



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO
EXPERIMENTAL FÍSICO - BIOLÓGICO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA
COMUNIDAD PISICAZ ALTO FILIAL A LA UNIÓN DE
ORGANIZACIONES CAMPESINAS DE SAN JUAN “UCASAJ”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: NANCY ELIZABETH LEMAY REMACHE

TUTORA: Dra. CUMANDÁ CARRERA B.

Riobamba – Ecuador

2016

©2016, Nancy Elizabeth Lemay Remache.

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

ESCUELA SUPERIOR POLITENICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que la investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL FÍSICO - BIOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD PISICAZ ALTO FILIAL A LA UNIÓN DE ORGANIZACIONES CAMPESINAS DE SAN JUAN “UCASAJ”**, de responsabilidad de la señorita Nancy Elizabeth Lemay Remache ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Cumandá Carrera DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
Dr. Segundo Trujillo MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, **Nancy Elizabeth Lemay Remache**, 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, 24 de Noviembre del 2016.

Nancy Elizabeth Lemay R.
C. I. 0604224113

Yo, **Nancy Elizabeth Lemay Remache**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo experimental y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Nancy Elizabeth Lemay R.

C. I. 0604224113

DEDICATORIA

A mi madre y hermanos por su apoyo incondicional, mi hija mi razón de vivir, mis tíos, primos y amigos que tan sólo con una palabra sumaron mis fuerzas, elevaron mi ánimo, me hicieron sentir su compañía, entendí que no estoy sola, que detrás de mí tengo muchas personas que están dispuestas a brindarme su apoyo para lograr mis sueños y metas.

Para mí Ángel guardián Ignacio, que nos cuida desde el cielo y siempre permanecerá en mi mente y en mi corazón.

Nancy Elizabeth

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por concederme la fuerza necesaria para mantenerme de pie frente a las dificultades que se han presentado a lo largo de mi carrera.

A mi pequeña pero gran familia; mi madre por ser el pilar fundamental de mi vida con su paciencia y alegría me ha motivado a luchar por mis sueños y aspiraciones. Mis hermanos que son más que eso, mis amigos y confidentes Víctor H. y J. Diego, por ser como unos padres, gracias a su apoyo incondicional.

Mi hija por ser la mejor bendición que Dios puso en mi camino, motivo por el cual luchar, mantenerme de pie y sonreír día a día.

A mi Directora del Trabajo de Titulación Dra. Cumandá Carrera B., que con su optimismo y buen humor me ha enseñado a sonreírle a la vida a pesar de los obstáculos que se presenten.

A mis colaboradores Dr. Segundo Trujillo A., Dr. Gerardo León Ch., quienes con sus valiosos conocimientos y paciencia me han guiado de la mejor manera durante el desarrollo del presente trabajo y por brindarme una excelente confianza.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xi
NDICE DE ABREVIATURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY	xx
CAPÍTULO I.....	6
1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. Descripción de la comunidad.....	6
1.2. Recurso hídrico	6
1.2.1. Consumo de agua doméstica	7
1.2.2. Aguas residuales.....	7
1.2.3. Tipos de aguas residuales.....	7
1.2.4. Caracterización de las aguas residuales	8
1.2.5. Características Físicas	9
1.2.6. Características Químicas.....	13
1.2.7. Características biológicas.....	18
1.3. Manejo de las aguas residuales	19
1.3.1. Tratamiento de aguas residuales	20
1.3.2. Tratamiento de aguas residuales Físico - Biológico.....	21
1.3.3. Materiales filtrantes.....	22
1.4. Parámetros de Diseño.....	28
1.4.1. Operación y procesos del tratamiento de aguas residuales	28
1.4.2. Cálculos de ingeniería para determinar la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento	29
1.5. Normativa ambiental.....	29
CAPÍTULO II	31
2. Diseño experimental.....	31

2.1.	Tipo y diseño de investigación.....	31
2.2.	Unidad de análisis	31
2.3.	Población de estudio	32
2.4.	Tamaño de muestra	32
2.5.	Selección de muestra.....	32
METODOLOGÍA		32
2.6.	Localización de la experimentación.....	32
2.7.	Justificación de la experimentación	33
2.8.	Muestreo y análisis de laboratorio	33
2.8.1.	Etapa de muestreo	33
2.8.2.	Medición de caudal	34
2.9.	Tratamiento de aguas residuales domésticas.....	35
2.9.1.	Tanque de Sedimentación	35
2.9.2.	Tanque de Filtración Físico - Biológico.....	37
TÉCNICAS		38
2.10.	Técnica para la Caracterización Físico – Química y Microbiológica del Agua Residual.....	38
2.11.	Análisis de las muestras del agua residual previa a su tratamiento.....	42
2.12.	Diseño del Modelo Experimental Físico- Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales	43
2.12.1.	Procedimiento	43
2.13.	Construcción del Modelo Experimental Físico - Biológico para el tratamiento de Aguas Residuales	44
2.13.1.	Disposición de los materiales previo a su construcción.....	44
2.14.	Materiales.....	48
2.14.1.	Materiales para el muestreo:	48
2.14.2.	Equipos de campo:	49
2.14.3.	Materiales y equipos de laboratorio:	49
2.14.4.	Materiales para la construcción del Modelo Experimental Físico - Biológico:	49
2.15.	Implementación del Modelo Experimental Físico – Biológico para el tratamiento de Aguas Residuales.	50
2.15.1.	Procedimiento	50
CAPÍTULO III.....		52
3.	ANÁLISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
3.1.	Análisis y discusión de resultados.....	52
3.1.1.	Localización de la experimentación.....	52
3.1.2.	Lugar del muestreo.....	52

3.1.3.	Caracterización del agua residual previo a su tratamiento	53
3.1.4.	Medición del caudal	54
3.1.5.	Diseño del Modelo Experimental físico- biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales	55
3.1.6.	Construcción del Modelo Experimental Físico-Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la comunidad “Pisicaz Alto”	57
3.1.7.	Implementación y Prueba Piloto del Modelo Experimental Físico - Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales	60
3.1.8.	Caracterización final del agua residual posterior a su tratamiento mediante el Modelo Experimental Físico - Biológico	63
3.1.9.	Cálculos de ingeniería para determinar la eficiencia de remoción de la carga contaminante en el sistema de tratamiento.....	65
3.1.10.	Rendimiento del Modelo Experimental Físico - Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Comunidad “Pisicaz Alto” filial a la UCASAJ	69
3.1.11.	Validación del Modelo Experimental Físico- Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Comunidad “Pisicaz Alto” filial a la UCASAJ.....	69
3.1.12.	Manual Operativo del Modelo Experimental Físico-Biológico para el tratamiento de las aguas residuales	70
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Celsius
A	Área total
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación.
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Work Association AS
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
COSUDE	Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación.
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 Días)
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Ec	Ecuación
h	Hora
L	Litro
m	Metros
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
pH	Potencial de hidrógeno
ppi	Células o poros por pulgada lineal
Q	Caudal (m ² /s)
s	Segundo
TDS	Sólidos Totales Disueltos
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica (min)
UCASAJ	Unión de Organizaciones Campesinas de San Juan
UFC	Unidades Formadoras de Colonia.
V	Volúmen (m ³)
WSP	Water and Sanitation program

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	Resultados de los análisis del laboratorio - Caracterización Inicial, muestra 1
ANEXO B:	Resultados de los análisis del laboratorio - Caracterización Inicial, muestra 2
ANEXO C:	Planos de construcción del Modelo Experimental Físico – Biológico
ANEXO D:	Socialización con la comunidad “Pisicaz Alto”
ANEXO E:	Visita al lugar de tratamiento de aguas residuales y medición del área del terreno
ANEXO F:	Acuerdo con la comunidad en los trabajos que se requieran
ANEXO G:	Adecuación del terreno
ANEXO H:	Construcción del Modelo Experimental Físico-Biológico
ANEXO I:	Implementación del Modelo Experimental Físico-Biológico
ANEXO J:	Inoculación de microorganismos
ANEXO K:	Prueba Piloto
ANEXO L:	Modelo Experimental Físico-Biológico (Después de 5 días)
ANEXO M:	Control y Monitoreo

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1. Ecuación para Determinar el Caudal.....	28
Ecuación 2-1. Cálculo de la Eficiencia de remoción de la carga contaminante.....	29
Ecuación 2-1. Cálculo de UFC.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Grava típica de río.....	22
Figura 2-1. Sistema Tohá.....	26

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2.	Tanque de Sedimentación.....	44
Fotografía 2-2.	Tapa diseñada para filtración del agua.	45
Fotografía 3-2.	Capa 1- Ladrillo quebrado.	45
Fotografía 4-2.	Capa 2- Piedra de río.	45
Fotografía 5-2.	Capa 3- Caño plástico corrugado.	46
Fotografía 6-2.	Capa 4- Venas de césped más hojas picadas.	46
Fotografía 7-2.	Capa 5-2. Esponja amarilla.	47
Fotografía 8-2.	Capa 6-2. Humus + <i>Eisenia Fétida</i>	47
Fotografía 9-2.	Capa 7-2. Red de Champa.....	47
Fotografía 10-2.	Capa 8-2. Cama de paja.	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2.	Sistema Físico – Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales.....	38
Gráfico 1-3.	Curva de comportamiento del pH.....	60
Gráfico 2-3.	Curva de comportamiento de Conductividad	60
Gráfico 3-3.	Curva de comportamiento de Salinidad.....	61
Gráfico 4-3.	Curva de comportamiento de TDS.....	61
Gráfico 5-3.	Curva de comportamiento de % O ₂	62
Gráfico 6-3.	Comportamiento de Parámetros antes y después del Tratamiento.....	64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2. Sistema filtrante Físico – Biológico.....	37
Ilustración 2-3. Distribución de las capas filtrantes Físico – Biológico.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Composición típica de tres clases de Aguas Residuales Domésticas.....	9
Tabla 2-1.	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	29
Tabla 1-2.	Proceso de Inoculación.....	36
Tabla 1-3.	Reporte del Análisis de Aguas Residuales previo al Tratamiento.....	52
Tabla 2-3.	Datos de Medición del Caudal.....	53
Tabla 3-3.	Costos de la Caracterización Inicial de las Aguas Residuales.....	56
Tabla 4-3.	Costos de Construcción del Modelo Experimental Físico – Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales.....	57
Tabla 5-3.	Costos de Materiales Filtrantes para el Modelo Experimental.....	58
Tabla 6-3.	Datos de seguimiento de parámetros durante el Tratamiento con el Modelo Experimental Físico – Biológico.....	59
Tabla 7-3.	Reporte del Análisis de Aguas Residuales posterior al Tratamiento.....	63

RESUMEN

El objetivo fue diseñar e implementar un Modelo Experimental Físico – Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad “Pisicaz Alto”, se inició con la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales de la comunidad filial a la Organización “UCASAJ” de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, los análisis de las aguas residuales domésticas se realizaron en los laboratorios del GADM de Colta Departamento de Agua Potable y en el de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Dichos análisis dieron un resultado promedio de 210 mg/L en Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) y 166 mg/L para Demanda Química de Oxígeno (DQO), siendo los parámetros más importantes a considerar para el diseño del modelo experimental. Se diseñó e implementó un modelo experimental físico - biológico para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la comunidad para reducir los niveles de contaminación del recurso hídrico. El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales está conformado por un tanque de sedimentación con microorganismos inoculados, colocado en serie con un tanque de filtración de flujo descendente. Como resultado se obtuvo un modelo experimental físico - biológico para el tratamiento de aguas residuales que puede soportar un caudal de 0,008 m³/s, que reduce en un 71,9 % el DBO_5 y un 70,48 % el DQO como contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas de la comunidad “Pisicaz Alto” de la parroquia San Juan. Se ha comprobado que el modelo experimental permite disminuir el nivel de contaminación de las aguas residuales que se descargan y conectan al canal principal de riego y posteriormente son desembocadas al río Chimborazo, generando un bienestar social y ambiental. Se recomienda implementarlo a escala real para tratar todo el caudal proveniente de la comunidad, además servirá como un referente en el tratamiento de aguas residuales para otras comunidades.

Palabras Claves: <CARACTERIZACIÓN>, <<TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <INGENIERIA AMBIENTAL>, <MODELO EXPERIMENTAL> <SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO-BIOLÓGICO> <AGUA RESIDUAL> <ETAPA DE SEDIMENTACIÓN> <INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS> <MEDIOS DE FILTRACION FÍSICO-BIOLÓGICOS>

SUMMARY

The objective was to design and implement a Physical – Biological Experimental Model for the Treatment of Wastewater of the Community “Pisicaz Alto”, began with the characterization of wastewater of the filial community to the Organization “UCASAJ” of the parish of San Juan, Riobamba canton, Chimborazo province, physical, chemical and microbiological laboratory tests were carried out in the GADM laboratories of Colta, Department of Drinking Water and in the Laboratory of Environmental Quality of the Faculty of Sciences of the Polytechnic School of Chimborazo. The analyzes gave an average result of 210 mg/L in Biological Oxygen Demand (BOD) and 166 mg/L for Chemical Oxygen Demand (COD), being the most important parameters to consider for the designed and implemented for the treatment of wastewater from the community to reduce the pollution levels of the water resource. The design of the wastewater treatment system consists of a sedimentation tank with inoculated microorganisms, placed in series with a down flow filtration tank. As result, a physical – biological experimental model was obtained for wastewater treatment that can withstand a flow rate of 0,008 m³/s, which reduces by 71,9 % for BOD, 70,48% for COD the contaminant degree present in the wastewater Domiciles of the “Pisicaz Alto” Community of the San Juan parish. The experimental model allows reducing the level of contamination of the wastewater that is discharged and connects to the main irrigation channel and the river Chimborazo, generating a social and environmental welfare. It is recommended to implement it on a real scale to treat all the flow coming from the community; in addition it will serve as a referendum in the treatment of waste water for the other communities.

Key Words: <CHARACTERIZATION>, <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <EXPERIMENTAL MODEL>, <PHYSICAL - BIOLOGICAL TREATMENT SYSTEM>, <RESIDUAL WATER>, <SEDIMENTATION STAGE>, <INOCULATION OF MICROORGANISMS>, <PHYSICAL-BIOLOGICAL FILTRATION MEDIA>.

INTRODUCCIÓN

El agua es una de las sustancia más abundantes en el planeta que permite el desarrollo de todo tipo de vida, es indispensable en las principales actividades antropogénicas, es por ello que se presenta la importancia de conservar el recurso hídrico mediante métodos, tratamientos y alternativas amigables con el ambiente, que sean eficientes y económicas para el hombre.

El agua luego de ser utilizada recibe el nombre de agua residual, mismas que son vertidas a cuerpos de agua provocando impactos negativos al ambiente y a la población, las cuales pueden variar de acuerdo a su procedencia, como es el caso de las aguas residuales domésticas que resultan del consumo doméstico por persona para satisfacer sus necesidades diarias.

Desde inicios del siglo XX a la fecha la población se ha duplicado así como el desarrollo industrial, y el uso agrícola, mientras que el uso del recurso hídrico se ha sextuplicado debido a la sobreexplotación, la contaminación, las distintas actividades antropogénicas y los efectos del cambio climático. (Souchon, C., et al, 1996, p.68).

En la actualidad cerca del 40% de la población humana tiene problemas con la escasez de este recurso a pesar de que la cantidad de agua es la misma que hace 2000 años, para el 2025 cerca del 66 % de la población mundial de África y Asia Occidental sufrirá las consecuencias del mal uso de este recurso. (Gaspar, R., 2003, p. 682-698).

El consumo del agua se destina a varios sectores como un 50 % al uso industrial, el 30 % se destina a la agricultura y tan solo el 11 % al uso doméstico. El consumo y uso doméstico al igual que los otros sectores genera contaminación, aguas residuales que se vierten a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento generando mayor contaminación hacia este recurso y otros que se encuentren a su paso. (Moreno, Melgarejo J, 2009, p. 56).

El consumo de agua doméstica comprende agua para beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar, para lo cual la OMS ha determinado que la cantidad adecuada es de 50 L/hab-día a la cual se suma la cantidad necesaria para la agricultura, industria y para la conservación de ecosistemas acuáticos, fluviales, todos aquellos que dependen del agua dulce, para lo cual la cantidad mínima considerada es de 100 L/hab-día. (Witt y M, Vicente. 1993, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>).

La información global acerca del uso y consumo del agua nos da una idea de la importancia del tratamiento previo a la descarga de este tipo de aguas residuales para poder mitigar sus impactos negativos en el ambiente y la población, así como, darle un reuso al agua y optimizar su consumo para poder preservar de mejor manera dicho recurso.

El trabajo se iniciará con la caracterización físico- química y microbiológica del agua residual para determinar los parámetros principales a ser considerados en el diseño del modelo experimental y su posterior implementación, con el objeto de obtener datos confiables los análisis se realizarán por triplicado de acuerdo a las facilidades de que preste cada parámetro de análisis de laboratorio.

Se espera que para reducir los niveles de contaminación presente en estas aguas residuales el diseño e implementación del modelo experimental físico – biológico reduzca considerablemente el nivel de carga contaminante presente en las aguas residuales de dicha comunidad, contribuyendo de esta manera a generar un ambiente ecológicamente equilibrado y sano que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir.

ANTECEDENTES

El desarrollo constante y el crecimiento poblacional cada vez van ganando terreno en cuanto al consumo y uso de los distintos recursos con los que contamos en nuestro ambiente, es por ello que se presenta la necesidad de conservar, proteger y ayudar a mantener de la mejor manera el equilibrio de los recursos naturales, buscando técnicas, métodos y alternativas amigables con el ambiente.

Para poder recuperar recursos, optimizar su uso y cuidar de cada uno de ellos, principalmente el agua que es fundamental para las principales actividades que permiten el desarrollo y sobrevivencia del hombre. En la actualidad, se sabe que es necesario dar un tratamiento a toda agua residual para reducir la contaminación y optimizar el uso de este recurso en nuestro medio.

En el 2000, la (ONU), estableció los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con el fin de reducir la pobreza extrema para el año 2015. El objetivo número siete, “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”, relacionada al agua potable y saneamiento, que establece reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible a fuentes de abastecimiento de agua potable mejoradas y a servicios de saneamiento mejorados, entre el año de referencia 1990 y el 2015.

