construidos de tal forma que el agua realice un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. Estos floculadores se utilizan para plantas pequeñas con caudales menores a 40 L/s (Lozano Rivas, 2015)

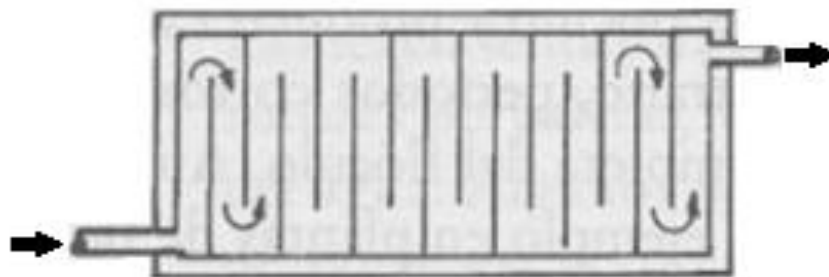


Figura 9-3 Floculador Hidráulico Horizontal

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

- **Floculadores Hidráulicos de flujo Vertical**

El agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques baffles, pantallas que dividen al tanque, estos floculadores se los construye en plantas grandes con profundidades de 2 a 3 m (Quindigalle, 2015, p. 64).

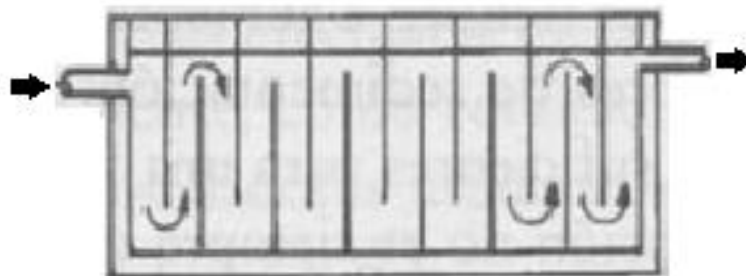


Figura 10-3 Floculador Hidráulico Vertical

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

- **Floculadores Mecánicos.**

Se le da potencia al agua introduciendo agitadores mecánicos dándoles la velocidad de mezcla adecuada. El tipo de agitador más utilizado es el de paletas, estos pueden ser de ejes horizontales y verticales estos son los encargados de producir la turbulencia interna, también existen impulsadores de turbina y de flujo axial, se recomienda que el equipo agitador sea de velocidad variable según (Romero, 2002, p.164)

Para diseñar el floculador se debe considerar en la mayor parte de los casos una pérdida entre 2 y 5 % de caudal por la remoción de lodos en el proceso por lo que representa una disminución del flujo.

Tabla 17-3 Criterios de diseño para floculadores hidráulicos de flujo horizontal

Tipo de Pantalla	Unidad	Profundidad
Madera	m	1,5-2,0
Asbesto-Cemento	m	1,0

Fuente: (CEPIS, 2000)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

Tabla 18-3 Dimensiones específicas para cada pantalla

Tipo de Pantalla	Ancho(m)	Espesor(m)	Coefficiente de fricción Manning
Madera	-	-	0,012
Asbesto-cemento corrugado	0,825	0,006	0,030
Asbesto-cemento plana	1,22	0,01	0,013

Fuente: (CEPIS, 2000)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Se escogió la pantalla Asbesto- Cemento corrugado, éste contribuye a la disminución del gradiente de velocidad entre el canal y las vueltas, por lo tanto el ancho de las láminas serán de 0,825m. El ancho de la unidad debe ser igual a tres veces el ancho de la pantalla corrugada incorporado el espaciamiento entre los extremos de las pantallas y la pared del tanque al final del tramo.

Tabla 19-3 Número de intensidad

Norma	Gradiente de Velocidad	Número de Camp
FAIR	$2 < G < 40s^{-1}$	$5000 < G.T > 50$
AWWA	$5 < G < 100s^{-1}$	$30000 < G.T > 15000$

Fuente: (CEPIS, 2000)

Realizado por: Brayan Pazmiño 2017

- Área del canal del floculador, A_{CF} ,

$$A_{CF} = \frac{Q_{pnt}}{v_p}$$

Ecuación 49

dónde:

v_f : Velocidad de flujo de agua ($0,29 \frac{m}{s}$), se considera este valor debido a que es la velocidad de salida del agua en el proceso anterior, por esto será un valor similar.

Q_{pnt} : Caudal punta (m^3/s); $0,00514 m^3/s$ (se estimará un factor del 5% por pérdida de caudal, debido a todos los procesos anteriores, según Romero Rojas se debe reducir entre el 3 y 6 %.)

$$A_{CF} = \frac{0,00514 \frac{m^3}{s}}{0,29 \frac{m}{s}}$$

$$A_{CF} = 0,017m^2$$

- Cálculo del ancho del canal de floculación, ac

$$ac = \frac{A_{CF}}{H_a}$$

Ecuación 50

dónde:

ac : Ancho del canal de floculación (m)

A_{CF} : Área del floculador (m^2); $0,017m^2$

H_a : Altura del agua en la unidad (m); 1,10 m, (ver tabla 17-3, La altura de agua de la unidad o profundidad vamos a tomar el valor de 1,00 m, tipo de material de la pantalla para el floculador es de asbesto-cemento corrugado, es muy utilizado en plantas pequeñas, muy económico, su facilidad de mantenimiento y son muy eficaces; según CEPIS 2000 cuando se construye con este material no debe sobrepasar de 1,20 m de profundidad, son muy utilizados para aguas con pH mayores a 6, el material es el apto para que se dé la floculación, se va a considerar un 10% de factor de seguridad, por cualquier percance que se presente.)

$$ac = \frac{0,017m^2}{1,10 m}$$

$$ac = 0,016m$$

- Cálculo del ancho de las vueltas de floculación, a_d

$$a_d = 1,5 * a_c$$

Ecuación 51

dónde:

a_d : Ancho de las vueltas de floculación (m)

a_c : Ancho del canal de floculación (m); 0,016 m

$$a_d = 1,5 * 0,016 \text{ m}$$

$$\mathbf{a_d = 0,024m}$$

- Cálculo del ancho del floculador con la ecuación, B_{fl} :

$$B_{fl} = 3b_l + a_d$$

Ecuación 52

dónde:

a_d : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,024 m

B_{fl} : ancho del floculador(m)

b_l : Ancho útil de lámina A-C (m); 0,825 m valor tabla 3-19

$$B_{fl} = 3(0,825) + 0,024$$

$$\mathbf{B_{fl} = 2,50m}$$

- Cálculo de la longitud efectiva del canal, L_e :

$$L_e = B_{fl} - d$$

Ecuación 53

dónde:

L_e : Diámetro de la cámara de mezcla (m)

B_{fl}: ancho del floculador(m); 2,50 m

ad: Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,024 m

$$L_e = 2,50 \text{ m} - 0,024 \text{ m}$$

$$L_e = 2,48 \text{ m}$$

- Cálculo de la distancia recorrida por el agua, **D_{rc}**

El tiempo para que suceda la floculación es de 10 a 20 minutos, en el laboratorio utilizamos 10 minutos, tiempo mínimo para que ocurra la floculación.

$$D_{rc} = v * T_r$$

Ecuación 54

dónde:

T_{rf}:Tiempo para que ocurra la floculación, 10 min

v: Velocidad de flujo ($0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

D_{rc}: distancia recorrida por el agua(m);

$$D_{rc} = 0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 10 \text{ min} * 60 \text{ s}$$

$$D_{rc} = 90 \text{ m}$$

- Cálculo del número de canales, **N_{ca}**:

$$N_{ca} = \frac{D_{rc}}{B_{fl}}$$

Ecuación 55

dónde:

N_{ca}: Número de canales; unidades

B_{fl}: ancho del floculador(m); 2,50 m

D_{rc}: distancia recorrida por en el floculador(m); 90 m

$$N_{ca} = \frac{90 \text{ m}}{2,50 \text{ m}}$$

$$N_{ca} = 36 \text{ unidades}$$

- Cálculo de la longitud del floculador, Lf:

$$L_f = N_{ca}(ad + ef)$$

Ecuación 56

dónde:

N_{ca}: Número de canales; 36 unidades

ad: Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,024 m

ef: Espesor del floculador(m); (ver tabla 3-19; 0,006m)

$$L_f = 36 (0,024 + 0,006)$$

$$L_f = 1,08 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del floculador, V_f:

$$V_f = L_f * B_{fl} * H_a$$

Ecuación 57

dónde:

L_f: Longitud del floculador (m); 1,08 m

B_{fl}:Longitud del floculador (m); 2,50 m

H_a: Altura del agua en la unidad (m); 1,10 m

$$V_f = 1,08 \text{ m} * 2,50 \text{ m} * 1,10\text{m}$$

$$V_f = 2,97\text{m}^3$$

- Cálculo de la pérdida de carga de las vueltas del floculador, P_{C1} :

$$P_{C1} = \frac{kv^2(N_{ca} - 1)}{2g}$$

Ecuación 58

dónde:

P_{C1} : Pérdida de carga de las vueltas del floculador (m);

v : Velocidad de flujo ($0,15 \frac{m}{s}$)

N_{ca} : Número de canales; 36 unidades

g : Gravedad; $9,8 \frac{m}{s^2}$

k : Coeficiente de pérdida de carga: (3 adimensional)

$$P_{C1} = \frac{3 * (0,15 \frac{m}{s})^2 (36 - 1)}{2 * (\frac{9,8m}{s^2})}$$

$$P_{C1} = 0,12m$$

- Cálculo del perímetro mojado en la sección del tramo, P_m :

$$P_m = 2H_u + d$$

Ecuación 59

dónde:

P_m : Perímetro mojado de la sección del tramo, m

H_a : Altura del agua en la unidad (m); 1,10 m

ad : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,024 m

$$P_m = 2 * 1,10m + 0,024 m$$

$$P_m = 2,22 m$$

- Radio hidráulico de los canales, R_{H1} :

$$R_{H1} = \frac{A_{CF}}{P_m}$$

Ecuación 60

dónde:

A_{CF} : Área del floculador(m^2); 0,017 m^2

P_m : Perímetro mojado en la sección del tramo; 2,22m

$$R_{H1} = \frac{0,017m^2}{2,22m}$$

$$R_{H1} = 0,008 \text{ m}$$

- Cálculo de pérdida de carga en los canales del tramo, P_{C2} :

$$P_{C2} = \frac{(nv)^2}{R_{H1}^{\frac{4}{3}}} * D_{rc}$$

Ecuación 61

dónde:

R_{H1} : Radio hidráulico de los canales del tramo; 0,008m

P_{C2} : Pérdida de carga en los canales del tramo; (m)

n : Coeficiente de fricción de Manning; 0,03 adimensional (ver tabla 18-3, este valor coeficiente corresponde al material utilizar)

v : Velocidad de flujo; 0,15 $\frac{m}{s}$

D_{rc} : Distancia recorrida por el agua; 90 m

$$P_{C2} = \frac{(0,03 * 0,15 \frac{m}{s})^2}{0,008m^{\frac{4}{3}}} * 90 \text{ m}$$

$$P_{C2} = 1,15 \text{ m}$$

- Cálculo de pérdida de carga total del tramo con la ecuación, P_{CT} :

$$P_{CT} = P_{C2} + P_{C1}$$

Ecuación 62

dónde:

P_{CT} : Pérdida de carga total del tramo (m);

P_{C2} : Pérdida de carga en los canales del tramo(m); 1,15m

P_{C1} : Pérdida de carga de las vueltas; 0,12 m

$$P_{CT} = 1,15m + 0,12m$$

$$P_{CT} = 1,27m$$

- Gradiente de velocidad, G_{ve} :

$$G_{ve} = \sqrt{\frac{\rho_f}{u} * \frac{P_{CT}}{T_r}}$$

Ecuación 63

dónde:

