



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA PARROQUIA SAN GERARDO DEL CANTÓN
GUANO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

AUTOR: XIMENA FERNANDA CALLAY PALA

TUTOR: ING. JOSÉ GUILLERMO USIÑA MSc.

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

Mi total y profundo sentimiento de gratitud a mi querido Dios por darme la vida y la fuerza necesaria para poder lograr los objetivos que me he propuesto. A mi padre José Ignacio por iluminar mi camino desde el cielo y haberme enseñado a valorar todo lo que la vida me ha regalado.

Gracias a mi madre Sofía, a mis hermanos, hermanas y sobrinos por ser la razón de mi vida y brindarme su apoyo incondicional. A mi tía Fabiola por demostrarme siempre que puedo contar con ella. A Miguel, por compartir conmigo cada momento.

Finalmente, mi sincero agradecimiento a las instituciones que han intervenido: al GADPR- San Gerardo por la actitud positiva y colaboración en el desarrollo de esta investigación y a mi estimada Escuela de Ingeniería Química junto al personal administrativo y docente, especialmente al Ing. José Usiña e Ing. Marco Chuiza por los conocimientos impartidos con los cuales nos hemos formado, no solo académicamente, si no también, personalmente.

Ximena

Con infinito amor dedico esta investigación a mis amados padres, ellos son y serán siempre lo más hermoso que Dios me ha dado y mi mayor inspiración. A mi madre Sofía por demostrar su incondicional apoyo y hacer de mí y de mis hermanos personas de bien. A mi amado papito José Ignacio que desde el cielo ha guiado mi camino y ha bendecido cada uno de mis pasos.

Ximena

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal certifica que: El trabajo de titulación “ **DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA SAN GERARDO DEL CANTÓN GUANO**” de responsabilidad de la señorita Ximena Fernanda Callay Pala ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. José Usiña MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Marco Chuiza

MIEMBRO - TRIBUNAL

*“Yo, **XIMENA FERNANDA CALLAY PALA**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenecen a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.**”*

XIMENA FERNANDA CALLAY PALA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

g	aceleración (m/s^2)
G	aceleración de la gravedad (m/s^2)
EDT	Ácido etilendiaminotetraacético
b	ancho del canal (m)
H	Altura del canal (m)
Hr	altura de reparto (m)
Hs	altura de seguridad (m)
Ø	ángulo de inclinación ($^{\circ}$)
A_L	área libre (m^2)
A_s	área superficial (m^2)
A	área de sección transversal de paletas (m^2)
C_s	carga superficial (m^3/m^2 día)
Ca²⁺	cación Calcio
Mg²⁺	cación Magnesio
Q	Caudal ($m^3/día$)
Q_i	caudal instantáneo ($m^3/día$)
Q_p	caudal promedio ($m^3/día$)
Q_{max}	caudal máximo ($m^3/día$)
Q_{med}	caudal medio ($m^3/día$)
Q_{min}	caudal mínimo ($m^3/día$)
L_{DBO}	Concentración de DBO presente (mg/L)
CD	coeficiente de resistencia
M	Coficiente de Mayorización
CE	conductividad eléctrica ($\mu S/m$)
k	constante cinética de orden 1
K	constante de cohesión
a, b	Constantes empíricas
C_v	Carga de vertedero (m^2/h)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)

DBOuc	Demanda Bioquímica última de Oxígeno Carbonáceo (mg/L)
S	Densidad (kg/m ³)
γ	densidad del fluido (g/cm ³)
Ø	Diámetro (m)
D	dotación de agua (L/hab día)
Eq	Equivalente químico (eq)
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
f	Factor de fricción
P	Fósforo
PO₄	Fosfatos
GADPR	Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural
G	Gradiente de velocidad del fluido (s ⁻¹)
g	Gravedad (m/s ²)
g/L	Gramos por litro
°C	Grados Celsius
hab	Habitantes
Fe	Hierro
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Kg/m³	Kilogramos por metro cúbico
Km²	Kilómetros cuadrados
Lb	Longitud de barras (m)
l	Longitud de paletas (m)
MO	Materia Orgánica
mL/L	Mililitros por litro
M	Muestra
Mn	Muestra Promedio
µmho/cm	Micromhos por centímetro
µS/m	Microsiemens por metro
N	Nitrógeno total
N	Normalidad (Eq/L)

N°	Número
n	Número de barras
OD	Oxígeno disuelto
Hf	Pérdida máxima de carga admisible (m)
n	Periodo de tiempo (años)
Pa	Población actual (hab)
P	Población aportante (hab)
Pe	Población estable (hab)
Pfl	Población flotante (hab)
Pf	Población futura (hab)
PAC	Poli cloruro de Aluminio
R	Porcentaje de remoción (%)
W	Potencia (HP)
P	Potencia necesaria (HP)
pH	Potencial Hidrógeno [H ⁺]
h	Profundidad (m)
r	Radio (m)
Rc	Reparto central del diámetro (m)
rpm	Revoluciones por minuto
e	Separación entre barras (m)
SI	Sistema Internacional
SS	Sólidos sedimentables (mL/L)
SSD	Sólidos Suspendidos Disueltos
ST	Sólidos Totales
STD	Sólidos Totales Disueltos
S	Sulfuros
T	Temperatura
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
t	Tiempo (s, min)
Tr	Tiempo de Retención (h)

h	Tirante del canal (m)
NTU	Unidades de Turbidez
UFC/100mL	Unidades Formadoras de Colonias por cada 100 mililitros
Va	Velocidad de aproximación (m/s)
v	Velocidad mínima (m/s)
n	Velocidad de rotación (m/s)
μ	Viscosidad
V	Volumen (m ³)
Vi	Volumen del titulante consumido en el primer día (m ³)
Vf	Volumen del titulante consumido en 5 días (m ³)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

1	MARCO TEÓRICO	- 1 -
1.1	AGUA RESIDUAL	- 1 -
1.1.1	Definición	- 1 -
1.1.2	Clasificación de las aguas residuales	- 1 -
1.2	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL	- 3 -
1.2.1	Características físicas del agua residual.....	- 4 -
1.2.2	Características químicas del agua residual	- 8 -
1.2.3	Características Microbiológicas.....	- 19 -
1.3	CAUDALES	- 22 -
1.3.1	Medición de caudales.....	- 22 -
1.3.2	Métodos para la medición de caudales	- 23 -
1.3.3	Caudal medio	- 26 -
1.3.4	Dotación.....	- 26 -

1.3.5	Caudal mínimo.....	- 26 -
1.3.6	Caudal máximo.....	- 27 -
1.4	MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.....	- 27 -
1.4.1	Clasificación de las muestras.....	- 28 -
1.4.2	Volumen de la muestra.....	- 29 -
1.5	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	- 30 -
1.5.1	Pretratamiento.....	- 31 -
1.5.2	Tratamiento primario.....	- 36 -
1.5.3	Tratamiento secundario.....	- 39 -
1.5.4	Tratamiento Terciario.....	- 41 -
1.6	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS POBLACIONES.....	- 42 -
1.6.1	Cribado.....	- 42 -
1.6.2	Sedimentación Primaria.....	- 49 -
1.6.3	Tanque de Floculación.....	- 55 -
1.6.4	Sedimentador Secundario.....	- 62 -
1.7	NORMATIVA AMBIENTAL.....	- 64 -
2	PARTE EXPERIMENTAL.....	- 68 -
2.1	DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	- 68 -
2.1.1	Ubicación y extensión.....	- 68 -
2.1.2	Localización geográfica.....	- 68 -
2.1.3	Tamaño de la población.....	- 70 -
2.1.4	Climatología.....	- 70 -
2.2	METODOLOGÍA.....	- 71 -
2.2.1	Medición del caudal.....	- 71 -
2.2.2	Muestreo de las aguas residuales.....	- 72 -
2.2.3	Caracterización de las aguas residuales.....	- 73 -
2.2.4	Métodos y técnicas.....	- 75 -
2.3	Datos experimentales.....	- 91 -
2.3.1	Diagnóstico.....	- 92 -
2.3.2	Datos.....	- 94 -

3	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PARROQUIA SAN GERARDO DEL CANTÓN GUANO	- 96 -
3.1	CÁLCULOS.....	- 96 -
3.1.1	Proyección de la Población.....	- 96 -
3.1.2	Caudal de diseño.....	- 97 -
3.1.3	Diseño de Rejillas	- 98 -
3.1.4	Diseño del Sedimentador Primario	- 100 -
3.1.5	Diseño del Floculador.....	- 103 -
3.1.6	Dimensionamiento de paletas	- 105 -
3.1.7	Dimensionamiento del Sedimentador Secundario.....	- 106 -
3.2	Resultados	- 108 -
3.2.1	Resultados de la Medición del Caudal.....	- 108 -
3.2.2	Resultados de las Pruebas de Tratabilidad.....	- 110 -
3.2.3	Resultado final de las pruebas de caracterización final del agua tratada. -	115 -
3.2.4	Resultado de los Análisis dentro de la Normativa Ambiental	- 116 -
3.2.5	Resultado del dimensionamiento.....	- 116 -
3.3	PROPUESTA.....	- 119 -
3.4	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	- 121 -
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 123 -
4.1	CONCLUSIONES	- 123 -
4.2	RECOMENDACIONES	- 125 -
5	BIBLIOGRAFIA	- 126 -
6	ANEXOS	- 131 -

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1. Diferentes tipos de sólidos presentes en el agua residual	- 7 -
FIGURA N° 2. Escala de pH	- 9 -
FIGURA N° 3 Clases de acidez según el pH	- 10 -
FIGURA N° 4 Oxígeno disuelto consumido en función del tiempo	- 15 -
FIGURA N° 5. Microorganismos típicos en el agua residual	- 20 -
FIGURA N° 6. Pretratamiento con rejillas	- 33 -
FIGURA N° 7. Clases de tamices usados en el tratamiento del agua residual	- 35 -
FIGURA N° 8. Sistema de tratamiento primario típico	- 37 -
FIGURA N° 9. Sistemas de tratamiento secundario	- 39 -
FIGURA N° 10. Rejilla inclinada de limpieza manual	- 44 -
FIGURA N° 11. Tanque de sedimentación primaria circular	- 50 -
FIGURA N° 12. Ubicación de la provincia de Chimborazo y el cantón Guano	- 69 -
FIGURA N° 13. Ubicación de la parroquia San Gerardo en el cantón Guano	- 69 -

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. Clasificación de las aguas residuales	- 1 -
TABLA N° 2. Contaminantes importantes de las aguas servidas	- 3 -
TABLA N° 3. Clasificación general de los microorganismos	- 19 -
TABLA N° 4 Población actual	- 24 -
TABLA N° 5. Objetivos del proceso de pretratamiento	- 31 -
TABLA N° 6. Características de rejillas de barras	- 43 -
TABLA N° 7. Medidas típicas del canal de rejas de un sistema de limpieza manual	- 45 -
TABLA N° 8. Parámetros para el dimensionamiento de rejillas	- 45 -
TABLA N° 9. Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario	- 51 -
TABLA N° 10. Valores recomendados de la carga superficial para distintas suspensiones	- 52 -
TABLA N° 11. Constantes empíricas	- 54 -
TABLA N° 12. Reactivos coagulantes y floculantes más comunes	- 56 -
TABLA N° 13. Parámetros de diseño del floculador	- 57 -
TABLA N° 14. valores recomendados de carga superficial de acuerdo a la suspensión química	- 57 -
TABLA N° 15. Parámetros de diseño de paletas	- 60 -
TABLA N° 16. Valores de CD	- 61 -
TABLA N° 17. Parámetros de diseño de un sedimentador secundario	- 62 -
TABLA N° 18. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	- 66 -
TABLA N° 19. Población actual de la parroquia SAN GERARDO DE PACAICAGUAN	- 70 -
TABLA N° 20. Parámetros de análisis del agua residual doméstica según la normativa vigente (TULSMA)	- 73 -
TABLA N° 21. Técnicas de análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos para aguas residuales	- 75 -
TABLA N° 22. Determinaciones físicas del agua residual	- 92 -
TABLA N° 23. Determinaciones físico químicas	- 93 -
TABLA N° 24. Determinaciones microbiológicas	- 93 -
TABLA N° 25. Medición de la temperatura	- 94 -
TABLA N° 26. Parámetros fuera de Norma	- 95 -
TABLA N° 27. Resultados diarios de la medición del caudal	- 109 -

TABLA N° 28. Disminución de la turbiedad	- 110 -
TABLA N° 29. Variación del pH	- 110 -
TABLA N° 30. Variación de la conductividad eléctrica	- 111 -
TABLA N° 31. Tiempo de sedimentación	- 114 -
TABLA N° 32. Análisis Físico final	- 115 -
TABLA N° 33. Análisis Microbiológico final	- 115 -
TABLA N° 34. Análisis Físico Químico final	- 115 -
TABLA N° 35. Parámetros dentro de la Norma Ambiental	- 116 -
TABLA N° 36. Resultados de caudal de diseño	- 117 -
TABLA N° 37. Resultados del diseño de rejillas	- 117 -
TABLA N° 38. Resultados del diseño del sedimentador primario	- 118 -
TABLA N° 39. Resultados del diseño del floculador	- 118 -
TABLA N° 40. Resultados del diseño del sedimentador secundario	- 119 -

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1. Disminución de la turbiedad	- 110 -
GRÁFICO N° 2. Variación del pH	- 111 -
GRÁFICO N° 3. Variación de la conductividad eléctrica	- 111 -
GRÁFICO N° 4. Disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	- 111 -
GRÁFICO N° 5. Disminución de la Demanda Química de Oxígeno	- 112 -
GRÁFICO N° 6. Disminución de Sólidos Sedimentables	- 112 -
GRÁFICO N° 7. Disminución de Sólidos Suspendedos	- 113 -
GRÁFICO N° 8. Disminución de Coliformes Fecales	- 113 -
GRÁFICO N° 9. Tiempo de sedimentación	- 114 -
GRÁFICO N° 10. Variación del caudal día LUNES	- 131 -
GRÁFICO N° 11. Variación del caudal día MARTES	- 132 -
GRÁFICO N° 12. Variación del caudal día MIÉRCOLES	- 133 -
GRÁFICO N° 13. Variación del caudal día JUEVES	- 134 -
GRÁFICO N° 14. Variación del caudal día VIERNES	- 135 -
GRÁFICO N° 15. Variación del caudal día SÁBADO	- 136 -
GRÁFICO N° 16. Variación del caudal día DOMINGO	- 137 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación. 1	- 9 -
Ecuación. 2	- 16 -
Ecuación. 3	- 16 -
Ecuación. 4	- 23 -
Ecuación. 5	- 25 -
Ecuación. 6	- 25 -
Ecuación. 7	- 26 -
Ecuación. 8	- 26 -
Ecuación. 9	- 27 -
Ecuación. 10	- 27 -
Ecuación. 11	- 27 -
Ecuación. 12	- 28 -
Ecuación. 13	- 46 -
Ecuación. 14	- 47 -
Ecuación. 15	- 47 -
Ecuación. 16	- 47 -
Ecuación. 17	- 48 -
Ecuación. 18	- 48 -
Ecuación. 19	- 49 -
Ecuación. 20	- 51 -
Ecuación. 21	- 52 -
Ecuación. 22	- 52 -
Ecuación. 23	- 52 -
Ecuación. 24	- 53 -
Ecuación. 25	- 53 -
Ecuación. 26	- 54 -
Ecuación. 27	- 54 -
Ecuación. 28	- 57 -
Ecuación. 29	- 58 -
Ecuación. 30	- 58 -
Ecuación. 31	- 58 -
Ecuación. 32	- 58 -
Ecuación. 33	- 59 -
Ecuación. 34	- 59 -
Ecuación. 35	- 59 -
Ecuación. 36	- 59 -

Ecuación. 37	- 61 -
Ecuación. 38	- 61 -
Ecuación. 39	- 61 -
Ecuación. 40	- 61 -
Ecuación. 41	- 63 -
Ecuación. 42	- 63 -
Ecuación. 43	- 64 -
Ecuación. 44	- 64 -
Ecuación. 45	- 85 -
Ecuación. 46	- 86 -
Ecuación. 47	- 86 -
Ecuación. 48	- 87 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1. Mediciones de los caudales diarios	130
ANEXO N° 2. Punto de muestreo y medición de caudales	137
ANEXO N° 3. Pruebas de tratabilidad	138
ANEXO N° 4. Resultado de las pruebas de caracterización	139
ANEXO N° 5. Resultado de análisis microbiológico	140
ANEXO N° 6. Caracterización final	141
ANEXO N° 7. Comparación de resultados de la caracterización del agua residual	142
ANEXO N° 8. Análisis económico	143
ANEXO N° 9. Inversión total	144
ANEXO N° 10. Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual	145
ANEXO N° 11. Dimensionamiento del sedimentador primario	146
ANEXO N° 12. Dimensionamiento de floculador	147
ANEXO N° 13. Dimensionamiento del sedimentador secundario	148
ANEXO N° 14. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN GERARDO	149

RESUMEN

La presente investigación consiste en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la parroquia San Gerardo del cantón Guano, con el propósito de disminuir la contaminación del río Guano.

En el desarrollo de la investigación se ha empleado el método experimental realizando un muestreo compuesto de aguas; para posteriormente, efectuar las pruebas de caracterización. Los ensayos requieren de varios materiales, tales como: vasos de precipitación, pipetas volumétricas, probetas, balones de aforación, filtros, bomba de vacío, estufa, entre otros. Luego del análisis, se determinó las variables que se deben considerar para diseño: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y coliformes fecales correspondientes a parámetros fuera de los límites establecidos en la normativa de calidad vigente.