La comunidad Pisicaz Alto perteneciente a la parroquia San Juan, está conformada por 49 núcleos familiares que se ubican en las laderas al Noreste de la cabecera parroquial, utilizan agua entubada proveniente del nevado Chimborazo para las actividades antropogénicas; estas aguas residuales domésticas se descargan por gravedad de forma directa a las aguas receptoras que fluyen por la quebrada, mismas que se unen al principal canal de riego de la parroquia y que fluyen al río Chimborazo. Este río, aguas abajo se une al río Gatazo que a su vez al río Chibunga. En la zona de San Juan del Cantón Riobamba al ser un área rural, sus habitantes se dedican a la agricultura y ganadería por tanto en todo este curso, esta agua se utiliza para abastecer los bebederos de la ganadería y como agua de riego ya que provoca la proliferación de vectores, enfermedades en la población y animales, fundamentalmente un desequilibrio del ecosistema local.

El agua residual doméstica proveniente de la comunidad Pisicaz Alto presenta un alto nivel de contaminación orgánica en suspensión como en dilución generalmente que es biodegradable pues provienen de actividades diarias de limpieza, alimentación, aseo y del metabolismo humano.

JUSTIFICACIÓN

La intervención del hombre con su desmedido uso de los recursos naturales provoca alteraciones ambientales al recurso hídrico uno de los más importantes por ser indispensable en las actividades antropogénicas que generan a la vez cantidades significativas de aguas residuales que ocasionan impactos estéticos negativos, presencia de vectores que pueden afectar de forma directa o indirecta al hombre y al ambiente.

La comunidad de Pisicaz Alto fue seleccionada de entre las 28 comunidades filiales a la organización debido a que cuenta con alcantarillado por el cual las aguas residuales domésticas se conducen hasta la quebrada principal de esta comunidad, tiene en funcionamiento un periodo aproximado de 3 años.

Las aguas residuales domésticas de la Comunidad de Pisicaz Alto al ser vertidas directamente a la quebrada principal y al no ser tratada, el ambiente que se encuentra en esta zona es propensa a sufrir alteraciones, desequilibrios en sus ecosistemas y en sus sembríos, ya que las aguas residuales están compuestas por distintos contaminantes nocivos para el hombre y el ambiente.

Entonces, en la misión de la cultura ambiental de los habitantes de la comunidad Pisicaz Alto a través La Unión de Organizaciones Campesinas de San Juan (UCASAJ) representada por el señor presidente Rafael Salto en coordinación con la comunidad de Pisicaz Alto se han comprometido con la naturaleza, al poner como necesidad urgente realizar estudios de mitigación de impactos por efecto de las aguas residuales domésticas, a través de la implementación de un modelo experimental físico – biológico para el tratamiento de aguas residuales.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Diseñar e Implementar un Modelo Experimental Físico-Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales en la comunidad “Pisicaz Alto”, parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia Chimborazo, en el año 2016.

ESPECÍFICOS:

- Caracterizar las aguas residuales provenientes de la comunidad.
- Cálculos de ingeniería para el diseño del Modelo Experimental de tratamiento de aguas residuales.
- Construir el modelo experimental Físico-Biológicos de tratamiento de las aguas residuales.
- Caracterizar las aguas residuales después del tratamiento a través del modelo experimental Físico-Biológico.
- Elaborar un Manual Operativo del Modelo Experimental Físico-Biológicos de tratamiento de las aguas residuales.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Descripción de la comunidad

La comunidad Pisicaz Alto se localiza en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo a 2 Km de la cabecera parroquial rural de San Juan. Esta comunidad es filial a la UCASAJ la misma que trabaja con 28 comunidades de la parroquia.

La comunidad cuenta con un total de 49 jefes de familia, la mayor parte de la población se dedica a la agricultura, ganadería y quehaceres domésticos, pocos migran a la ciudad para trabajar como obreros. Cuenta con un nivel de educación intermedio, los niños y adolescentes acuden a la Unidad Educativa San Juan que es la única institución educativa ya que otras escuelas se unificaron a esta institución central de la parroquia.

1.2. Recurso hídrico

Son todos los cuerpos de agua existentes en nuestro planeta desde océanos hasta ríos, lagos, lagunas y arroyos, este recurso debe ser preservado y utilizado de manera racional pues es indispensable para el desarrollo de la vida. El agua es un químico natural que se encuentra en grandes cantidades, ocupa un 70,8 % de la superficie terrestre de la cual tan solo un 2,5 % es apto para el consumo.

A pesar de ser un recurso renovable la contaminación de los cuerpos de agua y su sobreexplotación a causa de las diferentes actividades antropogénicas ponen en riesgo dicho recurso, pues su capacidad de regeneración o recuperación en la mayoría de los casos no resulta ser satisfactorio en cuanto al ritmo actual de uso. (Conde, et al, 2002, p. 5-9).

1.2.1. Consumo de agua doméstica

Representa la cantidad de agua que requiere una persona para cubrir sus necesidades diarias de consumo, para beber, cocinar, en limpieza, aseo, riego, se mide en L/hab-día. Es un valor representativo real del consumo dentro de una comunidad o población.

1.2.2. Aguas residuales

Son todas aquellas aguas de composición variada que se generan por las diferentes actividades en las que interviene el hombre como descargas de usos industriales, comerciales, domésticos, agrícolas, municipales que generan molestias organolépticas pues tienen alteraciones en sus características físicas, químicas y biológicas.

Por su naturaleza no pueden volver a utilizarse en el proceso que las generó, su vertido en cuerpos receptores implica una alteración a los ecosistemas acuáticos y a la salud del hombre.

1.2.3. Tipos de aguas residuales

De acuerdo a las fuentes de origen las aguas residuales presentan la siguiente tipología:

1.2.3.1. Aguas Residuales Domésticas

Son las aguas procedentes de zonas de viviendas, del consumo doméstico del hombre, de sus actividades diarias de limpieza, alimentación, aseo entre otras, de servicios generados básicamente por el metabolismo humano, que son llevadas mediante conductos adecuados desde diferentes edificaciones, viviendas o casas hacia una red de alcantarillado público.

La calidad de este tipo de agua es muy conocida y uniforme tan solo varía un poco en cuanto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones. Su contaminación principal es por la presencia de materia orgánica tanto en suspensión como en dilución, por lo general biodegradable, y por cantidades significativas de nitrógeno, fósforo y sales minerales. (Sanchez Cuervo, et al., 2015, <http://www.ufpso.edu.co>).

1.2.3.2. *Aguas Residuales Urbanas*

Es la mezcla de aguas residuales domésticas con las aguas residuales industriales o a su vez con aguas de escorrentía pluvial mismas que por lo general son conducidas por un sistema recolector y son enviadas a una Planta depuradora de Aguas Residuales, las industrias que viertan sus aguas en esta red deben previamente someter a un tratamiento sus aguas residuales.

En cuanto a su composición y carga contaminante presentan homogeneidad ya que por lo general su aporte siempre va a ser el mismo, su homogeneidad a la vez tiene ciertos márgenes debido a que los vertidos urbanos se caracterizan por el núcleo de población que lo genera, difiere en cuanto al número de habitantes, industrias existentes dentro de su núcleo, entre otras. (Cyclus, 2016, <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tipologias/>).

1.2.3.3. *Aguas Residuales Agrícolas*

Se originan en las diferentes actividades agrícolas, en zonas rurales de acuerdo a su origen pueden llegar a formar parte de las aguas residuales urbanas que son utilizadas en varios lugares para riego agrícola, en ocasiones con o sin previo tratamiento mismos que pueden ser la causa o vehículo de contaminación en zonas en las que se evacua.

1.2.4. *Caracterización de las aguas residuales*

La caracterización de las aguas residuales es una actividad básica y fundamental que ayuda a conocer el nivel de los elementos contaminantes presentes en las aguas residuales. Su caracterización puede ser en base a parámetros físicos, químicos y biológicos, uno de los principales parámetros son los componentes orgánicos y la cantidad de sólidos presentes en estas aguas.

La medida de concentración de contaminantes en aguas residuales son frecuentemente una combinación compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, habitualmente no resulta práctico tampoco posible lograr un análisis completo de las aguas residuales. Razón por la que se han desarrollado métodos en los cuales no es necesario tener un conocimiento completo de la composición química específica de las aguas residuales que se consideren. (Rubens Sette Ramalho, 1990, p. 318-324).

Tabla 1-1. Composición típica de tres clases de aguas residuales domésticas.

PARÁMETROS	Concentración mg/l		
	Alto	Medio	Bajo
Sólidos totales	1200	700	350
Disuelto	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión	350	200	100
Sólidos sedimentables ml/l-h	20	150	70
DBO (5 días, 20°C)	300	10	5
DQO	570	200	100
Nitrógeno total (como N)	85	380	190
Orgánico (como N)	35	40	20
Amoniacal (como N)	50	15	8
Fósforo total (como P)	20	25	12
Cloruros (Cl)	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50
Calcio (como Ca)	110	50	10
Magnesio (como Mg)	10	9	8
Sodio (como Na)	100	50	23

Realizado por: Nancy Lemay, 2016.

Fuente: CEPIS/OPS-OMS, Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, septiembre 2002.

1.2.5. Características Físicas

Entre las principales características físicas de un agua residual están:

1.2.5.1. *Temperatura*

En las aguas residuales domésticas la temperatura por lo general suele ser superior a la del agua de consumo, debido al aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas. Oscila entre 10 °C y 21 °C, con un valor medio de 15 °C, aproximadamente. En las aguas residuales provenientes de la comunidad la temperatura promedio es de 9,5 °C.

La mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, afectando directamente las reacciones químicas y su velocidad de reacción, además de dar lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.

También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura.

1.2.5.2. *Sólidos*

Una de las características físicas en aguas residuales y con un valor poco significativo pero importante son los sólidos, los mismos que nos facultan el camino para evaluar la concentración del agua residual y para establecer la eficiencia de cada una de las unidades de tratamiento.

Existen varios tipos de sólidos entre ellos tenemos los siguientes:

- **Sólidos totales:** Este tipo de sólidos corresponden a la materia sólida residual obtenida luego de que el agua se evapora a un rango de temperatura entre 103 °C y 105 °C. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 59).
- **Sólidos sedimentables:** Los sólidos sedimentables corresponden a la materia sólida sedimentada de forma natural por acción de la gravedad en un contenedor cónico. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 59).
- **Sólidos disueltos:** Los sólidos disueltos pertenecen a la materia sólida filtrable, compuestos principalmente por moléculas inorgánicas, orgánicas e iones en disolución. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 60).
- **Sólidos suspendidos:** Los sólidos suspendidos corresponden a la materia sólida no filtrable que se obtiene después de someter un volumen de agua conocido a un proceso de filtración empleando un filtro de fibra de vidrio o asbesto. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 60).

- **Sólidos volátiles y sólidos fijos:** Los sólidos volátiles y sólidos fijos corresponden respectivamente a la materia sólida orgánica y a la materia sólida inorgánica o mineral de los sólidos suspendidos. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 61).

1.2.5.3. *Turbidez*

Es la cantidad de materias en suspensión presentes en aguas residuales; esta característica nos ayuda a establecer el grado de transparencia del agua residual, puesto que cuando más sólidos en suspensión se presentan, mayor será su contaminación (limo, microorganismos y materia orgánica) que limitan la penetración de la luz, reducen la productividad primaria.

1.2.5.4. *pH*

La actividad biológica se desarrolla en un intervalo de 5 - 9 en cuanto a valores de pH, un pH adverso puede alterar la composición y modificar la vida biológica de los cuerpos de agua natural. Resulta complicado tratar un agua residual mediante métodos biológicos si el valor no se encuentra entre un pH de 6,5 a 8,5.

A parte del efecto directo, el pH tiene un efecto indirecto, influenciando en la toxicidad de algunas sustancias, especialmente de aquellas en las que, la toxicidad depende del grado de disociación.

1.2.5.5. *Color*

Por lo general las aguas residuales domésticas presenta un color gris o pardo, en ocasiones puede ser negro debido a procesos biológicos anóxicos además su color puede ser ocasionado por la presencia de sólidos en suspensión, sustancias en solución y material coloidal, puede clasificarse de dos maneras: color aparente que es originado por los sólidos en suspensión, y el color verdadero causado por las sustancias coloidales y aquellas que se encuentran disueltas.

De acuerdo al color que presente se puede conocer el tiempo que ha sido descargada y cuánto ha permanecido en los sistemas de recolección.

1.2.5.6. *Conductividad*

Este parámetro permite conocer un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos en las aguas residuales domésticas, luego de conocer la concentración de sustancias que permanecen disueltas de forma ionizada en el agua residual y de la temperatura a la que se ha realizado su determinación. (Jiménez, et al, 2016, p. 85-90).

1.2.5.7. *Salinidad*

Es el contenido de sales disueltas en aguas residuales domésticas, permite medir la concentración de sal en el agua, se expresa en partes por millón (ppm), el sabor salino se debe a la presencia de cloruro de sodio (NaCl).

Desde el punto de vista ambiental la salinidad resulta ser un factor importante permite determinar los tipos de organismos que pueden vivir en un cuerpo de agua. Existen plantas que pueden existir en medios salinos se denominan Halófitos, así como bacterias en mayores cantidades que viven en condiciones altamente salinas que se clasifican como Halófilos extremófilos, es así que a los organismos que pueden vivir en un medio salino se le denomina como Eurihalino.

La determinación del contenido total de sales requiere de análisis químicos que consumen mucho tiempo, se utilizan en substitución métodos indirectos para estimar la salinidad. Se puede determinar la salinidad de un cuerpo de agua a base de determinaciones de: conductividad, densidad, índice de refracción o velocidad del sonido en agua. (APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992, p. 198 - 207).

1.2.5.8. *Dureza*

La dureza del agua se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, expresadas como CaCO_3 en mg/L. El rango de dureza varía entre cero y cientos de mg/L, dependiendo de la fuente de agua y el tratamiento al que haya sido sometida.

Un agua dura se caracteriza por contener un alto nivel de minerales, de forma particular sales de calcio y magnesio el límite para denominar un agua como dura es de una dureza superior a 120 mg CaCO_3 /L.

El agua dura no presenta un riesgo para la salud sin embargo suele ser una molestia por causar acumulación de minerales en las tuberías de agua y sistemas de calefacción y su bajo rendimiento con el jabón y detergentes en comparación con las aguas blandas.

El agua al ser un buen solvente toma impurezas sencillamente, al moverse a través del suelo y las rocas, disuelve los minerales y los mantiene en solución, siendo los más comunes el calcio y magnesio que hacen que el agua sea dura. Su grado de dureza es mayor a medida que aumenta el contenido de calcio y magnesio, y en menor proporción pueden contener hierro, estroncio y manganeso que influyen en el endurecimiento.

1.2.6. Características Químicas

Existe una serie de parámetros que permiten determinar la composición del agua residual entre los más importantes tenemos:

1.2.6.1. Materia orgánica

Es uno de los parámetros que conforman la tercera parte de los elementos de las aguas residuales puede estar constituido por: proteínas entre un 40 - 60 %, carbohidratos entre 25 - 50 %, grasas y aceites en un 10 %. Para la determinación y control de la calidad del agua se conoce una gran variedad de componentes inorgánicos los mismo que se presenta al utilizar el agua en diferentes procesos industriales, así como también de forma natural.

La materia orgánica también puede aportar cantidades significativas de azufre, hierro y fósforo, en ciertas aguas residuales urbanas pueden predominar cantidades de urea y amoníaco como fuentes de nitrógeno en conjunto con las proteínas.

Las grasa en este caso son descompuestas más lentamente por la acción de bacterias, también actúan sobre ellas los ácidos minerales dando glicerina y ácidos grasos que a la vez reaccionan con el álcalis originando glicerina y jabones, debido a su densidad flotan interfiriendo en los procesos de tratamiento, en la vida biológica y creando un ambiente anaerobio que reduce la velocidad de degradación y origina a la vez desprendimiento de gases que causan malos olores. Existen parámetros de gran interés en el tratamiento de aguas residuales que permiten conocer el contenido de materia orgánica de éstas, entre los principales tenemos:

1.2.6.2. *Demanda Bioquímica de Oxígeno*

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Esta prueba se realiza entre 3 o 5 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO₃ o DBO₅, respectivamente.

La determinación de la DBO₅ presenta como inconvenientes el largo tiempo del test y la imposibilidad de diferenciar entre demanda de oxígeno carbonado y demanda de oxígeno nitrogenado. Sin embargo, tiene la gran ventaja de indicarnos la cantidad de materia orgánica biodegradable, lo cual tiene una extraordinaria importancia para el tratamiento biológico.

1.2.6.3. *Demanda Química de Oxígeno*

Permite medir la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico.

Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Comúnmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, denominándose de manera más adecuada como DQO.

1.2.6.4. *Materia inorgánica*

Entre los componentes inorgánicos de mayor interés tenemos:

1.2.6.5. *Cloruros*

Es un indicador indirecto de contaminación fecal, ya que el hombre elimina unos 6 gramos de cloruros al día aproximadamente en las excretas.

Pero los cloruros pueden tener otras procedencias, como son la infiltración de aguas marinas, en los acuíferos subterráneos próximos al mar, y también pueden aparecer debido al uso de sustancias ablandadoras, en los tratamientos del agua de abastecimiento, cuando la dureza de está es elevada, actualmente los cloruros han perdido todo valor como indicador de contaminación fecal.

1.2.6.6. *Alcalinidad*

Este parámetro mide la cantidad de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en el agua, iones que se neutralizan con elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio y amoníaco. El agua residual tiene cierto grado de alcalinidad, cuyo origen es el agua de suministro y por el aporte de sustancias de uso doméstico.

Es considerable en casos en los que se empleen tratamientos químicos para la eliminación biológica de los nutrientes y cuando se tenga que eliminar amoníaco por arrastre de aire. Además, a través de este parámetro se puede regular los cambios de pH producido por la adición de ácidos.

1.2.6.7. *Hierro*

El elemento hierro es un elemento químico metálico de color blanco, es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, en estado puro es muy reactivo y se corroe rápidamente al exponerse al aire, es así que el hierro es poco común en arroyos y ríos. Al disolverse el hierro puede alcanzar aguas superficiales reaccionando con oxígeno para formar herrumbre y precipitar en el fondo del flujo de agua.