G_{ve} : Gradiente de velocidad, s^{-1}

T_{rf} : Tiempo para que ocurra la floculación; 10 min

P_{CT} : Pérdida de carga total del tramo; 1,27 m

ρ_f : Densidad del fluido a la temperatura de 20°C; ; 998 kg/m^3 (ver tabla 16-3 propiedades físicas del agua)

u : Viscosidad del fluido a la temperatura de 20 °C; $0,9463 \times 10^{-3}$ 998 kg/m^3 (ver tabla 16-3 propiedades físicas del agua)

$$G_{ve} = \sqrt{\frac{998 \frac{kg}{m^3}}{0,9463 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} * \frac{1,27m}{10min * 60s}}$$

$$G_{ve} = 47,20s^{-1}$$

El valor obtenido del gradiente de velocidad se encuentra dentro de la norma AWWA $5 < G < 100$ s⁻¹

- Número de Camp, G_{TC} :

$$G_{TC} = G * T_r$$

Ecuación 64

dónde:

Gv : Gradiente de velocidad; $47,20s^{-1}$

T_{rf}: Tiempo para que ocurra la floculación; 10min

$$G_{TC} = 47,20s^{-1} * 600s$$

$$G_T = 28321$$

El valor obtenido, número de Camp se encuentra dentro de la norma AWWA $30000 < G.T > 15000$

- Cálculo de la dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)

Para la dosificación del PAC, la concentración utilizada en el test de jarras es de 5mg/L, la dosificación se ejecutó por vía húmeda, el cálculo se realizara para un caudal de diseño máximo de 7960 L/día y una turbiedad de inicio de 128 NTU una final de 1,4 NTU.

$$P_2 = \frac{V_2 * P_1}{V_1}$$

Ecuación 65

P₂: Peso PAC requerido en la solución (g)

P₁: Peso PAC inicial (g)

V₁ : Volumen de la solución; (ml)

V₂: Volumen de la solución requerida; (ml)

$$P_2 = \frac{5ml * 5g}{100ml}$$

$$P_2 = 0,25 \text{ g/L}$$

- Cálculo de la cantidad de Policloruro de Aluminio (PAC) por día, X_{PAC}

$$X_{PAC} = Q_{diseño} * Dosis\ PAC$$

Ecuación 66

$$X_{PAC} = \frac{7960\ L}{dia} * \frac{0,25g}{L} * kg/1000g$$

$$X_{PAC} = 1,99\ kg/dia$$

- Cálculo del costo diario de Policloruro de Aluminio (PAC) por día, C_{Pac}

$$C_{Pac} = X_{PAC} * CostoPAC\$$$

Ecuación67

$$C_{Pac} = \frac{1,99kg}{dia} * 0,75ctv$$

$$C_{Pac} = 1,49\ \$/día$$

3.2.3.7 Filtración; dimensionamiento de un filtro lento de arena y grava

Es una operación que se utiliza para remoción de sólidos, turbiedad, material no sedimentable, DBO, DQO, virus, con esto se asegura la calidad del efluente, por lo tanto elimina partículas en suspensión, haciendo pasar el agua a través de un lecho filtrante obteniendo una agua clarificada y de mejor calidad. Los lechos filtrantes pueden ser de materiales porosos o granulares, que por lo general son arena, grava, antracita (Spellman, 2004, p.227).

Al pasar el agua por el lecho de arena y grava ocurre lo siguiente:

- La reducción de bacterias presentes, la alteración de las características del agua; inclusive de las características químicas, la remoción de material en suspensión.

Algunos fenómenos que se producen durante la filtración:

- La sedimentación de partículas sobre granos de arena, la acción mecánica de filtrar, la floculación de partículas que estaban en formación, debido al aumento de la posibilidad que entren en contacto entre ellas (Spellman, 2004, p.228).

Tabla 20-3 Parámetros de diseño de filtros de arena y grava

Parámetros	Valor
Tasa de filtración	<1m ³ /m ² h
Número de Filtros	2 filtros(poblaciones pequeñas) 3 o más (poblaciones grandes)
Profundidad de la grava	0,30m
Profundidad del medio	0,60-1m
Medio	Arena
Drenaje	Tuberías perforadas
Diámetro de los orificios laterales	5 – 15 mm
Velocidad en el orificio	1-2 m/s
Separación entre laterales	1-2m
Espacio entre orificios	7,5-25cm
Longitud de cada lateral	1,5m

Fuente: (Romero Rojas, 2002);

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

- Superficie filtrante requerida, S_F

$$S_F = \frac{Q_{pnt}}{T_f}$$

Ecuación 68

dónde:

Q_{pnt} : Caudal punta; 19,28 m³/h

T_f : Tasa de filtración; 0,900m³/m²h (Según Romero la tasa de filtración para poblaciones menores a 10000 habitantes se debe considerar valores menores a 1 m³/m²h y se eligió en base a distintos ensayos de laboratorio.)

$$S_F = \frac{19,28 \text{ m}^3/\text{h}}{0,900 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}}$$

$$S_F = 21,42\text{m}^2$$

- Área de filtración , A_F

$$A_F = \frac{S_F}{n_f}$$

Ecuación 69

dónde:

S_F : Superficie filtrante requerida; 21,42m²

n_f : Número de filtros deseados; 2 unidades (según Romero, CEPIS; para el cálculo del área de filtración se debe considerar que; para poblaciones con caudales menores 100 m³/h se debe estimar mínimo dos unidades de filtros, mientras para poblaciones muy grandes y con caudales superiores a 100 m³/h se debe estimar mínimo tres filtros.)

$$A_F = \frac{21,42\text{m}^2}{2}$$

$$A_F = 10,71\text{m}^2$$

- Calculo del número de módulos de filtración , m_F

$$m_F = 0,5 * \sqrt[3]{A_F}$$

Ecuación 70

dónde:

A_F : Área filtrante; 10,71m²

$$m_F = 0,5 * \sqrt[3]{10,71\text{m}^2}$$

$$m_F = 1,10\text{m} = 1 \text{ unidad}$$

- Cálculo del área de cada unidad; A_U

$$A_U = \frac{A_F}{m_F}$$

Ecuación 71

dónde:

A_F : Área filtrante; $10,71\text{m}^2$

m_F : Número total de unidades de filtración; 1 unidad

$$A_U = \frac{10,71\text{m}^2}{1}$$

$$A_U = 10,71\text{m}^2$$

- Cálculo de las dimensiones del filtro

Ancho de la unidad; A_{UN}

$$A_{UN} = \left(\frac{(m_F + 1) * A_U}{2 * m_F} \right)^{0,5}$$

Ecuación 72

dónde:

A_U : Área filtrante; $10,71\text{m}^2$

m_F : Número total de unidades de filtración; 1 unidad

$$A_{UN} = \left(\frac{(1 + 1) * 10,71\text{m}^2}{2 * 1} \right)^{0,5}$$

$$A_{UN} = 3,27\text{m} = 3\text{m}$$

$$A_{UN} = 3\text{m}$$

Longitud de la unidad; L_u

$$L_u = \left(\frac{2 * m_F * A_U}{2 * m_F} \right)^{0,5}$$

Ecuación 73

dónde:

A_U : Área filtrante; $10,71m^2$

m_F : Número total de unidades de filtración; 1 unidad

$$L_u = \left(\frac{2 * 1 * 10,71m^2}{2 * 1} \right)^{0,5}$$

$$L_u = 3,27m$$

Longitud total de la pared; L_{pt}

$$L_{pt} = (2 * A_{UN} * m_F) + L_u * ((m_F + 1))$$

Ecuación 74

dónde:

m_F : Número total de unidades de filtración; 1 unidad

A_{UN} : Ancho de la unidad; 3m

L_u : Longitud de filtración; 3,27

$$L_{pt} = (2 * 3 * 1) + 3,27m * (1 + 1)$$

$$L_{pt} = 12,55m$$

Longitud total mínima de la pared; L_{mi}

$$L_{mi} = 2 * L_u * (m_F + 1)$$

Ecuación 75

dónde:

m_F : Número total de unidades de filtración; 1 unidad

L_u : Longitud de filtración; 3,27m

$$L_{mi} = 2 * 3,27m * (1 + 1)$$

$$L_{mi} = 13,09 m$$

Cálculo del diámetro de la tubería a la entrada del filtro; D_{fe}

$$D_{fe} = \sqrt{\frac{4 * Q_{pnt}}{v * \pi}}$$

Ecuación 76

dónde:

Q_{pnt} : Caudal punta; $0,0054 \text{ m}^3/\text{s}$

v : Velocidad en la tubería; $0,15 \text{ m/s}$

$$D_{fe} = \sqrt{\frac{4 * 0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}{0,15 \text{ m/s} * \pi}}$$

$$D_{fe} = 0,21 m$$

$$D_{fe} = 210\text{mm}$$

- **Sistema de Drenaje**

Para la salida de los filtros se utilizara una tubería de 100 mm perforada por dónde se almacenara el agua filtrada.

Cálculo del área de cada orificio; A_{oc}

$$A_{oc} = \frac{\pi * D_o^2}{4}$$

Ecuación 77

Do: Diámetro de los orificio laterales; 8mm (tomando en cuenta los parámetros de diseño, según CEPIS, 2000 y Romero); 0,008 m

$$A_{OC} = \frac{\pi * (0,008m)^2}{4}$$

$$A_{OC} = 5,03 \times 10^{-5} m^2$$

Cálculo del caudal que ingresa a cada orificio; Q_{OC}

$$Q_{OC} = A_{OC} * v_o$$

Ecuación 78

dónde:

A_{OC}: Área de cada orificio; $5,03 \times 10^{-5} m^2$

v_o : Velocidad en el orificio; $1,5 \text{ m/s}$, según CEPIS 2000, para poblaciones pequeñas se debe considerar este valor; mediante ensayos de laboratorio se llegó a obtener esta velocidad media; según el intervalo de 5mm a 15mm del diámetro de los orificios laterales escogido, la velocidad aproximada será de 1 a 2 m/s)

$$Q_{OC} = 5,03 \times 10^{-5} m^2 * 1,5 \text{ m/s}$$

$$Q_{OC} = 7,54 \times 10^{-5} m^3/s$$

Cálculo del número de laterales; N_{lts}

$$N_{lts} = n_l * \frac{L_{pt}}{e_l}$$

Ecuación 79

dónde:

L_{pt}: Longitud total del filtro; 12,55m

e_l : Separación entre laterales; 1m (Según Romero la separación entre laterales es entre 1 y 2m; para plantas pequeñas se escoge el valor mínimo y para plantas grandes el valor superior)

n_l: Número de laterales por lado; 2 (valor asumido)

$$N_{Its} = 2 * \frac{12,55m}{1m}$$

$$N_{Its} = 25$$

Cálculo de la separación entre orificios; N_{ori}/N_{Its}

$$N_{ori}/N_{Its} = 2 * \frac{L_o}{eo}$$

Ecuación 80

dónde:

eo: Espacio entre orificios; 0,0075m, ver tabla 20-3, (Según Romero y Cepis 2000 la separación entre los laterales es de 7,5 – 25 cm se recomienda escoger el dato menor para para plantas pequeñas y el dato mayor para plantas de mayor tamaño)

L_o: ;Longitud de cada lateral; 1,5m

$$N_{ori}/N_{Its} = 2 * \frac{1,5m}{0,075m}$$

$$N_{ori}/N_{Its} = 40$$

Cálculo del número de total de orificios; N_{total} de orificios

$$N_{total} \text{ de orificios} = N_{Its} * N_{ori}/N_{Its}$$

Ecuación 81

dónde:

N_{Its}: Número de laterales; 25

N_{ori}/N_{Its}: Separación entre orificios; 40m

$$N_{total} \text{ de orificios} = 25 * 40$$

$$N_{total} \text{ de orificios} = 1000 \text{ Orificios}$$

Cálculo del área total de orificios; A_{tor}

$$A_{\text{tor}} = A_{\text{OC}} * N_{\text{total de orificios}}$$

Ecuación 82

dónde:

Ntotal de orificios: 500 orificios

A_{OC}: Área de cada orificio; $5,03 \times 10^{-5} \text{m}^2$

$$A_{\text{tor}} = 5,03 \times 10^{-5} \text{m}^2 * 1000$$

$$A_{\text{tor}} = 0,05 \text{m}^2$$

Cumplimiento de los parámetros (0,0015-0,005)

$$\frac{A_{\text{tor}}}{A_{\text{F}}} = \frac{0,05 \text{m}^2}{10,71 \text{m}^2} = 0,0046$$

3.2.3.8 Lecho de Secado; dimensionamiento de un lecho de secado

Los lechos de secado son muy utilizados en poblaciones pequeñas que no sobrepasen los 20,000 habitantes, para lugares más grandes se utilizan otros procesos y dispositivos; por lo general este es el último componente de una planta de tratamiento de agua residual.