Con el propósito de eliminar la mayor cantidad de material contaminante, se realizó los cálculos correspondientes para el dimensionamiento del sistema proyectado a 20 años con población futura de 2940 habitantes, con caudal a tratar de $2,4 \text{ m}^3/\text{día}$ y considerando las siguientes operaciones: pre tratamiento con rejillas de limpieza manual cuyo objetivo es retener sólidos gruesos, sedimentación primaria con el fin de sedimentar por acción de la gravedad sólidos de menor tamaño, coagulación-floculación con poli cloruro de aluminio al 10% en dosis de 1,5 mL/L de agua y sedimentación secundaria que consiste en la precipitar los lodos resultantes de la coagulación-floculación. Así, se alcanza la reducción del 47,72% de Demanda Bioquímica de Oxígeno, 30,086% en Demanda Química de Oxígeno, 90% de sólidos suspendidos, 99% en sólidos sedimentables y más del 99% de microorganismos. El sistema diseñado, tendrá una eficiencia del 97% y es preciso mencionar que el proceso garantizará la obtención de agua de mejor calidad, evitando la contaminación del río Guano y el impacto ambiental del sector que se puede lograr no sólo con el tratamiento, sino también, con el cuidado y mantenimiento de los equipos.

<TRATAMIENTO> <AGUAS RESIDUALES> <SAN GERARDO-GUANO>
<SÓLIDOS> <DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO> <DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO> <MATERIAL MICROBIOLÓGICO> <DISEÑO>

ABSTRACT

This research involves the design of a wastewater treatment plant, San Gerardo parish, Guano canton, in order to reduce the pollution in Guano river.

In the development of the research the experimental method was used sampling water compound; to subsequently perform characterization tests. The test require various materials such as: beaker, volumetric pipettes, test tubes, volumetric balls, filters, vacuum pump, stoves, among others.

After analysis, the variables are determined for the design considered: chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, settleable solids, suspended solids and corresponding to parameters outside the limits established by existing quality standards fecal coliforms.

In order to remove most contaminating material quality, the calculations for sizing system designed to 20 years with a future population of 2940 people was conducted at a flow rate to try to 2,4 m³/d and considering the following operations: pretreatment, with manual cleaning gratings aimed retain coarse solids, primary sedimentation in order to settle by gravity action smaller solids, coagulation-flocculation with poly aluminum chloride to 10% at doses of 1,5 mL/L water and consisting of secondary sedimentation sludge resulting precipitation coagulation-flocculation. Thus, reduction of biochemical oxygen demand 47,72%, 30,86% in chemical oxygen demand, 90% of suspended solids, settleable solids 99% and over 99% of microorganisms is achieved.

The designed system will have an efficiency of 97% and is worth mentioning that the process will ensure obtaining better quality water, preventing pollution of the Guano river and environmental impact of the sector can be achieved not only with treatment, but also with the care and maintenance of the equipment.

<TREATMENT> <WASTEWATER> <SAN GERARDO-GUANO> <SOLID>
<CHEMICAL OXYGEN DEMAND> <BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND>
<MICROBIOLOGICAL MATERIAL> <DESIGN>

INTRODUCCIÓN

Las múltiples actividades humanas a lo largo de la historia, han provocado la contaminación del medio ambiente y su constante deterioro, como es el caso de una de nuestras fuentes vitales: el agua. Hoy en día es posible llevar a cabo diferentes sistemas que ayuden a recuperar en altos porcentajes sus características naturales; es por ello que las autoridades enfocan sus actividades benéficas en preservar los recursos naturales y mantener un ambiente saludable.

El agua residual se ha generado siempre; sin embargo, es en la actualidad donde no es posible que se realice una depuración natural puesto que, el constante incremento de la población a la vez contribuye en el aumento de los contaminantes del agua.

Cuando las aguas servidas son descargadas al sistema de alcantarillado o a un cuerpo de agua sin recibir tratamiento previo, genera varias consecuencias, no sólo al medio ambiente, sino también a la población debido a los múltiples compuestos orgánicos e inorgánicos que en su mayoría se encuentran en índices elevados; además, la presencia de microorganismos patógenos representan un peligro constante, puesto que, al ser evacuadas a un efluente cercano (como en este caso), provoca daños importantes en la flora y fauna del sector.

La Parroquia San Gerardo de Pacaicagan perteneciente al cantón Guano, está ubicada aproximadamente a 2675 metros sobre el nivel del mar, en la latitud $1^{\circ}37'54''$ S, longitud $78^{\circ}36'43''$ O y tiene una temperatura promedio de 13.7°C con oscilaciones que van desde los 6°C en la noche y alcanzado temperaturas de hasta 25°C durante el día. Tiene una extensión de $6,59 \text{ Km}^2$.

La Parroquia San Gerardo no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento del agua residual. Dicha agua es conducida mediante el sistema de alcantarillado hacia los tanques de almacenamiento y posteriormente descargada al río Guano sin recibir la depuración correspondiente.

Por tal motivo, diseñar un sistema de tratamiento representa una opción importante de solución a la descarga inadecuada de las aguas servidas. La alternativa presentada nos

permitirá apreciar la reducción de los contaminantes presentes en el agua generada por la población de la Parroquia San Gerardo mediante el tratamiento adecuado; a la vez, será posible clarificar el agua con el fin de cumplir con los límites permisibles establecidos en la norma de calidad ambiental vigente en nuestro país.

De esta manera, el agua estará en condiciones óptimas para su uso en las actividades agrícolas muy comunes en el sector y también se contribuirá a salvaguardar el medio ambiente y proteger la salud de la población.

ANTECEDENTES

La Parroquia Rural San Gerardo se encuentra ubicado en el Cantón Guano de la provincia de Chimborazo, aproximadamente a 2675 metros sobre el nivel del mar, en la latitud 1°37'54" S, longitud 78°36'43" O y tiene una temperatura promedio de 13.7°C con oscilaciones que van desde los 6°C en la noche y alcanzado temperaturas de hasta 25°C durante el día. Tiene una extensión de 6,59 Km² y una ubicación geográfica delimitada por: Norte: Quebrada de las Abras, Sur: Vía Riobamba-Penipe, Este: Río Guano y Oeste: Barrio San Antonio.

San Gerardo se constituyó en Parroquia el 2 de Diciembre de 1944, mediante Registro Oficial N° 162. Anteriormente se conocía como el Caserío denominado Paquicaguán.

La Parroquia se encuentra política y administrativamente estructurada por siete barrios, el Barrio Central constituye la cabecera parroquial y se ha convertido en una zona de características urbanas, mientras que los seis barrios están ubicados en la zona rural: La Unión, La Libertad 1, La Libertad 2, La Magdalena, La Florida y La Victoria. De acuerdo a los datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC, el CENSO 2010 permitió determinar que la población cuenta con 2439 habitantes y un total de 667 familias en la parroquia.

El abastecimiento de agua de la población proviene de pozos y vertientes ubicadas a pocos metros del cauce del río Guano, las más conocidas son: Calipogio, Ingarnon, Tuba, Unucun, Pakcha Catequilla, Libertad y Florida. A modo de apreciación se puede decir que estas vertientes son de buena calidad ya que tiene un color transparente y no existen cantidades apreciables de sólidos suspendidos.

Desde el año 2008-2009, los barrios nororientales del cantón Riobamba impulsan el Proyecto de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas que plantea conducir la tubería atravesando territorios de la parroquia San Gerardo hasta el barrio La Unión donde se planteó realizar la construcción de una planta de tratamiento con el apoyo del Gobierno Provincial de Chimborazo.

En el 2009 se firmó un acuerdo entre los representantes de los barrios nororientales y la Junta Parroquial para permitir los trabajos que requiere este proyecto, sin embargo, durante las obras surgieron varios inconvenientes que ocasionaron malestar en la población, como el colapso del sistema de alcantarillado con presencia de aguas servidas en las calles y en varios terrenos contiguos a las obras; razón por la cual no fue posible la implementación del proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales generadas en la Parroquia San Gerardo del cantón Guano, no reciben el tratamiento respectivo previo a la descarga que se realiza al cuerpo receptor. Las aguas residuales deben cumplir con los parámetros de calidad que se establecen en el TULSMA, Anexo 1, de la Norma de Calidad Ambiental y Descargas de Efluentes: recurso agua; la cual esta dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Las aguas residuales que se generan en la parroquia son desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en las residencias e instituciones; principalmente por el metabolismo humano. Estas aguas contienen diversas sustancias de origen natural o artificial que pueden ser dañinas, tanto para el hombre, como para los animales y el ambiente. Por tal motivo, implementar un sistema de tratamiento de aguas, representa un aporte positivo importante para toda la población, debido a que si el agua recibe el tratamiento adecuado, ésta podría ser empleada para el riego con el fin de beneficiar a un gran porcentaje de habitantes que se dedican a la actividad agrícola y a la vez se reducirá el impacto ambiental.

Actualmente, las aguas residuales son descargadas en el río Guano el cual es el único lugar de drenaje de las aguas provenientes de la parroquia.

Tomando en cuenta los requerimientos que establece la Ley, la cual señala que está totalmente prohibido descargar aguas que contengan contaminantes que representen un riesgo nocivo para la salud humana, flora y fauna; se ha planteado ejecutar el presente proyecto de tesis denominado “DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA SAN GERARDO DEL CANTÓN GUANO”.

El proyecto se realizará de forma responsable, conociendo las necesidades específicas de la población con el fin de asegurar la funcionabilidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad del mismo, buscando beneficiar y aportar positivamente a la sociedad y al medio ambiente.

OBJETIVOS

GENERAL

- ◆ Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia San Gerardo del cantón Guano.

ESPECÍFICOS

- ◆ Establecer un plan de muestreo para la recolección adecuada de muestras representativas del agua residual de la Parroquia San Gerardo.
- ◆ Caracterizar las aguas residuales que se descargan en el cuerpo receptor cercano a la población.
- ◆ Determinar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos en la Normativa de Calidad Ambiental.
- ◆ Efectuar las pruebas respectivas de tratabilidad utilizando procedimientos adecuados que permitan clarificar el agua residual con el fin de disminuir los valores de los parámetros que no cumplen con la Normativa Ambiental
- ◆ Diseñar el sistema TULSMA LIBRO VI, Anexo 1, TABLA. 12 de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce de tratamiento de aguas residuales, basándonos en los distintos parámetros identificados en las pruebas de caracterización y realizando los cálculos correspondientes.
- ◆ Validar el diseño de la planta de tratamiento efectuando la caracterización final del agua tratada

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 AGUA RESIDUAL

1.1.1 Definición

Son aquellas aguas utilizadas que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas a través del sistema de alcantarillado. (1)

El agua residual por su calidad, requiere un procedimiento de depuración previo a su reutilización, para ser vertidas a un cuerpo receptor de agua o descargadas al sistema de alcantarillado¹. (OEFA)

Según el origen, las aguas residuales son el resultado de la mezcla de líquidos y residuos sólidos arrastrados por el agua que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, combinados con los residuos provenientes de las industrias y de actividades agrícolas, también de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que pueden agregarse casualmente al agua residual. (2)

1.1.2 Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales se clasifican en:

TABLA N° 1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

TIPO DE AGUA RESIDUAL	DEFINICIÓN	COMPOSICIÓN
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	Son el resultado del desarrollo de un proceso de productividad, incluyendo aquellas	Compuestos orgánicos e inorgánicos que tienen sustancias contaminantes: compuestos órgano-halogenados, hidrocarburos, cianuros, biosidas, productos fitosanitarios, metales

	provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.	pesados, entre otros. Son residuos tóxicos, persistentes y bioacumulables que pueden llegar a modificar el medio ambiente.
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	De origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de las actividades humanas, y deben ser dispuestas adecuadamente.	Sólidos de origen orgánico: proteína (65%), carbohidratos (25%) y lípidos (10%). Sólidos de origen inorgánico: residuos de minerales pesados, sales y metales. Su peso en agua es cerca de 99,9% y apenas el 0,1% son sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, siendo esta pequeña fracción la que presenta mayores problemas para el tratamiento y disposición final del agua residual.
AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser recibidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.	Su composición es heterogénea; tanto química, como físicamente: Compuestos orgánicos: carbohidratos, proteínas y lípidos Compuestos inorgánicos: sales, residuos de materiales, tierra, papel. Microorganismos: virus, algas, protozoos, bacterias, hongos e insectos.

FUENTE: Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales, OEFA.

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

El agua residual es desagradable en su apariencia y en extremo peligrosa, en su contenido, principalmente debido al elevado número de organismos patógenos (virus, bacterias, protozoarios, helmintos) causantes de enfermedades.

El residuo fresco tiene tonalidad grisácea, mientras que en el residuo séptico el color cambia gradualmente de gris a negro. El color negro caracteriza también el residuo de descomposición parcial. (3)

Las aguas residuales pueden, sin embargo, presentar cualquier otro color, en los casos de contribución de residuos industriales como por ejemplo, los de la industria textil o de tintas. En muchos casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal. Como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. No obstante, muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales se emplean también con las industriales. Existen aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado.

El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a ácido sulfhídrico. El agua residual séptica es de color negro.² (ETAP)

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10° y 20°C; esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones.

A continuación se describen los principales contaminantes que poseen las aguas residuales y las razones por las que los mismos deben ser removidos empleando los métodos apropiados. (4)

TABLA N° 2. CONTAMINANTES IMPORTANTES DE LAS AGUAS SERVIDAS

Contaminantes	Razón de la Importancia
---------------	-------------------------

Sólidos en suspensión	Causan la sedimentación de lodos y condiciones anaeróbicas cuando las aguas negras no son tratadas y son descargadas a un medio acuático.
Orgánicos biodegradables	Constituido primariamente por proteínas, carbohidratos y grasas. Son definidos en términos de DQO y DBO. Si se los desemboca al ambiente sin tratamiento, su estabilización biológica puede causar la reducción de las fuentes naturales de oxígeno y el desarrollo de condiciones sépticas
Patógenos	Ocasionan la transmisión de enfermedades contagiosas.
Nutrientes	Nitrógeno y fósforo, junto con carbón son componentes principales para el desarrollo de las plantas. Cuando estos nutrientes son descargados en un medio acuático, originan el crecimiento de vida acuática peligrosa. Cuando son descargados a la tierra también pueden ocasionar contaminación del agua subterránea.
Orgánicos Refractarios	Estos suelen resistir los métodos comunes de tratamiento; los más convencionales son fenoles, detergentes y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Son habitualmente descargados por las industrias
Inorgánicos disueltos	Entre estos tenemos: calcio, sodio y sulfatos que son consecuencia de las actividades domésticas.

FUENTE: Metcalf & Eddy

1.2.1 Características físicas del agua residual

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, dentro de lo cual se encierra la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son: olor, conductividad, temperatura, densidad, color y turbiedad.

Turbiedad

Se conoce como turbiedad a la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para dificultar el paso de la luz. La turbiedad es producida por una gran variedad de causas, entre ellas las más importantes pueden ser:

- La erosión natural de las cuencas la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos.
- La contaminación provocada por la industria o por desechos domésticos. (5)

La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones.

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas de consumo humano y en un gran número de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua. (6)

Color

El color en aguas residuales es causado por los sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama *color aparente*, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina *color verdadero*. El color verdadero se obtiene sobre una muestra filtrada. Dado que la medida depende del tamaño del poro del filtro, se debe especificar el tipo de filtro usado y el tamaño del poro.

Las aguas residuales domésticas frescas son generalmente de color gris y a medida que el agua envejece cambia a color gris oscuro y luego a negro. El color negro de las aguas residuales sépticas es producido principalmente para la formación de sulfuros metálicos. El color en aguas residuales industriales puede indicar el origen de la contaminación, así como el

buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento. Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de la industria colorante de textiles y los de pulpa de papel. ³
(ROMERO J.)

Olor

Regularmente, los olores se deben a los gases liberados en el proceso de disgregación de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor característico, algo desagradable, que resulta más permisible que el del agua residual séptica. El olor más particular del agua residual séptica se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno (H₂S) que proviene de la reducción de los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento. La problemática de los olores es considerada como la fuente principal de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

El olor del agua residual fresca es por lo general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos fétidos son liberados cuando se produce la degradación biológica en condiciones anaerobias de las aguas residuales. Además, compuestos como indol, eskatol y mercaptanos formados bajo condiciones anaerobias pueden causar olores mucho más ofensivos que el sulfuro de hidrógeno. Los olores pueden ser medidos mediante métodos sensoriales e instrumentales.

Temperatura

La temperatura del agua residual generalmente es mayor que la temperatura del agua para abastecimiento, debido a la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, puesto que, muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura.

La temperatura del agua es un parámetro de gran importancia porque afecta de manera directa a las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida que se desarrolla en el agua y la adecuación de la misma para fines beneficiosos. Un incremento en la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existan en un cuerpo

receptor. Además la temperatura influye en el diseño de la mayor parte de los procesos de depuración del agua (coagulación, sedimentación, etc.)

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, debido a que, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura.

Densidad

La densidad está definida como la masa del agua por unidad de volumen y se expresa en g/L o kg/m^3 . Es una característica física de gran importancia a la hora de constituir la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. La densidad del agua residual doméstica que no tiene cantidades significativas de desecho es prácticamente de igual valor a la del agua a una misma temperatura.

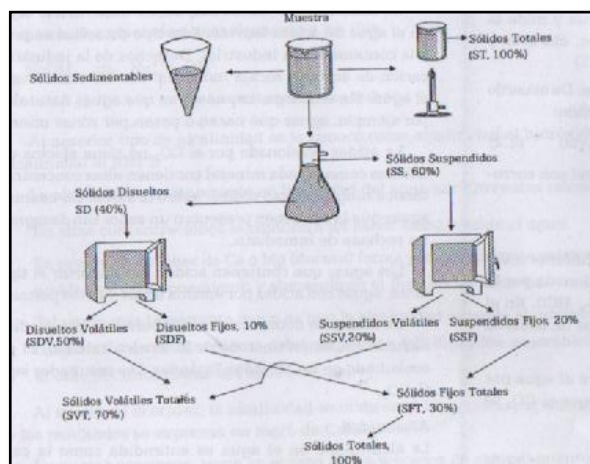
Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para concluir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. El valor de la medida de la CE es usado como un parámetro sucedáneo de la concentración de los sólidos disueltos totales (SDT). La CE se expresa en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) en unidades del sistema inglés y como mili Siemens por metro (mS/m) en unidades del SI.