El hierro disuelto es común en aguas subterráneas porque el oxígeno disuelto generalmente es bajo. Cuando las aguas subterráneas con hierro disuelto es traída a la superficie en un pozo, el hierro reacciona con el oxígeno y es convertido en visibles partículas de herrumbre rojo. También es posible que el hierro entre al agua potable si éste es disuelto en tuberías de metal.

Cuando existen altas concentraciones de hierro en el agua, los problemas aparecen en lugares como en máquinas de lavar, duchas, baños, y lavamanos de la cocina. Por tal razón el tratamiento más común es el sistema “punto de entrada” que trata toda el agua que entra en la casa. Otras opciones incluyen secuestro por alimentadores de fosfatos, intercambio iónico, filtros de oxidación, clorador, unidades de filtros, oxidación por aeración seguidos por filtración.

1.2.6.8. *Sulfatos*

El contenido de sulfatos en las aguas naturales es variable puede presentarse desde pocos miligramos por litro hasta cientos de miligramos por litro, se originan en las aguas que atraviesan terrenos ricos en yesos o en aguas contaminadas residuales o industriales. Su presencia no ocasiona problemas en la potabilidad del agua de consumo. En contraste cantidades superiores a los 300 mg/L provocan trastornos gastrointestinales en niños.

La reglamentación técnico-sanitaria española establece como valor orientador de calidad 250 mg/L y como límite máximo tolerable 400 mg/L, concentración máxima admisible. (Ambiente, 2015, http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Determinacion_de_sulfatos.asp#).

1.2.6.9. *Nitrógeno*

Es un elemento fundamental para el desarrollo de microorganismos y plantas, su limitación puede causar cambios en la composición bioquímica de los organismos reduciendo su tasa de crecimiento, a la vez contribuye al agotamiento de oxígeno y a la eutrofización de los cuerpos de agua al presentarse en cantidades significativas que pueden resultar del uso de fertilizantes y abonos animales que se filtran mediante las aguas subterráneas.

El nitrógeno está presente en el agua residual en forma de urea y proteínas que son degradables por las bacterias, que los transforman en amonio, y a partir de él producen nitritos y nitratos. El amoníaco es el primer producto de la degradación de la urea y del material protéico, se puede considerar como el mejor indicador químico indirecto de contaminación fecal reciente. Las distintas conversiones del nitrógeno, están influenciadas por el pH y la temperatura del medio. Los nitritos se consideran como indicadores indirectos de contaminación fecal, son inestables y se oxidan fácilmente a nitratos. Su ausencia en el medio puede deberse a condiciones anóxicas, que obliguen a los microorganismos a utilizar el oxígeno ligado, llevando el hidrógeno a formas más reducidas.

Los nitratos son la forma más oxidada del nitrógeno que se encuentra en las aguas residuales, su aumento creciente en las aguas subterráneas es preocupante, ya que, puede alcanzar las fuentes de agua de bebida y llegar a ocasionar graves enfermedades, como la metahemoglobinemia infantil y el aumento en la incidencia de cáncer.

1.2.6.10. *Fósforo*

Es un elemento fundamental para el crecimiento de los organismos, en aguas residuales se encuentra en forma de: ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. También es responsable de la producción de procesos de eutrofización.

Este elemento produce proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe un gran interés para controlar la cantidad de compuestos de fósforo especialmente el de los detergentes para lo cual se está sustituyendo el tripolifosfato de sodio que es su componente principal por la sal sódica del ácido nitrilotriacético, estos compuestos llegan a las aguas superficiales a causa del vertido de aguas residuales, sean estas industriales o domésticas.

1.2.6.11. *Azufre*

Se requiere para la síntesis de proteínas liberándose en su descomposición, todos los microorganismos pueden utilizar el sulfato como fuente de azufre. Las bacterias tienen la capacidad de reducir los sulfatos a sulfuros y H_2S en un ambiente anaerobio.

Estos compuestos son importantes en el comportamiento de los residuos líquidos y su grado de septización. El H_2S puede ser también oxidado a sulfato, que es corrosivo para las tuberías del alcantarillado. Si éste llega a contaminar el agua de bebida, puede causar trastornos gastrointestinales, sobre todo en niños. Además, el sulfato de magnesio produce sabor amargo al agua.

1.2.6.12. *Compuestos tóxicos*

Ciertos componentes de las aguas residuales resultan ser muy tóxicos para los organismos y microorganismos, por lo cual, son de gran importancia en cuanto al vertido y tratamiento. Si se hace un vertido indiscriminado sobre cuerpos de agua receptores, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella, afectando a la cadena alimenticia y puede llegar al hombre.

El cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico su efecto puede ser drástico ya que estos iones provocan la muerte de los microorganismos, deteniendo los procesos de tratamiento.

1.2.6.13. *Gases*

Los gases más frecuentes presentes en la composición de las aguas residuales son: nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoníaco y metano, los tres primeros están presentes en las aguas que tienen contacto con el aire por ser gases comunes de la atmósfera, los demás son resultado de la descomposición de la materia orgánica.

1.2.6.14. *Oxígeno Disuelto*

Es uno de los parámetros fundamentales para la vida de los organismos aerobios, por lo cual el crecimiento descontrolado de organismos y microorganismos de estas aguas conduce a un agotamiento de este, es necesario para evitar procesos anaerobios que provocan la formación de olores desagradables característicos en las aguas residuales, por lo que es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto. (Gavira, 2013, <http://triplenlace.com/2013/05/17/sistemas-de-depuracion-de-aguas-residuales-26-caracteristicas-de-las-aguas-residuales-urbanas/>).

1.2.7. *Características biológicas*

En cuanto a la composición y concentración de las aguas residuales presentan cantidades representativas de organismos en los que influye la temperatura, y el pH que son factores importantes para el desarrollo de éstos. Los principales grupos de organismos que se pueden encontrar son:

1.2.7.1. *Bacterias*

La mayoría son de origen fecal o a la vez provienen de las plantas de tratamiento o de la naturaleza debido a que participan en procesos de biodegradación, las especies predominantes en estas aguas son: Escherichia, Salmonella, estreptococos fecales, Pseudomonos, Bifidobacterium, Clostridium, Flavohacterium, Nocardia, Achromobacter, Alcaligenes, Nitrobacter entre otras.

Las bacterias Coliformes son utilizadas como indicador de contaminación de origen humano en descargas de aguas residuales, pues cada persona diariamente elimina entre 100.000 y 400.000 millones de este tipo de bacterias mediante las heces además de otro tipo de bacterias.

1.2.7.2. *Virus*

Se originan en las excretas de personas y animales infectados tienen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y materias particuladas ayudando a su supervivencia por tiempos prolongados en las aguas residuales. Entre los principales están: Poliovirus, virus de la hepatitis, rotavirus, adenovirus y parvovirus.

La presencia de virus constituye un peligro para las aguas receptoras debido a que en muchos casos estos virus le confieren resistencia a ciertos tratamientos de aguas residuales, en estos procesos los virus se adsorben a la superficie de los flóculos y son solamente separados de las aguas residuales mas no inactivados.

1.3. Manejo de las aguas residuales

El manejo de las aguas residuales tiene una importancia primordial pues se ve afectada la salud de las personas, animales y el ambiente así como las principales actividades que desarrolla el hombre y al ritmo del progreso actual la naturaleza no la puede asimilar.

Es por ello que el hombre interviene para reducir la carga contaminante y mejorar la calidad del efluente de estas aguas residuales, para una mejor asimilación en la naturaleza, además de reciclar este recurso mediante procesos apropiados.

1.3.1. Tratamiento de aguas residuales

En el tratamiento de aguas residuales se identifican varios procesos entre ellos están los procesos físicos, químicos y biológicos que disminuyen la contaminación de los cuerpos de agua, así como el deterioro a los suministros de agua para los diferentes sectores. Disminuye, el daño en la agricultura, la devaluación de la tierra y el impacto al entorno ecológico.

La serie de procesos que se aplican son denominados según la función que ejercen como: tratamiento preliminar, tratamiento primario, secundario, y terciario o avanzado.

1.3.1.1. Tratamiento Preliminar

En esta etapa del proceso la función primordial se basa en favorecer el funcionamiento de los siguientes sistemas de tratamiento, eliminando los residuos fáciles de disgregar, reducir de forma sensible las condiciones indeseables que se relacionan con la estética del sistema de tratamiento y en ciertos casos interviene en un proceso de pre-aireación.

1.3.1.4. Tratamiento primario

Su función principal es remover material flotante o material que puede sedimentarse presente en el agua residual a tratar mediante métodos mecánicos, físicos o físico químicos, comprende procesos de sedimentación primaria, coagulación, floculación, flotación, precipitación química, filtros gruesos y tamizado.

En esta etapa se puede remover una parte importante de la materia orgánica presente en el agua residual, en valores de entre el 25 % hasta el 40 % correspondiente a la DBO y entre el 50 % al 60 % de sólidos suspendidos.

La sedimentación de los sólidos suspendidos se da en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0,5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65 % de los sólidos finamente divididos, se pose en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos.

La sedimentación primaria está diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual. El nivel primario era suficiente como único tratamiento, la sedimentación primaria era la operación unitaria más importante de una planta pero en la actualidad con el tratamiento secundario su rol ha disminuido.

La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza pegajosa y floculan de forma natural, es ligeramente más pesado que el agua y se sedimenta lentamente, normalmente en el intervalo de 1 a 2,5 m/h. Los materiales orgánicos más ligeros, principalmente grasas y aceites, flotan en la superficie y se deben desnatar.

1.3.1.5. Tratamiento Secundario

Este tratamiento elimina sustancias y desechos que no han sido suprimidos en la etapa de sedimentación, se dan procesos biológicos aerobios, anaerobios y físico químicos que permiten reducir un mayor porcentaje (%) de materia orgánica. Las bacterias aerobias tienen la facilidad de digerir la materia orgánica presente en el agua residual, los procesos involucrados son: lodos activados, biofiltros, biodiscos y lagunaje. (Ricardo, R. 2002, www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/matedu/introduc.pdf).

1.3.1.6. Tratamiento Terciario

Se perfeccionan los procesos anteriores, las aguas son limpiadas de contaminantes como fósforo, nitrógeno, metales pesados, minerales, compuestos orgánicos, eliminación de patógenos, parásitos, y contaminantes químicos específicos. En ciertos casos se puede aplicar micro filtración mediante adsorción por el carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, ozonización entre otras.

1.3.2. Tratamiento de aguas residuales Físico - Biológico

Los tratamientos físicos y biológicos son una serie de procesos fundamentales que permiten eliminar netamente contaminantes físicos y biológicos, como cantidades significativas de sólidos contenidos en estas aguas al igual que permiten degradar la materia orgánica presente en el agua efluente del consumo humano.

Generalmente, el tratamiento que se basa en métodos específicamente físico – biológicos, inicia por la separación física de los sólidos de mayor tamaño como la basura presente en la corriente de agua residual doméstica, esta separación se realiza mediante el uso de rejillas o mallas, luego los sólidos pequeños son separados mediante la sedimentación primaria, este proceso consiste en separar los sólidos suspendidos existentes en el agua sometida al tratamiento.

La sedimentación secundaria es consecutiva a la sedimentación primaria la cual consiste en tratamientos particularmente biológicos que dependen de las bacterias, nematodos y otros pequeños organismos que descomponen los residuos orgánicos mediante procesos celulares normales. Se da la conversión progresiva de la materia orgánica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas. Los sólidos separados deben recibir un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o disposición final apropiada.

Posterior a estos procesos el agua residual puede ser sometida a procesos experimentales adicionales como puede ser un tratamiento terciario que consiste en desinfectar o filtrar. La filtración consiste en tratar el agua pasándola a través de medios o capas de materiales granulares que retienen los contaminantes o partículas restantes que se adhieren físicamente y por sí mismas al material filtrante los cuales reducen problemas de turbidez y color, también pueden eliminar bacterias y virus (Water, RWL. 2016, <https://www.rwlwater.com/tratamiento-biologico-aguas-residuales/?lang=es>).

1.3.3. Materiales filtrantes

1.3.3.1. Grava o piedra



Figura 1-1. Grava típica de río.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Es un material de origen natural que ayuda a la filtración del agua residual gracias a su consistencia dura, compacta, de formas y tamaños variados, tiene propiedades mecánicas, térmicas y químicas, una de las propiedades importantes es la dureza en la cual la mayor parte de las piedras son medidas en la escala de Mohs, del 1 al 10, valores cercanos a 1 son suaves y próximos a 10 más duras. (Jacson Ch, 2014, <http://es.slideshare.net/jacsonchipanacastro/propiedades-de-la-piedra-38891790>).

El módulo de Young permite conocer la elasticidad de las piedras, mide la cantidad de estrés que se pone en la piedra antes que esta se deforme, es medida en gigapascales y la mayor parte de las piedras miden unos 50 gigapascales (GPa). Otra propiedad que se presenta es el coeficiente de expansión térmica y la capacidad calorífica específica que se relacionan de forma directa con la temperatura.

El tamaño general de la grava está comprendido entre 2 y 64 milímetros como resultado de procesos naturales y por acción del hombre, el desgaste natural que se da en los ríos produce formas redondeadas, la grava para este tipo de filtros por lo general presenta un color amarillo/marrón, de forma sub angular, fracturada, presenta una dureza entre 7- 8 en la escala de Mohs, son resistentes y se la extrae de ríos.

1.3.2.1. Caño plástico corrugado de electricidad

El caño plástico corrugado de electricidad ayuda a la filtración del agua residual en tratamiento, su tamaño y forma permiten que el flujo tenga un movimiento re circulante que a la vez retiene microorganismos y carga orgánico que no se retienen en los sustratos superiores. (Torres, 2007, <http://foro.elacuarista.com/index.php?topic=118.0>).

Esta tubería es un medio filtrante sintético que gracias a su composición, su forma y fibra produce menos restricción en comparación con medios filtrantes como la celulosa (pulpa de madera), su forma permite utilizarlo para crear la trayectoria de flujo con la menor resistencia posible. Este medio sintético tiende a capturar contaminantes en la profundidad del medio permitiendo mayor capacidad de retención del contaminante.

1.3.2.2. Medio filtrante combinado

En ocasiones se requiere las características de estos tipos de medios filtrantes como un filtrante biológico y del medio filtrante sintético, combinándose este tipo de medios las características del medio filtrante crean un medio que adecúa la eficiencia y la capacidad de retención de contaminantes del sistema filtrante. (Company, 2015, www.baldwinfilter.com/es/techtips.html).

1.3.2.3. Kikuyo. *Pennisetum clandestinum*

La propagación de su manto mediante sus tallos ramificados subterráneos permite ejercer una excelente filtración en el proceso de tratamiento de aguas residuales, en las que ciertas partículas en procesos anteriores no son retenidas. Presenta tallos rastreros, su forraje es de alta calidad y muy resistente, sobrevive periodos largos de sequía, responde bien a fertilizantes nitrogenados, heladas, ayuda a controlar la erosión, proporciona estabilidad al suelo.

Posee una tasa alta de crecimiento durante el verano con muy buen rendimiento, reduce las malas hierbas por ser competitivo. Alcanza una altura de 30 - 40 cm, su sistema radicular es profundo, los rizomas y estolones comprende entre 2 - 4 mm de diámetro, es tolerante al pisoteo, mantiene el suelo, responde bien a la entrada de estiércol y al riego.

Su crecimiento se da en condiciones de humedad, se adapta con facilidad aunque tiene preferencia suelos fértiles o por lo menos moderadamente drenados además tolera algo de anegamiento y soporta hasta unos 10 días de inundación al igual que niveles de salinidad moderados. (Alvarez, Enrique, et al., 2008, p. 4-14.)

Por su red de raíces forma una alfombra compacta porosa por su estructura filtrante absorbe las gotas de agua las cuales al ser interceptadas por esta red son conducidas de manera correcta sobre la vegetación o la superficie que se tenga, este proceso contribuye reduciendo la utilización del agua.

Una red densa de Kikuyo absorbe por su filtro 6 veces más la lluvia que otros sistemas, acondiciona la temperatura, reduce el ruido debido a que en lugar de ampliarlo lo absorbe mas no lo refleja, y elimina la polución. (SL, 2014, <http://agrocésped.com/sobre-agrocésped/ventajas-del-cespéd-natural>).

1.3.2.4. Esponja

Presenta una textura suave, porosa y su excelente elasticidad permite una mejor filtración de partículas pequeñas que en capas anteriores no han sido retenidas. Al estar fabricado de celulosa o polímeros plásticos absorben de forma excelente el agua, son considerados favorables para el ambiente pues en su fabricación no se producen desechos nocivos la materia prima es reciclada, son fáciles de limpiar en comparación con las esponjas naturales, son manipulables de acuerdo al requerimiento.

Es un material de larga duración que funciona bien como una de las etapas de filtración mecánica, es fácil de cortar a medida, al ensuciarse es un buen soporte de bacterias por lo cual se lo puede colocar en dos etapas para tener alternabilidad en el momento de limpiarlos. Presenta varias densidades que se expresan en ppi (células o poros por pulgada lineal), generalmente se encuentra de 10, 20 y 30 ppi de menor a mayor densidad.

Para comprobar su densidad podemos acercar nuestra boca y soplar para verificar el paso del aire debido a que muchas gomas espumas no dejan pasar el aire y mucho menos el agua, pueden utilizarse por un tiempo aproximado de 5 años ya que es un filtro mecánico excelente, puede convertirse en un filtro biológico de primer orden.

1.3.2.5. Eisenia fétida

El estrato compuesto de una alta densidad de lombrices y microorganismos permite biodegradar la materia orgánica presente en el agua residual, la materia debe encontrarse de forma parcial o totalmente descompuesta para que durante la fermentación no se eleve la temperatura y no mueran. Se caracterizan por ser totalmente inmunes al medio contaminado en el que viven, para un mejor desarrollo el riego del agua debe ser manual o por aspersión.

Al ser micrófagas se alimentan de hongos, protozoos, bacterias y restos de desechos pueden ingerir directamente los desechos que se preparan como alimento, es decir se alimentan de materia orgánica que ha permitido el desarrollo de microorganismos. Aceptan todo tipo de materia biodegradable como los desechos domésticos, no deben incluirse restos animales por su descomposición producen malos olores. (Santacana, 1996, www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/mallia.pdf).