Los lechos de secado son sistemas muy sencillos y tienen un bajo costo que nos ayudan con la deshidratación de los lodos digeridos. Su principal función es eliminar el agua por medio de la evaporación de los lodos provenientes del tratamiento realizado, quedándonos como residuo un lodo quebradizo que tiene un aspecto esponjoso con un contenido de humedad menor al 70% y sobre todo tiene una fácil remoción, se lo utiliza como acondicionador de suelos, abonos, entre otras opciones (Valencia, 2013, p.46).



Figura 11-3 Lecho de secado

Fuente: Romero Rojas p.256

- Contribución per cápita de los sólidos suspendidos

Se va a tomar en cuenta la contribución per cápita de los sólidos en suspensión generada por parte de la población, vamos a determinar en base a datos experimentales caracterizados en el laboratorio. Los sólidos suspendidos = 402 mg/L, y El caudal punta es de = 462,66 m³/día

$$402 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1}{7392 \text{ habitantes}} * \frac{462,66 \text{ m}^3}{1 \text{ día}} * \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}$$

$$= 25,16 \text{ g}_{\text{SS}}/\text{habitantes. día}$$

- Cálculo de la carga en fusión a la contribución de lodos por parte de la población, $C_{f_{\text{lodos}}}$:

Se determinó la carga de lodos por medio de la siguiente ecuación

$$C_{f_{\text{lodos}}} = \frac{P_f * C_{ps}}{1000}$$

Ecuación 83

dónde:

P_f: Población futura; 7392 habitantes

C_{f_{lodos}}: Carga de sólidos en suspensión; (Kg_{SS}/día)

C_{ps}: Contribución per cápita; 25,16 g_{SS}/habitantes. día

$$C_{f_{\text{lodos}}} = \frac{7392 \text{ habitantes} * 25,16 \text{ g}_{\text{SS}}/\text{habitantes. día}}{1000}$$

$$C_{f_{\text{lodos}}} = 185,98 \text{ Kg}_{\text{SS}}/\text{día}$$

- Cálculo de la masa de los lodos, X_{lodos} :

$$X_{\text{lodos}} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C_{f_{\text{lodos}}}) + (0,5 * 0,3 * C_{f_{\text{lodos}}})$$

Ecuación 84

dónde:

C_f_{lodos} : Carga de sólidos en suspensión (kg_{SS}/día); 185,98 kg_{SS}/día

X_{lodos}: Masa de sólidos que constituyen los lodos

$$X_{\text{lodos}} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 185,98 \text{ Kg}_{\text{SS}}/\text{día}) + (0,5 * 0,3 * 185,98 \text{ Kg}_{\text{SS}}/\text{día})$$

$$X_{\text{lodos}} = \mathbf{60,44 \text{ Kg}_{\text{SS}}/\text{día}}$$

- Cálculo del volumen diario de lodos digeridos, V_{d_{lodos}}:

Según la OPS/CEPIS/05.163, nos dice que para determinar el volumen diario de lodos digeridos se debe utilizar la densidad de 1,04 kg/L, y los porcentajes de los sólidos se tienen un rango del 8 a 12%, es aconsejable asumir el 12%

$$V_{\text{d}_{\text{lodos}}} = \frac{X_{\text{lodos}}}{\rho_{\text{ld}} \left(\frac{\% \text{sólidos}}{100} \right)}$$

Ecuación 85

dónde:

ρ_{ld}: Densidad del lodo; 1,04kg/L

V_{d_{lodos}}: Volumen diario de lodos digeridos; m³

X_{lodos}: Masa de sólidos que constituyen los lodos; 60,44 kg_{SS}/día

$$V_{\text{d}_{\text{lodos}}} = \frac{60,44 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{día}}{1,04 \text{ kg}/\text{L} * \left(\frac{12}{100} \right)}$$

$$V_{\text{d}_{\text{lodos}}} = \mathbf{484,29 \text{ kg}/\text{L}}$$

- Cálculo del volumen del lodos a extraer del tanque, $V_{T\text{lodos}}$:

Tabla 21-3 Tiempo para la digestión del lodo

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
>25	30
20	40
15	55
10	76
5	110

Fuente: CEPIS/05.163

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

$$V_{T\text{lodos}} = \frac{V_{d\text{lodos}} * t_{dl}}{1000}$$

Ecuación 86

dónde:

$V_{T\text{lodos}}$: Volumen de lodos en el tanque

$V_{d\text{lodos}}$: Volumen diario de lodos digeridos; 484,29 kg/L

t_{dl} : Tiempo de digestión lodos; 40 días (ver tabla 21-3)

$$V_{T\text{lodos}} = \frac{484,9 \text{ kg/L} * 40 \text{ días}}{1000}$$

$$V_{T\text{lodos}} = 19,40 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área del lecho de secado de lodos , AL_S :

Tabla 22-3 Dimensiones para la digestión del lecho de secado

Parámetros (m)	Valores
Ancho para plantas pequeñas	3-6
Ancho para plantas grandes	6-10
Altura	<1

Fuente: CEPIS/05.163

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

$$AL_S = \frac{VT_{\text{lodos}}}{HL_S}$$

Ecuación 87

dónde:

HL_S : Altura del lecho de sacado(m); 0,8 m

VT_{lodos}: Volumen de lodos en el tanque; 19,40 m³

AL_S : Área del lecho de secado; m²

$$AL_S = \frac{19,40\text{m}^3}{0,8\text{m}}$$

$$AL_S = 24,25 \text{ m}^2$$

- Determinación de la longitud de la estructura para el secado, L_{ES}:

$$L_{ES} = \frac{AL_S}{BL_S}$$

Ecuación 88

dónde:

L_{ES}; Longitud del lecho de secado

AL_S : Área del lecho de secado; 24,25 m²

BL_S: Ancho del lecho de secado; 6 m (ver tabla 22-3, se recomienda utilizar el valor más grande para no tener percances, según CEPIS el ancho del lecho de secado debe ser el mayor para que pueda soportar el volumen de los lodos generados sin ningún contratiempo.)

$$L_{ES} = \frac{24,25}{6 \text{ m}}$$

$$L_{ES} = 4,04 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen total del lecho de secado para lodos, V_{totalLS}:

$$V_{\text{totalLS}} = L_{ES} * BL_S * H_s$$

Ecuación 89

dónde:

V_{totalLS} Volumen total lecho de secado; m³

BL_S: Ancho del lecho de secado; 6 m (ver tabla 3-22)

L_{ES}: Longitud del lecho de secado; 4,04 m

HL_S : Altura del lecho de sacado; 0,8 m

$$V_{\text{totalLS}} = 4,04 \text{ m} * 6 \text{ m} * 0,8 \text{ m}$$

$$V_{\text{totalLS}} = 19,39 \text{ m}^3$$

- Cálculo del tiempo de desalojo del lodo, **t_{Dlodos}**:

$$t_{\text{Dlodos}} = \frac{V_{\text{TLs}}}{Q_{\text{punta}}}$$

Ecuación 90

dónde:

Q_{pnt}: Caudal punta; 0,0054 m³/s

t_{Dlodos}: Tiempo de desalojo del lodo; horas

V_{totalLS}: Volumen total lecho de secado; 19,09 m³ m³

$$t_{\text{Dlodos}} = \frac{19,09 \text{ m}^3}{0,0054 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t_{\text{Dlodos}} = 3535,18 \text{ s}$$

$$t_{\text{Dlodos}} = 0,98 \text{ h}$$

3.3 Resultados

a. Población

Tabla 23-3 Resultados de la determinación de la población

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Población Futura	7392	Pf	Habitantes

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

b. Caudal de diseño

Tabla 24-3 Resultados de los caudales

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Caudal de diseño	9,64	Q_{ds}	m ³ /h
Caudal Punta	0,0054	Q_{pnt}	m ³ /s
Caudal mínimo diario	69,40	Q_{mind}	m ³ /día
Caudal medio diario	231,33	Q_m	m ³ /día
Caudal Máximo	346,99	$Q_{máxd}$	m ³ /día
Dotación del agua consumida	55,88	Dac	L/hab.día

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

c. Canal de entrada a la planta

Tabla 25-3 Resultados de para el canal de entrada a la planta de tratamiento

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Altura total del canal	0,42	h_{total}	m
Altura máxima del agua en el canal	0,10	h_{cm}	m
Área transversal del canal	0,0174	A_t	m ²
Velocidad del canal	0,31	v_c	m/s
Radio Hidráulico	0,15	Rh	m
Ancho del canal	0,5	B_c	m

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

d. Sistema de Rejillas (Cribado)

Tabla 26-3 Resultados del dimensionamiento del cribado

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Área libre del paso del agua	0,011	A_l	m ²
Altura del Tirante en el canal	0,022	h_t	m
Altura construcción	0,452	h_{ct}	m
Número de barras	14	N_{barras}	unidades
Longitud de las barras	0,64	L_{ba}	m
Velocidad de flujo	0,30	v	m/s
Ángulo de inclinación	45	θ	°
Perdida de carga en las barras	0,0025	H_b	m
Ancho del canal	0,5	b_c	m
Espesor de las barras	0,010	e_{ba}	m
Separación entre barras	0,025	S_b	m

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

e. Dimensionamiento de un sedimentador

Tabla 27-3 Resultados del sedimentador

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Área superficial	9,64	A_s	m ²
Ancho del sedimentador	2,20	S_a	m
Largo del sedimentador	4,38	L_s	m
Volumen del sedimentador	34,68	V_s	m ³
Diámetro del sedimentador	3,50	d_s	m
Tiempo de retención hidráulica	1,80	t_{iH}	h
Área de sección transversal	7,92	A_{st}	m ²
Velocidad de arrastre	0,00056	A_{ve}	m/s
Remoción del DBO ₅	30,77	R_{dbo5}	%
Remoción de los SST	52,06	R_{sst}	%

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

f. Dimensionamiento de una torre de aireación

Tabla 28-3 Resultados de la torre de aireación

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Área de las bandejas	2,31	A_b	m^2
Tiempo de retención	1,24	t_{re}	s
Longitud de cada bandeja	0,68	L_{cb}	m
Área de cada bandeja	0,46	A_{cb}	m^2
Área de cada orificio	$1,27 \times 10^{-4}$	A_{c_o}	m^2
Caudal que pasa en cada bandeja	0,17	Q_{ba}	L/s
Número de orificios en cada bandeja	32	N_{or}	unidades

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

g. Dimensionamiento del canal Parshall

Tabla 29-1 Resultados del canal Parshall

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Ancho de entrada de la sección convergente	0,20	W_{BC}	m
Velocidad en la sección de medición	0,21	S_v	m/s
Carga hidráulica disponible	0,19	C_D	m
Caudal en la garganta de la canaleta	0,072	Q_{ct}	m^3/sm
Ángulo de inclinación	120,68	θ_{IC}	$^\circ$
Velocidad antes del resalto	1,70	v_{rs}	m/s
Altura del agua antes del resalto	0,04	h_{ag}	m
Número de Froude	2,71	F	-
Altura después del resalto	0,13	h_{ad}	m
Velocidad de resalto del canal	0,55	v_{ca}	m/s
Altura a la salida del canal	0,10	h_{as}	m
Velocidad a la salida del canal	0,30	v_{sc}	m/s
Perdida de carga en el resalto	0,055	P_R	m
Tiempo de mezcla	0,72	t_r	s
Gradiente de velocidad	25,98	G_v	s^{-1}