Sólidos

Para establecer un diagnóstico acerca de la calidad del agua, es fundamental implantar la cantidad de material sólido que contiene una muestra. Los diferentes tipos de sólidos que existen en la ingeniería de calidad del agua son:

FIGURA N° 1. DIFERENTES TIPOS DE SÓLIDOS PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL



FUENTE: SIERRA, C. Características físicas, químicas y biológicas del Agua

Los sólidos sedimentables son definidos como aquel material que se sedimenta por acción de la gravedad en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en periodo de tiempo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en mL/L.

Los sólidos totales se clasifican en dos: sólidos suspendidos y sólidos disueltos. La cantidad y naturaleza de los sólidos que se encuentran en el agua varían ampliamente. En el agua la mayor cantidad de los sólidos están disueltos (SD) y consisten especialmente en gases y sales.

Los sólidos disueltos son una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro granular.

Los sólidos suspendidos son, tal vez, la clase de sólidos más importantes de determinación en los análisis de calidad del agua en nuestro medio, porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.2.2 Características químicas del agua residual

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del

contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

Las características químicas se clasifican en dos tipos:

- Indicadores: pH, acidez, alcalinidad
- Sustancias químicas

Potencial hidrógeno (pH)

El pH es un parámetro fundamental del agua, soluciones acuosas y sistemas coloidales que dependen de la disociación del agua y que es el índice definitorio de las propiedades de los fluidos; además, regula la estabilidad de las soluciones y/o sistemas coloidales y sirve para definir los procedimientos para separar los componentes químicos de un sistema. (8)

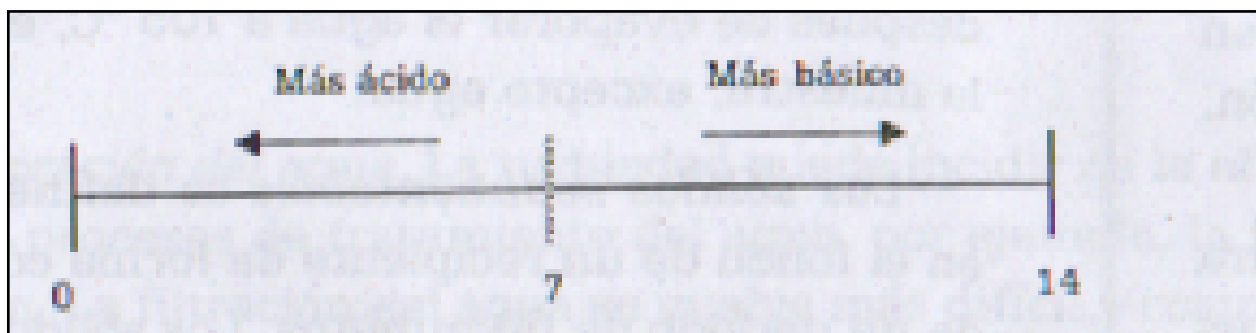
Es el término empleado para expresar la magnitud de las condiciones ácidas o básicas del agua. El pH se puede medir en el campo o en el laboratorio por medio de instrumentos electrónicos (pH metro).

Por convención, el pH está definido como:

$$pH = -\log H^+ \quad \text{Ec. 1}$$

En determinaciones químicas se sabe que el pH siempre debe encontrarse en una escala de 0 a 14. La escala de pH se describe en la siguiente figura:

FIGURA N° 2. ESCALA DE pH

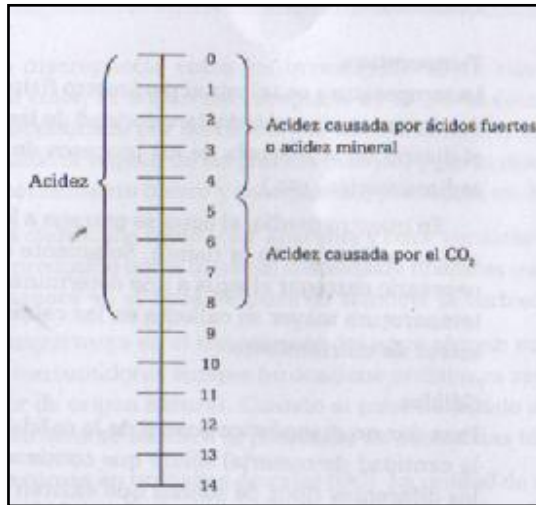


FUENTE: SIERRA, C. Características físicas, químicas y biológicas del Agua

Acidez

Por lo general se deduce que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8.5 contienen acidez. Dicha acidez en las aguas naturales es originada por la presencia de CO_2 o de un ácido fuerte, por ejemplo: H_2SO_4 , HNO_3 , HCl .

FIGURA N° 3 CLASES DE ACIDEZ SEGÚN EL pH



FUENTE: SIERRA, C. Características físicas, químicas y biológicas del Agua

Se denomina acidez mineral a la que es ocasionada por la presencia de ácidos fuertes en el agua; lo cual se presenta en el agua como consecuencia de la contaminación industrial. Estos contaminantes pueden ser desechos de la industria metalúrgica, la fabricación de ácidos a escala industrial, que son los que provocan la acidez mineral. Aunque existen casos en los que aguas naturales contienen acidez mineral, como por ejemplo aquellas aguas que surgen o transitan por zonas mineras.

Aquellas aguas que tienen acidez, cualquiera sea el tipo, son corrosivas. Por tanto, todas las aguas con acidez que sobrepasen de los valores permisibles deben ser tratadas adecuadamente.

Para la determinación de acidez en el laboratorio, se requiere un análisis químico que se denomina titulación (Método de la fenolnaftaleína). El resultado se reporta en mg/L como CaCO_3

Alcalinidad

La alcalinidad en el agua se define como la capacidad que posee para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede ser considerada como la presencia de sustancias básicas en el agua, fundamentalmente sales de ácidos débiles o bases fuertes.

En aguas naturales, la alcalinidad es producto de la presencia de iones $[OH^-]$, $[CO_3^{2-}]$, y $[HCO_3^-]$, mismos que se incorporan al agua por la acción del CO_2 sobre los materiales naturales del suelo.

Otra forma de provocar alcalinidad en el agua es por la presencia de bases fuertes; estas bases ingresan al agua principalmente por la contaminación industrial. Un ejemplo común, la sosa caustica (NaOH) que es una base fuerte proveniente de la industria del papel presentes en las aguas de residuo que son vertidas comúnmente a los ríos.

Dureza

La dureza se define como la propiedad que poseen ciertas aguas de cortar el jabón; es decir, demandan grandes cantidades de jabón para generar espuma. Otra particularidad de las aguas duras es que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los equipos mecánicos y las tuberías. La dureza es ocasionada por la presencia de cualquier catión divalente en el agua, generalmente Ca^{2+} y Mg^{2+} . La dureza se incorpora al agua en el proceso natural de disolución de las formaciones rocosas presentes en el suelo.

Las aguas duras, a parte de las contrariedades producidas por el jabón, no demuestran ninguna dificultad sanitaria. Sin embargo, si van a ser empleadas en la industria, se deben tratar. El proceso que se utiliza para deponer la dureza se denomina ablandamiento o suavización.

La determinación de la dureza se realiza en el laboratorio mediante titulación (método de EDTA) y los resultados se expresan en mg/L de $CaCO_3$.

Detergentes

Los detergentes son sustancias orgánicas que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del agua.

El término detergente se aplica a toda la variedad de materiales utilizados para remover las impurezas. A los detergentes también se los conoce también, como tenso-activos o surfactantes.

Hierro y Manganeso

La existencia de hierro y manganeso en las aguas superficiales y subterráneas es debido al poder separador que tiene el CO₂ sobre los sedimentos del suelo disminuyendo los compuestos férricos a hierro soluble.

El hierro y el magnesio son considerados de vital importancia en el tratamiento del agua, puesto que, aunque no tienen efectos con respecto a la salud de los consumidores; tanto el hierro como el manganeso, manchan la ropa y los aparatos sanitarios, también cuando se extingue el oxígeno forman compuestos que se imponen, corroen y taponan tuberías y equipos mecánicos. Se considera que la concentración mayor a 0,3 mg/L de Fe total y de 0,1 de Mn originan contrariedades de calidad del agua en los sistemas de agua potable.

Nitrógeno

Tanto el nitrógeno como el fósforo son indispensables para el desarrollo de protistas y plantas, por tal motivo reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores.

El nitrógeno de nitritos, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a nitratos. La concentración de nitritos rara vez excede la cantidad de 1 mg/L en las aguas residuales. A pesar de que su presencia suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen gran importancia debido a su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas.

El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. Se forma en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas.

Fósforo

Es de gran importancia para el desarrollo de algas y otros organismos biológicos. Esto debe a que en las aguas superficiales suceden nocivas proliferaciones libres de algas.

Actualmente hay mucho interés en restringir la cantidad de fósforo que adquieren las aguas superficiales mediante vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y por escorrentías.

El fosforo raramente se encuentran en el agua en altas concentraciones debido a que las plantas lo absorben rápidamente. En aguas superficiales la concentración de fosforo fluctúa normalmente entre 0.005 y 0.020 mg PO₄-P/L y se puede encontrar en concentraciones mucho más altas en ambientes marinos. En el agua subterránea, los niveles son cerca de 0.020 mg PO₄-P/L.

Cloruros

El ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas naturales. No suele ser un ion que plantee problemas de potabilidad a las aguas de consumo, aunque sí que es un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre. Esto es así porque, aunque la concentración de cloruro en aguas naturales es muy variable pues depende de las características de los terrenos que atraviesan, dicha concentración es menor comparada con la concentración del ion en aguas residuales ya que la actividad humana incrementa necesariamente dicha concentración. (9)

Los cloruros en aguas naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que ellas hacen contacto. Otras fuentes potenciales de cloruros son las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas a las aguas superficiales.

En las aguas residuales, los cloruros son añadidos como consecuencia del uso. Por ejemplo, el organismo humano necesita del ion cloruro solo en pequeñas cantidades, de manera que la mayoría cloruros elimina en las heces las cuales contienen aproximadamente 6 gr de cloruro por persona y por día.

El ion cloruro se separa con filtros de carbono activado e intercambio iónico, no obstante es menos retenido que los iones polivalentes, razón por la cual, las aguas de alta pureza requieren un tratamiento final.

Azufre

Los sulfatos en el agua pueden tener su origen en el contacto de ella, con terrenos ricos en yesos, así como por la contaminación con aguas residuales industriales; el contenido de estos no suele presentar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano, pero contenidos superiores a 300mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños.

Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo.

El ion sulfato es abundante en aguas naturales. Un amplio rango de concentraciones se encuentra presente en aguas lluvias y su determinación proporciona valiosa información respecto a la contaminación y a los fenómenos ambientales; adicionalmente, puede aportar datos acerca de la información de ácido sulfúrico proveniente del dióxido de azufre presente en la atmósfera. (10)

Metales

Los metales son de mucho interés en el tratamiento, reutilización y vertimiento de efluentes y lodos tratados. Todos los organismos vivos requieren para su correcto crecimiento elementos tales como hierro, cromo, cobre, zinc cobalto en cantidades diferentes (cantidades macro y micro). Aunque las cantidades macro y micro de metales son esenciales para un normal desarrollo de la vida biológica, dichos elementos pueden llegar a ser tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas. Cuanto más se utilicen las aguas residuales tratadas para riego agrícola y de zonas verdes, una gran variedad de metales se debe determinar para estimar los efectos adversos que puedan generarse. El procedimiento de análisis de metales puede ser realizado mediante adsorción atómica, plasma acoplado por inducción o colorimétricamente.⁴ (STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 1995)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

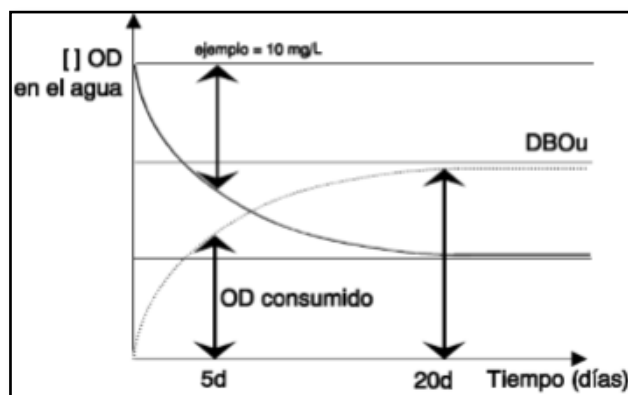
La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Cuando se refiere a la DBO necesaria para oxidar todo el material orgánico carbonáceo biodegradable, se denomina demanda bioquímica última de oxígeno carbonácea

(DBOUC). En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO, con valores numéricos expresados en $\text{mg/L} - \text{O}_2$.

La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras.

Una muestra de agua residual se diluye convenientemente con agua de dilución (agua destilada con una población mixta apropiada de microorganismos, y con una concentración a saturación de OD). Se mide en la muestra diluida la concentración inicial de OD, se incuba a una temperatura determinada (20 °C) y, después de un tiempo prefijado, se mide nuevamente la concentración de OD. La disminución en la concentración de OD será debido a la utilización hecha, durante el tiempo de incubación, por los microorganismos para metabolizar la MO de ese volumen de muestra diluida. De este resultado se calcula la cantidad de oxígeno requerido para el tratamiento similar de un volumen normal no diluido, por ejemplo un litro.

FIGURA N° 4 OXÍGENO DISUELTO CONSUMIDO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO



FUENTE: Metcalf & Eddy

La oxidación biológica es relativamente lenta y normalmente no se completa en 5 días de incubación. Los compuestos orgánicos simples, como la glucosa, se oxidan casi completamente en 5 días, pero en un agua residual doméstica solo se llega a oxidar un 65% de la MO. Los compuestos orgánicos complejos pueden oxidarse únicamente en un 40 % en el mismo período. Cuando la descomposición de MO de una muestra es tan completa como se puede obtener aeróbicamente, el OD así consumido es la DBO total o última (DBOu). Si no se indica nada, se suele aceptar que es DBO₅.

Normalmente, se supone que la DBO es una reacción de primer orden. En una reacción de orden 1, la velocidad de oxidación es proporcional a la concentración presente de materia orgánica oxidable.

Una vez formada una población adecuada de microorganismos, la velocidad de reacción está controlada por la cantidad de alimento disponible, esto es:

$$\frac{dL}{dt} = -KL \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

L = concentración de DBO presente

t = tiempo

K = constante cinética de orden 1 del proceso

Para calcular la cantidad de DBO en proporción a la cantidad de oxígeno se utiliza la siguiente fórmula:

$$DBO (O_2) = \frac{(V_f - V_i) \times N \times Eq \times 1000}{v} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

V_f = Volumen del titulante consumido después de 5 días.

V_i = Volumen del titulante consumido en el primer día.

N = Normalidad del oxígeno

Eq = Equivalente químico del oxígeno

V = Volumen del recipiente (Frasco Wheaton)

Demanda Química de Oxígeno

La DQO es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua. A diferencia de la DBO, en esta prueba la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química y no microorganismos. Su determinación es más rápida que la DBO.

El dicromato de potasio constituye actualmente el mejor agente oxidante para la determinación de la DQO. Este compuesto contiene la capacidad de oxidar la gran mayoría de sustancias orgánicas, además, es fácil de determinar su concentración antes y después de la prueba, lo cual hace que se pueda calcular el oxígeno consumido. Otra de las ventajas de la DQO es el poco tiempo de duración de la prueba; mientras una prueba de DBO tarda 5 días, una de DQO demora 3 horas.

Oxígeno Disuelto (OD)

Considerada como la fuente energética de los seres vivos, el oxígeno se transforma en el índice de mayor importancia para la definición y control de las aguas residuales. El aumento de oxígeno podría ser incrementado de diferentes maneras:

- Atracción de oxígeno mediante la superficie de la interfase aire – agua
- Operación fotosintética, por acción fundamentalmente de las algas verdes
- Declinación de la temperatura
- Emulsión

El índice de oxígeno se puede reducir por la respiración de los microorganismos, algas y organismos macroscópicos, aumento de temperatura, reacciones químicas, y por la acción metabólica de los organismos regidos por la acción enzimática.

Las aguas residuales contienen una gran cantidad de vida microbiana que tienen como principal función descomponer, transformar y fermentar la materia orgánica empleando o no el oxígeno disuelto a través de procesos aerobios o anaerobios. Dichos microorganismos

podrían ser de origen vegetal: plantas, semillas, helechos; de origen animal: microorganismos vertebrados e invertebrados; o también de origen protista: bacterias, hongos, protozoos y algas. Además, están presentes algunos tipos microorganismos patógenos como los coliformes, los cuales mueren de forma rápida al hallarse en un hábitat diferente al adecuado para su desarrollo. Cada uno de los grupos de microorganismos, constituyen un papel fundamental como indicadores de la calidad del agua residual.

Aceites y Grasas

Todas las sustancias de naturaleza lipídica son categorizadas como aceites y grasas, las cuales son inmiscibles con el agua y permanecerán en la superficie generando la formación de natas y espumas que son capaces de dificultar cualquier tipo de tratamiento físico o químico, razón por la cual, se requiere su eliminación al iniciar un proceso de tratamiento de agua residual. (11)

El término grasa se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas que se extraen de soluciones acuosas o en suspensión. La extracción de estas sustancias se realiza en un laboratorio empleando hexano. Generalmente, se pueden considerar grasas a compuestos como los hidrocarburos, esteroides, aceites, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular, dado que todos estos compuestos son solubles en hexano.

Las grasas son generadas o llegan al agua por actividad antrópicas, y su presencia y medición están relacionadas principalmente con actividades que tienen que ver con el manejo de aguas residuales. Normalmente, las empresas operadoras de los sistemas de alcantarillado no permiten el vertimiento de aguas residuales con contenido de grasas superiores a 100 mg/L; esto se debe a que, las grasas obstruyen las tuberías y presentan problemas en la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

En aguas naturales, la presencia de grasas inhibe el paso de la luz y del oxígeno disuelto en el agua. Para diferenciar las grasas de los aceites, las grasas son considerados desechos sólidos mientras que los aceites son líquidos.