Su promedio de vida es de 4 años se reproduce más de una vez por semana produciendo dos cocones en cada cocón se tiene de 2 a 4 lombrices las cuales permanecen en el medio de cultivo de las lombrices. (Recicluc.com, 2010, <http://www.recicluc.com/lombriz%20roja%20california.html>).

La temperatura óptima para su desarrollo está entre los 20 - 25 °C de 14 a 44 días, son de desarrollo directo, los juveniles son similares a sus padres poseen los mismos hábitos alimentarios, transparentes, entre los 50 y 65 días alcanzan longitudes de 2 a 3 cm, su reproducción es prácticamente todo el año. (RedPermacultura Org, 2008, <http://www.redpermacultura.org/articulos/14-agricultura-ecologica/212-la-lombriz-roja-californiana.html>).

El uso de lombrices como filtro percolador se basa también en un sistema conocido como Sistema Tohá o Biofiltro Dinámico Aerobio, el mismo que presenta varias ventajas como el de ser una tecnología innovadora, económico, baja inversión, fácil de operar, es eficiente en el tratamiento de carga contaminante, se adapta a varias condiciones climáticas, es conocida a nivel mundial, este sistema se ilustra a continuación:



Figura 2-1. Sistema Tohá

Fuente: <http://sistematoha.cl/newSistematoha>

El agua residual percola a través de los diferentes lechos filtrantes, se retiene la materia orgánica que es consumida por las lombrices.

En 1994, gracias al apoyo de FONDEF, se construyó en CEXAS, Melipilla, la primera planta de tratamiento de aguas servidas para una población de 1.000 personas. Actualmente existen plantas de tratamiento funcionando en Chile y en el extranjero, en países como Argentina, Paraguay, México, Bolivia, Ecuador, India, entre otros. (Castella, 2015, <http://sistematoha.cl/newSistematoha/sistema-toha/>).

1.3.2.6. Paja de páramo

Los pajonales son excelentes distribuidores del agua receptada, por lo cual se ha tomado en cuenta la intervención de esta capa en el tratamiento. Además sirven de almacenamiento del agua de lluvia, los deshielos y de la condensación de la neblina función que se llevará a cabo en el proceso de tratamiento.

Los suelos pertenecientes a estos pajonales poseen una estructura especial gracias a la vegetación que crece en ellos y permiten cumplir con una función similar al de una esponja, almacena y distribuye agua limpia constantemente aun en épocas de sequía.

El servicio ambiental del páramo es retener gran parte del agua que sirve de riego, para agua potable y la hidroelectricidad de los campos y población de la sierra incluso los de la Amazonía y costa, esta estructura puede perder su capacidad hidrofílica una vez alterada, es decir, es una esponja de una sola vida.

Los páramos sudamericanos comúnmente dichos se encuentran desde la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia y la Cordillera de Mérida en Venezuela, hasta la depresión de Huancabamba en el Perú (aproximadamente entre los 11° de latitud Norte y los 8° de latitud Sur), y constituyen un componente importante de la biodiversidad de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú (Balslev y Luteyn 1992; Luteyn 1999; Hofstede *et al.* 2003).

En Ecuador predominan en la altitud de 3500 m como límite inferior, pero las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas hacen que este límite varíe mucho y que se encuentren a veces páramos desde los 2800 m, especialmente en el sur del país o bosques cerrados hasta por sobre los 4000 m. Es el país que más páramos tiene en relación a su extensión total, el páramo cubre aproximadamente un 6 % del territorio nacional es decir cerca de 1250,00 hectáreas.

1.4. Parámetros de Diseño

1.4.1. Operación y procesos del tratamiento de aguas residuales

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (modelo experimental) se requieren varios parámetros los mismos que permiten definir los procesos necesarios que se deben diseñar, construir e implementar, para lo cual se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Características principales del agua a tratar: conocer la cantidad de materia orgánica presente determina el tiempo de retención hidráulica (TRH) para conseguir mediante el tratamiento el nivel de calidad de agua que se desee.
- Caudal a tratar: medición del caudal, cantidad del agua residual con el que se va a trabajar, volumen del agua residual que ingresara al sistema en un período determinado de tiempo, para dar seguimiento y control de los procesos e informes de descarga.
- Ecuación para determinar el caudal:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 1-1})$$

- Proceso de sedimentación: eliminación de sólidos sedimentables y espesados de fangos.
- Proceso biológico, lodos activados: la carga contaminante es eliminada mediante la actividad biológica su principal función es eliminar sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en estado coloidal y en disolución mismas que por efecto del proceso emiten gases liberándose a la atmosfera, además de estabilizar la materia orgánica.
- Filtración: es el proceso final, se aplica luego del tratamiento biológico, elimina los sólidos en suspensión, está conformada por varias capas en las cuales cada uno de los sustratos tienen elementos diferentes que permiten filtrar al agua y reducir los niveles de contaminación mejorando el proceso de tratamiento de agua residual en un agua reciclable para usos de regadío y bebederos de animales (Metcalf & Eddy, 1996, pp. 95 - 103).

1.4.2. Cálculos de ingeniería para determinar la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento

1.4.2.1. Cálculo de la eficiencia de remoción de la carga contaminante en el sistema de tratamiento de aguas residuales:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100 \quad (\text{Ec. 2-1.})$$

dónde: E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes (%).
 S: Carga contaminante de salida (mg DQO, DBO₅).
 S₀: Carga contaminante de entrada (mg DQO, DBO₅).

1.5. Normativa ambiental

En base a la normativa ambiental TULAS, se establecen límites máximos permisibles de descarga para cuerpos de agua dulce, que en resumen se describen a continuación:

Tabla 2-1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	250
Fósforo Total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Nitrógeno Total	N	mg/L	15
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000
Color real	Color real	Unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Coliformes Fecales	Nmp/100 mL		Remoción > al 99,9 %

Tabla 2-1. Continuación.

Potencial hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	100
Sólidos sedimentables	SS	mg/L	1,0
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/L	1000
Temperatura	T	°C	< 35

Realizado por: Lemay Nancy, 2016.

Fuente: ECUADOR, Ministerio de Ambiente, Texto Unificado de Legislación Ambiental, 2ª. Ed. snt. Libro VI Anexo 1. pp. 45.46.47.

CAPÍTULO II

2. Diseño experimental

2.1. Tipo y diseño de investigación

La propuesta de Diseño e implementación de un modelo experimental físico- biológico para el tratamiento de aguas residuales de la Comunidad Piscicaz Alto filial a la UCASAJ, es explicativo, pues se tomó como base las características de estas aguas residuales, el cual es un problema ambiental presente en esta comunidad y en la parroquia San Juan, es por ello que se propuso la implementación de este modelo.

Es una investigación exploratoria, por el simple hecho de conocer este problema de descarga directa a los cuerpos de agua se propone reducir la carga contaminante de dichas aguas mediante el modelo experimental basado en modelos, plantas de tratamiento de aguas e investigaciones anteriores que proponen ciertos sistemas que permiten dar un tratamiento amigable con el ambiente.

Por último, la investigación se presentó de forma correlacional, a causa de que el fin fue conocer la relación que se presenta entre la variable independiente: Tratamiento del agua residual, que comprende el dimensionamiento del modelo experimental, sus características físicas y la variable dependiente: Contaminación, porque va a depender de los datos y valores de análisis de laboratorio de las propiedades físicas, biológicas y químicas del agua residual.

2.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis corresponde al porcentaje (%) de remoción de contaminantes que presenta el modelo experimental. El modelo demuestra que si es eficiente en una cantidad mayor al 50 % de remoción de la carga contaminante total de las aguas residuales domésticas de la comunidad Piscicaz Alto mediante datos de análisis de laboratorio y cálculos correspondientes a las características reales presentes.

2.3. Población de estudio

La población de estudio de la investigación fue el agua residual doméstica proveniente de la comunidad “Pisicaz Alto” filial a la UCASAJ.

2.4. Tamaño de muestra

Consiste en un caudal a tratar de 0,008 m³/s que se han producido como agua residual doméstica por la comunidad.

2.5. Selección de muestra

La selección de la muestra de la investigación se basó en un muestreo compuesto y un muestreo simple, tomando en cuenta un punto estratégico de la descarga de aguas residuales domésticas provenientes de la comunidad “Pisicaz Alto”. Punto en el que la muestra es representativa, tiene todas las características del agua residual sin ninguna previa alteración.

METODOLOGÍA

2.6. Localización de la experimentación

El desarrollo del presente trabajo de titulación se llevó a cabo en la Parroquia San Juan, comunidad “Pisicaz Alto” en las coordenadas 17 M 746644.00 m Este 9820041.00 m Sur y 3.274 msnm, perteneciente a la provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba.

También, en la fase de caracterización del agua residual a tratar se realizaron análisis de laboratorio, en el GAD- Colta, en el Departamento de Agua Potable de este cantón debido a la factibilidad del laboratorio y en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias - ESPOCH.

2.7. Justificación de la experimentación

El tratamiento de aguas residuales es necesario para reducir los niveles de contaminación que existe a causa de la descarga de aguas residuales domésticas provenientes de dicha comunidad, a través del modelo experimental físico – biológico estas aguas son sometidas a un tratamiento previo a su descarga y de esta manera se mejorará la calidad del recurso hídrico. Con un porcentaje de remoción de más del 50 % de la carga contaminante total presente.

El modelo experimental está diseñado en función de los resultados de análisis de laboratorios en base a los principales parámetros y de acuerdo a las necesidades de tratamiento que demuestran estas aguas residuales para que de esta manera el sistema demuestre ser eficiente en el lugar de implementación ya que está adaptado a las condiciones climáticas del lugar.

El sistema de tratamiento tiene la aceptación de la población y la organización UCASAJ por ser un sistema viable, factible, económico, amigable con el ambiente y por la posible replicación en las comunidades que cuentan con una red de alcantarillado para poder mitigar la contaminación del recurso hídrico de la parroquia.

2.8. Muestreo y análisis de laboratorio

La primera etapa consiste en tomar varias muestras representativas del agua residual a tratar, aplicando conocimientos de un adecuado muestreo para la conservación óptima de la muestra hasta el laboratorio, en donde se analizarán las muestras por triplicado para mejores resultados y seguridad de cada parámetro.

2.8.1. Etapa de muestreo

El muestreo se lo realizó en dos etapas; tomando en cuenta la posibilidad de analizar cada parámetro considerado para el presente trabajo, se tomó en cuenta las horas en las que existe mayor actividad doméstica, ya en la zona rural la población por lo general sale a sus diferentes actividades, por lo cual el muestreo se lo realizó en horas de la mañana y en la tarde.

Para obtener datos fiables de la caracterización inicial y disminuir el margen de error, la primera toma de muestras se desarrolló por triplicado el tipo de muestreo fue compuesto ya se tomaron tres muestras en diferentes tiempos pero en el mismo punto, con un volumen de 1 Litro por cada muestra, un total de 3 Litros, muestras 1, 2, y 3 respectivamente, cada una con su respectiva rotulación.

El segundo muestreo fue puntual se tomó una sola muestra de un volumen de 2 Litros para el análisis de los parámetros más importantes como la DBO, y DQO, para garantizar la calidad durante el muestreo se aplicó medidas de seguridad como el uso de ropa adecuada, mandil, guantes, mascarilla cambiándolos de acuerdo al deterioro de los mismos, para preservar la muestra, una posible contaminación cruzada y la salud.

Antes del muestreo los recipientes se lavaban con agua potable, luego se homogenizaban con el agua residual del cual se tomó la muestra, antes y después del muestreo todos los materiales se sometían a una limpieza adecuada, para que no haya ninguna alteración en la calidad de la muestra de agua y no cambie su real grado de contaminación.

2.8.2. Medición de caudal

Para la medición adecuada del caudal se utilizó el Método Volumétrico, de acuerdo a la caja de revisión en donde se receiptan las aguas residuales, se procedió de forma manual con un cronómetro y un recipiente graduado (balde), tomar el tiempo (t) que transcurre en llenarse el recipiente con el volumen de muestra de agua residual (V).

El método es confiable pues el punto en donde se aforó permitió una fácil recolección del flujo de agua residual (punto estratégico) y mediante la relación de estas medidas se determinó el caudal (Q), las medidas de volumen (V) y tiempo (t) son simultáneas y se debe tener mucho cuidado, el cálculo del caudal es el siguiente: $Q = \frac{V}{t}$ que se expresa en unidades de m³/s.
(Ec. 2-2)

El punto estratégico es en donde se da la caída libre de todo el caudal que proviene de la comunidad de “Pisicaz Alto”, gracias a la tubería principal de descarga la recolección en dicho punto permitió con facilidad tomar estas principales medidas y de esta manera medir el caudal de dichas aguas residuales .

Para medir el caudal tomamos la cantidad de volumen por unidad de tiempo en la entrada y salida del sistema, mediante herramientas y técnicas adecuadas. El caudal medido es de: 0,008 m³/s.

2.9. Tratamiento de aguas residuales domésticas

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas existen ciertos parámetros sobresalientes que de diseño que se toman en cuenta, el área del terreno, recolección, tipo de tratamiento, descarga final a un cuerpo receptor, reutilización del agua, eficiencia y viabilidad del tratamiento.

2.9.1. Tanque de Sedimentación

Es un proceso primario que permite la remoción y sedimentación de sólidos sedimentables que resbalan a través de la cámara y permite la digestión de lodos que han sedimentado, también se producen gases como producto de la digestión mismos que se liberan a la atmósfera.

Los lodos acumulados se conducen a un área determinada para su posterior tratamiento y su posible uso como bioabono, su operación es simple no requiere sistemas mecánicos su manejo es de forma manual, como parte del sistema de tratamiento el presente sistema cuenta con una cámara de sedimentación mismo que sirve para la inoculación de microorganismos que ayudan a la biodegradación del agua residual.

Para este proceso se utilizara un tanque de 65 Litros el mismo que es medido de acuerdo a los requerimientos del tratamiento a aplicarse. Este tanque contará con un orificio en la parte inferior para la descarga de lodos (tapón) y una salida en la parte superior a la altura de unos 55 cm desde la base.

▪ *Inoculación de microorganismos*

La inoculación de microorganismos consiste en incorporar un microorganismo en el tanque sedimentador con el propósito de proporcionar medios de defensa, o que según su función permitan degradar materia mediante su función metabólica. Estos microorganismos aprovechan los nutrientes transformándolos y reduciendo la contaminación presente.

La inoculación se realiza a partir de estiércol de ganado vacuno en proporciones similares se incorpora agua caliente, a continuación se ilustra los días y pesos de la materia involucrada en la inoculación de los microorganismos en el tanque de tratamiento:

Tabla 1-2. Proceso de Inoculación.

Volumen de Estiércol (L)	Volumen de agua (L)	Temperatura (°C)	Fecha de incorporación
6	6	25	8/04/2016
6	6	22	9/04/2016
6	6	19	10/04/2016
6	6	16	11/04/2016
6	6	12	12/04/2016
TOTAL= 30 L	TOTAL= 30 L		

Realizado por: Lemay Nancy, 2016.

Para la inoculación de microorganismos en el tanque de sedimentación se utilizó un total de 60 Litros de mezcla el cual fue añadido durante 5 días, la adición de este medio se lo realizó al medio día por la temperatura la cual debe ser alta para favorecer la inoculación y su conservación ya que estos microorganismos deben adaptarse al clima en el que se trabaja, por lo cual poco a poco se va disminuyendo la temperatura de esta mezcla.

Luego de llenar el tanque dejamos reposar por un tiempo de 5-7 días para que se dé la inoculación a la vez para favorecer la adaptación de los microorganismos cubrimos por la parte externa del tanque con paja además de que el tanque se encuentra debajo de la tierra condiciones que ayudan a conservar la temperatura para la inoculación.

Transcurrido una semana la inoculación de microorganismos a partir de estiércol de ganado vacuno presenta aglomeraciones y grumos que contienen gas su proceso paso a paso.

- *Cámara de tratamiento de lodos*

Después de la sedimentación durante el proceso de tratamiento de aguas los sólidos en suspensión sedimentables por acción de la gravedad se separan del líquido y son arrastrados al fondo del tanque sedimentador, estos son descargados a través de un orificio ubicado en el fondo del tanque mismo que tiene su respectivo tapón manipulable para poder descargar estos lodos de acuerdo al control y monitoreo que se realice.

Los lodos generados se conducen a la cámara de tratamiento de lodos mismos que están compuestos por sustancias responsables de carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción de lodo a evacuar generada en este proceso presenta cantidades de materia orgánica y una pequeña parte contiene materia sólida.

Los lodos separados del sedimentador primario y los producidos durante el tratamiento biológico serán tratados, de tal manera que cada vez que estos sean evacuados del tanque sedimentador a través del canal que los conduce hacia la cámara de tratamiento, éstos se someterán a un proceso similar al de un relleno sanitario. Cada vez que sean evacuados se mezclarán y serán cubiertos con capas de tierra negra antes de ser retirados de la cámara de tratamiento, después de este tratamiento los lodos pueden utilizarse como abono.

2.9.2. Tanque de Filtración Físico - Biológico

El segundo tanque está compuesto por varias capas con medios filtrantes que presentan propiedades que permiten una filtración adecuada reduciendo el nivel contaminante que contienen estas aguas residuales, además posee una tapa diseñada para que el agua a filtrarse se disperse en toda el área, estos orificios tienen su respectivo dimensionamiento para una mejor distribución del caudal a tratar.