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

h. Dimensionamiento del floculador Hidráulico de flujo horizontal

Tabla 30-3 Resultados del floculador Hidráulico de flujo horizontal

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Área del canal	0,017	A_{CF}	m^2
Ancho del canal	0,016	ac	m
Ancho de las vueltas de floculación	0,024	ad	m
Ancho del floculador	2,50	B_{fl}	m
Longitud efectiva del canal	2,48	L_e	m
Distancia recorrida por el agua	90	D_{rc}	m
Número de canales	36	N_{ca}	unidades
Longitud del floculador	1,08	L_f	m
Volumen del floculador	2,97	V_f	m^3
Perdida de carga de las vueltas	0,12	P_{C1}	m
Perímetro mojado en la sección del tramo	2,22	P_m	m
Radio Hidráulico de los canales	0,008	R_H	m
Perdida de carga en los canales del tramo	1,15	P_{C2}	m
Pérdida de carga total en el tramo	1,27	P_{CT}	m
Gradiente de velocidad	47,20	G_{ve}	s^{-1}
Número de Camp	28321	G_{TC}	-

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

i. Dimensionamiento del filtro lento de arena y graba

Tabla 31-3 Resultados del dimensionamiento del filtro lento de arena y graba

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Superficie filtrante requerida	21,42	S_F	m^2
Área de filtración	10,71	A_F	m^2
Número de módulos de filtración	1	m_F	unidad
Área de cada unidad	10,71	A_U	m^2
Ancho de la unidad	3	A_{UN}	m
Longitud de la unidad	3,27	L_u	m
Longitud total de la pared	12,55	L_{pt}	m
Diámetro de la tubería de entrada	0,21	D_{fe}	m

Sistema de drenaje			
Área de cada orificio	$5,03 \times 10^{-5}$	A_{OC}	m^2
Caudal que ingresa a cada orificio	$7,54 \times 10^{-5}$	Q_{OC}	m^3/s
Número de laterales	25	N_{Its}	Laterales
Número total de orificios	1000	Ntotal de orificios	Orificios
Separación entre orificios	40	N_{ori}/N_{Its}	-
Área total de orificios	0,05	A_{tor}	m^2

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

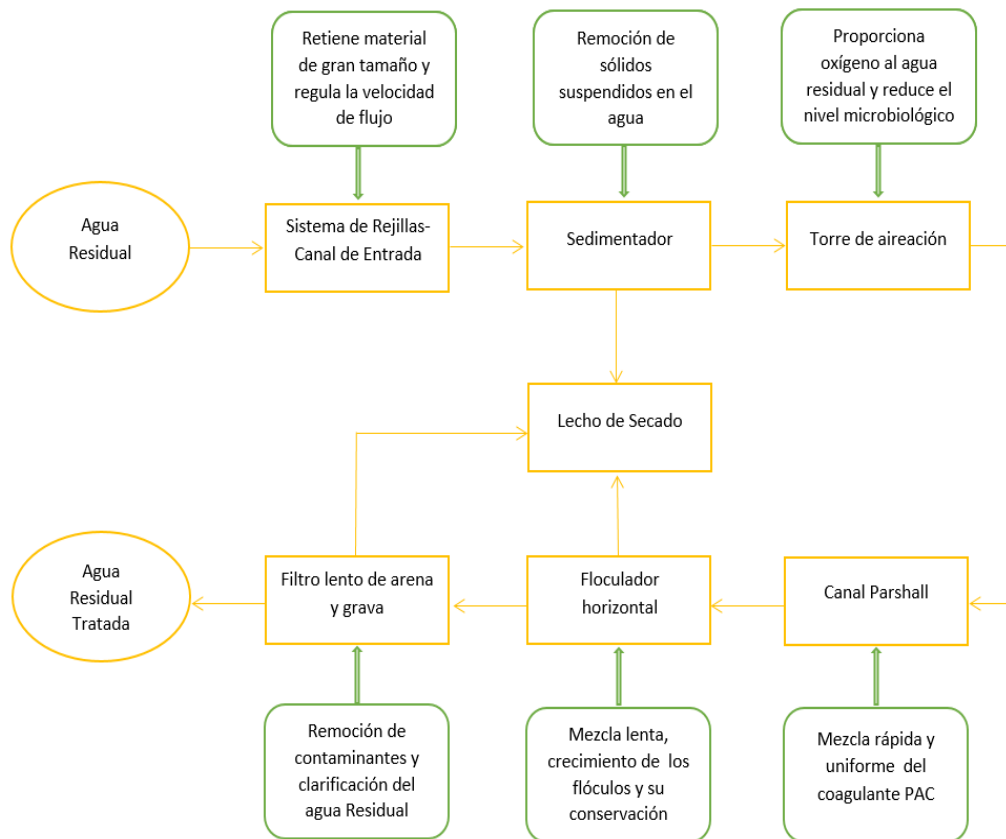
j. Dimensionamiento del lecho de secado

Tabla 32-3 Resultados del dimensionamiento del lecho de secado

Parámetro	Valor	Símbolo	Unidad
Área	24,25	A_{LS}	m^2
Longitud de la estructura	4,04	L_{ES}	m
Volumen total	19,40	V_{Tlodos}	m^3
Tiempo para el desalojo	0,98	td_{lodos}	h
Ancho	6	BL_S	m

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

3.4 Proceso de producción



3.5 Requerimiento de tecnología, maquinaria y equipos

3.5.1 Requerimientos de equipos y materiales para el muestreo, medición del caudal y tratabilidad de las aguas residuales.

Requerimientos de equipos y materiales para el muestreo y medición del caudal de aguas residuales

Tabla 33-3 Equipos y materiales para medición del caudal

Equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Termómetro - Conductímetro - pHmetro - Cronómetro - GPS - Cámara fotográfica
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Esfero - Flexómetro - Guantes - Mandil - Botas de caucho - Balde graduado - Mascarilla - Libreta de apuntes

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Tabla 34-3 Materiales de muestreo

Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Recipientes de vidrio - Recipientes de plástico - Cooler - Guantes - Mascarilla
Fundamento	- Para realizar el muestreo nos basamos en la norma técnica ecuatoriana NTE-INEN 2169:98, Agua. Calidad del muestreo, manejo y conservación de muestras obtenidas.

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Tabla 35-3 Equipos, materiales y reactivos para la tratabilidad

Materiales	Equipos	Reactivos
Recipiente de 15 Lt	Bomba	Agua destilada
Vasos de precipitación	Cronómetro	Poli Cloruro de Aluminio (PAC)
Pizeta	Balanza analítica	
Balones de aforación	Test de jarras	
Pipetas		
Espátula		
Escobilla de cerdas		
Probeta		
Guantes		
Mascarilla		
Mandil		

Fuente: Laboratorio de calidad del agua ESPOCH

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

3.5.2 Equipos y métodos para la caracterización físico – químico y microbiológica del agua residual.

Los materiales y equipos manejados para la caracterización de las muestras del agua residual son:

Tabla 36-3 Equipos y materiales para el análisis físicos

Equipos	Materiales
Turbidímetro	Mandil
Espectrofotómetro (HACH DR 2800)	Pipetas
Conductímetro	Guantes
Balanza analítica	Mascarilla
Potenciómetro	Cronómetro
	Soporte Universal
	Esferográfico
	Buretas
	Kitasato
	Escobilla de cerdas
	Vasos de precipitación
	Libreta

Fuente: Laboratorio de calidad del agua ESPOCH

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Tabla 37-3 Equipos y materiales para el análisis químicos

Equipos	Materiales
Estufa	Pipetas
Espectrofotómetro	Guantes
Balanza analítica	Mascarilla
Fotómetro	Botellas plásticas
Baño María	Gradilla
	Cronómetro
	Soporte Universal
	Vasos de precipitación
	Libreta
	Matraz Erlenmeyer
	Pinza
	Varilla
	Tubos de ensayo
	Pera de succión
	Pipeta volumétrica

Fuente: Laboratorio de calidad del agua ESPOCH

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Tabla 38-3 Equipos y materiales para el análisis microbiológico del agua residual

Equipos	Materiales	Reactivos
Incubadora	Mandil	Agua destilada
Espectrofotómetro	Pipetas	Agua problema
Balanza analítica	Guantes	Solución de cloruro férrico
	Mascarilla	Soluciones de tampón de sulfato
	Botella de incubación	
	Tampones de copa	
	Cápsula magnética	
	Esferográfico	
	Libreta	
	Termómetro	
	Tubos de digestión	
	Pera de succión	
	Pipeta volumétrica	
	Viales con reactivos	

Fuente: Laboratorio de calidad del agua ESPOCH

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

Los parámetros y métodos manejados para la caracterización de las muestras del agua residual son:

Tabla 39-3 Parámetros, método y unidades para la caracterización física – química y microbiológico del agua residual

Parámetro	Método	Unidad
Conductividad	2510-B	μS/cm
pH	4500-B	----
Sólidos suspendidos	2540-B	mg/L
Sólidos totales	2540-B	mg/L
Turbiedad	2130-B	UNT
Nitritos	4500 NO ₂ -B	mg/L
Nitratos	4500 NO ₃ -E	mg/L
N-Amoniacal	4500 NO ₃ C	mg/L
Sulfatos	4500 SO ₄ -E	mg/L
Cromo IV	8023 HACH	mg/L
DBO ₅	5210-B	mg/L
DQO	5220-C	mg/L
Coliformes Fecales	5520-B	mg/L

Fuente: Laboratorio de calidad del agua ESPOCH

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

3.6 Análisis Costo/beneficio del proyecto

Tabla 40-3 Costos de obras preliminares para la planta de tratamiento de aguas residuales

No	Detalles/Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario(\$)	Valor Total(\$)
1	Limpieza y desbroce	m ²	440	0,90	396,00
2	Replanteo y nivelación	m ²	440	1,80	792,00
3	Replanteo y nivelación	m ²	440	1,75	770,00
4	Excavación con maquinaria mayor a 2m	m ³	290	3,75	1087,5
5	Desalojo de material	m ³	290	2,50	725,00
				Subtotal	3770,50

Realizado por: Ing Civil. Diego Trujillo

Tabla 41-3 Costo civil para el sistema de tratamiento de aguas residuales

No	Detalles/Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total(\$)
REJILLAS					
1	Rejillas, e=10mm, con pintura anticorrosiva	U	13	19,00	247,00
2	Marco de hierro	U	4	7,50	30,00
				Subtotal	277,00
CANAL DE ENTRADA					
1	Encofrado Recto	m ²	2,75	12,00	33,00
2	Replanteo de H.S. 160kg/cm ²	m ³	1	98,50	98,50
3	Hormigón Simple Fc=210Kg/cm ²	m ³	1	118,00	118,00
4	Compuerta de volante de acero inoxidable	u	1	195,00	195,00
5	Malla electrosoldada 5mm 15x15cm	m ²	2	7,50	15,00
				Subtotal	459,50
SEDIMENTADOR					
1	Tanque sedimentador	m ²	9,64	145,00	1397,80
2	Codo 90° PVC D=150 mm presión	u	3	14,00	42,00
3	Codo 45° PVC D=150 mm presión	u	2	6,00	12,00

4	Empedrado en contrapiso e=15cm (piedra de mina)	m ²	1	1,50	1,50
5	Hormigón simple f'c=210 kg/cm ² (Encofrado) e=10cm	m ³	1	118,00	118,00
6	Tubos de acero para corredor de inspección	m	3	12,00	36,00
7	Válvulas de Compuerta de acero Inoxidable de 110 mm	u	2	125,00	250,00
				Subtotal	1857,30
TORRE DE AIREACIÓN					
1	Barras de soporte de acero inoxidable	u	4	105,00	420,00
2	Bandejas de acero Inoxidable	u	5	220,00	1100,00
3	Hormigón simple Fc= 210kg/cm ² y encofrado	m ²	2	112,00	224,00
4	Válvula de compuerta de acero inoxidable para 110mm	u	2	135,00	270,00
5	Tubería PVC y codo de 90° de 110mm	u	2	12,00	24,00
				Subtotal	2038,00
CANAL PARSHALL					
1	Replanteo H.S 160 Kg/cm ²	m ²	0.75	98,50	73,88
2	Enlucido con impermeabilizante	m ²	5	15,00	75,00
3	Hormigón simple Fc= 210kg/cm ²	m ²	1.15	118,00	135,70
4	Encofrado con madera	m ²	10	9,00	90,00
5	Malla electro soldada de 10x10x6mm	m ²	22	7,50	165,00
				Subtotal	539,58
FLOCULADOR					
1	Replanteo H.S 160 Kg/cm ²	m ²	0.30	98,50	29,55
2	Asbesto de cemento corrugado	u	21	45,00	945,00
3	Hormigón simple Fc= 210kg/cm ²	m ²	3,00	120,00	360,00
4	Acero de refuerzo Fy= 4200Kg/cm ²	kg	310	1,65	511,50
5	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m ²	9.50	2,50	19,00
				Subtotal	1869,80
FILTRO					
1	Replanteo H.S 180 Kg/cm ²	m ²	5	94,50	472,5