Gases

Comúnmente los gases que se encuentran en las aguas residuales crudas son: nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrogeno (H₂S), amoniacó (NH₃), y metano (CH₄). De los cuales, los tres últimos resultan de la descomposición de la materia orgánica que está en las aguas residuales.

El oxígeno disuelto es muy importante para el proceso de respiración de los microorganismos aerobios y también para otras formas de vida debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que gastan oxígeno se incrementa con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más difíciles en las épocas calurosas. El problema se aumenta en los meses de verano, puesto que los cursos de agua por lo general son inferiores, por lo tanto el oxígeno es inferior. (9)

1.2.3 Características Microbiológicas

Las características biológicas de las aguas residuales son importantes en el control de enfermedades ocasionadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo e indispensable de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y equilibrio de la materia orgánica, ya sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales.

TABLA N° 3. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MICROORGANISMOS

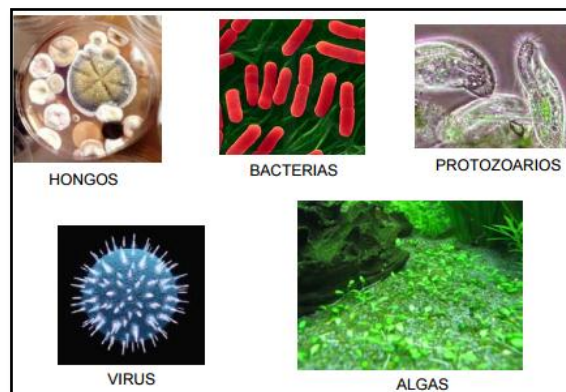
Grupo	Estructura Celular	Características	Tamaño típico	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota (a)	Multicelular con gran diferenciación de las células y tejidos	10-100 µm de diámetro	Plantas (plantas de semilla, musgos y helechos). Animales (vertebrados e invertebrados).
		Unicelular con escasa nula diferenciación	10-100 µm de diámetro	Algas, hongos y protozoos.

		de tejidos		
Bacterias	Procariota(b)	Química celular parecida a las eucariotas	0.2-2.0 μm de diámetro	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota(b)	Química celular distintiva	0.2-2.0 μm de diámetro	Metanógenos, halófitos, termoacidófilos.

FUENTE: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones

Los microorganismos más importantes presentes en el agua residual son: bacterias, hongos, virus, protozoos y distintos tipos de algas.

FIGURA N° 5. MICROORGANISMOS TÍPICOS EN EL AGUA RESIDUAL



FUENTE: Microbiología en los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. pdf.

Algunos son patógenos y otros no. Entre los primeros cabe destacar los virus de la Hepatitis. Por ejemplo, en 1 g. de heces de un enfermo existen entre 10⁶ - 10⁸ dosis infecciosas del virus de la hepatitis.

El tracto intestinal del hombre contiene numerosas bacterias conocidas como Organismos COLIFORMES. El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana, debido a que:

- Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades.

- Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
- Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección

Cada individuo evacua 105 millones de coliformes por día, que aunque no son dañinos, se utilizan como indicadores de contaminación debido a que su presencia indica la posibilidad de que existan gérmenes patógenos de más difícil detección.

Estas materias de tipo orgánico absorben hasta su mineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen en el agua. El índice para medir este fenómeno puede efectuarse mediante el análisis de parámetros como: Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno y Oxígeno Disuelto.

La contaminación del tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, puesto que los agentes patógenos (bacterias y virus), están presentes en las heces, orina y sangre y son el origen de muchas enfermedades y epidemias. Los organismos coliformes son: coliformes fecales y coliformes totales.

Coliformes fecales

Los microorganismos patógenos que existen en las aguas residuales son pocos y difíciles de aislar e identificar, por esta razón se utiliza a los microorganismos coliformes como un organismo indicador de contaminación o presencia de organismos productores de alguna enfermedad.

Aunque no sean dañinos se usan los coliformes como indicador debido a que el ser humano arroja diariamente en sus excrementos entre 10^9 y 10^{11} coliformes, por lo tanto su presencia puede detectarse con facilidad y utilizarse como norma de control sanitario.

El exceso de coliformes fecales en un cuerpo de agua, hacen q el agua sea no apta para el consumo humano, e insegura para la recreación.

A los coliformes fecales se los denomina termotolerantes debido a su capacidad de resistir temperaturas muy altas. Esta determinación está dominando más adeptos actualmente, pues sería una forma más adecuada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por caracterizarse de crecer a una temperatura superior. La capacidad de

reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos se favorece por la existencia de las condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc.

1.3 CAUDALES

Caudal es el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo a través de una sección dada de un curso o conducción de agua. (12)

Es fundamental analizar detenidamente, a partir de los datos disponibles, las características y variaciones de los caudales del agua residual, debido a que afectan en el diseño de los sistemas de tratamiento, y en general en el diseño hidráulico de las redes de alcantarillado y en las plantas de tratamiento de agua residual. (13)

1.3.1 Medición de caudales

En todo sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales, la medición del caudal es fundamental; para lo cual se debe contar con los dispositivos de medición del caudal; tanto en la entrada, como en la salida del efluente. Son aparatos de bajo costo, en relación al costo total de la obra y suministran datos importantes para la operación de los sistemas de tratamiento.

Los principales tipos de medidores utilizados son los vertederos proporcionales, el medidor Parshall, el medidor Venturi, los vertederos triangulares y rectangulares.

Los vertederos triangulares o rectangulares se deben instalar a la salida de los sistemas de tratamiento, es importante señalar que la presencia de sólidos no pueden obstruir estos dispositivos. Estos vertederos deben ser de pared delgada y arista viva, además deben trabajar en descarga libre.

El vertedero triangular debe ser de escotadura en ángulo de 90°. Este vertedero proporciona un excelente método para medir pequeños caudales.

El caudal es la cantidad de un líquido que fluye de modo natural o no natural en un determinado lugar y por una unidad de tiempo.

La medición de caudales es una técnica que se realiza con el fin de facilitar el muestreo, ya que a través del mismo se puede obtener una concentración promedio de los contaminantes presentes en el agua residual a lo largo de un turno, ciclo de producción o día.

Para poder medir el caudal de una descarga, se debe de realizar mínimo 3 jornadas de medición horaria durante las 24 horas del día. Los datos que se obtienen en la medición del caudal permiten calcular los caudales medio y máximo horario representativos de la descarga, y el factor de mayorización correspondiente.

1.3.2 Métodos para la medición de caudales

El aforo de caudal es un conjunto de operaciones que permiten determinar el caudal de un curso de agua que fluye por una determinada sección de un cauce natural.

Se realiza para un nivel de agua observado y para un cierto nivel o porcentaje de exactitud. Para la realización del aforo de caudales existen varios métodos que registran mediciones de una manera continua o permanente, o de una manera puntual o instantánea. La mayoría de métodos de aforo se basan en la ecuación de continuidad:

$$Q = V * A \qquad \qquad \qquad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Q= caudal

V= volumen (m³)

A= área (m²)

1.3.2.1 Método volumétrico

Un procedimiento fácil de medir caudales menores es a través de la determinación directa del tiempo que se necesita para llenar un recipiente de volumen conocido. Con ese

propósito el fluido es desviado hacia un canal que descarga en un recipiente adecuado, y el tiempo que tarda su llenado se puede determinar mediante un cronómetro.

Para caudales de más de 4 L/s, es preciso emplear un recipiente de 10 litros de capacidad, mismo que se va a llenar en un tiempo de $2^{1/2}$, y para caudales mayores es recomendable el uso de un recipiente de 200 litros.

1.3.2.2 Método del Vertedero

Este método es comúnmente utilizado para corrientes de bajo caudal, en plantas de tratamiento de aguas residuales y en industrias que manejan bajos caudales. Según las características físicas de la salida del efluente, y en el caso que el método volumétrico sea inoperante, se puede aplicar el método del vertedero, que consiste en una obstrucción hecha en el canal para que el agua (superficial, residual doméstica o industrial) retroceda un poco atrás de la obstrucción y fluya sobre o a través de ella. Si se mide la altura de la superficie líquida corriente arriba es posible determinar el flujo. La posibilidad de utilizar este método dependerá de las características del efluente y de las instalaciones. (15)

1.3.2.3 Población actual

De acuerdo a los datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC, el CENSO 2010 permitió determinar que la población cuenta con 2439 habitantes y un total de 667 familias en la parroquia.

- **Población flotante**

La población flotante se ha determinado en base a la población estudiantil que tienen en cada uno de los centros educativos, y los profesores que laboran; con esta información y aplicando para ello las normas generales que consideran un 15% del número de alumnos y profesores como habitantes adicionales:

TABLA N° 4 POBLACIÓN ACTUAL

Parámetros	Unidad	Datos
Pa	Hab.	2073
Pfl	Hab	366
r*	%	0,94

FUENTE: *INEC, CENSO 2010

$$Pa = P_{fl} + Pe \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Pa = población actual

Pfl = población flotante

Pe = población estable

1.3.2.4 Población futura

Para la determinación de la población futura los cálculos se basan en el método geométrico que es el más recomendable para poblaciones pequeñas, donde se considera la tasa de crecimiento anual que según el CENSO 2010, la tasa de crecimiento anual es de 0,94%.

$$Pf = Pa (1 + i)^n \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

Pf = población futura (hab)

Pa = población actual (hab)

i = tasa de crecimiento

n = periodo de diseño

1.3.3 Caudal medio

La expresión para calcular el caudal promedio ocurre durante un periodo de 24 horas, este caudal promedio es utilizado para analizar la capacidad de las plantas de tratamiento y para desarrollar los caudales empleados en diseño, además, es usado para estimar parámetros de costos de bombeo y de químicos, lodos y tasas de descargas de orgánicos.

$$Q_{med} = población (hab) * dotación \left(\frac{L}{hab*día} \right) \quad Ec. 7$$

Dónde:

Q_{med} = caudal medio de agua residual m³/d

1.3.4 Dotación

La dotación se debe a la cantidad de agua que emplea cada habitante de la Parroquia San Gerardo durante un día, para lo cual se toma en cuenta el caudal máximo diario de consumo de agua.

$$D = \frac{Q_{máximo\ diario}}{Pe} \quad Ec. 8$$

Donde:

D= dotación

Q máximo diario = caudal máximo diario (L/d)

Pe = población obtenida en el CENSO 2010

La dotación es de 120.36 L/hab.dia, según el proyecto de agua potable realizado por el Gobierno de la Provincia de Chimborazo.

1.3.5 Caudal mínimo

Para determinar el caudal mínimo en pequeñas poblaciones se toma un factor de 0,5 por el caudal medio; como señala la siguiente ecuación:

$$Q_{\min} = 0,5 * Q_{med} \quad \text{Ec. 9}$$

1.3.6 Caudal máximo

El caudal máximo en este caso también conocido como el caudal de diseño que puede llegar a la planta se estima mediante un factor o rango de 1,5 – 2,5 veces para poblaciones pequeñas y grandes respectivamente. En este caso, se ha usado la siguiente ecuación:

$$Q_{\max} = M * Q_{med} \quad \text{Ec. 10}$$

Dónde:

Q max = caudal máximo de agua residual m3/d

M = coeficiente de mayorización

El coeficiente de mayorización se determina con la siguiente ecuación:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

M = coeficiente de mayorización

P = población aportante

1.4 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

Los distintos contaminantes que contienen las aguas residuales se pueden determinar en primer lugar, dependiendo de la procedencia de las mismas. Sin embargo para poder caracterizar con precisión el tipo de contaminante y la concentración con la que es descargado, se considera necesario realizar varios muestreos y determinaciones analíticas.

El muestreo de agua es una técnica que consiste en extraer una pequeña porción representativa de una masa de agua, con el fin de determinar los diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos mediante análisis de laboratorio.

Las diferentes muestras que se toman y se someten al análisis requieren de criterios y técnicas de toma diferentes, por lo cual es fundamental tener cuidado al obtener la muestra de agua. La muestra que se tome debe ser lo más representativa posible de la masa del agua que se pretende caracterizar; además se debe tomar las precauciones correspondientes para poder conservar la muestra de manera que no experimente ninguna modificación desde el instante en el que ha sido tomada la muestra, hasta su análisis. (7)

1.4.1 Clasificación de las muestras

1.4.1.1 Muestras simples

Se denominan muestras simples aquellas de las cuales se conoce que su composición es constante en el tiempo y espacio. La muestra simple representa las características del agua para el instante de muestreo. En estas muestras se analiza la temperatura, pH, oxígeno disuelto, cloro residual, alcalinidad, acidez, grasas y aceites y coliformes.

1.4.1.2 Muestras compuestas

Son aquellas que están formadas por varias muestras simples proporcionales al caudal instantáneo, las cuales han sido tomadas en el mismo lugar pero en distintos tiempos. Por esta razón, las muestras simples son tomadas a intervalos constantes de tiempo (generalmente un hora), hasta lograr un tiempo total igual a 24 horas.

Todas las muestras que sean recolectadas deben ser almacenadas de forma apropiada en un refrigerador y al finalizar el periodo de muestreo se mezclan en proporción directa al caudal aforado en cada instante de muestreo.

Al preparar la muestra compuesta es fundamental conocer la cantidad requerida de cada muestra simple. Para calcular el volumen de las muestras simples se emplea la ecuación:

$$V_i = \frac{Q_i * V}{Q_p * N_o} \qquad \text{Ec. 12}$$

Donde:

V = volumen final total de la muestra (ml)

Q_i = caudal instantáneo de cada muestra (m^3/s)

Q_p = caudal promedio durante el periodo de muestreo (m^3/s)

V_i = volumen de cada alícuota de cada muestra (ml)

N_o = número de muestras que se van a tomar para formar la muestra compuesta

Si se desea conocer resultados promedios se recomienda este tipo de muestras; debido a que aseguran la representatividad de la masa de agua y facilitan la detección de los efectos de la descarga variable de los distintos contaminantes de las aguas sometidas a procesos determinados; por ejemplo: tratamientos, depuración, vertidos, entre otros. (12)

1.4.2 Volumen de la muestra

El volumen de la muestra para análisis depende del número de parámetros que se desee determinar. En general, para análisis de un solo constituyente se requieren por lo menos 100 mL; para análisis de rutina de muestras simples 2L y para muestras completas 4 L. También; el volumen dependerá del requerimiento del laboratorio encargado de realizar los diferentes ensayos. (1)

1.4.2.1 Hoja de revisión de muestras

A la muestra se le asigna una hoja de revisión. La persona responsable del muestreo debe llenar su parte correspondiente. El personal de laboratorio debe completar la siguiente información.

- Nombre de la persona que recibe la muestra
- Nuero de la muestra
- Fecha de recepción de la muestra
- Ensayos por realizar

1.4.2.2 Número de muestras

Debido a las variaciones aleatorias en los procesos analíticos, una sola muestra puede ser suficiente cuando se desea un cierto nivel de confianza. Si se conoce la desviación estándar del grupo, el número de muestras requeridas debe ser establecido por las características del agua residual.

1.4.2.3 Cantidad

Se recomienda tomar dos litros de muestra para los análisis fisicoquímicos, considerando que para ciertos ensayos es necesario un volumen grande de agua. Es importante señalar que no se debe usar la misma muestra para análisis químicos (orgánicos o inorgánicos) y microbiológicos debido a que los métodos de muestreo y manipulación para los mismos, son diferentes.

1.4.2.4 Conservación de las muestras

En ciertas técnicas de análisis es necesario preservar las muestras de agua residual para evitar los cambios secundarios en la concentración de estas sustancias variables durante el transporte. La mejor manera de preservar las muestras, es realizar los análisis lo más pronto posibles. Hasta el momento de efectuar el análisis la muestra deberá mantenerse en refrigeración a aproximadamente 4°C.

Cuando se guardan las muestras de agua residual se deberá tomar en cuenta al hecho de que las reacciones químicas y principalmente las biológicas continúan produciéndose después de recolectadas las muestras. Las bajas temperaturas mantienen a un bajo nivel la velocidad de las reacciones. (14)

1.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes

antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores.

1.5.1 Pretratamiento

Las aguas residuales antes de su tratamiento, propiamente dicho, se someten a un pretratamiento, que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias, que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento. El correcto diseño y posterior mantenimiento de la etapa de pretratamiento son aspectos de gran importancia, pues cualquier deficiencia en los mismos repercutirá negativamente en el resto de las instalaciones originando obstrucciones de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, formación de costras, entre otros. (3)

TABLA N° 5. OBJETIVOS DEL PROCESO DE PRETRATAMIENTO

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

FUENTE: CEPIS/OPS-OMS, Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Las operaciones de pretratamiento incluidas en una E.D.A.R. dependen de:

- La procedencia del agua residual (doméstica, industrial, etc.).
- La calidad del agua bruta a tratar (mayor o menor cantidad de grasas, arenas sólidos)
- Del tipo de tratamiento posterior de la E.D.A.R.
- De la importancia de la instalación
- etc.

Las operaciones son:

- Separación de grandes sólidos,
- Desbaste
- Tamizado
- Desarenado – desengrase
- Pre aireación

1.5.1.1 Separación de grandes sólidos

Cuando en las aguas residuales a tratar se prevea la presencia de sólidos de gran tamaño, o una excesiva cantidad de arenas, se recurre a ubicar en cabecera de la instalación de depuración un pozo de gruesos, que permita la separación de estos elementos. El pozo de gruesos se sitúa a la entrada del colector a la EDAR (estación depuradora de aguas residuales), presentando su parte inferior forma de tronco de pirámide invertido, de paredes muy inclinadas, al objeto de concentrar los sólidos a eliminar en una zona específica, desde la que sea fácil su extracción. La retirada de los sólidos depositados se efectúa mediante una cuchara anfibia, con movimientos de desplazamiento vertical y horizontal mediante polipasto y grúa pórtico.