El sistema cuenta con accesorios y tuberías de acuerdo al requerimiento que presenta dicho tratamiento, las conexiones se la realizan de forma factible con medidas y materiales acordes al proceso. El Modelo experimental cuenta con 2 tanques, el segundo tanque el de filtración física-biológica. De forma ascendente el sistema está compuesto por las siguientes capas:

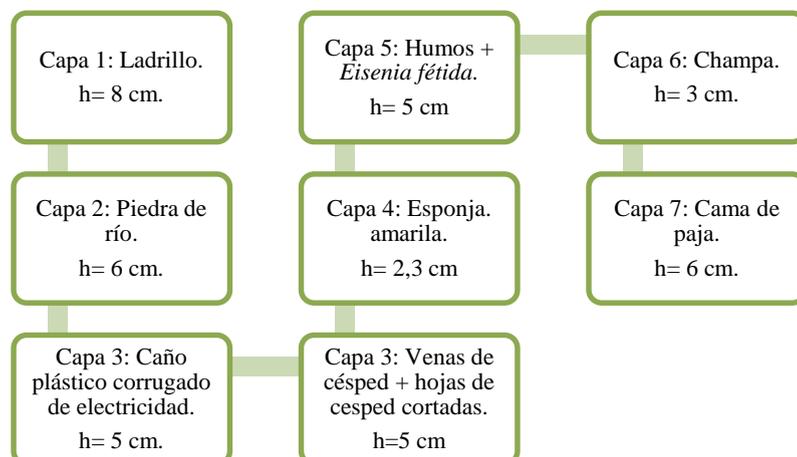


Ilustración 1-2. Sistema filtrante Físico-Biológico.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016.

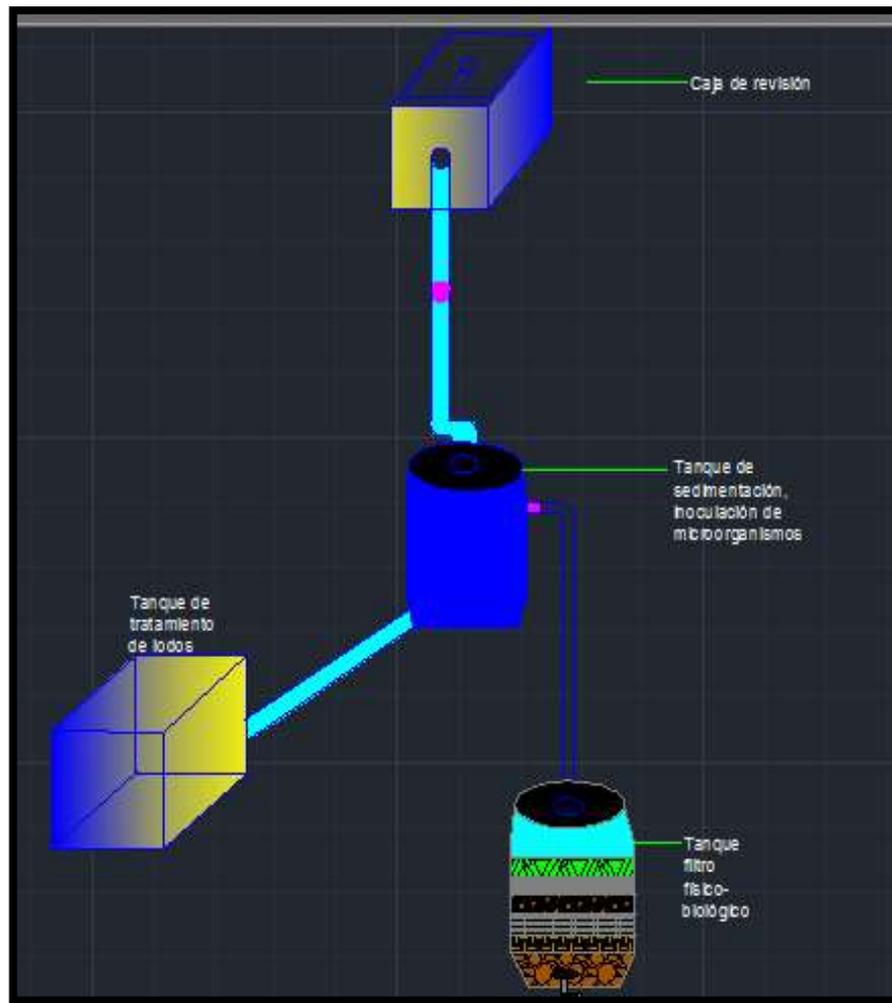


Gráfico 1-2. Sistema Físico – Biológico para el Tratamiento de Aguas residuales Domésticas de la comunidad “Pisicaz Alto”.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016.

TÉCNICAS

2.10. Técnica para la Caracterización Físico – Química y Microbiológica del Agua Residual

Los análisis para la caracterización de las aguas residuales se realizaron en el Laboratorio del Departamento de Agua Potable del GAD- Colta y en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Ciencias, con la inspección y ayuda del doctor Ángel Yuquilema V. y doctora Gina Álvarez R., encargados de dichos laboratorios.

En cada uno de ellos se utilizan las siguientes técnicas descritas según las respectivas normas vigentes para la garantía de la validez de los análisis y sus resultados.

Cuadro 1-2. Técnicas para la caracterización de aguas residuales.

PARÁMETRO	NORMA	TÉCNICA/ MÉTODO
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
pH	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 4500-H ⁺ .	El método consiste en la determinación de la actividad de los iones Hidrógeno por medidas potenciométricas usando un electrodo combinado o un electrodo estándar de hidrógeno de vidrio con un electrodo de referencia, (pHmetro).
Color	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 2120 B.	<p>El color se determina mediante comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas (patrones). La comparación se puede realizar con discos especiales de cristal de color, calibrados.</p> <p>Los patrones deben ser protegidos contra la contaminación y evaporación con el fin de garantizar su estabilidad, por lo que es aconsejable el empleo de tubos Nessler con tapas esmeriladas.</p> <p>Llenar con la muestra un tubo Nessler hasta la marca de 50 mL y compararlo con los patrones mirando verticalmente hacia abajo a través de los tubos sobre una superficie blanca (como el fondo de la gradilla).</p>
Turbiedad	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 2130 B.	Las muestras pueden colectarse en frascos plásticos o de vidrio. No existe método de preservación. Deben analizarse sin dilución y evitando alterar las condiciones originales como el pH. En caso de requerirse almacenamiento, este debe realizarse a 4°C en la oscuridad por un tiempo recomendado de 24 horas pero en ningún caso, superior a 48 horas.

Cuadro 1-2. Continuación.

Temperatura	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 2550.</p>	<p>La temperatura debe medirse directamente en el cuerpo de agua. En los casos que esta operación se dificulte y se obtenga una muestra con algún dispositivo de muestreo (como frasco, botella muestreadora o balde), la temperatura debe medirse a la mayor prontitud posible directamente en dicho dispositivo para así minimizar cualquier error.</p>
Sólidos totales Disueltos	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 2540 D</p>	<p>Son los materiales retenidos por un filtro estándar de fibra de vidrio y secados 103-105 °C.</p>
Sólidos sedimentables	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 2540</p>	<p>Se deja que la muestra tome la temperatura ambiente, la agitamos y vertimos en el cono imhoff 1000 mL de muestra evitando verter la muestra por las paredes del cono. Lo dejamos sedimentar por 45 minutos y leer el volumen de sedimento luego se remueve suavemente las paredes del cono y lo dejamos 15 minutos más.</p>
Conductividad	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 2510 y Método 2520.</p>	<p>Tanto salinidad como conductividad es preferible determinarlas <i>in situ</i>. - Si es necesario coleccionarlas, es preferible hacerlo en frascos plásticos; de utilizar envases de vidrio, evitar que sean de vidrio sódico. Los frascos deben quedar bien cerrados y llenos para evitar el intercambio de gases. No se conoce agente de conservación adecuado. Las medidas deben hacerse lo antes posible una vez recogida la muestra, aunque éstas pueden conservarse hasta 28 días en refrigeración. Para aguas residuales, donde la probabilidad de contaminar el electrodo puede ser importante, debe verificarse el funcionamiento del equipo mediante lectura frecuente de la solución de KCl.</p>
Sal		

Cuadro 1-2. Continuación.

Dureza cálcica	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 2340 C</p>	<p>Titulación del EDTA 0.01M: Dejar que la solución estándar de Ca alcance la temperatura ambiente y pipetear 10 mL de la misma a un matraz erlenmeyer de 250 mL, agregar 40 mL de agua desionizada y 1 mL de solución tampón (para garantizar pH próximo a 10). Añadir 1 cucharilla de Indicador Negro de Eriocromo T (la solución tomará color rojo vino). Titular con solución EDTA hasta viraje a color azul suave.</p>
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS		
DBO5	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 5210 B</p>	<p>La muestra o una dilución adecuada de la misma, es incubada por 5 días a 20°C en la oscuridad. Se mide la concentración de oxígeno disuelto antes y después de la incubación, el consumo de oxígeno corresponde a la Demanda Bioquímica de Oxígeno.</p>
DQO	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 5220 D.</p>	<p>La muestra se oxida con una cantidad conocida de dicromato de potasio en exceso, en medio ácido y con catalizadores. El dicromato de potasio remanente es determinado espectrofotométricamente a 600 nm.</p>
Nitritos	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.</p>	<p>El nitrito se determina por la formación de un colorante púrpura rojizo, produciendo a un pH 2,0 a 2,5 por acoplamiento de sulfanilamida diazotizada con diclorohidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (diclorohidrato de NED).</p>
Nitratos	<p>APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Método 4500-NO3- B.</p>	<p>Preparar soluciones estándares de nitrato entre un rango de 0 y 7 mg/L por dilución de la solución intermedia de nitrato, medir la absorbancia de los estándares a 220 y 275 nm contra un blanco de agua. La muestra debe ser clara, si es necesario filtrarla.</p>

Cuadro 1-2. Continuación.

Fósforo	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.	El análisis de fósforo incluye dos pasos generales en los métodos: a) conversión de la forma fosforada en ortofosfato disuelto, b) determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto. La filtración a través de un filtro de membrana de 0,45 um de diámetro del poro separado de las formas disueltas del fósforo de las suspendidas, es una técnica analítica cómoda y repetible destinada a conseguir una separación <i>grosso modo</i> , la cual después de una serie de procedimientos permite leer la muestra en el espectrofotómetro de UV.
CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS		
Coliformes Totales	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.	Esta técnica consiste en la filtración de un volumen medio de muestra a través de una membrana de nitrato de celulosa y su incubación en un medio de cultivo selectivo a 44,5 °C. El medio selectivo y la temperatura de incubación disminuyen el desarrollo de bacterias no Coliformes que afectarían negativamente el crecimiento de los Coliformes.
Coliformes Fecales	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.	

Fuente: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition. Washington DC, APHA, AWWA, WWCF, 1992

2.11. Análisis de las muestras del agua residual previa a su tratamiento

Las muestras del agua residual doméstica provenientes de la comunidad “Pisicaz Alto” fueron trasladadas al Laboratorio de Análisis de Aguas del GADM-Colta, manteniendo un traslado y conservación de la muestra adecuada con la finalidad de obtener resultados fiables, los mismos que se demuestran en el siguiente informe de análisis de laboratorio:

Entre los principales parámetros, tres de ellos que nos permiten evaluar el nivel de contaminación de las aguas residuales domésticas se analizaron en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias-ESPOCH, debido a la factibilidad del laboratorio y gracias a que este laboratorio cuenta con los equipos necesarios para dicho análisis, a continuación se demuestran los resultados.

2.12. Diseño del Modelo Experimental Físico- Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales

El diseño del modelo experimental físico- biológico para el tratamiento de aguas residuales se basó en la caracterización inicial del agua residual doméstica proveniente de la comunidad “Pisicaz Alto” de la parroquia San Juan y en base a parámetros de diseño y ecuaciones obtenidas de fuentes bibliográficas que se ajustaron a la realidad del caso.

De esta manera se diseñó el modelo experimental para el tratamiento de aguas residuales de acuerdo a requerimientos, valores teóricos y reales para su construcción, con la finalidad de que el sistema funcione correctamente y cumplir con el objetivo de operación del modelo, el de reducir la carga contaminante del agua residual tratada a más del 50% de su contenido, mediante las distintas etapas de tratamiento

2.12.1. Procedimiento

El diseño del modelo experimental físico – biológico para el tratamiento de aguas residuales domésticas se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

- En base a trabajos realizados que ilustran el tratamiento de aguas residuales, tomamos en cuenta las principales características para diseñar una nueva forma de tratar aguas residuales, combinando estos procesos y etapas.
- Se determinó dos etapas principales para que el tratamiento tenga únicamente procesos Físicos y Biológicos; Tanque de sedimentación e inoculación de microorganismos y el Tanque de Filtración evitando cualquier proceso en el que intervengan químicos.
- En base a la caracterización inicial del agua residual, se define los sustratos necesarios para la filtración y remoción de la carga contaminante, además se toma en cuenta materiales que sean económicos y accesibles.
- El factor de escala de construcción del modelo experimental se analizó con los tutores del trabajo de titulación de acuerdo al espacio físico, el caudal que se pueda tratar, la viabilidad y factibilidad de construcción, funcionamiento y control del modelo experimental.

- Los valores reales de dimensionamiento en especial el Caudal (Q) puede ser controlado pues se cuenta con una válvula que permite manejar el caudal, para un mejor control y operación del modelo experimental para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Se realizaron esquemas y planos del Modelo Experimental Físico- Biológico propuesto mediante herramientas informáticas como AutoCAD estableciendo los valores reales de construcción.

2.13. Construcción del Modelo Experimental Físico - Biológico para el tratamiento de Aguas Residuales

2.13.1. Disposición de los materiales previo a su construcción

En base al diseño expuesto se adquieren los materiales previos a su construcción e implementación se los adecúa de acuerdo a medidas y cantidades necesarias de cada material para la construcción del Modelo Experimental Físico- Biológico para el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

Tanque 1: Se toman medidas de acuerdo al diseño establecido: un tapón macho de 2” en la parte inferior y una válvula de salida en la parte superior a una altura de 55 cm.



Fotografía 1-2. Tanque de Sedimentación.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Tanque 2: Este tanque cuenta con una tapa diseñada la cual se perforaron orificios con broca de 2, la distancia entre cada uno de ellos es de 3 cm de uno a otro, con un total de 41 orificios en la tapa, en la parte inferior se perforo y coloco una llave de salida. Este tanque cuenta con varias capas las mismas que se describen a continuación.



Fotografía 2-2. Tapa diseñada para filtración del agua.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Capa 1: Conformado por trozos de ladrillo quemado (8 cm de espesor), estos trozos permiten el soporte de la armadura del tanque filtrante y la válvula de salida del agua tratada, se toman dos ladrillos y se los fractura en tamaños de acuerdo a la base del tanque.



Fotografía 3-2. Capa 1- Ladrillo quebrado.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Capa 2: Piedra de río (6 cm de espesor), esta piedra se adquiere con facilidad solamente se requiere paciencia para recolectar, debido a que se deben escoger piedras similares con un mismo diámetro en este caso piedras con un diámetro entre 1,0 de 2,0 y de 2,5 cm, que permiten la filtración de sólidos por ser su función mecánico, su recolección se realizó en un riachuelo de la parroquia San Juan.



Fotografía 4-2. Capa 2-Piedra de río.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Capa 3: Caño plástico corrugado (5 cm de espesor), gracias a su estructura permite que el flujo tenga un recorrido especial que permite a la vez filtrar partículas que en la etapa anterior no se filtran, puede retener microorganismos y favorecer su crecimiento. Se adquirió 2 metros de caño y se los corta en tamaños de 1 y 2 cm. Se la coloca en una malla para evitar su incorporación en la capa anterior.



Fotografía 5-2. Capa 3- Caño plástico corrugado.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

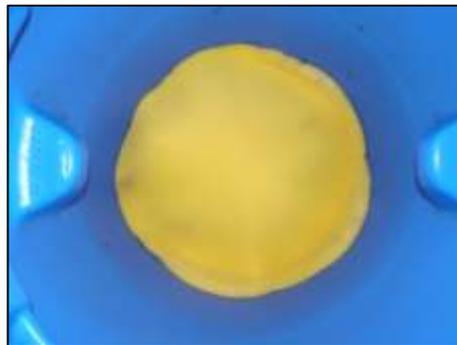
Capa 4: Venas de césped más Hojas picadas (5 cm de espesor), el césped es retirado de la capa vegetal con un azadón de acuerdo al diámetro medido en este caso aproximadamente una capa de 35 x 35 cm la lavamos y colocamos en el tanque.



Fotografía 6-2. Capa 4- Venas de césped más hojas picadas.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Capa 5: Esponja amarilla (2 cm de espesor), se adquiere una lámina de esponja de 1 m² y la cortamos de acuerdo al diámetro del tanque que es de 34 cm.



Fotografía 7-2. Capa 5-2. Esponja amarilla.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Capa 6: Humus + *Eisenia Fétida* (5 cm de espesor), mezclamos 3 libras de *eisenia fétida* con 2 libras de humus.



Fotografía 8-2. Capa 6-2. Humus + *Eisenia Fétida*.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Capa 7: Champa (3 cm), se la retira de la capa vegetal con la ayuda de un azadón.



Fotografía 9-2. Capa 7-2. Red de Champa.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Capa 8: Cama de paja (6 cm), la paja se la corta en el páramo más cercano y se la agita hasta formar una capa uniforme compacta y la cortamos de forma redondeada de acuerdo a l diámetro requerido.



Fotografía 10-2. Capa 8-2. Cama de paja.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

2.14. Materiales

2.14.1. *Materiales para el muestreo:*

- Balde plástico de 12 Litros.
- Guantes de látex.
- Envases de Vidrio (ámbar) y plástico (1L).
- Envases de plástico estéril (200 mL).
- Marcadores para rotular las muestras.
- Cinta adhesiva.

- Sistema de refrigeración (hielo) para mantención y traslado de muestras.
- Cooler para disposición de las muestras en terreno y traslado al laboratorio.

2.14.2. Equipos de campo:

- Cronómetro.
- Flexómetro.
- Cuaderno de apuntes.
- Cámara Fotográfica.
- Esferográfico.
- Marcador indeleble.
- Equipo de protección personal.
- GPS.

2.14.3. Materiales y equipos de laboratorio:

- pHmetro.
- Espectrofotómetro DR2800.
- Turbidímetro.
- Digestor de DBO₅,
- Reactivo para DQO.
- Incubadora.
- Termómetro.
- Pipetas de 10 ml, 5 ml, 1 ml.
- Balón de aforación.
- Matraz.
- Estufa.
- Tubos Nessler.
- Gradilla.
- Probetas 10 ml, 25 ml.

2.14.4. Materiales para la construcción del Modelo Experimental Físico - Biológico:

- Tanques de 65 litros (2).
- 1 Llave de 2" PVC.
- 1 Codo de 2".
- Válvula compuerta ¾".