2	Hormigón simple $f_c=210\text{kg/cm}^2$ encofrado	m^3	34,9	156,00	5444,4
3	Grava media	m^3	6,54	48,50	317,19
4	Arena 0.3mm	m^3	9.50	45,00	427,5
5	Compuerta de volante de acero inoxidable	u	2	130,00	260,00
6	Malla electrosoldada 5mm 15x15	m^2	6	7,50	45,00
7	Tubería de PVC D=60 mm	m	4	8,00	36,00
8	Codo de PVC D=60 mm x 90°	u	4	5,75	23,00
				Subtotal	7025,59
LECHO DE SECADO					
1	Hormigón simple $F_c=210\text{kg/cm}^2$ encofrado	m^3	5,25	156,00	819,00
2	Replanteo H.S 180 Kg/cm^2	m^3	0,9	94,50	85,05
3	Tubería de PVC D=90 mm	m	24	5,00	120,00
4	Codo de PVC D=90 mm x 90°	u	8	4,30	34,40
5	Malla electrosoldada 5mm 15x15cm	u	9	7,50	67,50
6	Compuerta, de metal con tornillo s/fin de 1" y volante Hf	u	2	150	300,00
7	Arena 30mm	m^3	1,5	40	60,00
8	Pintura blanca para exteriores	m^2	22,5	8,00	180,00
10	Hormigón simple $F_c=210\text{kg/cm}^2$ encofrado	m^3	5,25	156,00	819,00
				Subtotal	1665,95

Realizado por: Ing Civil. Diego Trujillo

Tabla 42-3 Costos de mano de obra

No	Detalles/Descripción	Tiempo de construcción (meses)	Cantidad (personas)	Valor Unitario (por mes)	Valor Total (\$)
1	Operador de maquinaria pesada	3	1	450,00	1350,00
2	Ayudante de maquinaria	3	1	390,00	1170,00
3	Encargado de la obra	3	1	850,00	2550,00
4	Albañiles	3	6	400,00	7200,00
5	Chofer	3	2	375,00	2250,00
				Subtotal	14520,00

Realizado por: Ing Civil. Diego Tujillo, 2018

Tabla 43-3 Costos para la dosificación

Detalles/Descripción	Dosificación(kg/día)	Presentación 1 kg (\$)	Costo diario(\$)	Costo mensual(\$)	Costo anual(\$)
Policloruro de aluminio PAC	1,99	0,75	1,49	44,70	543,85
Detalles/Descripción	Dosificación(Lt/día)	Presentación 1 Lt (\$)	Costo diario(\$)	Costo mensual(\$)	Costo anual(\$)
Poli electrolito	3,98	2,70	10,75	322,50	3870,00

Realizado por: Ing Civil. Diego Tujillo, 2018

Tabla 44-3 Costo total de la obra

Detalles/Descripción	Costo(\$)
Terreno	4400,00
Costos de obras preliminares	3770,5
Rejillas	277,00
Canal	459,50
Sedimentador	1857,30
Torre de aireación	2038,00
Canal Parshall	539,58
Floculador	1869,80
Filtro	7025,59
Lecho de Secado	1665,95
Mano de obra	14520,00
Herramienta pequeñas	3000,00
Imprevistos	5763,48
Costo	44186,68
IVA (12%)	5302,40
Costo Total	49489,08

Realizado por: Ing Civil. Diego Tujillo, 2018

3.6.1 Evaluación Económica

El indicador denominado aporte, sirve para conocer como el proyecto aporta al erario nacional, a la riqueza nacional, o al sector en términos porcentuales.

- Aporte del proyecto en la relación con el presupuesto 2018 del Municipio del Cantón Guano**

$$\text{Aporte} = \text{Aporte} = \text{Valor del proyecto} * 100 / \text{Presupuesto}_{2018}$$

$$\text{Aporte} = 49489,08 * 100 / 11213116,17$$

$$\text{Aporte} = 0,44\%$$

- **Aporte del proyecto en relación al presupuesto del Municipio del Cantón Guano para agua y alcantarillado.**

$$\text{Aporte} = \text{Valor del proyecto} * 100 / \text{Presupuesto}_{2018}$$

$$\text{Aporte} = 49489,08 * 100 / 1230532,12$$

$$\text{Aporte} = 4,02\%$$

El aporte del proyecto a la actividad económica del país es muy bajo, este se sustenta de mejor manera en la evaluación social, que conlleva un análisis multidimensional, asociando beneficios productivos, a la salud humana, y al entorno.

3.6.2 Evaluación Social

La evaluación social básicamente consiste en realizar la comparación de la situación actual sin proyecto y un escenario con proyecto. Para la realización de este estudio se deben analizar los precios sin distorsiones de todos los insumos utilizados, costo de la mano de obra.

- Actividades económicas de la Parroquia San Isidro

Las principales actividades de fuentes de ingresos familiares son agrícolas y pecuarias representadas por el 89,26% (GAD-Parroquial San Isidro, 2012-2021)

Tabla 45-3 Fuentes principales de ingresos económicos de la parroquia San Isidro

Fuente de ingresos familiares	Número	Porcentaje
Actividad agrícola	1978	65,37%
Actividad pecuaria	723	23,89%
Actividades de construcción	121	4,00%
Actividades relacionadas con el comercio	61	2,02%
Actividades artesanales	58	1,92%
Empleados en el sector público	54	1,78%
Empleados en el sector privado	31	1,02%
TOTAL	3026	100%

Fuente: Consultora CEGESPU (2011)

Realizado por: Brayan Pazmiño

- Producción agrícola

En el 49,22% de los casos investigados es el Productor Agrícola quien principalmente aplica agroquímicos en sus cultivos y apenas el 3,91% lo realizan con personal capacitado para esta labor.

En la media Nacional, el 82,66% de este segmento poblacional dedicado a la agricultura, no han sido capacitadas sobre el uso y manejo de agroquímicos

Tabla 46-3 Uso de superficie agropecuria

Uso	Ha	%
Pastos cultivados	2332698,09	47,88%
Cultivos permanentes	1495148,56	30,69%
Cultivos transitorios	1044203,24	21,43%
TOTAL	4872049,89	100,00%

Fuente: (INEC, 2016)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2018

El área total es de 7846,22 hectáreas, de las cuales la zona de producción corresponde a 4078,881 hectáreas, el pasto cultivado 159,22 hectáreas; y el pasto natural con cultivos de ciclo corto 385,465 hectáreas (GAD-Parroquial San Isidro, 2012-2021).

- **Alteraciones que impactan al recurso hídrico**

Según la matriz de valoración cualitativa de las actividades que impactan al recurso agua elaborado por la consultora CEGESPU en el año 2012; como consta en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia San isidro, se describen a continuación:

Posible afectación de las propiedades químicas del agua (DBO₅): se ha observado la presencia de basuras domésticas (restos de cocina, estiércol de animales, etc.) y residuos orgánicos (fundas, envases plásticos, papel, envases de vidrio; y etc.).

Posible afectación de las propiedades físicas del agua (Turbidez): El pastoreo cercano a las cuencas hídricas provoca la presencia de coliformes fecales y sólidos suspendidos.

- **Afectaciones en la Salud de la población**

El consumo de agua, ya sea de manera directa o a través de la ingestión de alimentos por la bioacumulación en los productos regados con este líquido, representan la posible adquisición de enfermedades hídricas como: la gastroenteritis infecciosa, amibiasis, parasitosis intestinal, hepatitis viral, salmonelosis, tifoidea, conjuntivitis, paratifoidea; e inclusive padecimientos de la piel como la piodermis. (CEPEP, 2014)

Identificación, cuantificación y valoración de beneficios y costos

Tabla 47-3 Usos de la superficie Agropecuaria Nacional

Usos	Ha	%
Pastos cultivados	2332698,09	47,88%
Cultivos permanentes	1495148,56	30,69%
Cultivos transitorios	1044203,24	21,43%
TOTAL	4872049,89	100,00%

Fuente: (INEC, 2016)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2018

Tabla 48-3 Usos de la Superficie productiva de San Isidro

Usos productivos	Ha
Producción de cultivos	4464,346
Pastos	159,22
Superficie Total	7846,22

Fuente: (GAD-Parroquial San Isidro, 2012-2021)

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2018

Comparación de escenarios de producción agrícola.

Tabla 49-3 Resumen de la producción agrícola sin proyecto, en el área de influencia

Cultivo	%	Superficie (Ha)	Rendimiento (TM/Ha)	Producción TM	Producción Ha	Valor de la Producción (USD)	Costo de producción (USD/Ha)	Costo de producción (USD)	Ingreso neto (USD)
Papas	36,76	1641,09	8,31	13637,49	1641,09	8864367	4285,89	7033546,6	1830820,4
Maíz	29,33	1309,39	1,21	1584,37	1309,39	1394241	1026,00	1343436,8	50804,44
Fréjol tierno	11,02	491,97	1,45	713,36	491,97	656289,2	1331,42	655019,93	1269,28
Haba tierna	8,09	361,17	0,59	213,09	361,17	112936,4	310,93	112297,22	639,26
Hortalizas	14,80	660,72	0,31	204,82	660,72	98315,61	146,89	97053,63	1261,98
TOTAL	100,0	4464,3							1884795,3

Realizado por: Ing. Alex Gavilanes, 2018

Escenario de la producción agrícola con la implementación del proyecto.

Al incrementarse la calidad del agua, se mejora la posibilidad de cultivar hortalizas, que, a su vez, presentan una mejora en la productividad y por ende son más rentables que los cultivos forrajeros. Para ello se debe incluir el supuesto del incremento en un 10% anual de la superficie, en cuanto al cultivo de hortalizas; mientras que el resto permanece con su cultivo tradicional. Esto supone una mejora en cuanto a las condiciones bacteriológicas del agua de riego, incrementando la rentabilidad en el sector de hortalizas y el cambio directo en el rendimiento de los cultivos tradicionales en un 2%, debido al cumplimiento de la normativa vigente para agua de riego, que incentivará el cultivo de estos productos en la población.

Tabla 50-3 Resumen de la producción agrícola con proyecto, en el área de influencia

Cultivo	%	Superficie (Ha)	Rendimiento (TM/Ha)	Producción TM	Producción Ha	Valor de la Producción (USD)	Costo de producción (USD/Ha)	Costo de producción (USD)	Ingreso neto (USD)
Papas	36,76	1641,09	8,48	13910,24	1641,09	9041654,36	4285,89	7033546,60	2008107,76
Maiz	29,33	1309,39	1,23	1616,05	1309,39	1422126,15	1026,00	1343436,89	78689,26
Fréjol tierno	11,02	491,97	1,48	727,63	491,97	669415,00	1331,42	655019,93	14395,07
Haba tierna	8,09	361,17	0,60	217,35	361,17	115195,21	310,93	112297,22	2897,99
Hortalizas	14,80	662,20	0,31	205,28	662,20	98535,84	146,89	97271,03	1264,81
TOTAL	100,0	4465,83							2105354,89

Realizado por: Ing. Alex Gavilanes

El beneficio de productividad agrícola se obtiene de la diferencia de los ingresos netos con proyecto en el área de influencia menos los ingresos netos sin proyecto u actuales.

$$\text{Beneficio de productividad} = 2105354,89 - 1884795,38$$

$$\text{Beneficio de productividad} = 220559,51$$

Comparación de escenarios de beneficios de la salud.