En este sistema la tarea consiste en la retirada de estos grandes sólidos, para evitar que estos dificulten la llegada del agua residual al resto de la planta, y la de limpiar el fondo del pozo para que no se produzca anaerobiosis, y consecuentemente malos olores. También se

debe vaciar el contenedor de forma regular, si esto no es posible, hay que utilizar un contenedor tapado.

1.5.1.2 Desbaste

El objetivo del desbaste es la eliminación de los sólidos de pequeño y mediano tamaño (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) que de otro modo podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua. El procedimiento más usual consiste en hacer pasar las aguas a través de rejas que, de acuerdo con la separación entre los barrotes, pueden clasificarse en:

- Desbaste de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 50 a 100 mm.
- Desbaste de finos: el paso libre entre los barrotes es de 10 a 25 mm.

En función de su geometría, las rejas pueden ser rectas o curvas y, según como se ejecute la extracción de los residuos retenidos en los barrotes, se distingue entre rejas de limpieza manual y rejas de limpieza automática. En grandes instalaciones de depuración se hacen pasar los residuos extraídos de las rejas por mecanismos de compactación, con objeto de reducir su volumen antes de ser depositados en contenedores.

FIGURA N° 6. PRETRATAMIENTO CON REJILLAS



FUENTE: CRITES, R.

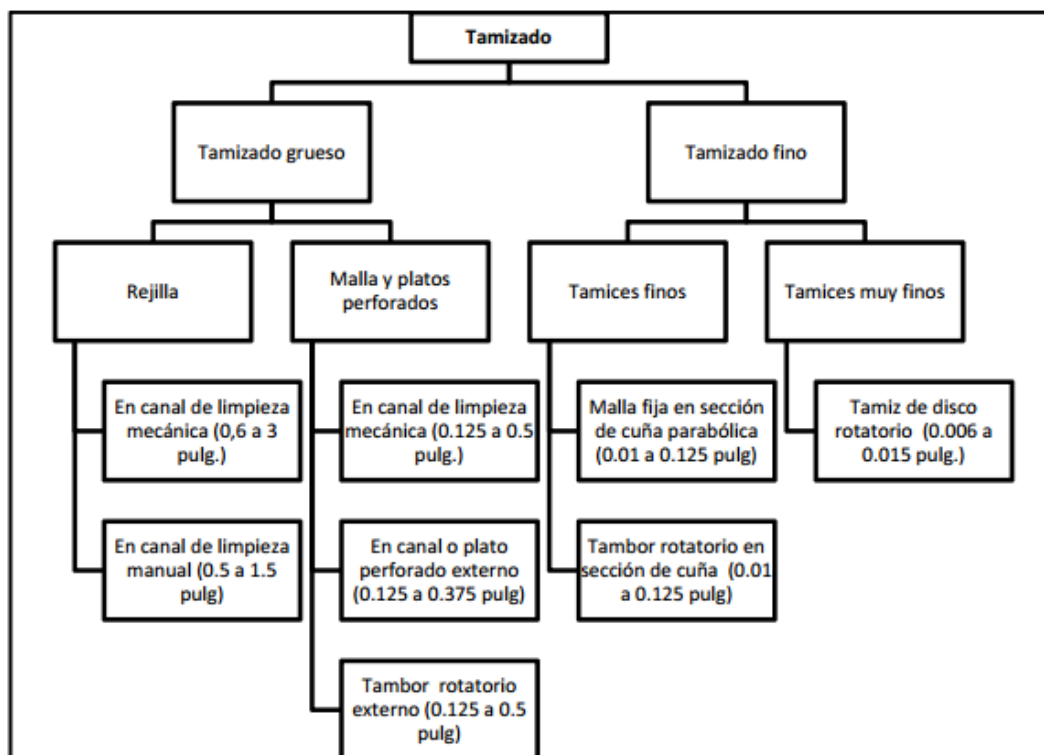
Los materiales sólidos y bastos, tales como cáscaras de fruta, harapos, palos, trozos de papel y madera que frecuente e inexplicablemente encuentran su destino en el sistema de alcantarillado, se separan pasando las aguas a través de rejillas, hechas con varillas de hierro paralelas.

1.5.1.3 Tamizado

Tiene por objeto la reducción del contenido en sólidos en suspensión de las aguas residuales, mediante su filtración a través de un soporte delgado dotado de ranuras de paso. Se distingue entre tamices estáticos autolimpiantes, tamices rotativos y tamices deslizantes. Los tamices estáticos autolimpiantes constan de un enrejado, constituido por barras horizontales de acero inoxidable, rectas o curvadas, de sección triangular, orientadas de tal forma que la parte plana se encara al flujo. La inclinación de este enrejado disminuye progresivamente de arriba abajo, entre 65° y 45° aproximadamente. Con ello se consiguen, de forma sucesiva, los efectos de separación, escurrido y evacuación, de las partículas de mayor tamaño que la luz de paso del tamiz.

El agua a tratar se alimenta por la parte superior del tamiz, los sólidos de tamaño superior a la luz de paso quedan retenidos por el enrejado y, debido a la inclinación de éste, ruedan hasta un contenedor situado en la parte inferior. Por su parte, la fracción líquida, conteniendo los sólidos de tamaño inferior al tamaño de paso, atraviesa el enrejado y se recoge en una tubería situada en la parte inferior del tamiz. Los tamices rotativos están constituidos por un enrejado cilíndrico de eje horizontal, formado por barras de acero inoxidable, de sección trapezoidal. El enrejado gira lentamente accionado por un motorreductor. La alimentación al tamiz se efectúa por su parte exterior. Los sólidos de tamaño superior a la luz de paso quedan retenidos en la parte externa del cilindro y la eliminación de la capa de sólidos retenidos en la periferia del tamiz se logra mediante la acción de una cuchilla y del propio giro de la unidad. La fracción líquida, con los sólidos de tamaño inferior a la luz de paso, atraviesa el enrejado cilíndrico y se conduce hacia la zona de evacuación. Los tamices deslizantes son de tipo vertical y continuo, su luz de paso oscila entre los 0,2 y 3 mm y se suelen emplear en la operación de desbaste de finos.

FIGURA N° 7. CLASES DE TAMICES USADOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL



FUENTE: TCHOBANOGLOUS, GEORGE. Sistema de manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

1.5.1.4 Desarenado

Tiene por objetivo la eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0,2 mm, para evitar que sedimenten en canales y conducciones y para proteger a las bombas y otros elementos de la abrasión. Aparte de las arenas propiamente dichas, en esta operación se eliminan también gravas y partículas minerales, así como elementos de origen orgánico, no putrescibles (granos de café, semillas, huesos, cáscaras de frutas y huevos, etc.). Los canales desarenadores pueden ser de flujo variable o de flujo constante. Los canales desarenadores de flujo variable se emplean en pequeñas instalaciones de depuración, y en ellos las arenas se extraen manualmente de un canal longitudinal, con una capacidad para el almacenamiento de arenas de 4-5 días. Los canales desarenadores de flujo constante mantienen una velocidad de paso fija, en torno a 0,3 m/s, independientemente del caudal que los atraviesa, con lo que se logra que sedimente la mayor parte de las partículas de

origen inorgánico y la menor parte posible de las de origen orgánico (< 5% de materia orgánica).

1.5.1.5 Desengrasado

En esta etapa se eliminan las grasas y otras materias flotantes más livianas que el agua. Dentro de los desengrasadores se distingue entre los desengrasadores estáticos y los aireados. En los desengrasadores estáticos se hacen pasar las aguas a través de un depósito dotado de un tabique, que obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo, lo que permite que los componentes de menor densidad que el agua, queden retenidos en la superficie. La retirada de las grasas se lleva a cabo de forma manual, haciendo uso de un recoge hojas de piscina. En los desengrasadores aireados se inyecta aire con objeto de desmenujar las grasas y lograr una mejor flotación de las mismas. En plantas de tamaño medio-grande las operaciones de desarenado y desengrasado se llevan a cabo de forma conjunta en unidades de tratamiento conocidas como desarenadores-desengrasadores aireados.

1.5.1.6 Pre aireación

En esta etapa de tratamiento se considera los siguientes objetivos:

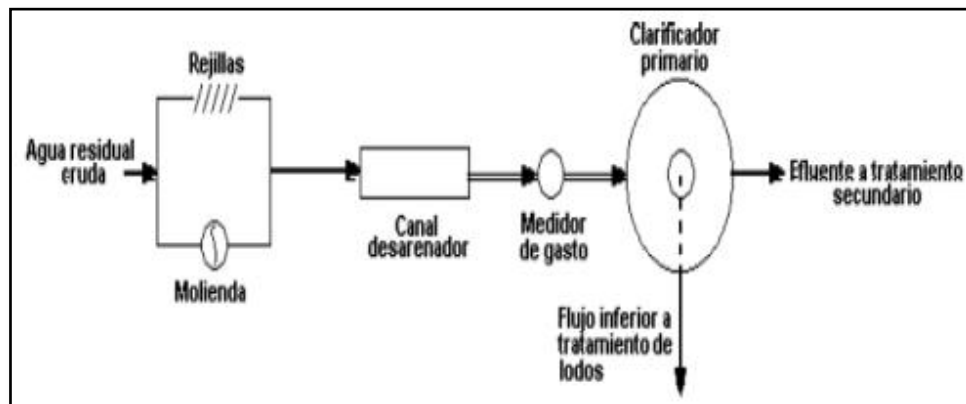
- Mejorar la tratabilidad del agua, debido a que esta ingresa séptica, contaminada, a la depuración.
- Control de olores
- Mejorar la separación de las grasas
- Favorecer la floculación de los sólidos
- Mantener el oxígeno en la decantación aun a bajos caudales
- Incrementar la eliminación de DBO₅
- Evitar los depósitos en las cámaras húmedas (6)

1.5.2 Tratamiento primario

El principal objetivo de los tratamientos primarios se centra en la eliminación de sólidos en suspensión, consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica.

Los sistemas primarios son los más sencillos en la limpieza del agua y tienen como función específica la preparación del agua, limpiándola de todas aquellas partículas cuyas dimensiones puedan dificultar la ejecución de los distintos procesos siguientes.

FIGURA N° 8. SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO TÍPICO



FUENTE: VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual

Las operaciones que se realizan en el tratamiento primario son:

- Cribado o mallas de barrera
- Flotación o eliminación de grasas
- Sedimentación

Algunos sistemas, tales como la flotación y sedimentación, pueden ser utilizados dentro del proceso de tratamiento secundario y no forzosamente como un método primario aislado.

1.5.2.1 Eliminación de aceites y grasas

Es fundamental tener en cuenta que a la planta suele llegar aceites y grasas que se generan a partir de la basura que el hombre genera. Estas grasas pueden causar serios daños en los procesos de limpieza por su viscosidad, evitando la adecuada circulación del agua debido a que pueden obstruir las rejillas, ductos y además, impedir la aireación adecuada en los sistemas.

Para evitar que esto suceda, se puede colocar trampas para aceites que pueden ser tan sencillas como tubos horizontales abiertos en la parte superior ubicados en la superficie de los tanques, los cuales tienen la finalidad de captar la película de aceite que flota en el agua.

1.5.2.2 Sedimentación

Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas.

Los sistemas de decantación pueden ser simples, es decir trabajar solamente con la gravedad, eliminando las partículas más grandes y pesadas, o, se pueden utilizar sistemas coagulantes, para atraer las partículas finas y extraerlas del agua.

La decantación simple trabaja junto con otros factores como la luz solar, la aireación, y la fricción que existe entre los elementos, que puede ser producida por la presión del agua, además de variar dependiendo de la magnitud de la partícula.

Los tanques de sedimentación varían en forma y tamaño, dependiendo de la cantidad de agua que se va a decantar, además, del tipo de flujo que se maneje y de los mecanismos de auto limpieza aplicados.

Los tanques de decantación tienen un flujo constante, el cual puede provenir de abajo, de arriba o ser horizontal como en algunos tanques rectangulares. Parte del sistema de decantación está apoyado por canales ubicados en la superficie de los tanques reteniendo los sólidos pequeños. Estos canales pueden colocarse a la entrada del flujo cuando este proviene de la parte superior, o en la salida del tanque cuando el flujo viene de la parte inferior o de forma horizontal.

1.5.3 Tratamiento secundario

Cuando las aguas ingresan a una estación depuradora reciben un pretratamiento en los cuales se retiran los sólidos gruesos y de gran tamaño; así como las arenas y grasas. A continuación el agua pasa al tratamiento primario, en cual los sólidos en suspensión son eliminados fácilmente mediante la sedimentación, además de una cantidad menor de materia orgánica.

La materia orgánica que queda disuelta y en suspensión, así como el resto de las partículas sólidas que no se han excluido en los tratamientos anteriores, son eliminados mediante procesos biológicos de depuración biológica, que en la línea de aguas constituye el tratamiento secundario.

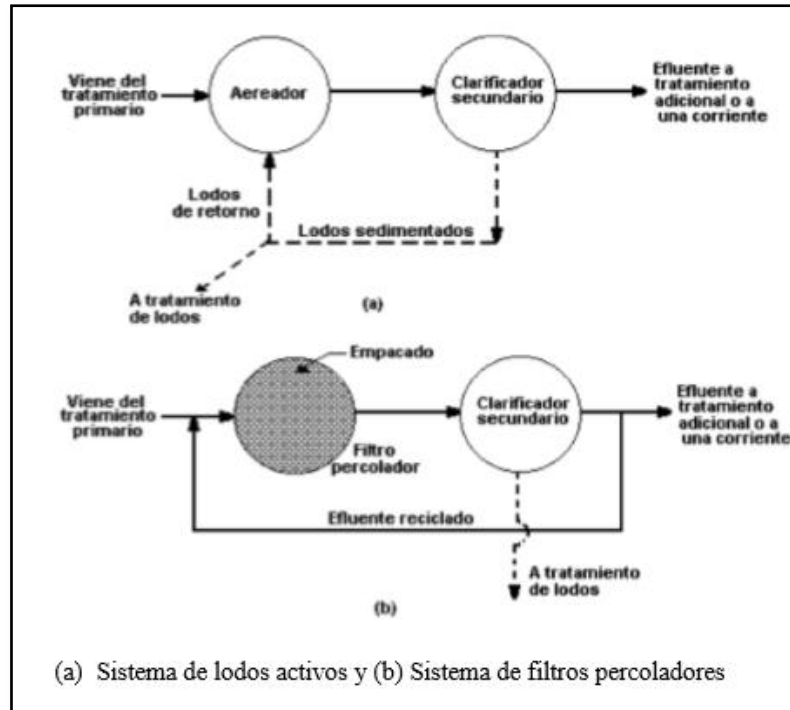
Los procesos biológicos de depuración biológica son aquellos que son efectuados por un grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos) que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y en materia celular que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos y el conjunto de flóculos, es lo que se conoce como fango biológico.

Los objetivos principales de este tratamiento son la transformación de la materia orgánica y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. En el caso de algunas aguas residuales urbanas también se persigue la eliminación de nitrógeno y fosforo, además de los MO patógenos y fecales que habitan en el agua residual.

Existen varios tratamientos biológicos aerobios; esencialmente son dos:

- Procesos de cultivo en suspensión (fangos activados)
- Procesos de cultivo fijos (lechos bacterianos)

FIGURA N° 9. SISTEMAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO



FUENTE: VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual

1.5.3.1 Proceso de cultivo en suspensión (fangos activados)

En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que estos son la causa de descomposición de la materia orgánica del efluente. En el reactor parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias aeróbicas con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.

Otro tipo de microorganismos igualmente de importantes son los protozoos y rotíferos que actúan como depurificadores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han floculado y los rotíferos consumen partículas biológicas que no hallan sedimentado. El sistema por tanto consiste en desarrollar un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo alimentado con el agua a depurar. La agitación evita sedimentos y homogeniza la mezcla de los flóculos bacterianos y el agua residual.

Después de un tiempo de contacto, 5-10 horas, el líquido mezcla se envía a un clarificador (decantador secundario) para separar el agua depurada de los fangos. Un porcentaje de estos se recirculan al depósito de aireación para mantener en el mismo una concentración

suficiente de biomasa activa. Se tiene que garantizar los nutrientes necesarios para que el sistema funcione correctamente, principalmente nitrógeno y fósforo.

Posteriormente los efluentes pasan por los decantadores secundarios. Constituyen el último escalón en la obtención de un efluente bien clarificado, estable, de bajo contenido en DBO y sólidos en suspensión.

Aunque el tratamiento biológico reduce la DBO del agua efluente un 75-90%, la del fango se reduce en mucha menor medida, por lo que suele ser necesario el posterior tratamiento de dichos fangos.

1.5.3.2 Procesos de cultivo fijos (lechos bacterianos)

Filtros percoladores.- Es un lecho de grava o de piezas de plástico donde se adhieren los microorganismos. Las aguas a tratar se vierten sobre el lecho, de forma que se asegura un buen contacto entre ambas fases. La materia orgánica se adsorbe a la capa de microorganismos de manera que puede ser metabolizada. Es conveniente que a la salida del filtro percoladores se instale un sedimentador para eliminar los sólidos que puedan desprenderse del filtro.

Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos).- Consiste en una serie de discos paralelos que giran de forma cortante semisumergidos en la superficie del agua a tratar. Los crecimientos biológicos se adhieren sobre el material de relleno de los discos formando una película biológica. La rotación del disco permite a la biomasa estar en contacto alternativo con las aguas residuales y con el oxígeno atmosférico, por lo que mantiene las condiciones aerobias. Además, mantienen los sólidos del agua en suspensión para su correcto transporte hacia el sedimentador.