- Válvula compuerta ½”.
- Adaptador 1” Tigre tanque de reserva.
- Adaptador 2” Tigre tanque de reserva.
- Tapón hembra HG 2”.
- Codo polimex 1”.
- Tubo PVC rosca 2”.
- Tubo Hidro ¾.
- Tarraja PVC.
- Teflón ¾.
- Cemento.

2.15. Implementación del Modelo Experimental Físico – Biológico para el tratamiento de Aguas Residuales

La implementación del Modelo Experimental Físico - Biológico para el tratamiento de Aguas Residuales se elaboró a partir de la caracterización inicial, de cálculos de diseño y planos del modelo experimental combinados en un sistema en el cual solamente intervengan procesos físicos y biológicos, de esta manera disminuir el uso de agentes químicos en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

La implementación se llevó a cabo en la parroquia San Juan, comunidad “Pisicaz Alto” ubicado en las siguientes coordenadas: 17 M 746644,00 m Este 9820041.00 m Sur y 3.274 msnm, donde se realiza una Prueba Piloto para comprobar el funcionamiento del modelo experimental físico - biológico.

2.15.1. Procedimiento

La implementación del modelo experimental físico - biológico para el tratamiento de aguas residuales domésticas se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

- Después del acondicionamiento del terreno y de los materiales junto a las conexiones necesarias y establecidas, se construyó el modelo experimental.
- Para la implementación del modelo, fue necesario realizar una prueba piloto en la cual, el caudal es regulado y acorde al recorrido del agua en tratamiento se procedió a evidenciar el proceso de tratamiento a través del modelo experimental. Se tomaron las medidas de caudal tratado, tiempo

de retención hidráulica y otros parámetros necesarios que permiten controlar y monitorear el proceso de tratamiento aplicado.

- Para verificar que el modelo experimental actúa sobre las aguas residuales se realizaron análisis físico químicos y microbiológicos para evaluar la eficiencia del tratamiento en cuanto a la remoción de contaminantes que ingresan al sistema y los valores de los parámetros al salir del sistema de tratamiento.
- Finalmente se realizaron cálculos necesarios para determinar el funcionamiento del modelo experimental, su porcentaje de remoción, y la eficiencia del sistema de tratamiento para los principales parámetros que permiten determinar la calidad del agua tratada.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

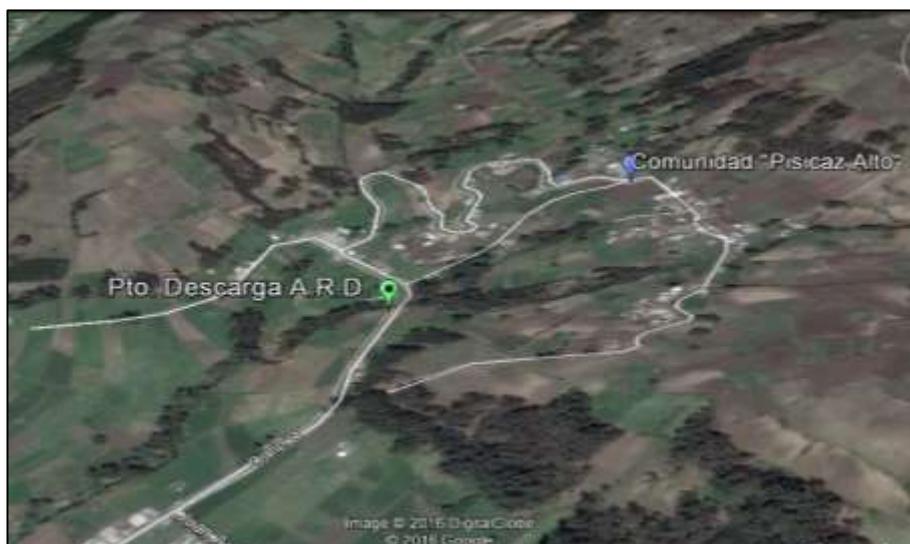
3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo de titulación se llevó a cabo en la comunidad “Pisicaz Alto” ubicado en las coordenadas 17 M 746644,00 m Este 9820041,00 m Sur y 3.274 msnm, perteneciente a la provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia San Juan lugar en donde se localiza el sistema de tratamiento de aguas residuales.

3.1.2. Lugar del muestreo

Los resultados obtenidos del lugar de muestreo del agua residual corresponden al punto de descarga de agua residual doméstica de la comunidad “Pisicaz Alto” ubicada en la parroquia San Juan, comunidad filial a la Organización UCASAJ. Este punto de descarga de aguas residuales domésticas cuenta con un caudal de 8 L/s (0,008 m³/s).



Mapa 1-3. Ubicación Punto de descarga de A.R.D. de la comunidad “Pisicaz Alto”

Fuente: Google earth, 2016

De esta manera se eligió el punto de descarga de aguas residuales de la comunidad “Pisicaz Alto” para el respectivo muestreo del agua residual, datos que permitieron el diseño, construcción e implementación del modelo experimental para el tratamiento de aguas residuales propuesto y su posterior prueba piloto para verificar el funcionamiento del sistema de tratamiento.

3.1.3. Caracterización del agua residual previo a su tratamiento

La caracterización se realizó por triplicado para obtener resultados confiables, de los tres análisis realizados se calculó un promedio de estos valores de los cuales la caracterización previa al tratamiento presenta los siguientes valores en la tabla 1-3:

Tabla 1-3. Reporte del análisis de Aguas Residuales previo al tratamiento.

ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO- MICROBIOLÓGICO		
Parámetros	Unidad	Resultado
pH	UpH	7,40
Color	Pt - Co	50
Turbiedad	NTU	70,33
Temperatura	⁰ C	17
Sólidos Totales Disueltos	mg/ L	441
Sólidos Sedimentables	mg/ L	883
Conductividad	μs/cm	0,30
Sal	% Sal	307,80
Dureza cálcica	mg / L	7,40
DBO5	mg / L	210
DQO	mg/ L	166
Hierro total	mg/ L Fe^{++}	0,12
Sulfatos	mg/ L SO_4^{2-}	57
Cloro residual	mg/ L	-
Nitritos	mg/ L $NO_2^- - N$	3,80
Nitratos	mg/ L NO_3^-	23
N amoniacal	mg/ L $NH_4^+ - N$	49
Flúor	mg/ L F^-	104,04

Tabla 1-3. Continuación.

Fósforo	mg/ L PO_4	0,28
Manganeso	mg/ L Mn^{2+}	548,75
Oxígeno Disuelto	mg/ L	2,95
1) Análisis Microbiológico.		
Coliformes Totales	NMP/1000 mL	NUMEROSOS
Coliformes Fecales	NMP/1000 mL	NUMEROSOS

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

El análisis demuestra los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, siendo los parámetros de interés en los que se basó la experimentación y desarrollo de la investigación: DBO₅, DQO, pH, Oxígeno Disuelto, Turbidez y Coliformes, estos parámetros son considerados importantes en cuanto a la calidad del agua ya que reflejan la función física y biológica del medio ambiente con el que el agua tiene interacción.

3.1.4. Medición del caudal

La forma de medir el caudal se realizó mediante el método volumétrico en el cual se mide el tiempo que se tarda en llenarse un recipiente con volumen conocido, la corriente es desviada hacia el recipiente, el tiempo se lo mide por medio de un cronometro. Para la precisión del resultado en cuanto al caudal se efectuaron varias mediciones.

En la medición del caudal (Q) se aplica la Ec. (1.1) la cual da como resultado final el valor representado en la tabla 2-3.

Tabla 2-3. Datos de la Medición del caudal.

Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (m ³ /s)
4	2	0,008
3	1	0,003
5	3	0,015
Promedio = 4	Promedio =2	0,008

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

El caudal medido en la caja de revisión antes de la descarga del agua residual proveniente de la comunidad “Pisicaz Alto” resultó ser un valor de 0,008 m³/s, que representó el caudal que ingresó al sistema de tratamiento desde el tanque 1 de sedimentación y actividad de microorganismos y posteriormente al tanque 2 de filtración por medios físicos y biológicos.

Este caudal permitió definir la estructura del sistema de tratamiento de aguas residuales en el que se tomó como fundamento las condiciones reales que presentan los procesos de tratamiento de una PTAR doméstica que opera de forma permanente, adaptando de esta manera a unidades de operación discontinua en el cual se involucran procesos netamente físicos y biológicos con el propósito de disminuir procesos químicos.

3.1.5. Diseño del Modelo Experimental físico- biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales

El Diseño del Modelo Experimental para el Tratamiento de Aguas Residuales está determinado por dos procesos principales que permiten reducir la contaminación del recurso hídrico por aguas residuales, el sistema esta combinado por un tanque de sedimentación más la acción de microorganismos inoculados y por un segundo tanque de filtración por medios físicos y biológicos que se encuentran interconectados por un sistema de tuberías.

El trabajo que se realiza en este sistema es un trabajo hidráulico que se da por gravedad, el cual trabaja con un $Q = 0,008 \text{ m}^3/\text{s}$. medidos en la ecuación 1-1. Además se estableció que por ser un modelo experimental se trabajaría con dos tanques de capacidad de 60 Litros, mismos que servirán para implementar los procesos definidos.

Tanque 1

El tanque uno comprende el proceso de sedimentación el cual tiene una capacidad de un volumen de 60 Litros hasta el nivel de la salida superior que posee este tanque que permite a la vez actuar a los microorganismos inoculados en el mismo, la cantidad de microorganismos se la realizó con un volumen de 60 litros de mezcla dejándolos actuar por un lapso de 5 - 7 días. Mismos que ejercen su actividad metabólica en la carga contaminante del agua en tratamiento.

Tanque 2

Las capas que permiten la filtración son seleccionadas previamente con las características de que estos materiales sean originales de esta zona para reducir a la vez costes de construcción e implementar un sistema que facilite la adquisición de estos materiales que son asequibles para los sectores rurales y a la vez son eficientes en estos procesos de tratamiento. Se midió la altura del tanque para poder distribuir cada una de las capas filtrantes. La altura total es de 65 cm, se encuentra distribuida de la siguiente manera:

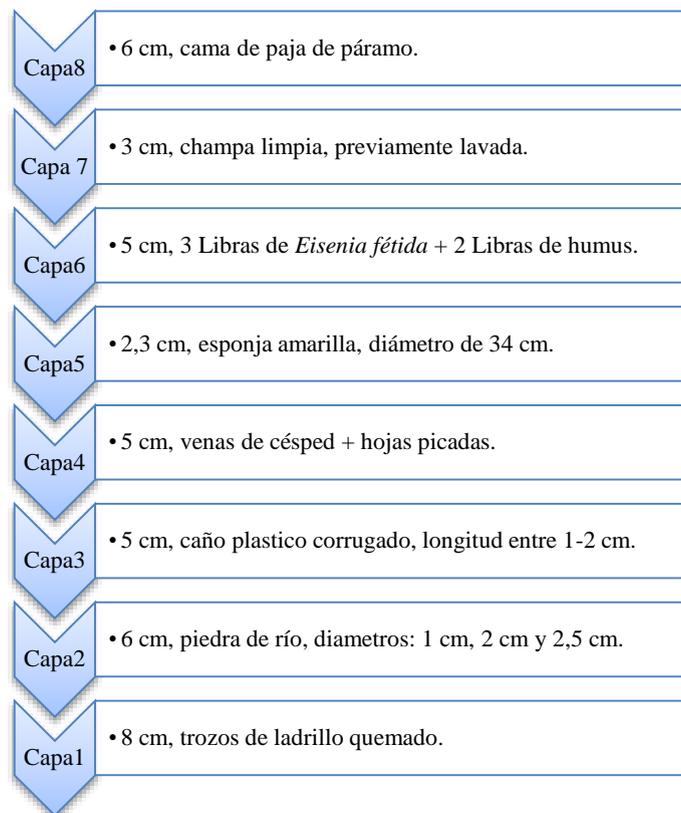


Ilustración 2-3. Distribución de las capas filtrantes físico-biológicas.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

De la distribución total de la capa filtrante suman un total de 40,3 cm, cada una de ellas cubre la superficie del tanque, dejando una altura libre de 24,7 cm el cual permite la distribución adecuada del agua desde la parte superior en la que ingresa el agua por caída libre en forma de aspersion gracias a la tapa perforada perteneciente al tanque 2, para su posterior etapa de filtración en dicho. El agua que ingresa al tanque tiene una altura de caída de 25 cm.

3.1.6. Construcción del Modelo Experimental Físico-Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la comunidad “Pisicaz Alto”

La construcción del Modelo Experimental se basó en materiales accesibles, económicos y sobre todo resistentes pues el propósito del modelo es ayudar a reducir costos y a la vez ser un modelo eficiente para este tipo de tratamiento. Cada uno de los materiales adquiridos son de primer uso de esta forma se garantiza seguridad eficiencia durante la construcción e implementación del sistema de tratamiento.

Los materiales se adecuaron en la misma parroquia, debido a la facilidad de traslado al lugar de la implementación, realizándose las conexiones establecidas de acuerdo al diseño del sistema de tratamiento, con las medidas necesarias de operación y con mano de obra calificada.

Los materiales de la capa filtrante son de la misma zona que abaratan los costos significativamente, lo cual facilita la operatividad del diseño. A continuación se describe los costos de construcción del modelo experimental, en las tablas 4-3 y 5-3.

Tabla 3-3. Costos de la Caracterización Inicial de las Aguas Residuales.

ANÁLISIS DE LABORATORIO				
Caracterización Inicial y Final.				
Nº	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	pH	2	5,00	10,00
2	Color	2	5,00	10,00
3	Turbiedad	2	3,00	6,00
4	Temperatura	2	----	----
5	Sólidos Totales Disueltos	2	9,00	18,00
6	Sólidos Sedimentables	2	8,00	16,00
7	Conductividad	2	3,00	6,00
8	Sal	2	3,00	6,00
9	Dureza cálcica	2	3,00	6,00
10	DBO5	2	6,00	12,00
11	DQO	2	6,00	12,00
12	Hierro total	2	9,00	18,00

Tabla 3-3. Continuación.

13	Sulfatos	2	10,00	20,00
14	Cloro residual	2	9,00	18,00
15	Nitritos	2	9,00	18,00
16	Nitratos	2	9,00	18,00
17	N amoniacal	2	9,00	18,00
18	Flúor	2	8,00	16,00
19	Fósforo	2	8,00	16,00
20	Manganeso	2	9,00	18,00
21	Oxígeno Disuelto	2	5,00	10,00
22	Coliformes Totales	3	6,00	18,00
23	Coliformes Fecales	3	6,00	18,00
SUBTOTAL(\$):				308,00

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Tabla 4-3. Costos de Construcción del Modelo Experimental Físico - Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales.

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN				
Nº	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Llave 2" PVC	1	5	5
2	Codo 2"	1	7,15	7,15
3	Tarraja PVC	1	6,03	6,03
4	Válvula compuerta ¾"	2	5,63	11,26
5	Válvula compuerta ½"	1	3,88	3,88
6	Tapón Hembra HG 2"	1	1,52	1,52
7	Tubo PVC Rosca 2"	1	15,80	8,84
8	Tubo Hidro-3 ¾"	1	11,34	11,34
9	Teflón ¾ Malvas Germany Cinta Amarilla	2	0,80	1,60

Tabla 4-3. Continuación.

10	Adaptador 1" Tigre tanque reserva.	4	3,20	12,80
11	Adaptador 2" Tigre tanque reserva	1	6,96	6,96
12	Codo Polimex 1"x90	1	1,37	1,37
13	Cemento	6	6,35	38,10
14	Tubo de acero inoxidable	9	19,80	178,20
15	Mano de obra	----	----	20,00
SUBTOTAL(\$):				314,05

Realizado por: Lemay Nancy, 2016.

Tabla 5-3. Costos de Materiales Filtrantes para el Modelo Experimental Físico - Biológico.

MATERIALES FILTRANTES				
Nº	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	<i>Eisenia fétida</i>	3 Libras	2,00	6,00
2	Humus	2 Libras	1,00	2,00
3	Paja de páramo	1 Carga.	----	----
4	Champa limpia	1 Capa de 50 cm.	----	----
5	Esponja amarilla	1 Hoja de 1 m ² .	4,50	4,50
6	Venas de césped, hojas cortadas	1 Capa de 50 cm.	----	----
7	Caño plástico corrugado	2 Tubos de 1 m.	2,45	4,90
8	Piedra de río	4 Libras.	----	----
9	Ladrillo	2 Bloques.	0,15	0,30
SUBTOTAL(\$):				17,70
TOTAL (\$):				639,75

Realizado por: Lemay Nancy, 2016.

El costo del modelo experimental es de 331,15 dólares americanos, valores obtenidos sumando costos según la tabla 4-3 y 5-3 que pertenecen específicamente a los costos de construcción. Cabe recalcar que la paja de páramo, las piedras de río, la champa, las venas de césped con las hojas picadas no considera valor económico alguno puesto que son recursos provenientes de la misma zona.

3.1.7. Implementación y Prueba Piloto del Modelo Experimental Físico - Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales

Para verificar que la construcción y las instalaciones realizadas están conectadas correctamente se ejecutó una prueba piloto en la cual se inspecciona cada conexión para que no existan fugas durante el posterior proceso. Es primordial ejecutar esta prueba piloto para comprobar y monitorear cada proceso del tren de tratamiento especificado en el modelo experimental. Durante el funcionamiento del modelo experimental se dio un control y monitoreo durante 14 semanas.

En el cual se determinó el TRH, durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales mediante el modelo experimental se obtuvo un valor de:

$$\text{TRH} = 30 \text{ minutos.}$$

Mismo que se determinó tomando en cuenta el tiempo de ingreso del agua al sistema de tratamiento hasta que este se filtre por completo el agua que ingresó al sistema. Además durante el tratamiento se dio seguimiento a ciertos parámetros los cuales se detallan a continuación.

Tabla 6-3. Datos de seguimiento de parámetros durante el tratamiento con el Modelo Experimental Físico-Biológico.