Las principales enfermedades asociadas a la población en contacto con las aguas residuales, según el Ministerio de Salud Pública (MSP, 2018):

Tabla 51-3 Estimación de casos anuales y costos de enfermedades asociadas, sin proyecto

Enfermedad	Población año 2017	Tasa de enfermedad (%)	No. Casos Anuales	Costo Unitario tratamiento (USD)	Costo total (USD)
Enfermedades diarreicas	7392	4,369	322,96	15	4844,35
Tifoidea y Paratifoidea	7392	1,6	118,27	40	4730,88
Shigelosis	7392	12,84	949,13	30	28473,98
Amebiasis	7392	59,4	4390,85	25	109771,20
TOTAL					147820,41

Fuente: Ministerio de salud Pública, 2017

Al considerar la viabilidad de implementación del proyecto, la reducción de casos de enfermedades asociadas al consumo de agua y alimentos en al menos un 50%, se presenta el escenario de estimación de casos anuales y costos de enfermedades asociadas, con el funcionamiento del proyecto (Shigelosis y Amebiasis).

Tabla 52-3 Estimación de casos anuales y costos de enfermedades asociadas, con proyecto

Enfermedad	Población Proyectada año 2017	Tasa de enfermedad (%)	No. Casos Anuales	Costo Unitario promedio de tratamiento (USD)	Costo total (USD)
Enfermedades diarreicas	7392	4,369	322,96	15	4844,35
Tifoidea y Paratifoidea	7392	1,6	118,27	40	4730,88
Shigelosis	7392	6,42	474,57	30	14236,99
Amebiasis	7392	29,7	2195,42	25	54885,60
TOTAL					78697,82

Fuente: Ministerio de salud Pública, 2017

Realizado por: Ing. Alex Gavilanes, 2018

El beneficio de la salud se obtiene de la diferencia del costo total de las enfermedades asociadas sin proyecto en relación a la reducción de las mismas con proyecto.

$$\text{Beneficio de salud} = 147820,41 - 78697,82$$

$$\text{Beneficio de salud} = 69122,59$$

Costo de la planta de tratamiento

Costo Total: 49489,08

Tabla 53-3 Efecto neto del proyecto

Implementación del proyecto	USD
Valor actual del beneficio de productividad	220559,51
Valor actual del beneficio de salud	69122,59
Costo actual de la planta de tratamiento	(49489,08)
Efecto Neto	240193,02

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2018

Socialmente el proyecto es rentable y factible, el efecto neto del proyecto muestra un valor positivo, lo que, asociado a beneficios intangibles, externalidades positivas en la disminución de contaminantes será de gran ayuda para la Parroquia.

3.6.3 Porcentaje de remoción final

Tabla 54-3 Porcentajes de remoción obtenidos

Parámetro	Valor Inicial	Valor final	% de remoción mínimo esperado	% remoción obtenido	Unidad
TURBIEDAD	128	1,5	96,09	98,83	FTU-NTU
COLOR	1230	1,4	99,59	99,89	UTC-Co
pH	8,14	7,69	6,63	6,76	----
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	858	36	76,69	95,80	mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DEL OXIGENO (DBO ₅)	326	12	69,33	96,32	mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	402	7	32,34	98,26	mg/L
COLIFORMES DECALES	10600	<2	81,13	99,00	UFC/100mL

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

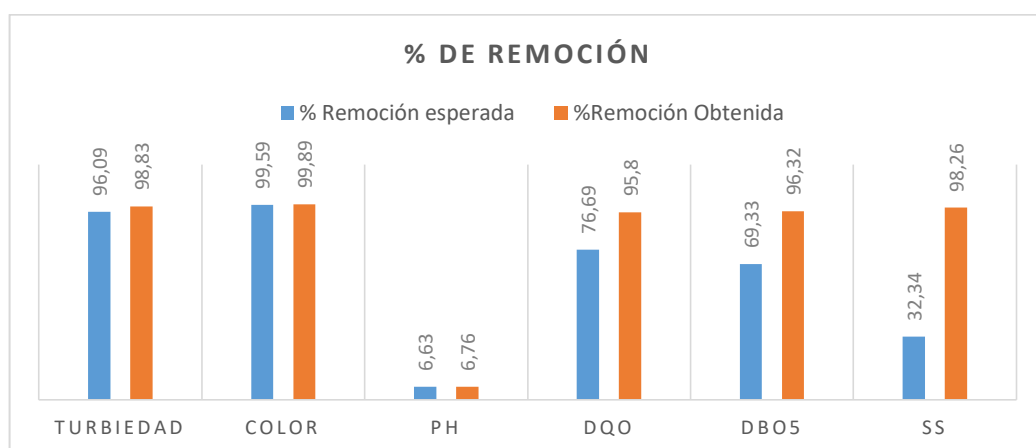


Gráfico 1-3 Porcentajes de remoción

Realizado por: Brayan Pazmiño

Tabla 55-3 Porcentaje de remoción, color

Valor inicial del agua residual (UTC)	Valor final del agua tratada (UTC)	Limite permisible (UTC)	Remoción
1230	1,4	-----	99,89

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

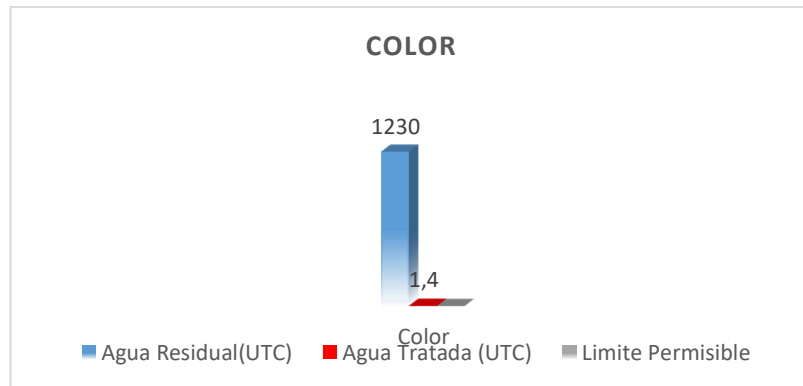


Gráfico 2-3 Porcentajes de remoción del color
Realizado por: Brayan Pazmiño

Tabla 56-3 Porcentaje de remoción, turbiedad

Valor inicial del agua residual (NTU)	Valor final del agua tratada (NTU)	Limite permisible (NTU)	Remoción %
128	1,5	-----	98,83

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

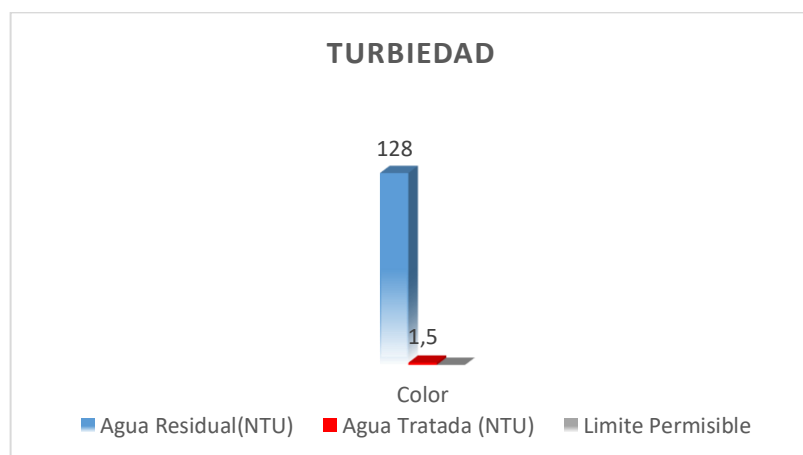


Gráfico 3-3 Porcentajes de remoción de la turbiedad
Realizado por: Brayan Pazmiño

Tabla 57-3 Porcentaje de remoción, pH

Valor inicial del agua residual	Valor final del agua tratada	Limite permisible	Remoción %
8,32	7,59	6-9	6,76

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

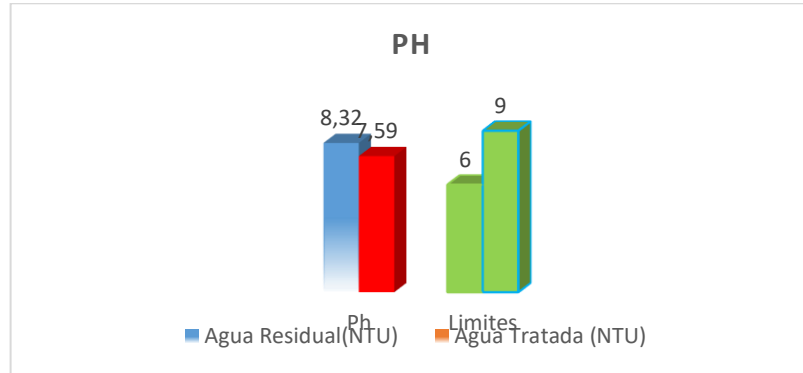


Gráfico 4-3 Porcentajes de remoción del pH

Realizado por: Brayan Pazmiño

Tabla 58-3 Porcentaje de remoción, DQO

Valor inicial del agua residual	Valor final del agua tratada	Limite permisible	Remoción %
858	36	200	95,80

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

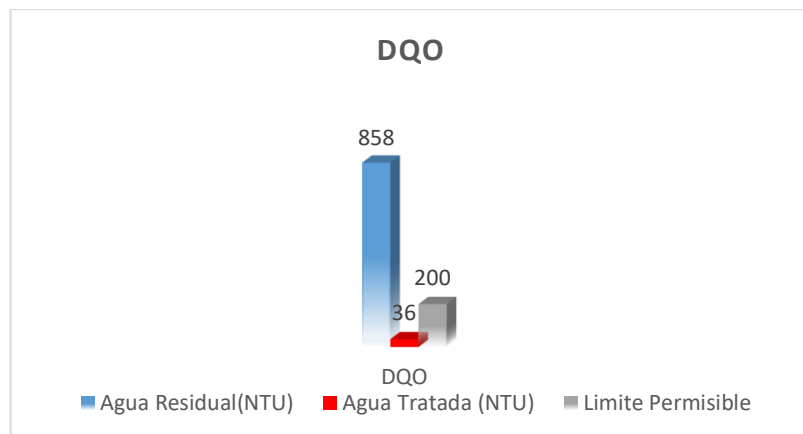


Gráfico 5-3 Porcentajes de remoción del DQO

Realizado por: Brayan Pazmiño

Tabla 59-3 Porcentaje de remoción, DBO₅

Valor inicial del agua residual (mg/L)	Valor final del agua tratada (mg/L)	Limite permisible (mg/L)	Remoción %
326	12	100	96,32

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

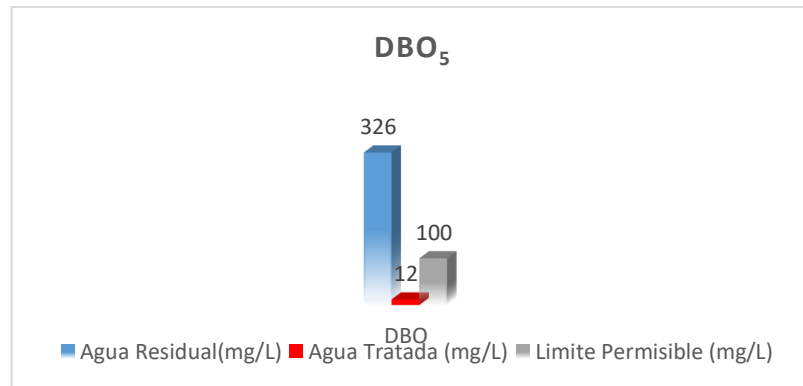


Gráfico 6-3 Porcentajes de remoción del DBO₅
Realizado por: Brayan Pazmiño

Tabla 60-3 Porcentaje de remoción, Sólidos suspendidos totales

Valor inicial del agua residual (mg/L)	Valor final del agua tratada (mg/L)	Limite permisible (mg/L)	Remoción %
402	7	130	98,26