1.5.4 Tratamiento Terciario

A través de distintos procesos físicos y químicos se eliminan contaminantes específicos como: minerales, fósforo. Existen procesos como adsorción que utilizan carbón activado para fijar en su superficie ciertos compuestos presentes en el efluente a tratar. Además,

dependiendo de la complejidad del efluente se emplean otros procesos como: intercambio iónico, ultrafiltración, electrodiálisis, oxidación-reducción, desinfección, entre otras. (16)

1.6 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS POBLACIONES

En la actualidad, la preservación del agua, ha hecho que para optar por el tratamiento de las aguas residuales se clasifique dicho tratamiento en sistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas y grandes poblaciones; debido a que cada uno requiere un sistema adecuado de acuerdo a la cantidad de agua residual que se genera. Por tal razón, existen diferentes tecnologías apropiadas que satisfacen a las necesidades de la población, beneficiando de esta manera no solo a los habitantes afectados; sino también, al medio ambiente.

De acuerdo al sector en el que se realiza esta investigación, se requiere de un tratamiento para pequeñas poblaciones; la cual debe estar diseñada con flexibilidad de costos y disponibilidad de recursos físicos y económicos.

El sistema de tratamiento que se va a ejecutar, considerando las alternativas para tratamiento en pequeñas poblaciones, parámetros fuera de norma, espacio físico y recursos económicos; se ha seleccionado diferentes procesos con lo que se realiza el diseño de los equipos que se requieren.

Se ha considerado efectuar las siguientes etapas para el tratamiento de aguas residuales son: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento terciario.

1.6.1 Cribado

El cribado es la operación utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de la misma por una criba o rejilla. La criba puede ser de cualquier material agujerado ordenadamente, por ejemplo una plancha o lámina metálica, de madera o de concreto, con

agujeros redondos, cuadrados o de cualquier forma geométrica. También puede construirse una criba con una celosía fija o emparrillado de barras o varillas de hierro o acero.

De acuerdo con el método de limpieza, las rejillas o cribas son de limpieza manual o mecánica. Según el tamaño de las aberturas de las rejillas se clasifican como rejillas gruesas o finas. Las gruesas son aquellas con aberturas iguales o mayores de 0,64 cm, mientras que las finas tienen aberturas menores de 0,64 cm.

La longitud de las rejillas de limpieza manual no debe exceder de la que permita su limpieza conveniente por el operador. En la parte superior de la rejilla debe proveerse una placa de drenaje o placa perforada, con el objeto de permitir el drenaje temporal del material removido.

El canal de acceso a la rejilla debe diseñarse para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado, antes y después de la rejilla. El canal debe, preferiblemente, ser horizontal, recto y perpendicular a la rejilla, para promover una distribución uniforme de los sólidos retenidos por ella.

TABLA N° 6. CARACTERÍSTICAS DE REJILLAS DE BARRAS

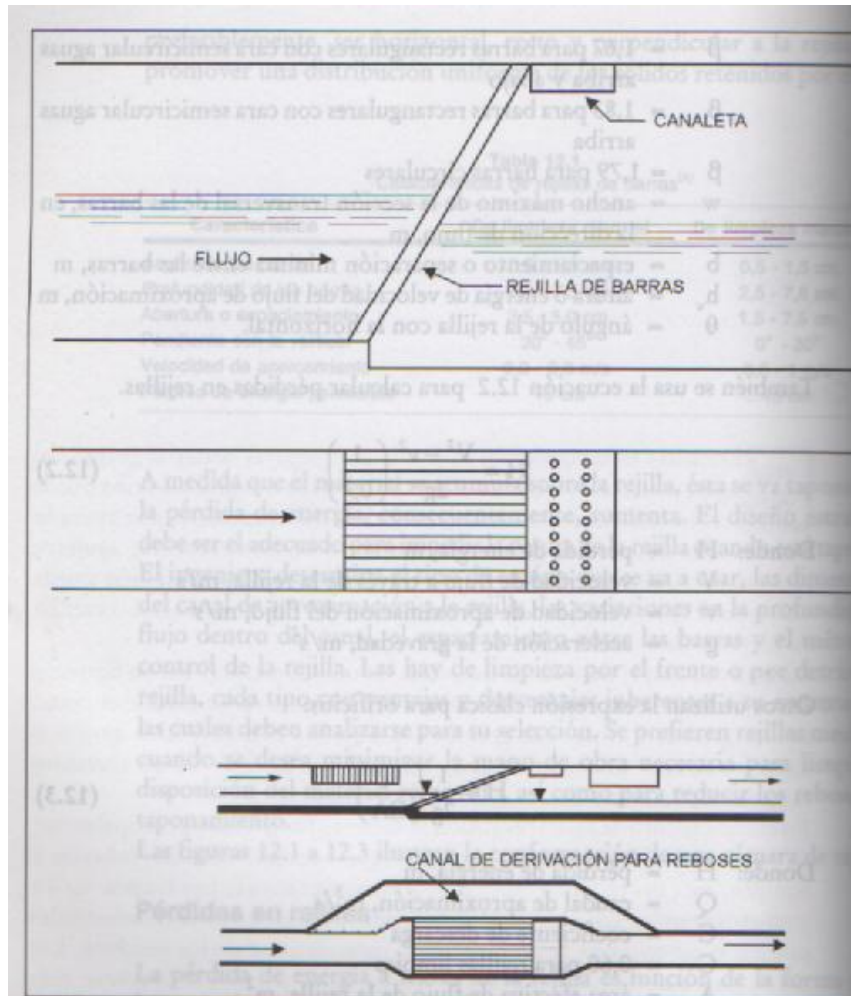
Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

FUENTE: ROMERO, J. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño

El objetivo principal de los dispositivos de cribado es proteger a las bombas y otros equipos electromecánicos y prevenir el atascamiento de válvulas. Por este motivo la primera operación que se lleva a cabo en el influente de agua residual es el cribado.

Las cantidades de material retenido varían mucho, dependiendo del tipo de rejilla o criba, del espaciamiento o abertura, del sistema de alcantarillado y de la población que genera las aguas residuales.

FIGURA N° 10. REJILLA INCLINADA DE LIMPIEZA MANUAL



FUENTE: ROMERO, J. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño

Se recomienda utilizar rejillas de limpieza manual para caudales menores que $0.053 \text{ m}^3/\text{s}$, puesto que, las plantas de tratamiento pequeñas tienen un canal en el cual su profundidad depende de las condiciones propias de cada proyecto, mientras que su ancho y separación entre barras pueden considerarse las medidas de la siguiente tabla:

TABLA N° 7. MEDIDAS TÍPICAS DEL CANAL DE REJAS DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA MANUAL

Ancho del canal (cm)	40; 50; 60; 80; 100; 125; 160; 180; 200; 225; 250
Separación entre barreras (cm)	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10

FUENTE: VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual

Las rejas de limpieza manual se colocan con una inclinación de 30° a 60° con respecto al plano horizontal. Las barras de las rejas, comúnmente rectas, pueden tener una separación grande, de 5 a 10 cm, o pequeña, de 1 a 4 cm. Si las partículas sólidas del agua residual son de tamaño pequeño se debe disminuir la separación entre las barras de las rejillas.

Cuando el material retenido por las barras se acumula, se produce un aumento en el nivel del agua en el canal de llegada; las rejillas deben limpiarse cuando se llega al nivel máximo definido. El exceso de acumulación del material retenido es desfavorable, debido a que ocasiona que las partículas de menor tamaño que la separación entre barras no puedan pasar a través de ellas.

Generalmente el flujo en el canal suele ser laminar, por lo que se recomienda que el agua tenga una velocidad de al menos 0.5 m/s para estancar los materiales, permitiendo el paso a partículas pequeñas. Sin embargo, durante la época de lluvia la velocidad aumenta; en estas condiciones es recomendable que la velocidad máxima sea de 2.0 m/s. De no ser posible estar dentro del rango de velocidad sugerido debido al ancho requerido, es recomendable diseñar dos canales con el fin de dividir el caudal y, por lo tanto, disminuir la velocidad de flujo en tiempo de lluvia.

TABLA N° 8. PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS

PARÁMETRO	ABREVIATURA	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR ESCOGIDO
Caudal de diseño	$Q_{\text{Diseño}}$	m^3/s	0,0266	-

Velocidad de aproximación*	Va	m/s	0,3 - 0,6	0,45
Velocidad mínima*	V	m/s	0,3 - 0,6	0,6
Aceleración de la gravedad	G	m/s ²	9,8	-
Altura de seguridad	Hs	M	0,50	0,50
Espesor de la barra**	H	Mm	15 – 50	10
Ancho del canal (propuesto)	b	M	0,5	-
Separación entre barras*	E	Mm	15 - 50	20
Angulo de inclinación**	Ø	°	44 – 60	45
Pérdida máxima de carga admisible***	Hf	M	0,015	0,015

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

1.6.1.1 Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual

Una técnica para el dimensionamiento de las rejillas es:

- Empleando el caudal de diseño y la velocidad mínima recomendada, debemos determinar el área libre al paso del agua.

$$A_L = \frac{Q}{v}$$

Ec. 13

Donde:

Q = caudal de diseño

V = velocidad mínima

AL= área libre

- También, se puede plantear el **tirante del agua en el canal (h)**

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

Donde:

h = tirante del agua en el canal

b = ancho del canal (m)

- **Altura del canal (H)**

$$H = h + H_s \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

H = altura del canal (m)

h = tirante del agua en el canal (m)

H_s = altura de seguridad (m)

- **Longitud de las barras (L_b)**

$$L_b = H / \sin \emptyset \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

L_b = longitud de las barras

H = altura del canal

\emptyset = ángulo de inclinación

▪ **Número de barras (n)**

$$n = \frac{b}{e+s} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

n = número de barras

e = separación entre barras en mm

s = espesor de las barras en mm

▪ **Pérdida de carga (H_f)**

Las pérdidas hidráulicas a través de las rejillas son una función de la velocidad de aproximación del fluido y de la velocidad de flujo a través de los barrotes. Las pérdidas de carga a través de una rejilla se estiman por medio de la siguiente ecuación:

$$H_f = \frac{1}{0,7} * \left(\frac{V-V_a}{2g} \right) \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

H_f = pérdida de carga

V = velocidad mínima de flujo a través del espacio entre barras de la rejillas (m/s)

V_a = velocidad de aproximación del flujo hacia la rejilla (m/s)

0,7 = coeficiente empírico que incluye perdidas por turbulencia y formación de remolinos.

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

- **Velocidad de aproximación**

$$V = \frac{Q}{A_L} \qquad \text{Ec. 19}$$

Donde:

V = velocidad de aproximación

Q = caudal de diseño (m³/s)

A_L = área libre (m²)

1.6.2 Sedimentación Primaria

Es un proceso físico que consiste en la eliminación de sólidos sedimentables presentes en el agua residual por acción de la gravedad, los cuales tienen mayor densidad que el líquido en que se encuentran suspendidos. Este proceso por lo general sucede sin que sea necesaria la acción de sustancias químicas.

El objetivo de la operación es disminuir la velocidad de flujo del agua, haciéndola pasar por un estanque o piscina, de manera que los sólidos en suspensión sedimenten debido a diferencias de densidades. A través de la aplicación de ésta técnica, la sustracción de impurezas es parcial; puesto que depende fundamentalmente de la naturaleza y tamaño de las suspensiones, además de la temperatura y el tiempo de reposo del agua. Los tanques de sedimentación primaria eliminan entre el 50 – 70 % de sólidos suspendidos, y entre el 25 – 40 % de DBO₅, siempre que las consideraciones de diseño sean bien manejadas.⁶ (Metcalf & Eddy)

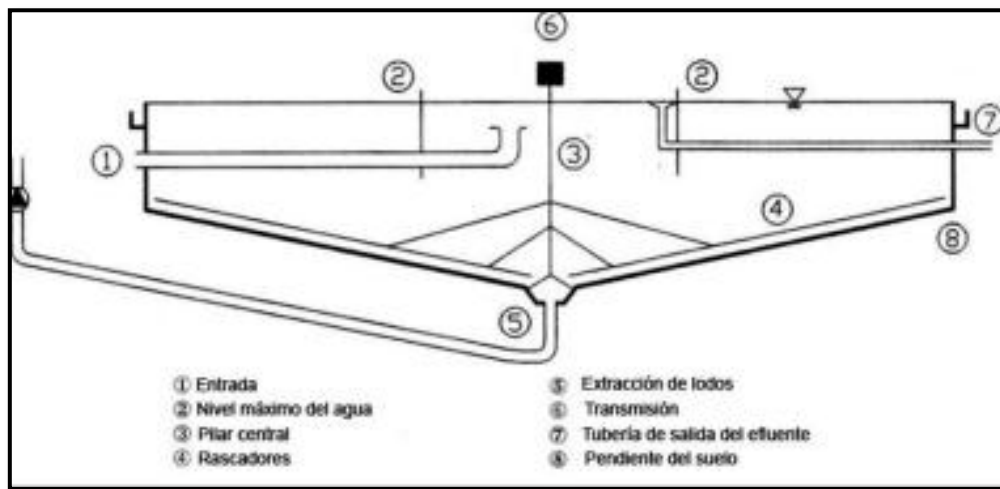
La mayoría de sólidos suspendidos que se encuentran en el agua, motivo de análisis, sedimentar de manera espontánea.

- **Sedimentador Circular**

Son los más comunes en plantas de tratamiento, ya que se puede lograr una buena remoción de lodos, el sistema de flujo es radial, para lo cual el agua residual se introduce por el centro o por la periferia del tanque.

Lo más común es el empleo de unidades de alimentación central en el cual el agua residual es transportada por tubería hacia el centro del tanque, a continuación, el agua pasa por una campana circular para distribuir el flujo en todas las direcciones. La campana circular tiene un diámetro entre 15– 20% del diámetro total del tanque y una profundidad entre 1 – 2,5 m.⁸ (WEF, ASCE)

FIGURA N° 11. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA CIRCULAR



FUENTE: HORAN, Tratamiento de Aguas Residuales, 2003

La remoción de los lodos se efectúa mediante rastras para tanques con diámetros menores de 15m, y para grandes cantidades de lodo se usa unidades con succionadores. Los vertederos de salida se extienden en forma usual alrededor de la periferia del tanque con deflectores que se extienden de 200 a 300 mm bajo la superficie del agua.

1.6.2.1 Parámetros de Diseño

Por lo general, se emplean sedimentadores circulares cuando el sistema de tratamiento se va a implementar para pequeñas poblaciones, puesto que la barredora de lodos requiere menos

partes móviles que el mecanismo de arrastre de un sedimentador rectangular; además, porque los muros pueden ser más delgados que el de los tanques rectangulares.

Los parámetros principales a considerar en el diseño de un sedimentador primario son:

TABLA N° 9. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SEDIMENTADORES RECTANGULARES Y CIRCULARES EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO

PARÁMETROS	INTERVALO	TÍPICO
RECTANGULAR		
Profundidad (m)	3 – 4,5	3,6
Longitud (m)	15 – 90	25 – 40
Anchura (m)	3 – 25	5 -10
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,6 – 1,2	0,9
CIRCULAR		
Profundidad (m)	3 – 3,4	3,6
Longitud (m)	3 – 60	12 – 45
Anchura (m)	6,25 – 16	8
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,02 – 0,05	0,03

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

- **Área del sedimentador**

En la determinación del área superficial del sedimentador se utiliza la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q}{\text{carga superficial}} \quad \text{Ec. 20}$$

Dónde:

A = área (m²)

Q = caudal (m³/ h)

Carga = carga superficial (m³/m².dia)

La carga superficial utilizada para realizar los cálculos, está basada en los valores establecidos en la siguiente tabla, de los cuales, para este caso se cree conveniente emplear el valor de 24 (m³/m².dia).

TABLA N° 10. VALORES RECOMENDADOS DE LA CARGA SUPERFICIAL PARA DISTINTAS SUSPENSIONES

Suspensión	Carga superficial (m ³ /m ² .dia)	
	Intervalo	Caudal punta
Agua residual sin tratar	24 – 48	48
Flóculos de sulfato de alúmina	12 – 24	24
Flóculos de hierro	21 – 32	32
Flóculos de cal	21 - 48	48

FUENTE: Metcalf & Eddy, 2006

- **Diámetro**

En el cálculo del diámetro del sedimentador se emplea la ecuación siguiente:

$$A = \frac{\pi \phi^2}{4} \quad \text{Ec. 21}$$

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}} \quad \text{Ec. 22}$$

Para el radio del sedimentador:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

A = área (m²)

r = radio (m)

π = número irracional

- **Volumen del sedimentador**

Es la magnitud física que expresa:

$$V = \pi r^2 h \qquad \text{Ec. 24}$$

Donde:

V = volumen del sedimentador (m³)

π = radio (m)

h = altura (m)

- **Tiempo de retención hidráulico**

Generalmente los tanques de sedimentación primaria se proyectan un tiempo de retención entre 1,5 a 2,5 horas para el caudal medio del agua residual

$$Tr = \frac{V}{Q} \qquad \text{Ec. 25}$$

Donde:

Tr = tiempo de retención (h)

V = volumen (m³)

Q = caudal (m³/ h)

- **Velocidad de arrastre**

Es fundamental la velocidad de arrastre en las operaciones de sedimentación en donde las fuerzas que actúan sobre las partículas de sedimentación son originadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. Las velocidades horizontales en los tanques de sedimentación, deben mantenerse a niveles bajos de manera que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.

La velocidad de flujo debe ser menor de 1,5 m/min, para prevenir la suspensión de sólidos.

La velocidad de arrastre se puede calcular por la ecuación: ⁷ (Metcalf & Eddy)

$$Vh = \left[8k (s - 1)g * \frac{d}{f} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

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

K = constante de cohesión que depende del tipo de material arrastrado (0,04 para arena unigranular y 0,06 para material más aglomerado) en este caso se utilizará 0,05.

s = densidad relativa de las partículas para el cálculo usaremos el valor 1,05

g = aceleración de la gravedad 9,8 m/s²

d = diámetro de las partículas 0,01

f = los valores más utilizados para f factor de fricción de Darcy - Weisbach van desde 0,02 hasta 0,03 utilizaremos en este caso el último valor.