Fecha	pH	Conductividad mS/C	Salinidad (sal)	TDS g/L	O2 %
11/07/2016	7,25	0,73	0,3	0,39	1,6
12/07/2016	7,50	0,76	0,3	0,41	1,2
13/07/2016	6,90	0,65	0,4	0,36	1,3
14/07/2016	6,79	0,69	0,3	0,37	1,8
19/07/2016	7,15	0,80	0,4	0,44	0,9
Promedio:	7,12	0,73	0,3	0,39	1,36

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Además del control y monitoreo de los principales parámetros como DBO₅ y DQO realizado por 14 semanas, se realizó un seguimiento de parámetros como; pH, conductividad, salinidad, TDS, y oxígeno, los mismos que permiten determinar el comportamiento del sistema de tratamiento propuesto. El seguimiento realizado fue en base a estos parámetros por la accesibilidad a los equipos de laboratorio para su medición.

La tabla 6 - 3, demuestra el comportamiento de los parámetros durante el tratamiento con el Modelo Experimental propuesto, durante el cual, cada uno de los parámetros tienen un comportamiento estable, pues la variación en sus valores no es muy significativa. Para entender de una mejor manera el comportamiento de cada uno de los parámetros se ilustra continuación.

pH: La medición del pH demostró un comportamiento en el cual su promedio en 5 días es de: 7,12. Teniendo una variación diaria tal como se muestra en el gráfico 1-3.

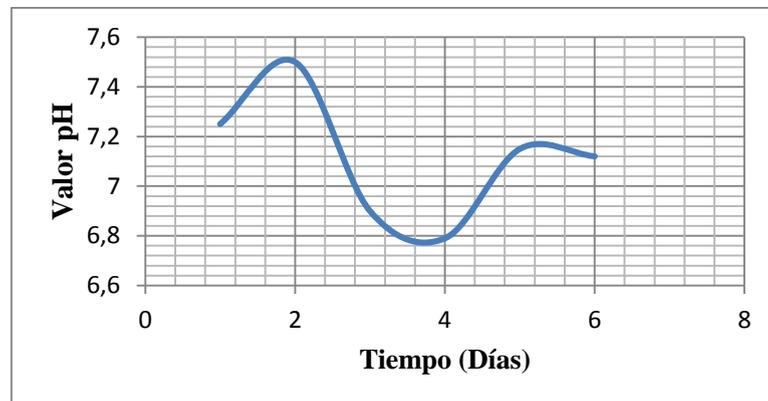


Gráfico 1-3. Curva de comportamiento de pH.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

El pH demostró un comportamiento estable dentro de los límites permisibles, valores comprendidos de 5-9 para el desarrollo de la actividad biológica, mediante el uso del pH metro se determinó dicho promedio, en este rango puede desarrollarse sin ninguna alteración la actividad biológica presente en las aguas residuales en tratamiento.

Conductividad: La conductividad durante el seguimiento demostró un promedio de 5 días de: 0,73 mS/°C. Teniendo una variación diaria tal como se muestra en el gráfico 2-3.

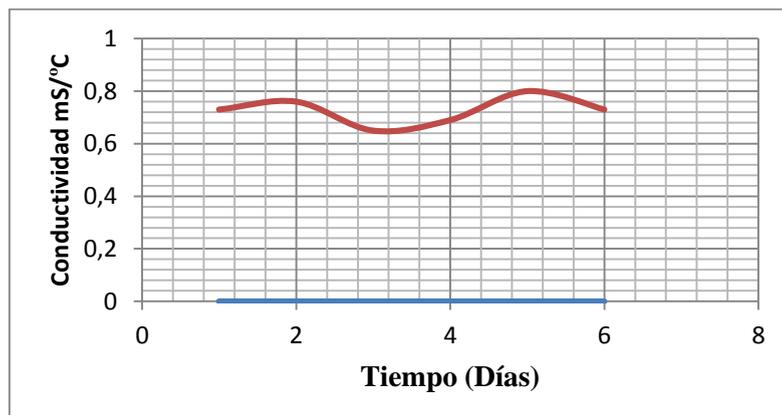


Gráfico 2-3. Curva de comportamiento de Conductividad.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Permitiendo conocer el contenido de sólidos disueltos después de conocer la concentración de sustancias disueltas de forma ionizada en el agua residual en relación a la temperatura en la que se encuentra. El valor de este parámetro es un buen indicador de supervivencia de microorganismos ya que si fueran valores altos de conductividad se verían afectados de forma severa la actividad de los mismos.

Salinidad: La salinidad demostró un comportamiento en el cual su promedio de 5 días es de: 0,3. Teniendo una variación diaria tal como se muestra en el gráfico 3-3.

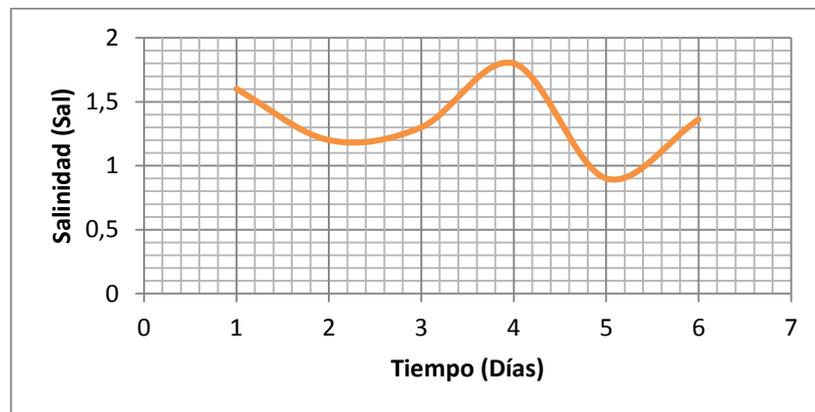


Gráfico 3-3. Curva de comportamiento de Salinidad.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Valor que presenta una diferencia de tan solo un 0,1 en cuanto a los valores medidos por cada día. Este valor se encuentra dentro de los valores que permiten un desarrollo normal de microorganismos presentes en estas aguas residuales, el porcentaje que presentó no altera la actividad biológica, física o química de estas aguas.

TDS: Presentan un comportamiento en el cual su promedio de 5 días es de: 0,39. Teniendo una variación diaria tal como se muestra en el gráfico 4-3.

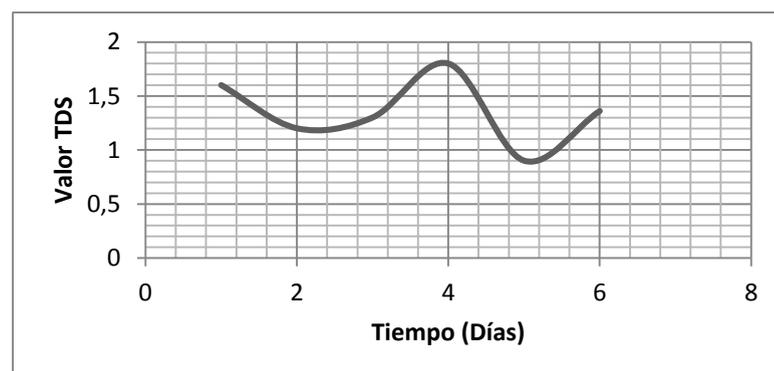


Gráfico 4-3. Curva de comportamiento de TDS.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

Es importante determinar los sólidos suspendidos totales así como los volátiles, pues este parámetro permite evaluar la concentración del agua residual y la eficiencia del tratamiento. Los TDS, es decir la materia sólida filtrante como moléculas inorgánicas, orgánicas, iones en disolución. Cabe recalcar que los valores de sólidos sedimentables, junto con la turbidez y el color disminuyen en más del 50% ya que durante el proceso de filtración estos son retenidos en el las diferentes capas filtrantes

% O₂: El porcentaje de O₂ demostró un comportamiento en el cual su promedio de 5 días es de 1,36. Teniendo una variación diaria tal como se muestra en el gráfico 5-3.

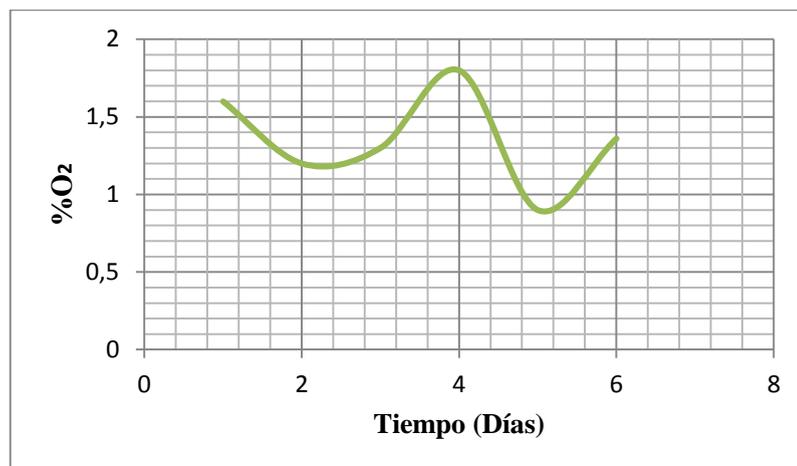


Gráfico 5-3. Curva de comportamiento del % O₂.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016

La presencia de oxígeno permitió el desarrollo normal de organismos aerobios, este valor también representa el consumo que se da de oxígeno por parte de los organismos presentes en el agua, también refleja la ausencia de procesos anaerobios evitando la formación de olores desagradables típicos de las aguas residuales. Por lo cual es importante disponer de cantidades significativas de oxígeno.

3.1.8. Caracterización final del agua residual posterior a su tratamiento mediante el Modelo Experimental Físico - Biológico

La caracterización final consistió en analizar los parámetros iniciales que se tomaron en cuanto y fueron sometidos al tratamiento mediante el Modelo Experimental, el análisis físico, químico y biológico permitió definir el porcentaje de remoción y la eficiencia del modelo experimental para el tratamiento de aguas residuales.

Para el análisis de laboratorio de los parámetros físicos, químicos y biológicos finales, se llevó a cabo en el laboratorio del GADM- Colta, los análisis de parámetros de DBO5 y DQO se realizaron en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, debido a la factibilidad del laboratorio para el análisis de estos parámetros, permitiendo realizar los cálculos correspondientes para determinar la función del modelo experimental.

Tabla 7-3. Reporte del análisis de Aguas Residuales posterior al tratamiento.

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO			
1) Características físicas			
Parámetros	Unidad	Limite permisible	Resultado
pH	UpH	6 - 9	7,39
Color	Pt - Co	15	30
Turbiedad	NTU	5	31,00
Temperatura	⁰ C	< 35	15,5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	* 500	437
Sólidos Sedimentables	mg/L	1,0	755
Conductividad	μs/cm	--	0,40
Sal	%	*500	205,20
Dureza cálcica	mg / L	*6 - 9	7,39
2) Características químicas			
DBO5	mg/L	100	59,00
DQO	mg/L	250	49,00
Hierro total	mg/L Fe^{2+}	10,0	0,07
Sulfatos	mg/L SO_4^{2-}	1000	56
Cloro residual	mg/L	-	4,04
Nitritos	mg/L $NO_2^- - N$	10,0	0,270
Nitratos	mg/L NO_3^-	10,0	0,223
N amoniacal	mg/L $NH_4^+ - N$	50	23,00
Flúor	mg/L F^-	1,0	58,03
Fósforo	mg/L PO_4^-	10,0	0,79
Manganeso	mg/L Mn^{2+}	2,0	335,56
Oxígeno Disuelto	mg/L	*No menor al 60% y no menor a 5mg/l	1,36
Coliformes Totales	NMP/1000 mL	Remoción >al 99%	Ausencia
Coliformes Fecales	NMP/1000 mL	< 1	0

Fuente: Laboratorio de Análisis de aguas, GADM-Colta

En base a los resultados obtenidos de la caracterización inicial y final las aguas residuales sometidas al tratamiento mediante el Modelo Experimental Físico - Biológico demostró un cambio representativo en base a los principales parámetros que determinan la calidad del agua, los valores antes y después del tratamiento se ilustran de mejor manera a continuación:

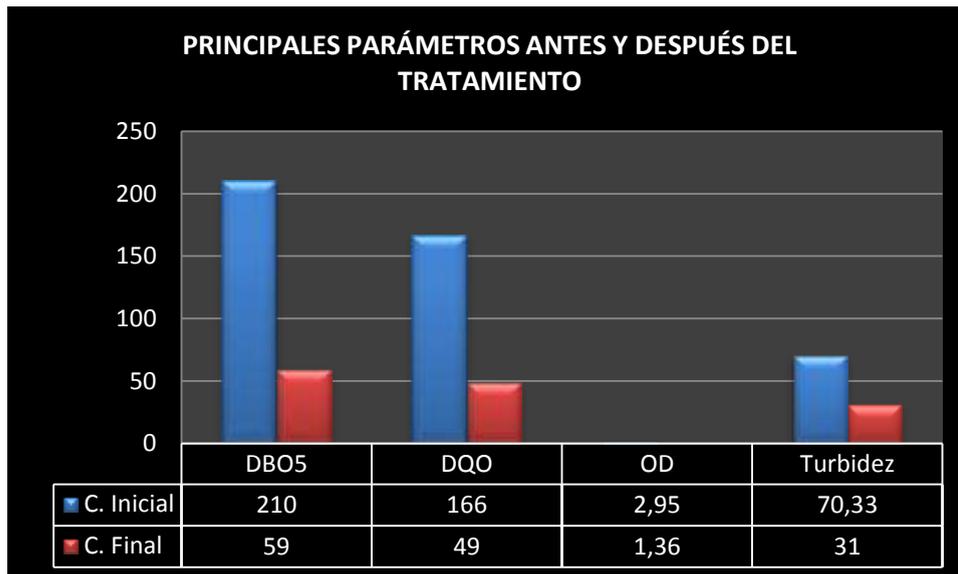


Gráfico 6-3. Comportamiento de Parámetros antes y después del tratamiento.

Realizado por: Lemay Nancy, 2016.

3.1.9. Cálculos de ingeniería para determinar la eficiencia de remoción de la carga contaminante en el sistema de tratamiento

Tomando en cuenta los valores de la caracterización inicial y final se determinó la eficiencia de remoción de carga contaminante del sistema de tratamiento mediante cálculos, tomando en cuenta los principales parámetros que definen la calidad del agua, estos reflejan la función física y biológica del ambiente con el agua en tratamiento, los cálculos se realizan en base a DBO5, DQO, Oxígeno Disuelto, y Turbidez.

Tomando en cuenta los principales parámetros de evaluación de calidad del agua se aplicó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100 \quad (\text{Ec. 2-1.})$$

dónde:

E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes (%).

S: Carga contaminante de salida (mg / L).

S₀: Carga contaminante de entrada (mg / L).

3.1.9.1. Cálculo de la eficiencia de remoción para DBO₅

$$S_0 = 210 \text{ mg/L}$$

$$S = 59 \text{ mg/L}$$

$$E = \frac{(210 - 59 \text{ mg/L})}{210 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$E = 71,9 \%$$

3.1.9.2. Cálculo de la eficiencia de remoción para DQO

$$S_0 = 166 \text{ mg/L}$$

$$S = 49 \text{ mg/L}$$

$$E = \frac{(166 - 49 \text{ mg/L})}{166 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$E = 70,48 \%$$

3.1.9.3. Cálculo de la eficiencia de remoción para OD

$$S_0 = 2,95$$

$$S = 1,36$$

$$E = \frac{(2,95 - 1,36)}{2,95} \times 100$$

$$E = 53,9 \%$$

3.1.9.4. Cálculo de la eficiencia de remoción para Turbidez

$$S_0 = 70,33$$

$$S = 31$$

$$E = \frac{(70,33 - 31)}{70,33} \times 100$$

$$E = 55,9 \%$$

3.1.9.5. Cálculo de UFC antes del Tratamiento mediante el Modelo Experimental para el Tratamiento de Aguas Residuales

Para el conteo de las Unidades Formadoras de Colonia (UFC) se consideró el resultado de la siembra tanto para Coliformes fecales como para Coliformes totales las cuales llegaron a ser representativas porque se encuentran dentro del rango entre 25 y 250 UFC.

Es así que para Coliformes totales y fecales se tiene el siguiente resultado:

▪ Coliformes totales:

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = \frac{\text{Inverso Factor de dilución} \times \#\text{colonias}}{\text{mL sembrado}}$$

(Ec. 3-3).

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = \frac{10^{-3} \times 150}{1 \text{ mL}}$$

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = \frac{10^{-3} \times 150}{1 \text{ mL}}$$

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = \frac{1000 \times 150}{1 \text{ mL}}$$

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = 150000$$

▪ **Coliformes fecales:**

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = \frac{\text{Inverso Factor de dilución} \times \text{\#colonias}}{\text{mL sembrado}}$$

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = \frac{10^{-3} \times 50}{1 \text{ mL}}$$

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = \frac{1000 \times 50}{1 \text{ mL}}$$

$$\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = 50000$$

3.1.9.6. *Cálculo de la eficiencia de remoción para Coliformes Totales*

$$S_0 = 150000$$

$$S = \text{Valor no representativo (12)}$$

$$E = \frac{(150000 - 7)}{150000} \times 100$$

$$E = 99,9 \%$$

3.1.9.7. *Cálculo de la eficiencia de remoción para Coliformes Fecales*

$$S_0 = 50000$$

$$S = \text{Valor no representativo (5)}$$

$$E = \frac{(50000 - 5)}{50000} \times 100$$

$$E = 99,9 \%$$

Se evidenció la eficiencia del tratamiento mediante el análisis entre la caracterización inicial y la caracterización final, en base a resultados y cálculos aplicados para los principales parámetros que permiten determinar el cambio y la calidad de las aguas residuales sometidas al tratamiento mediante el Modelo Experimental Físico - Biológico, el sistema es eficiente en más del 50 % del total en cuanto a remoción de contaminantes.

3.1.10. Rendimiento del Modelo Experimental Físico - Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Comunidad “Pisicaz Alto” filial a la UCASAJ

Con base en la legislación ambiental el valor permisible es de 100 mg/L para DBO₅ y 250 mg/L para DQO valores de referencia para el tratamiento, se aspira reducir este nivel de contaminación del agua residual. La caracterización inicial para el dimensionamiento del modelo experimental presenta las siguientes concentraciones de los principales parámetros: 210 mg/L para DBO₅, 166 mg/L para DQO, 2,95 mg/L para OD y 70,33 mg/L para Turbidez.