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

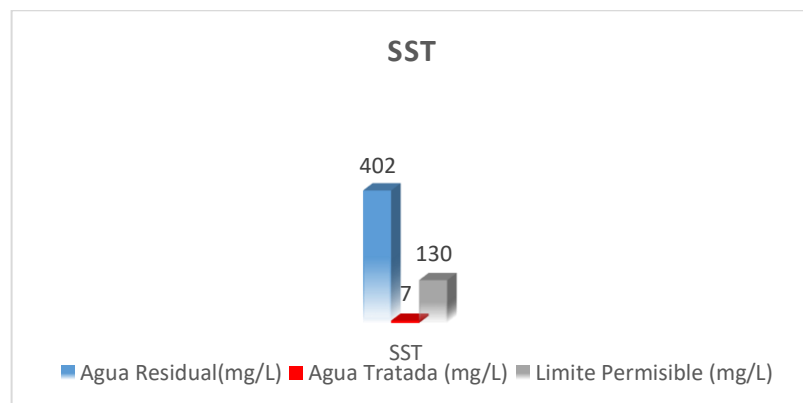


Gráfico 7-3 Porcentajes de remoción de los SST
Realizado por: Brayan Pazmiño

Tabla 61-3 Porcentaje de remoción, Coliformes Fecales

Valor inicial del agua residual (mg/L)	Valor final del agua tratada (mg/L)	Limite permisible (mg/L)	Remoción %
10600	<2	2000	99,00

Realizado por: Brayan Pazmiño, 2017

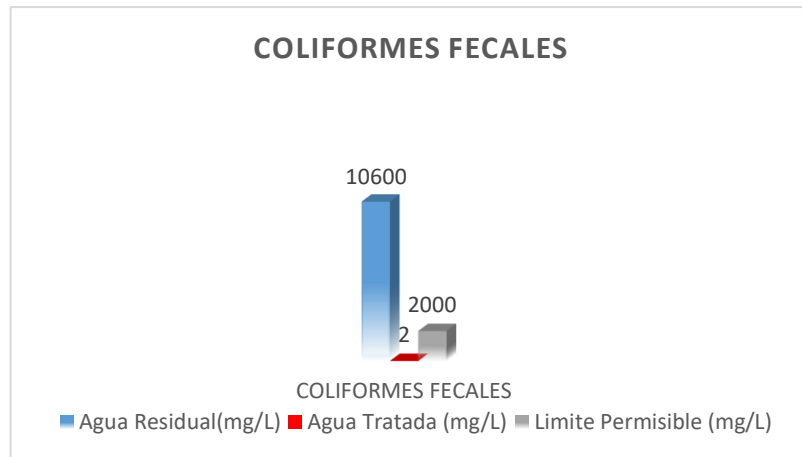


Gráfico 8-3 Porcentajes de remoción de coliformes fecales
Realizado por: Brayan Pazmiño

3.6.4 Análisis.

El agua residual generada en la parroquia de San Isidro se descarga directamente al río Guano a través del alcantarillado, siendo un problema muy grande para el ambiente, cuerpos hídricos y todos los seres vivos que habitan en el entorno de este lugar, por el alto contenido de contaminantes presentes, situaciones que deben ser tomadas en cuenta y resueltas en procura de mejorar la calidad de vida.

Mediante la medición de caudales del agua residual, cuyos valores están tabulados en la tabla 1-1 y tabla 2-1 que se realizó por el método volumétrico, las aforaciones de los caudales se los llevó a cabo de lunes a domingo, a distintas horas del día donde apreciamos que los horarios con mayor caudal son a las 7:00, 13:00 y 18:00 con 4,80 L/s siendo el mayor aforo y 3,50 L/s el menor, con todas las tabulaciones obtuvimos un caudal promedio de 4,39 L/s.

Para realizar el monitoreo se tomaron en cuenta los días con mayor actividad que fueron de jueves a domingo, donde se tomaron las muestras para realizar los diferentes análisis, con la caracterización físico-químico y microbiológico del agua residual se determinó la turbiedad, color, conductividad, pH, sólidos suspendidos, sólidos totales, DBO₅, DQO nitrógeno amoniacal,

nitratos, nitritos, sulfato, coliformes fecales, coliformes totales que están detallados en la tabla 5-1; con esto verificamos los parámetros que están fuera del límite, basados en el “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.” La caracterización del agua se realizó mediante técnicas de laboratorio especificadas para cada parámetro con equipos como: digestores, espectrofotómetro, potenciómetro, test de jarras y los diferentes materiales y reactivos. Los resultados nos indican los valores siguientes: sólidos suspendidos 402 mg/L y el límite es 130 mg/L, el DQO con 858 mg/L y el límite es 200 mg/L, el DBO₅ con 326 mg/L y el límite es 100 mg/L, los coliformes fecales con 10600 UFC/1000mL y el límite es 2000 UFC/1000ml, por lo que se encuentran fuera de la norma; es importante tomar en cuenta el color, la turbiedad y la conductividad que actúan como indicadores para observar la disminución de los contaminantes.

La tratabilidad de los parámetros fuera de la norma se realizó procesos físico-químicos y microbiológicos que se efectuó a nivel de laboratorio, la muestra recogida se la deja en reposo durante algunas horas para que las partículas de mayor tamaño sedimenten, el agua residual se le somete a una aireación con un recipiente plástico y una bomba de aire que simula el proceso de micro burbujas, para que el agua tenga más al contacto con el aire, por lo que se altera y disminuye las concentraciones elevadas de los contaminantes, el DQO se redujo a 418 mg/L, el DBO₅ a 198 mg/L, los sólidos suspendidos a 194 mg/L, los coliformes fecales a 5400 UFC/1000ml, el color de 1230 a 172 UTC-co, la conductividad de 950 a 564 μ /cm, la turbiedad de 128 a 30 NTU y el pH de 8.32 a 8.14 como se observa en la tabla 12-1.

Se realizó la prueba de jarras utilizando seis muestras para cada coagulante, se trabajó con sulfato de aluminio, poli cloruro de aluminio y cloruro férrico, cada uno de estos coagulantes se probó con diferentes concentraciones como observamos en la tabla 9-1, tabla 10-1 y tabla 11-1, con cada coagulante se le añadió 0.5mL de poli electrolito al 5% que proporcionará un mejor proceso de coagulación y floculación, el coagulante con mejor resultado fue el Policloruro de aluminio PAC con una concentración al 5%, la dosificación más efectiva fue la de 5ml de PAC más 0.5ml de poli electrolito en 1000mL de muestra, teniendo esta la más alta remoción expresada en la tabla 10-1. La cantidad de PAC diario será 1,99 kg y de poli electrolito diario de 3,98 Lt.

Con los resultados logrados se pudo obtener los porcentajes de remoción de los diferentes parámetros encontrados fuera de los límites permitidos; los valores y porcentajes conseguidos son: sólidos suspendidos 7 mg/L y una remoción de 98,26%, DQO con 36 mg/L y una remoción

de 95,80%, para el DBO₅ con 12 mg/L y una remoción de 96,32%, coliformes fecales con un valor <2 y un porcentaje de remoción del 99%, para el color con 1.4 UTC-Co con una remoción de 99,89%, el pH con 7,59 con una remoción de 6,76 % y la turbiedad con 1,5 y una remoción de 98,93%.

Según el “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.”, todo vertido de efluentes producto de las actividades domésticas debe ser tratado previo a la descarga. El Sistema de Tratamiento de aguas residuales diseñado para la Parroquia San Isidro para su implementación de infraestructura tendrá un valor de 49 489,08 \$ y 12,24\$ en productos químicos diariamente.

3.7 Cronograma del Proyecto

ACTIVIDAD	TIEMPO																											
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Caracterización del agua residual		■	■	■		■	■	■																				
Identificación de las variables de diseño para una PTAR					■	■	■	■																				
Análisis de resultados									■	■	■	■																
Efectuar los cálculos de ingeniería									■	■	■	■	■	■	■	■												
Validar el diseño propuesto													■	■	■	■												
Pruebas de tratabilidad																	■	■	■	■								
Determinación de la factibilidad técnica y económica del proyecto																					■	■	■	■				
Elaboración de borradores													■	■	■	■	■	■	■	■								
Corrección de borradores																					■	■	■	■				
Redacción del trabajo final													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Empastado y presentación del trabajo final																									■	■	■	■
Auditoría Académica																											■	■
Defensa del trabajo																												■

CONCLUSIONES

- Se ejecutó la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual, los parámetros caracterizados son el color, turbiedad, conductividad, sólidos suspendidos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sulfatos, nitritos, nitratos, sólidos suspendidos, sólidos totales y coliformes fecales, se encuentran detallados en la tabla 1-5, basados en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso al agua, del “ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9, Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.”
- Se identificó los parámetros que se encuentran fuera de norma mediante la caracterización físico-química y microbiológica y estos son: sólidos suspendidos (402 mg/L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (858mg/L), Demanda Química de Oxígeno (326mg/L) y los coliformes fecales (10 600 NTU/100mL) y las variables para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales fueron: el caudal punta (5,35 L/s), la población actual (5794 habitantes), tasa de crecimiento (1.01%), dotación de agua consumida (55,88 L/hab.día).
- Se realizaron las pruebas de tratabilidad, los procesos ejecutados fueron la sedimentación, la aireación, el test de jarras y finalmente la filtración, se validó el diseño realizando una caracterización final donde se comprobó que todos los parámetros cumplen con la normativa, sólidos suspendidos (7 mg/L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (36 mg/L), Demanda Química de Oxígeno (12 mg/L) y los coliformes fecales (2 NTU/100mL)
- Los cálculos de ingeniería se realizaron según criterios de diseño y están en función de las variables de diseño que a través de las pruebas de tratabilidad y la validación de resultados se logró establecer los distintos procesos: canal de entrada (ancho del canal 0,5 m, altura del canal 0,42 m) , sistema de rejillas (14 unidades, longitud de las barras 0,68 m y ángulo de inclinación 45°), sedimentador (volumen 34,68 m³, diámetro 3,50 m), la torre de aireación(Longitud de la bandeja 0,68, área de la bandeja 2,31 m² y número de orificios 32 unidades), canal Parshall (ancho de la sección convergente 0,20 m, ángulo de inclinación $120,68^\circ$ altura después del resalto 0,13m y altura de salida 0,10m), floculador (ancho del floculador 2,50 m número de canales 36 unidades, longitud 1,08m ancho del canal 0,016m), filtro lento de arena grava (área 10,71 m², ancho 3m, longitud 3,27) y el lecho de secado (ancho 6 m y volumen total 19,40 m³).

- Este proyecto está asociado a beneficios intangibles; tales como la mejora del aspecto, la desaparición de malos olores del lugar, mejor producción agrícola, reducción de contaminación en las riberas de la microcuenca aguas abajo, el cumplimiento de normas y parámetros ambientales, el costo estimado para la ejecución de la planta es de \$49 489,08 que incluye toda la infraestructura civil y mano de obra en relación al beneficio social de los habitantes de la parroquia y el ambiente, el proyecto es rentable y factible.

RECOMENDACIONES

- Realizar la implementación del sistema de tratamiento de agua residual en la parroquia San Isidro, para disminuir la contaminación del río Guano y los efectos negativos en el área de influencia.
- Elaborar un plan de mantenimiento y de funcionamiento de la planta de tratamiento, que nos ayudará a conocer los aspectos que conllevará a una buena marcha del sistema.
- Realizar un estudio para que los lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales sean verificados su reutilización, y así ocuparlo según las necesidades de los que lo requieran o si no descargarlos en un área adaptada para lodos, como zanjas de infiltración o pozos sépticos.

BIBLIOGRAFÍA:

1. **AGUILAR, J., et al.** Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales Coagulación y Floculación. Murcia : Universidad de Murcia, 2002, pp. 16-17, 35
2. **CARVAJAL, G, José. M.** *Diseño de un sistema de agua Potable para la parroquia de Vinchoa del cantón Guranda, Provincia de Bolívar* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. 2015. P. 13
3. **CEPIS/05.163** *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Guía para diseños de plantas de tratamientos*
4. **CISTERNA, O, Pedro & Peña, Daisy.** “*Determinación de la relación DBO/DQO en aguas residuales en poblaciones menores a 25.000 habitantes en la VIII región.*” [en línea]. Universidad Tec. Fed. Sta. María & Essbio S.A [Consulta: 20 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>.
5. **CRITES, Ron & TCHOBANOIOUS, George.** *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados.* Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill, 2000.
6. **CRITES, R. 2000.** Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones: Bogotá – Colombia: McGraw Hill; 2000.pp. 21, 3, 42-44. 46-48
7. **ENRÍQUEZ, Laura,** *Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para ala parroquial Santiago de Calpi-Cantón Riobamba* [en línea]. (Tesis).(Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2015, pp 26-27 [Consulta: 18 Diciembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.espoach.edu.ec/bitstream/123456789/4764/1/96T00322%20UDCTFC.pdf>
8. **EX – IEOS, INEN 005-9-1.** *Normas para estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.* Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales., Décima Parte., Quito – Ecuador., 1993.