- **Remoción de la DBO y Sólidos Suspendedos**

La eficiencia en la remoción de la DBO y los SST, en tanques de sedimentación primaria como función de la concentración del afluyente y el tiempo de retención mediante una modelación matemática se obtuvo la siguiente expresión:

$$R = \frac{Tr}{a+b*Tr} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

R = porcentaje remoción esperado (%)

Tr = tiempo nominal de retención (h)

a + b = constantes empíricas

TABLA N° 11. CONSTANTES EMPÍRICAS

Variables	a, h	b
DBO	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

FUENTE: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G

1.6.3 Tanque de Floculación

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado

Los procesos de coagulación y de floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamientos sea demasiado baja para proporcionar clarificación efectiva; además permite acondicionar el agua residual que contenga vertidos industriales, mejorar la eficiencia de los sedimentadores secundarios especialmente cuando se trata del proceso de lodos activados.

Mediante este tratamiento químico es posible obtener agua libre de sólidos en suspensión y en estado coloidal, puesto que se elimina:

- ✗ 80 al 90 % de los sólidos totales en suspensión,
- ✗ 40 al 50% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno,
- ✗ 80 al 60 % de la Demanda Química de Oxígeno
- ✗ 80 al 90 de bacterias

Los términos Coagulación y Floculación se utilizan ambos indistintamente en colación con la formación de agregados. Sin embargo, conviene señalar las diferencias conceptuales entre estas dos operaciones. La confusión proviene del hecho de que frecuentemente ambas operaciones se producen de manera simultánea. Para aclarar ideas definiremos Coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración. Por tanto:

Coagulación: Desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos.

Floculación: Aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

Los coagulantes floculantes que generalmente se recomiendan en tratamiento de aguas residuales son:

TABLA N° 12. REACTIVOS COAGULANTES Y FLOCULANTES MÁS COMUNES

REACTIVO	EFEECTO
Sulfato de aluminio	Coagulante
Sulfato férrico	Coagulante
Sulfato ferroso	Coagulante
Polímero a base de sales de aluminio	Floculante
Polímero a base de sales de hierro	Floculante
Poliamina cuaternaria	Floculante
Polímero sintético catiónico	Floculante

FUENTE: UCLM. Coagulación Floculación, pdf.

1.6.3.1 Parámetros de diseño

Es preciso mencionar que en esta etapa del proceso se realizará el tratamiento químico; para lo cual, se realiza la prueba de jarras con el fin de establecer la dosis adecuada de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente.⁹

(Metcalf & Eddy)

En la siguiente tabla se exponen los parámetros que se deben considerar:

TABLA N° 13. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL FLOCULADOR

CARACTERISTICAS	VALOR	
	Intervalo	Típico
Tiempo de retención (min)	20 - 60	30
Floculación inducida por paletas, máxima velocidad periférica de la paleta, con reductor de velocidad hasta el 30% de velocidad máxima (m/s)	0,45 – 1,00	0,60
Floculación por agitación por aire, con difusores de tubo poroso ()	0,60 – 1,20	0,75

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

- **Área superficial**

$$A_s = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

As = área superficial (m²)

Cs = carga superficial (m³/m*día)

Q = caudal de diseño

De acuerdo a la sustancia química que se utilice, se recomiendan los siguientes valores de carga superficial:

TABLA N° 14. VALORES RECOMENDADOS DE CARGA SUPERFICIAL DE ACUERDO A LA SUSPENSIÓN QUÍMICA

SUSPENSIÓN	CARGA SUPERFICIAL (m ³ /m*día)	
	Intervalo	Caudal punta
Flóculo de alúmina	25 – 50	50
Flóculo de hierro	25 – 50	50

Flóculo de cal	30 – 60	60
Agua residual cruda	25 - 50	50

FUENTE: METCALF & EDDY., INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES., 1995.

- **Radio del Floculador**

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

A = área (m²)

r = radio (m)

π = número irracional

- **Diámetro del Floculador**

$$A = \frac{\pi \phi^2}{4} \quad \text{Ec. 30}$$

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

A = área (m²)

ϕ = diámetro (m)

También podemos emplear la ecuación:

$$\phi = 2r \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

ϕ = diámetro (m)

r = radio (m)

- **Tiempo de retención hidráulica**

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

Ec. 33

Donde:

Tr = tiempo de retención (h)

V = volumen (m³)

Q = caudal (m³/ h)

- **Volumen del Floclador**

Se puede determinar el volumen despejándolo de la ecuación de tiempo de retención hidráulica:

$$V = \pi r^2 h$$

Ec. 34

Donde:

Tr = tiempo de retención (h)

V = volumen (m³)

Q = caudal (m³/ h)

- **Gradiente de velocidad del fluido**

Realizando la prueba de jarras, se determina un gradiente de velocidad, con la siguiente ecuación:

$$G = 0,25 \times n^{1,25}$$

Ec. 35

Donde:

G = gradiente medio de velocidad del fluido (s⁻¹)

n = velocidad de rotación (rpm)

- **Potencia disipada de la mezcla**

$$W = G^2 \times \mu V$$

Ec. 36

Donde:

W = potencia (W)

G = gradiente medio de velocidad (s^{-1})

μ = viscosidad dinámica ($N\ s/m^2$)

V = volumen del Floculador (m^3)

Para valores de tiempo de retención hidráulico comprendidos entre 30 – 60 min los valores del gradiente medio de velocidad (G) oscilan entre 50 – 100 s^{-1} .

- **Dimensionamiento de paletas de agitación**

TABLA N° 15. PARÁMETROS DE DISEÑO DE PALETAS

CARACTERISTICAS	VALOR	
	Intervalo	Típico
Tiempo de retención (h)	2 - 6	3
Floculación inducida por paletas, máxima velocidad periférica de la paleta, con reductor de la velocidad hasta el 30% de la velocidad máxima (m/s)	0,45 – 1,00	0,60
Agitación de paletas (rpm)	50 - 80	60
Ancho de la paleta (m)	0,50 - 2	0,80

FUENTE: Metcalf& Eddy. 1995

- **Área requerida por las paletas**

Con el propósito de obtener una agitación adecuada del floculante con el agua a tratar en el sedimentador, se calcula el área de la paleta con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{C_D * A * \gamma * v^3}{1} \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

A = área de la sección transversal de las paletas (m²)

P = potencia necesaria (HP)

CD = coeficiente de resistencia al avance de las paletas

γ = densidad del fluido (Kg/m³)

v = velocidad relativa de las paletas (0,6 – 0,75 m/s)

Despejamos el área de la sección transversal requerida de las paletas:

$$A = \frac{1 * P}{C_D * \gamma * v^3} \quad \text{Ec. 38}$$

El valor del coeficiente de resistencia al avance de las paletas se puede estimar de acuerdo a los siguientes datos:

TABLA N° 16. VALORES DE CD

Cantidad	CD
1	1,16
5	1,20
20	1,50
∞	1,95

FUENTE: ROUSE, 2003

- **Longitud de la paleta**

El cálculo de la longitud de la paleta representa el área transversal de la misma y se obtiene con la ecuación siguiente:

$$A = l * b \quad \text{Ec. 39}$$

$$l = \frac{A}{b} \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

l = longitud de la paleta (m)

b = ancho de la paleta (m)

1.6.4 Sedimentador Secundario

Se va a emplear un sedimentador circular en el proceso químico será circular, debido a que es el más empleado en pequeñas poblaciones.

1.6.4.1 Parámetros de diseño

En el dimensionamiento se debe considerar lo siguiente:

TABLA N° 17. PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN SEDIMENTADOR SECUNDARIO

Tipo de tratamiento	Carga superficial (m ³ /m ² *día)		Carga de sólidos Kg/m ² h		Profundidad (m)
	Media	Punta	Media	Punta	
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados (excepto en la aireación prolongada)	16 – 32	41 - 49	3,90 - 5,85	9,76	3,6 - 6,0
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados con oxígeno	16 – 32	41 – 49	4,88 - 6,83	9,76	3,5 - 6,0
Sedimentación a continuación del proceso de aireación	8 – 16	24,42 - 32	0,97 - 4,88	6,83	3,6 - 6,0

prolongada					
Sedimentación a continuación de filtros percoladores	16 – 24	41 - 49	2,93 - 4,88	7,81	3,0 - 4,5
Sedimentación a continuación de biodiscos: Efluente secundario	16 – 32	41 - 49	3,90 - 5,85	9,76	3,0 - 4,5
Efluente nitrificado	16 – 24	32 - 41	2,93 - 4,88	7,81	3,0 - 4,5

FUENTE: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales.

- **Área superficial del sedimentador**

Tomando en cuenta los valores recomendados de carga superficial en la tabla 10, es posible determinar el área del sedimentador secundario con la ecuación **Ec. 20**

- **Radio del sedimentador**

Con la ecuación **Ec. 23** se puede determinar el radio del sedimentador

- **Diámetro del sedimentador**

Utilizando la ecuación; además entre el 20 al 10% del diámetro es el reparto central, entonces:

$$R_c = \emptyset \times 20\% \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

R_c = reparto central del diámetro (m)

\emptyset = diámetro del sedimentador secundario (m)

El diámetro se puede determinar también:

$$\emptyset = 2r \quad \text{Ec. 42}$$

Basándonos en los datos establecidos en la tabla 16, podemos determinar la profundidad. La altura de reparto es $\frac{1}{4}$ de la profundidad:

$$Hr = \frac{1}{4} \times h \quad \text{Ec. 43}$$

Donde:

Hr = altura de reparto (m)

h = profundidad (m)

- **Volumen del sedimentador**

Se calcula utilizando la ecuación *Ec. 24*; o también despejando V de la *Ec. 25*

- **Carga de rebose sobre el vertedero perimetral de salida**

La carga de rebose sobre el vertedero perimetral de salida es la relación entre el caudal de diseño y el diámetro del sedimentador secundario:

$$Cv = \frac{Q}{\emptyset\pi} \quad \text{Ec. 44}$$

Donde:

Cv = Carga de vertedero (m^2/h)

Q = Caudal a tratar en el sedimentador secundario (m^3/h)

\emptyset = Diámetro del sedimentador (m)

- **Tiempo de retención hidráulica**

Podemos emplear la ecuación *Ec. 25*

1.7 NORMATIVA AMBIENTAL

Los requerimientos de la calidad del agua varían de acuerdo al uso que se les vaya a dar, debido a que algunas características del agua adecuadas para un fin pueden no serlo para otro. Es importante mencionar que no se deben confundir los requerimientos de la calidad del agua con los estándares o normas de su calidad. Los primeros están basados en la experiencia de uso y los segundos son cantidades establecidas por instituciones gubernamentales que regulan al respecto. (17)

El agua como suministro, luego de ser utilizada se convierte en un portador de un sin número de desechos, tales como; sustancias disueltas, suspendidas o emulsionadas y que limitan o impiden su aplicación en el uso del cual se originan, a menos que reciba el tratamiento correspondiente.

Por lo general, el agua residual contiene varias sustancias en exceso, las cuales deben ser reguladas de acuerdo a la normativa ambiental antes de que sean descargadas al cuerpo receptor (en este caso el río Guano). El contenido de estas aguas no debe exceder a los límites permisibles establecidos en la norma.

Para efectuar el cálculo, diseño y dimensionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se aplican las siguientes normas técnicas:

- Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, Objetivo 7: El Estado ecuatoriano reconoce y garantiza el derecho humano al agua, fundamental e irrenunciable. El agua constituye un patrimonio nacional estratégico público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. Además, en el objetivo 7 se establece que: La problemática que aqueja al recurso agua es la falta de calidad, debido principalmente a la contaminación de las fuentes hídricas y cursos fluviales por medio de agroquímicos y aguas residuales, entre otros. Solamente el 54% de las viviendas ecuatorianas posee alcantarillado, lo que significa que el 46% restante desecha las aguas servidas en condiciones no adecuadas, al tiempo que contamina ríos y suelos (INEC, 2010a). Cabe destacar que la solución a esta problemática es corresponsabilidad del gobierno central y los municipios.¹³

- Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, publicadas en 1995, Décima Parte (X). Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Proyecto de Código Ecuatoriano para el diseño de la Construcción de Obras Sanitarias, Co 10.07- 601 Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de las Aguas Residuales en el área Rural (SSA).
- Normas recomendadas por la Subsecretaria de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- En la caracterización del agua residual y calidad del efluente que se descarga al río Guano, la presente investigación se registró a la actual normativa emitida por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Cabe mencionar que se ha basado el presente proyecto en dicha normativa debido a que en el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Gerardo no existe una normativa, ordenanza o ley que regule la descarga de aguas residuales.
- “NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA”. Calidad de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente “TULSMA”, Recurso Agua, Libro VI, tabla 12, Anexo 1.

TABLA N° 18. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Coliformes fecales	Nmp/100ml		Remoción > al 99,9%
Demanda química de Oxígeno	DQO	mg/L	250

Demanda bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	100
Fosforo total	P	mg/L	0,2
Sulfuros	S	mg/L	0,5
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	15
Nitritos + Nitratos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Potencial Hidrógeno	pH		5 – 9
Solidos totales	ST	mg/L	1600
Solidos suspendidos Totales	SST	mg/L	100
Solidos sedimentables	SS	ml/L	1,0
Temperatura	°C		< 35

FUENTE: TULSMA 2012, Libro VI, Anexo I

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación fue realizado en la Parroquia San Gerardo, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo

2.1.1 Ubicación y extensión

La Parroquia Rural San Gerardo se encuentra ubicado en el Cantón Guano de la provincia de Chimborazo, aproximadamente a 2675 metros sobre el nivel del mar, en la latitud 1°37'54" S, longitud 78°36'43" O y tiene una temperatura promedio de 13.7°C con oscilaciones que van desde los 6°C en la noche y alcanzado temperaturas de hasta 25°C durante el día. Tiene una extensión de 6,59 Km².

2.1.2 Localización geográfica

Región: Sierra

Provincia: Chimborazo

Cantón: Guano

Parroquia: San Gerardo

LÍMITES

Norte: Quebrada de las Abras

Sur: Vía Riobamba - Penipe

Este: Río Guano

Oeste: Barrio San Antonio

2.1.2.1 Macrolocalización

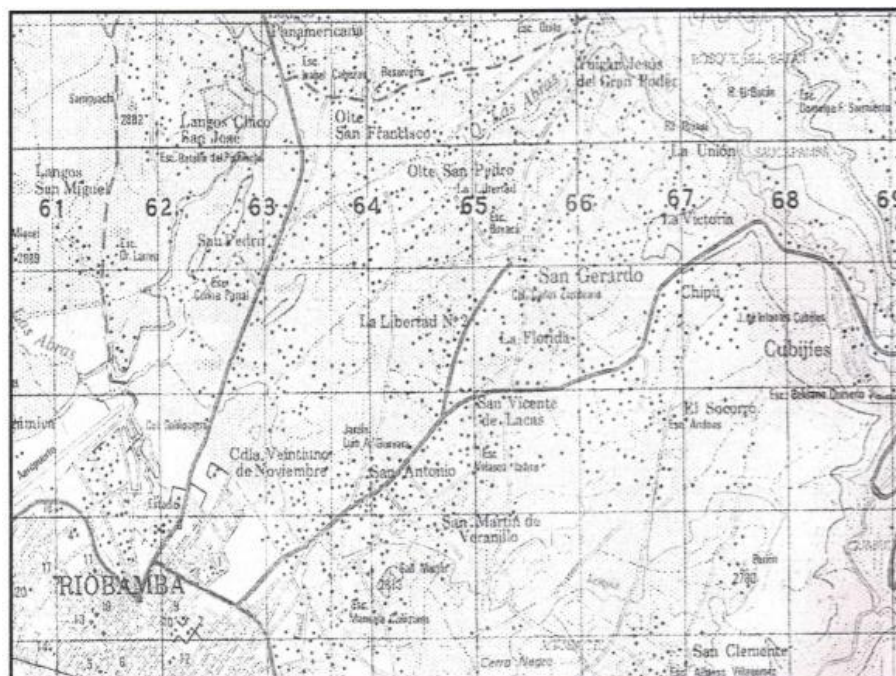
FIGURA N° 12. UBICACIÓN DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO Y EL CANTÓN GUANO



FUENTE: Instituto Geográfico Militar

2.1.2.2 Microlocalización

FIGURA N° 13. UBICACIÓN DE LA PARROQUIA SAN GERARDO EN EL CANTÓN GUANO



FUENTE: GADPR San Gerardo

2.1.3 Tamaño de la población

De acuerdo a los datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC, el CENSO 2010 permitió determinar que la población cuenta con 2439 habitantes y un total de 667 familias en la parroquia. [13]

TABLA N° 19. POBLACIÓN ACTUAL DE LA PARROQUIA SAN GERARDO DE PACAICAGUAN

HOMBRES	MUJERES	TOTAL	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL
1106	1333	2439	0,94%

FUENTE: INEC

2.1.4 Climatología

Clima: Templado subandino

Temperatura: máxima 25°C, mínima 18°C, promedio 13.7°C

Rango altitudinal: Aproximadamente a 2675 metros sobre el nivel del mar, en la latitud 1°37'54" S, longitud 78°36'43" O

En la presente investigación, muestreo y medición del caudal se realizó en el colector común del barrio La Unión de la Parroquia San Gerardo del Cantón Guano, Provincia de Chimborazo

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Medición del caudal

Para la medición del caudal de las aguas residuales domésticas de la Parroquia San Gerardo, se empleó el Método Volumétrico, adecuado para caudales pequeños. Este método consiste en interponer un recipiente de volumen conocido, tomándose el tiempo de llenado del recipiente y obteniéndose el caudal por medio de la ecuación *Ec. 3*.

Las mediciones del caudal se realizaron durante 7 días en intervalos de 30 minutos desde las 7:00 hasta las 18:00, utilizando un recipiente plástico de 10 litros y determinando el tiempo de llenado con un cronómetro.

La Parroquia San Gerardo de Pacaicaguán cuenta con un solo punto de descarga de las aguas residuales, ubicado en el barrio La Unión, en donde se efectuaron las diferentes mediciones de caudal y de muestreo.