El Modelo Experimental Físico - Biológico resulta ser eficiente en un 71,9 % en remoción para DBO₅, eficiente en un 70,48% para DQO, 53,9% para OD, y 55,9% para Turbidez. De esta manera el agua que ingresa al sistema de tratamiento es reducida en más del 50 % del total de la carga contaminante inicial, el agua al salir del sistema refleja valores aceptables de descarga para el ambiente.

3.1.11. Validación del Modelo Experimental Físico- Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Comunidad “Pisicaz Alto” filial a la UCASAJ

El modelo experimental físico - biológico para el tratamiento de aguas residuales tiene una validez de acuerdo al resultado de todo el trabajo y proceso investigativo en el cual se evaluó la justificación de la experimentación, se diseñó el sistema de tratamiento, construyéndose el modelo experimental (Equipo), se realizaron pruebas piloto para su adecuada implementación.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el proceso del trabajo de titulación, el modelo experimental y su sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas se convirtió en un elemento fundamental y accesible para las comunidades que pueden implementar el modelo experimental o desarrollarlo a una escala real y de esta manera reducir el nivel de contaminación en los cuerpos hídricos.

También se entregará una copia del trabajo de titulación a la comunidad de “Pisicaz Alto” por petición de la población y para que lo tenga como un documento de soporte para una mejor información sobre el trabajo realizado en este punto. El documento servirá como una fuente de información para quienes a futuro deseen desarrollarlo a escala real y reducir de esta manera al 100 % la contaminación por descargas de aguas residuales domésticas.

3.1.12. Manual Operativo del Modelo Experimental Físico-Biológico para el tratamiento de las aguas residuales

Para el funcionamiento óptimo y duradero del Modelo Experimental Físico-Biológico es necesario aplicar ciertas medidas de seguridad e instrucciones que permitan mantener su marcha, para lo cual se procede a detallar las principales operaciones básicas:

- Dar mantenimiento a todo el sistema cada 3 meses para que su funcionamiento sea constante y el sistema se mantenga en excelentes condiciones.
- Se recomienda lavar las piedras, el ladrillo al igual que el caño plástico, su limpieza puede ser por presión del agua a través de una manguera.
- Las capas biológicas como la champa, las venas de césped, las hojas picadas pueden ser tratadas en la misma cámara de lodos para su posterior tratamiento como abono o compost, sumando a esto las lombrices que se reproducen en el sistema de tratamiento. Generando así un valor agregado por efecto del proceso de tratamiento.
- Las canaletas de cada uno de los tanques también deben ser limpiadas cada vez que se requiera, de acuerdo a la acumulación de material que interrumpa el flujo normal de los lodos extraídos del tanque 1 y del agua tratada que fluye desde el tanque 2 hasta su descarga final.
- Cuando se considere que el material biológico utilizado ya está en un proceso de descomposición será necesario reemplazarlo. Este tipo de desecho será colocado en mezcla con los lodos extraídos del tanque de sedimentación para un mejor proceso de biodegradación, los cuales serán tapados con capas de tierra para evitar la proliferación de olores y vectores.

CONCLUSIONES

- En la caracterización inicial se determinó que en comparación con la tabla 1-1. Composición típica de 3 clases de aguas residuales domésticas en base a parámetros biológicos más importantes como es la DBO tiene una concentración alta y DQO tiene una concentración media de nivel contaminante, el caudal con el que se trabajó es de 0,008 m³/s determinado mediante el método volumétrico en el punto de descarga de las aguas residuales de la comunidad “Pisicaz Alto”.
- La caracterización física, química y microbiológica de los principales parámetros del efluente reflejó un DBO₅ de 210 mg/L, DQO de 166 mg/L, Oxígeno Disuelto 2,95 mg/L y Turbidez 70,33 mg/L, siendo estos los parámetros biológicos y físicos más importantes en cuanto al tipo de tratamiento que se aplica. Representan valores altos para su descarga de acuerdo a los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el Libro VI, Anexo 1, Tabla 12 del TULAS tomados como referencia para su evaluación previa al tratamiento.
- En la construcción e implementación del Modelo Experimental Físico - Biológico se utilizaron materiales que se encuentran en el mercado y materiales presentes alrededor de la zona de implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales reflejando un costo total neto de fabricación de 331,75 USD, valor obtenido de la suma de las tablas 4-3 y 5-3 pertenecientes a los costos de construcción del modelo y costos de materiales filtrantes para dicho modelo.
- La eficiencia de remoción luego del tratamiento en el Modelo Experimental Físico - Biológico es de un 71,9 % para DBO₅, un 70,48% para DQO, 53,9% para OD, y 55,9% para Turbidez, con lo cual se demuestra que el diseño e implementación es eficiente.
- Se elaboró un Manual Operativo del Modelo Experimental Físico - Biológico para el tratamiento de aguas residuales en el cual se detallan las medidas e instrucciones fundamentales que se deben seguir para mantener su óptimo funcionamiento durante su operatividad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el Modelo Experimental Físico-Biológico a escala real para tratar todo el caudal de las aguas residuales provenientes de la comunidad “Pisicaz Alto” y de esta manera reducir la contaminación de los cuerpos hídricos de la zona.
- El Modelo Experimental Físico-Biológico implementado en la comunidad de “Pisicaz Alto” servirá como un referéndum para las demás comunidades, podrán evidenciar el tratamiento al que se someten las aguas residuales domésticas, teniendo como una opción accesible para reducir la contaminación de los cuerpos hídricos.
- Al presentarse valores significativos en la caracterización inicial de parámetros como el manganeso, flúor y sal, se recomienda ejecutar análisis químicos que permitan evaluar su nivel contaminante, su causa y su posterior alternativa para su tratamiento que faculte reducir estos contaminantes, de esta manera se podrá determinar un proceso o etapa adicional para este tratamiento ya que el Modelo Experimental implementado comprende etapas específicamente físicas y biológicas.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, Enrique, et al. *Valor alimenticio comparativo del pasto kikuyo en dos estaciones de crecimiento con ryegrass y sudán ofrecido a novillos holstein.* Vol. 33. 2, (2008). Mexicali, San Luis Río Colorado : Interciencia, pp. 4-14.

Ambiente, Portal profesional del Medio. *ambientum.com.* [En línea] Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Sevilla, 2015. [Citado el: 23 de 05 de 2016.] Disponible en: http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Determinacion_de_sulfatos.asp#.

American Public Health Association. *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 18th ed.. Washington- EEUU, APHA, AWWA,WWCF, 1992, pp. 198 - 207.

Castella, José Tohá. *Sistema de depuracion de Aguas.*[En línea] Santiago , Chile : s.n., 2015. [Citado el: 18 de 04 de 2016.] Disponible en: <http://sistematoha.cl/newSistematoha/sistema-toha/>

Company, CLARCOR. Baldwin Filters. *Filters, Baldwin.* [En línea] CLARCOR Company, Febrero de 2015. [Citado el: 13 de Abril de 2016.]. Disponible en: www.baldwinfilter.com/es/techtips.html.

Conde, Daniel, Arocena, Rafael y Rodriguez Gallego, Lorena. *Recursos acuáticos superficiales de Uruguay: ambientes algunas problemáticas y desafíos para la gestion .* Ambios, Vol. 3. 10. 2002, pp. 5-9.

Cyclus.[En línea] Febrero 2016. [Citado el: 19 de mayo de 2016.]. Disponible en: <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tipologias/>.

ECUADOR, Ministerio de Ambiente, Texto Unificado de Legislación Ambiental, 2^a. Ed. snt. Libro VI Anexo 1. pp. 29 – 30.

Freire Espín, Pablo Andrés. *Análisis y Evaluación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.* [En línea]. (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba - Ecuador. 2013. pp. 24-39 [Citado el: 04 de junio de 2016.] Disponible en: dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/2337/1/15T00504.pdf

Garza Garza, C. M. D. L. 1998. *El agua y la sociedad*. [En línea].Nuevo León : Doctoral Dissertation, 1998. [Citado el: 28 de junio de 2016.] Disponible en: eprints.uanl.mx/7855/1/1020123766.PDF

Gaspar, R. "El planeta agua". *Revista de Fomento Social*, nº232 (2003) pp. 682- 698.

Gavira, Jose M^a. 2013. Triple Enlace Química. *Análisis de aguas*. [En línea] Word Press, Mayo de 2013. [Citado el: 27 de mayo de 2016.]. Disponible en: <http://triplenlace.com/2013/05/17/sistemas-de-depuracion-de-aguas-residuales-26-caracteristicas-de-las-aguas-residuales-urbanas/>.

Gil Gonzalez, Diana. *Valoración de los objetivos de desarrollo del milenio*. Revista española de salud pública, Vol. 82, 5, 2008,págs. 455-466.

Rojas, Ricardo, CEPIS y OPS, OMS. *Gestión Integral del Tratamiento de Aguas Residuales*. [en línea] Abril de 2002. [Citado el: 11 de Mayo de 2016.]. Disponible en: www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/matedu/introduc.pdf.

Jacson Ch, Castro. 2014. *Slideshare*. [En línea] LinkedIn Corporation , 2014. [Citado el: 3 de junio de 2016.]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/jacsonchipanacastro/propiedades-de-la-piedra-38891790>.

López, M., Espigares , García y Pérez, J. A. *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada, Universidad de Granada : Servicio de Publicaciones., 1985 . pp. 85-90.

METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales: Vol. 1 y Vol. 2: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a edición. Madrid - España: McGraw - Hill, 1996, pp. 95 - 103. ISBN: 8448116127

Moreno , Melgarejo J. *Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España*. España : s.n., 2009, pp. 56. ISBN: 978-84-8484-317-7

RAMALHO, Rubens Sette., et al. *Tratamiento de aguas residuales*. [En línea]. Barcelona - España: Reverté S.A., 1996. [Consulta: 21 de diciembre de 2015]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=30etGjzPXyWC&pg=PP1&lpg=PP1&dq=r.s.+ramalho+tratamiento+de+aguas+residuales+fecha+de+publicaci%C3%B3n&source=bl&ots=OBuaBYEdpa&sig=33UxHK7zr3jpuTBPi-GNyD_OVe8&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj0_OaQlZXKAhVFFT4KHaFoAkgQ6AEIGjAA#v=onepage&q=r.s.%20ramalho%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20fecha%20de%20publicaci%C3%B3n&f=false. ISBN: 8429179755

Recicluc.com. *Recicluc*. [En línea] 2010. [Citado el: 22 de mayo de 2016.]. Disponible en: <http://www.recicluc.com/lombriz%20roja%20california.html>.

RedPermacultura Org. *RedPermacultura*. [En línea] 15 de Febrero de 2008. [Citado el: 20 de mayo de 2016.]. Disponible en: <http://www.redpermacultura.org/articulos/14-agricultura-ecologica/212-la-lombriz-roja-californiana.html>.

Salto, Rafael. Comunidad Pisicaz Alto. *Tratamiento de agua residuales domésticas*. Riobamba, 7 de Enero de 2016. Entrevista personal.

Sanchez Cuervo, Jhoan Sebastian y Hernandez Torres, David Alejandro. *Diseño de una planta de tratamiento de agua residual, Municipio de San Marco*. Departamento de Sucre. [En línea] Colombia, 2015. [Consulta: 25 Marzo 2015]. Disponible en: www.ufpso.edu.co

Santacana, Jorge. *Lombricultura en Venezuela, estado actual y perspectivas. 3er. Congreso de Ciencias Veterinarias*. [En línea] Maracay : Universidad Central de Venezuela, 1996. [Consulta: 13 de Mayo 2016]. Disponible en: www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/mallia.pdf

SL, Agrocesped. *Agrocesped*. [En línea] Febrero de 2014. [Citado el: 9 de JUNIO de 2016.]. Disponible en: <http://agrocesped.com/sobre-agrocesped/ventajas-del-cesped-natural>.

Torres, Hernan. 2007. El Acuarista. *Foro Latinoamericano de Acuarismo*. [En línea] 23 de Abril de 2007. [Citado el: 26 de junio de 2016.]. Disponible en: <http://foro.elacuarista.com/index.php?topic=118.0>

RWL, Water. *Tratamiento biológico de aguas residuales y residuos.* [En línea] New York, 2016. [Citado el: 9 de Agosto de 2016.]. Disponible en: <https://www.rwlwater.com/tratamiento-biologico-aguas-residuales/?lang=es>

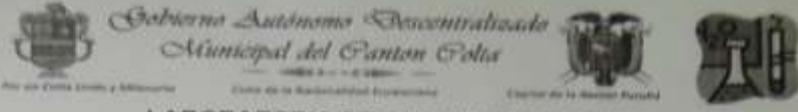
2016, <https://www.rwlwater.com/tratamiento-biologico-aguas-residuales/?lang=es>

Witt y M, Vicente. *La desinfección del agua a nivel casero en zonas urbanas marginales y rurales.* [En línea] Organización Panamericana de la Salud. 1993. [Consulta: 21 junio 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>.

WSP. 2006. *Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* [En línea] Abril 2006. [Consulta: 11 agosto 2016] Disponible en: <https://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/biofiltro.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Resultados de los análisis del laboratorio - Caracterización Inicial, muestra 1.



LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA:		MUESTRA N°:	1
Fuente: Agua Residual		Recolectado por:	Nancy Lemay
Fecha de recolección: 8 de abril de 2018	Hora: 18:30	Fecha de análisis:	8 de abril de 2018
Sistema de agua: Alcantarillado			
Prospección: San Juan (Piscinas Añu)	Localidad:		San Juan

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

1) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
pH			7.40
Color	Pt. Co		59
Turbiedad	NTU		70.33
Temperatura	°C		17.0
Sólidos Totales Disueltos	mg / L		441.0
Conductividad	µs/cm		883.00
Sal	%		0.30
Dureza Cálcica	mg / L		307.80

2) CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS			
PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
Hierro Total	mg / L Fe^{++}		0.12
Hierro Soluble	mg / L		-
Hierro Coloidal	mg / L		-
Sulfatos	mg / L SO_4^{--}		57
Cloro Total	mg / L		-
Cloro Residual	mg / L		0.032
Nitritos	mg / L NO_2^-		3.80
Nitratos	mg / L NO_3^-		48.00
N Amoniacal	mg / L NO_3^-		104.04
Floor	mg / L F^-		0.28
Fósforo	mg / L PO_4^{--}		548.75
Manganeso	mg / L Mn^{++}		0.140

ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
Coliformes Totales	UFC / 100 mL	Ausencia	NUMEROSOS
Coliformes Fecales	UFC / 100 mL	= 1	NUMEROSOS

Técnica: Filtración por membrana

Límite permisible: Norma Técnica Ecuatoriana 1 108:2014 Quinta Revisión, Agua Potable - Requisitos

* Límites permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional basado en la norma TULAS Ultra VI, Anexo I, Tablas 1 y 2.

Abreviaturas: UFC: Unidades Formadoras de Colonias

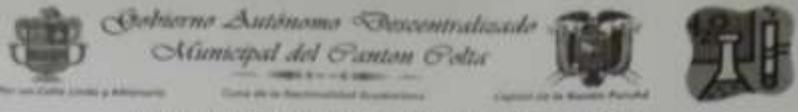


Dr. Angel Yupilerna V
Firma de responsabilidad

Of. Frente a la Plaza Cultural de Juan de Velasco, Entre 2 de Agosto y Rocamba Antiguo. Tel. (03) 2012 - 383
 E-mail: mundocotacachi@andeanet.net

COLTA - CHIMBORAZO - ECUADOR

ANEXO B: Resultados de los análisis del laboratorio - Caracterización Inicial, muestra 2.



LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA:		MUESTRA N°:	2
Fuente: Agua Residual		Recoleccionado por:	Nancy Lemay
Fecha de recoleccion:	4 de agosto de 2016	Hora:	12:30
Sistema de agua:	Abastecido	Fecha de analisis:	4 de agosto de 2016
Parroquia:	San Juan (Piscas Alto)	Localidad:	San Juan

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

1) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
pH			7.30
Color	Pt - Co		30
Turbiedad	NTU		31.00
Temperatura	°C		15.5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L		437.0
Conductividad	µS/cm		755.00
Sal	%		0.40
Dureza Calcio	mg/L		205.20

2) CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS			
PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
Hierro Total	mg/L Fe_{tot}		0.97
Hierro Soluble	mg/L		-
Hierro Coloidal	mg/L		-
Sulfatos	mg/L SO_4		56
Cloro Total	mg/L		4.04
Cloro Residual	mg/L		0.270
Nitritos	mg/L NO_2-N		0.223
Nitratos	mg/L NO_3-N		23.00
N Amoniacal	mg/L NH_4-N		58.03
Fluor	mg/L F^-		0.70
Fósforo	mg/L P_{tot}		335.96
Manganeso	mg/L Mn		0.122

ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
Coliformes Totales	UFC / 100 mL	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC / 100 mL	< 1	0

Técnica: Filtración por membrana

Límite permisible: Norma Técnica Ecuatoriana 1 108 2014 Quinta Revisión: Agua Potable: Requisitos

* Límites permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional basado en la norma TUSAS Libro IV, Anexo 1, Tablas 1 y 2

Abreviaturas: U.F.C.: Unidades Formadoras de Colonias

Observaciones:



Dr. Angel Yuzulema V
Firma de responsabilidad

Dr. Frente a la Plaza Cultural de Juan de Velasco. Entre 2 de Agosto y Ribamba Arigua. Telf. (03) 2812 - 333
E-mail: municipalidadcolta@andranet.net

COLTA - CHIMBORAZO - ECUADOR

ANEXO D: Socialización con la comunidad “Pisicaz Alto”.



ANEXO E: Visita al lugar de tratamiento de aguas residuales y medición del área del terreno.



ANEXO F: Acuerdo con la comunidad en los trabajos que se requieran.



ANEXO G: Adecuación del terreno.



ANEXO H: Construcción del Modelo Experimental Físico-Biológico.



ANEXO I: Implementación del Modelo Experimental Físico-Biológico.



ANEXO J: Inoculación de microorganismos.



ANEXO K: Prueba Piloto.



ANEXO L: Modelo Experimental Físico-Biológico (Después de 5, 6 días).



ANEXO M: Control y Monitoreo.