9. **HERNANDEZ, L. A.** Manual de depuración Urbana, 2^{da} ed. Madrid- España: Garceta, 2015, pp. 30-34
10. **METCALF & EDDY, INC.** *Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilizacion.* Madrid : McGraw-Hill, 1995, pp. 177.-178, 521-525
11. **MUYÓN, Carlos.** *Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para la junta administradora de agua potable y alcantarillado regional de Yanahurco en el cantón Mocha* [en línea]. (Tesis).(Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2017, pp 21-23 [Consulta: 15 Diciembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7894/1/96T00409.pdf>
12. **NTE INEN 2 169:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*
13. **NTE INEN2 176:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.*
14. **GÓMEZ, Sergio** *Metodología de la Investigación.* México : Red Tercer Milenio S.C. 2012. pp.12-16.
15. **PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN GUANO.** Localización San Isidro [en línea]. 2015, pp. 22-36 [Consulta: 9 de Diciembre de 2017]. Disponible en: <http://gadsanisidrodepatulu.com/wp-content/uploads/2016/03/PDOT-SAN-ISIDRO-2012-2021.pdf>
16. **RAMALHO, Rubens.** *Tratamiento de aguas residuales* [en línea]. Barcelona-España: Editoriañ Reverté S.A, 2003, p. 146. [Consulta: 5 de Diciembre de 2017]. Disponible en: https://onedrive.live.com/?authkey=%21ado_4nswv5qcw&cid=017b1250673121cb&id=17b1250673121cb%219700&parid=17b1250673121cb%219655&o=oneup
17. **RAS-2000.** Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento: Tratamiento de Aguas. [En línea]. 2000 [Consulta: 12 de Diciembre de 2017.] Disponible en: http://cra.gov.co/apcafiles/373838326662656339623163396239334/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf : s.n., 2000.


18. **RESTREPO, Hernán.** *Evaluación del proceso de coagulación y floculación de una planta de tratamiento de agua potable.* [en línea]. Medellín-Colombia, 2009. p.7. [Consulta: 8 de Diciembre de 2017.]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
19. **RODRÍGUEZ, Antonio., et al.** *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.* [en línea]. Madrid- España, 2006. pp. 18-30. [Consulta: 4 de Diciembre de 2017.]. Disponible en: https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
20. **RODRIGUEZ, Pedro.** *Hidraulica II .* [en línea]. México, 2008, p.16. [Consulta: 14 de Diciembre de 2017.]. Disponible en: https://carlosquispeancasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf
21. **ROMERO, Jairo.** *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principio de diseño.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999, p. 639, p.659
22. **ROMERO, Jairo.** *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principio de diseño.* 2^{da} ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002, pp. 635-639
23. **RUIZ, Ramón.** *El Método Científico y sus Etapas.* México: Esfinge, 2007, pp. 13-17
24. **SPELLMAN, Frank.** *Manual de agua Potable, Zaragoza-España.* Acribia. 2004, pp. 227-228.
25. **STEFAN, R.** *Aireación y transferencia de gases.* [en línea]. 2001, p.1 [Consulta: 2 de Diciembre de 2017.]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/014991/014991-15.pdf>.
26. **TULSMA-2015.** *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I. Tabla 9. Acuerdo ministerial 097-A*
27. **VALENCIA. L, Adriana. E.** *Diseño de una Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo* (tesis de

pregrado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Biotecnología Ambiental. 2013. pp.11-13

28. **VILLEGAS, M.** Purificación del agua, Aireación. Bogotá-Colombia: Escuela colombiana de Ingeniería 2007, pp.40-42
29. **VILLÓN, Máximo.** *Hidráulica de canales*. [en línea]. Lima, 2007, [Consulta: 18 de Diciembre de 2017.] Disponible en: <https://es.slideshare.net/simonmelgarejo/libro-de-hidraulica-de-canales-maximo-villon>
30. **WHITE, F.** Mecanica de Fluidos: Canales abiertos [en línea]. Madrid-España : Mc Graw Hill, 2004. [Consulta: 20 de Diciembre de 2017]. Disponible en: http://www.academia.edu/29138544/Mec%C3%A1nica_de_fluidos_-_White


ANEXO A. Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Equipos)



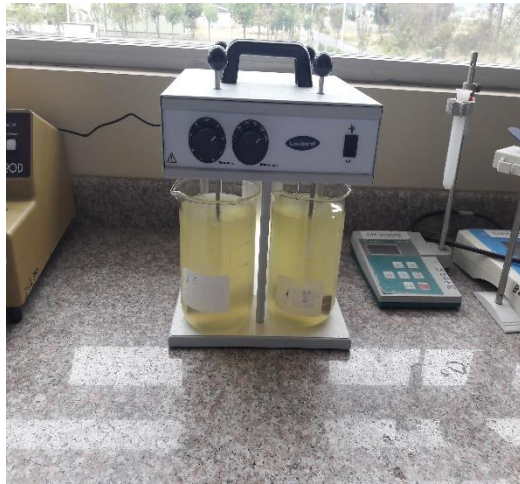
		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"	
CONTIENE: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (EQUIPOS)			
REALIZADO POR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO		DOCENTES: DR. SEGUNDO TRUJILLO A. ING. RAFAELA VITERI U.	
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> APROBADO		FECHA: 22/02/2018	LAMINA:


ANEXO B. Determinación del DBO₅ Y DQO



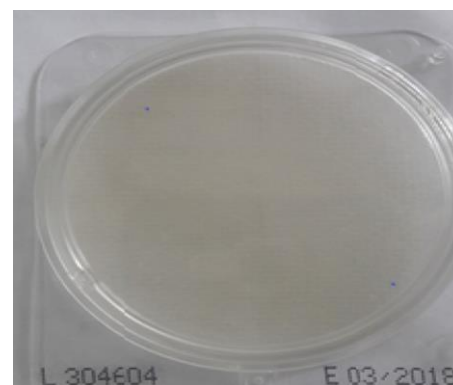
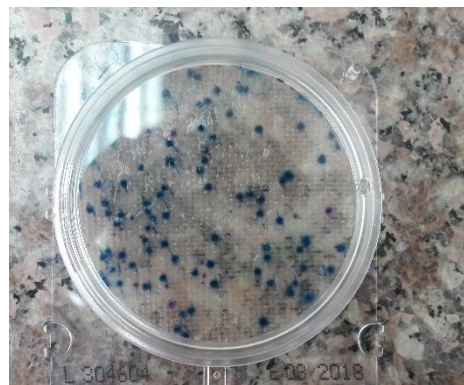
		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"	
CONTIENE: DETERMINACIÓN DEL DBO ₅ Y DQO			
REALIZADO POR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO		DOCENTES: DR. SEGUNDO TRUJILLO A. ING. RAFAELA VITERI U.	
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> APROBADO		FECHA: 22/02/2018	LAMINA:


ANEXO C. Método de Test de Jarras



		“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”	
CONTIENE: TEST DE JARRAS			
REALIZADO POR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO		DOCENTES: DR. SEGUNDO TRUJILLO A. ING. RAFAELA VITERI U.	
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> APROBADO		FECHA: 22/02/2018	LAMINA:


ANEXO D. Coliformes Fecales



		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"	
CONTIENE: COLIFORMES FECALES			
REALIZADO POR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO		DOCENTES: DR. SEGUNDO TRUJILLO A. ING. RAFAELA VITERI U.	
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> APROBADO		FECHA: 22/02/2018	LAMINA:


ANEXO E. Análisis Físico-Químico y Microbiológico



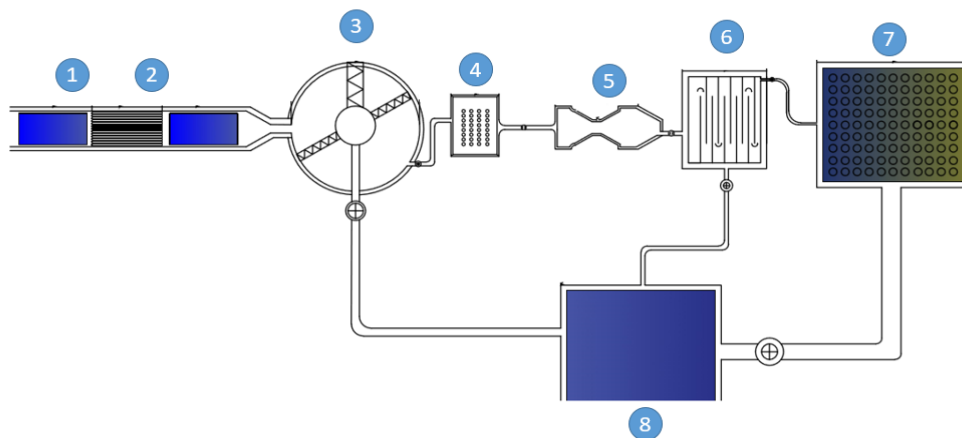
		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"	
CONTIENE: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS			
REALIZADO POR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO		DOCENTES: DR. SEGUNDO TRUJILLO A. ING. RAFAELA VITERI U.	
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> APROBADO		FECHA: 22/02/2018	LAMINA:

ANEXO F. Materiales




		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"	
CONTIENE: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (MATERIALES)			
REALIZADO POR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO		DOCENTES: DR. SEGUNDO TRUJILLO A. ING. RAFAELA VITERI U.	
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> APROBADO		FECHA: 22/02/2018	LAMINA:

ANEXO G. Plano de la planta de tratamiento de agua residual



N°	Denominación
1	Canal de entrada
2	Rejillas
3	Sedimentador
4	Torre de aireación
5	Canal Parshall
6	Floculador
7	Filtro Lento
8	Lecho de secado

		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA PARROQUIA SAN ISIDRO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"	
CONTIENE: PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL			
REALIZADO POR: BRAYAN DAVID PAZMIÑO CARRILLO		DOCENTES: DR. SEGUNDO TRUJILLO A. ING. RAFAELA VITERI U.	
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> APROBADO		FECHA: 22/02/2018	LAMINA:

ANEXO H. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

ANEXO I. Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Resultados agua cruda)

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Brayan David Pazmiño Carrillo

Fecha de Análisis: 09 de Agosto de 2017

Tipo de muestras: Aguas residuales domésticas CRUDA

Localidad: Parroquia San Isidro- Cantón Guano- Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

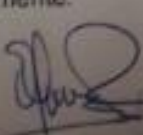
Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	8,32
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	-----	925
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	128
Color	UTC-co	2240-B	-----	1230
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	858
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	326
N- Amoniacoal	mg/L	4500-NO3-C	30,0	29,8
Sulfatos	mg/L	4500-SO ₄ -E	1000	96
Nitritos	mg/L	4500-NO ₂ -B	-----	0,028
Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -E	-----	20
Olor	--	--	-----	Alto
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	130	402
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1600	828
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	30,0	0,000173
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	micro filtración	2000	10.600

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

** "ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9"

Observaciones:

Atentamente,


Dra. Gina Álvarez R.



ANEXO J. Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Resultados agua tratada)

FACULTAD DE CIENCIAS - LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Brayan David Pazmiño Carrillo
Fecha de Análisis: 29 de Septiembre de 2017
Tipo de muestras: Aguas residuales domésticas TRATADA
Localidad: Parroquia San Isidro- Cantón Guano- Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

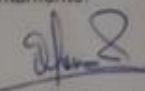
Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7,59
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	-----	298
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	1,5
Color	UTC-co	2240-B	-----	1,4
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	36
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	12
Sulfatos	mg/L	4500 SO ₄ -E	1000	---
Nitritos	mg/L	4500 NO ₂ -B	-----	---
Nitratos	mg/L	4500 NO ₃ -E	-----	---
Olor	--	--	-----	Despreciable
Sólidos Suspendedos	mg/L	2540-D	130	7
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1600	156
Aceites y Grasas	mg/L	5620-B	30,0	---
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	micro filtración	2000	<2

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

** "ACUERDO MINISTERIAL 097-A, reforma del TULSMA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre de 2015 TABLA 9"

Observaciones:

Atentamente,


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