2.2.1.1 Determinación de la población futura

El cálculo de la proyección de la población se ha realizado empleando la siguiente ecuación:

$$Pf = Pa (1 + i)^n \qquad \text{Ec. 6}$$

Donde:

Pf: población futura

Pa: población actual

i: índice de crecimiento anual

n: periodo de tiempo (año futuro – año actual)

2.2.1.2 Caudal de diseño

El caudal de diseño se ha sido determinado tomando en cuenta la población proyectada a 20 años que es el tiempo estimado de utilidad de una planta de tratamiento de aguas residuales, con la cantidad de agua residual que se estableció en el tanque colector en cual se descarga actualmente el agua residual y considerando la sugerencia que señala la bibliografía, en la cual se recomienda la utilización del coeficiente de Harmon “M”, para determinar este caudal:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f}} \quad \text{Ec. 11}$$

2.2.2 Muestreo de las aguas residuales

2.2.2.1 Tipo de muestreo

El muestreo de las aguas residuales realizado en la Parroquia San Gerardo fue del tipo compuesto que consiste en la mezcla de muestras o alícuotas de agua individuales tomados en diferentes puntos y a diferentes tiempos. La cantidad de cada muestra individual se añade a la compuesta, para posteriormente realizar su análisis respectivo.

2.2.2.2 Metodología de muestreo

Se han tomado varias alícuotas en diferentes puntos y a diferentes horas del día durante 10 días. Las cuales fueron adecuadamente etiquetadas con la fecha y hora del muestreo e inmediatamente trasladadas al Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Las muestras fueron recolectadas de la forma más adecuada posible en diferentes recipientes teniendo un total de 5 litros de muestra compuesta para efectuar las pruebas de caracterización. Los valores de las alícuotas de la muestra compuesta varía según le necesidad del laboratorio de análisis. Para la recolección de las muestras, se utilizó 3 diferentes recipientes: botellas limpias de plástico de 1 L, botellas de vidrio ámbar de 1 L para los análisis físico químicos y frascos estériles de 100ml para análisis microbiológicos.

El muestreo de la aguas residuales han sido realizado en base al método APAHA/AWWA/WEF Standard Methods NO 1060 DIN 38402 (serie A11 – A22)

2.2.2.3 Materiales de muestreo

- Vaso de precipitación de 1000 ml
- Probeta de 500 ml
- Recipiente plástico de 5 L
- Envase de vidrio color ámbar de 1 L
- Frasco plástico estéril de 100 ml
- Termómetro
- Hielera y hielo
- Cámara fotográfica
- Guantes de látex

2.2.3 Caracterización de las aguas residuales

Para efectuar las pruebas de caracterización nos basamos en la normativa vigente de nuestro país, en donde están establecidos los diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de origen doméstico.

TABLA N° 20. PARÁMETROS DE ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA SEGÚN LA NORMATIVA VIGENTE (TULSMA)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3

Coliformes fecales	Nmp/100ml		Remoción > al 99,9%
Demanda química de Oxígeno	DQO	mg/L	250
Demanda bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	100
Fosforo total	P	mg/L	0,2
Sulfuros	S	mg/L	0,5
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	15
Nitritos + Nitratos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Potencial Hidrógeno	pH		5 – 9
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sólidos suspendidos Totales	SST	mg/L	100
Sólidos sedimentables	SS	ml/L	1,0
Temperatura	°C		< 35

Fuente: TULSMA 2012, Libro VI, Anexo I

Las pruebas de caracterización se realizaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos de La Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Las técnicas de análisis aplicadas por el laboratorio a las muestras de agua residual se realizan en base a los Métodos Estandarizados APHA – 2005 (American Public Health

Association) y Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, descritas a continuación:

TABLA N° 21. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS PARA AGUAS RESIDUALES

Parámetro	Símbolo	Unidad	Método
Potencial de Hidrógeno	pH	-	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – H ⁺ B
Turbiedad	-	UNT	APHA/AWWA/Standard Method N° 2130 – B
Sólidos Totales	ST	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 2540 – A
Sólidos Sedimentables	SSed	mL/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 2540 – B
Sólidos Suspendidos	SS	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 2540 – C
Coliformes Fecales	Colonias	UFC/100 mL	APHA/AWWA/Standard Method N° 9222 D
Hierro	Fe	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – Fe
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – PO ₄ – B
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – NO ₂ – B
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – NO ₃ – C
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – SO ₄
Aceites y Grasas	-	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 5520 – B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 5210 – B
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 5220 – C

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

2.2.4 Métodos y técnicas

2.2.4.1 Métodos

Al efectuar el presente proyecto de investigación, se va a considerar tres tipos de métodos: inductivo, deductivo y experimental, puesto que es fundamental conocer los acontecimientos más importantes que se presentan en el tratamiento de aguas residuales y, gracias a los cuales se facilitará el estudio y desarrollo de un sistema de tratamiento.

× INDUCTIVO

Es aquel que va de lo particular a lo general, lo cual permitirá conocer la cantidad de contaminantes que están presentes en las aguas residuales que se generan en la Parroquia San Gerardo. Al conocer dichos contaminantes mediante los diferentes análisis, será posible concluir de forma adecuada; lo cual es preciso obtener realizando los diferentes análisis del agua residual de modo meticuloso con el fin de adquirir resultados representativos del agua residual que se descarga.

× DEDUCTIVO

Es el método en el que se analiza de lo general a lo particular; nos permite deducir los efectos que produce la contaminación del agua hacia el medio ambiente y a la población; además, contribuirá en la búsqueda de posibles soluciones dentro de las cuales tenemos el sistema de tratamiento de las aguas residuales.

× EXPERIMENTAL

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. En otras palabras, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales debido a que el método está basado en una serie de pasos establecidos previamente por una disciplina que tiene como finalidad alcanzar conocimientos válidos mediante instrumentos confiables. Las pruebas de caracterización del agua residual fueron realizadas mediante equipos y materiales adecuados; además de emplear los métodos pertinentes correspondientes a cada determinación; con lo cual se puede tener la seguridad de que con los datos obtenidos es posible efectuar una simulación del diseño de un sistema para tratar el agua residual.

2.2.4.2 Técnicas

2.2.4.2.1 Determinación de parámetros físico-químicos

1. Potencial Hidrógeno pH

Método: STANDARD METHODS 4500-B

Fundamento: El pH o la actividad del ión hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua, tiene un rango de 1 a 14. Si el agua tiene un pH menor a 7 es ácida; si es mayor a 7 es básica, si es igual a 7 es neutro.

Materiales y Reactivos:

- pH metro
- Buffer 7

Procedimiento:

- Calibrar el equipo utilizando buffer.
- Introducir el electrodo en la muestra, agitar suavemente.
- Esperar unos segundos que se estabilice, y tomar la lectura.

Reporte de resultados:

Lectura directa

2. Conductividad Eléctrica

Método: STANDARD METHODS 2510-B

Fundamento: Es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica, dependiendo de la presencia de iones y su concentración total, además de su movilidad, valencia y sus concentraciones relativas, así como de la temperatura.

Materiales y Reactivos:

- Conductímetro
- Vaso de precipitado de 250ml

Procedimiento:

- Colocar la muestra de agua en un vaso de precipitación
- Colocar el conductímetro en el vaso
- Tomar la lectura en el Conductímetro el mismo que contiene tres diferentes escalas (0-1, 010, 0-1000) microSiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Reporte de resultados:

Lectura directa.

3. Turbidez

Método: MÉTODO HACH 2130 - B

Fundamento: La turbidez mide la intensidad de color en el agua que se obtiene en la captación de agua cruda y luego de la filtración (agua tratada), este equipo identifica toda impureza finamente dividida (cualquiera que sea su naturaleza) que pueda ser suspendida. Estas impurezas pueden ser de origen inorgánicas tales como las arcillas, limos, carbonatos de calcio, sílice, hidróxido férrico, azufre, etc. O pueden ser de naturaleza orgánica tales como materia vegetal finamente dividida, aceites, grasas, microorganismos.

Materiales y Reactivos:

- Turbidímetro.
- Celda.
- Pizeta.
- Muestra de Agua

Procedimiento:

- Colocar en la celda el agua recolectada y también el agua obtenida luego del proceso de filtración.
- Colocar la celda en el turbidímetro.
- Leer directamente el valor según la escala deseada (0-1, 0-10,0-100 NTU).

Reporte de resultados:

Lectura directa.

4. Alcalinidad

Método: STANDARD METHODS 4500 HB

Fundamento: La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar los ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, el valor medido puede variar significativamente con el pH. Depende del contenido de carbonatos, bicarbonatos e

hidróxidos por los que se puede tomar como una medida directa de la concentración de estos.

Materiales y Reactivos:

- Probeta de 50 ml
- Pipetade 1mL Vaso de precipitados de 250mL
- Agitador magnético
- Muestra del agua problema
- Anaranjado de metilo
- Ácido sulfúrico 0,02N

Procedimiento:

- Tomar 50ml de muestra
- Agregar 4 gotas de anaranjado de metilo
- Valorar con ácido sulfúrico 0,02N
- Leer el valor de titulación.

Reporte de resultados:

ml valorado por 20

5. Dureza

Método: STANDARD METHODS 2550HB

Fundamento: La dureza total mide la capacidad del agua para consumir jabón. Las aguas duras son usualmente menos corrosivas que las blandas. Contienen sales de calcio y magnesio que están disueltos generalmente en forma de carbonatos que por calentamiento pueden formar bicarbonatos que son la causa de incrustación en los sistemas de transporte de agua.

Materiales y Reactivos:

- Probeta de 100 ml.
- Pipetade 1ml.

- Vaso de precipitados de 250mL
- Agitador magnético.
- Muestra de agua problema
- Buffer de dureza Negro de eriocromo T
- Solución de EDTA

Procedimiento:

- Probeta de 50ml.
- Tomar 50ml de agua.
- Adicionar 1ml de buffer de dureza.
- Agregar una pequeña porción de negro de eriocromo T.
- Valorar con la solución de EDTA.
- Leer el valor de titulación.

Reporte de resultados:

ml valorados por 20

6. Color

Método: HACH MODELD R4000 V

Fundamento: El color es causado por la presencia de sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color producido por sólidos suspendidos se denomina Color Aparente. Mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denominan color verdadero.

Materiales y Reactivos:

- Colorímetro HACH
- Vaso de precipitados de 250 ml
- Agua destilada
- Muestra del agua problema

Procedimiento:

- Tomar la muestra en un vaso de precipitación y colocar en la celda.
- Colocar la rueda colorimétrica de aguas crudas y leer comparativamente.
- De la misma manera colocar la rueda colorimétrica para aguas limpias y leer comparativamente

Reporte de resultados:

Lectura directa

7. Nitritos

Método: METODO HACH 4500 – NO₂-B

Fundamento: Los niveles de nitritos en aguas superficiales y subterráneas naturales son generalmente de unos pocos mg/L.

Materiales y Reactivos:

- Vaso de precipitación de 250mL.
- HACH 2004.
- Pipeta de 1mL
- Reactivo Nitritos

Procedimiento:

- Colocar 10mL de muestra de agua cruda con el reactivo Nitritos
- Agitar y esperar el tiempo que indica el HACH para el reactivo actúe
- Colocar la celda en el HACH.

Reporte de resultados:

Lectura directa.

8. Nitratos

Método: METODO HACH 4500 – NO₃-C

Fundamento: De la misma manera, los niveles de nitratos en aguas superficiales y subterráneas naturales son generalmente de unos pocos mg/L. En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a las prácticas agrícolas y ganaderas.

Materiales y Reactivos:

- Vaso de precipitación de 250mL.
- HACH 2004.
- Pipeta de 1mL
- Reactivo Nitritos

Procedimiento:

- Colocar 10mL de muestra de agua cruda con el reactivo Nitritos
- Agitar y esperar el tiempo que indica el HACH para el reactivo actúe
- Colocar la celda en el HACH.

Reporte de resultados:

Lectura directa.

9. Sulfatos

Método: STANDARD METHODS 4500-SO4-E

Fundamento: Los altos niveles de sulfato pueden corroer tuberías. Particularmente las de cobre. En áreas con altos niveles de sulfato, normalmente se utilizan materiales más resistentes a la corrosión para las tuberías, tales como tubos de plástico.

Materiales y Reactivos:

- Bureta
- Pipeta de 1mL
- Vaso de precipitado de 250ml
- Erlenmeyer

- Espectrofotómetro
- Solución sulfatos cloruro de bario

Procedimiento:

En un balón de 100ml, colocamos cierta cantidad de muestra, 2 ml de solución acondicionadora y aproximadamente 1gr de BaCl₂

- Aforar con la muestra.
- Medir en el fotómetro a 410 nm

Reporte de resultados:

Multiplicar por el factor correspondiente.

10. Sólidos totales disueltos

Método: MÉTODO HACH

Fundamento: Los sólidos totales es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua. Se puede calcular tomando la suma de las concentraciones de todos los cationes y aniones indicados en la parte del análisis del agua o puede también ser medida evaporando una muestra de agua para secarla y posteriormente pesar sus residuos.

Materiales y Reactivos:

- Vaso de precipitación de 250mL.
- Electrodo sensible HACH
- Agua cruda
- Agua tratada

Procedimiento:

- Colocar aproximadamente 100ml de agua cruda en el vaso de 250ml.
- Leer directamente la medida en el HACH series.
- Realizar el mismo procedimiento con agua tratada

Reporte de resultados:

Leer directamente el valor de STD.

11. Sólidos Sedimentables

Método: MÉTODO 2540-F

Fundamento: Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas así como los residuos domésticos e industriales pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l).

Materiales y Reactivos:

- Cono Imhoff
- Muestra de agua

Procedimiento:

Volumétrico:

- Llenar un cono Imhoff hasta la marca con la muestra
- Dejar sedimentar durante una hora removiendo constantemente con una varilla.

Reporte de resultados:

Medición directa

12. Sólidos Suspendidos Totales

Método: MÉTODO PE – LSA – 04

Fundamento: Son sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante.

Materiales y Reactivos:

- Bomba de vacío
- Estufa
- Balanza analítica
- Muestra de Agua

- Desecador
- Pinza

Para la determinación de los sólidos suspendidos se utiliza:

$$mg \frac{SS}{L} = \frac{mg \text{ STSuspendidos}}{L - kmg \text{ SNS /L}} \quad \text{Ec. 45}$$

Dónde:

SS = sólidos sedimentables

STS = sólidos totales en suspensión

SNS = sólidos no sedimentables

13. DBO (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO)

Método: STANDARD METHODS 5210-B

Fundamento: Se llena una muestra hasta rebosar un frasco hermético e incubarlo a una temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación el ROB se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final

Materiales y Reactivos:

- Equipo de DBO
- Botellas de incubación
- Grasa
- Tampones de Copa
- Cápsula magnética
- Probeta graduada
- Termómetro
- Embudo

Procedimiento:

- Usando una probeta graduada, vierta 160 ml de la muestra en una botella oscura.
- Coloque una barra magnética para mezclar en cada botella de muestra.
- Añada el contenido de un sobre de Buffer nutritivo para DBO a cada botella para el crecimiento óptimo de las bacterias si las características de la muestra original lo requieran.
- Aplicar grasa en la boca de cada botella para sellarla con el tampón de copa.
- Usando un embudo adicione el contenido de un sobre de LiOH en el tampón de copa de cada muestra, coloque las botellas en el equipo. Coloque el equipo en la incubadora o estufa ajustando la temperatura a 20 ± 2 °C.
- Prenda el equipo.
- Seleccione la duración de la prueba

Reporte de Resultados

Cuando el agua de la disolución no está sembrada:

$$ROB_5 = \frac{(D_1 - D_2)}{P} \quad \text{Ec. 46}$$

Cuando el agua de disolución está sembrada:

$$ROB \left(5 \frac{mg}{L} \right) = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) * f}{P} \quad \text{Ec. 47}$$

Donde:

D_1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación mg/L

D_2 = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C mg/L

P = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada

B_1 = OD del control de simiente antes de la incubación mg/L

B_2 = OD del control de simiente después de la incubación mg/L

f = proporción de la simiente de la muestra diluida con respecto al control de la simiente

14. DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)

Método: MÉTODO 5220-C

Fundamento: Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición, la muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio. El dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente.

Materiales y Reactivos:

- Reactor de DQO
- Probeta graduada
- Vaso de precipitación
- Tubos de reactivos de digestión con tapa
- Toallas de papel
- Pipetas volumétricas

Procedimiento:

- Precaentar a 150°C el digestor de DQO y tomar la muestra Homogeneizada.
- Añadir la disolución digestora respectiva.
- Colocar agua en el tubo del blanco de reactivos.
- Colocar los tubos en el digestor y dejar por 2h.
- Retirar los tubos del digestor y dejar enfriar
- Medir la absorbancia en el espectrofotómetro previamente calibrado o cuantificar por titulación

Reporte de resultados

El DQO se expresa mg O₂/L:

$$DQO = \frac{(V_1 V_2 * 8000)}{V_s} \quad \text{Ec. 48}$$

Dónde:

V₁ = volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo.

V_2 = volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra.

V_s = volumen de la muestra.

2.2.4.2.2 Determinación de parámetros microbiológicas

15. Coliformes fecales

Método: STANDARD METHODS 9221 C

Fundamento: El agua contiene bacterias cuyas necesidades nutritivas y de T óptima de desarrollo son variables. Los estreptococos fecales son bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre.

Materiales y Reactivos

- Pipeta de 1ml estéril
- Autoclave
- Disco filtrante
- Estufa
- Cultivo para coliformes fecales
- Agua destilada
- Pinza estéril
- Membranas filtrantes
- Bomba al vacío
- Mechero

Procedimiento:

- Esterilizar los discos filtrantes utilizando el mechero
- Durante todo el procedimiento los mecheros deben permanecer encendidos
- Esperar que éstos se enfríen
- Colocar las membranas en la base de los discos filtrantes

- Añadir al embudo 10 ml de muestra.
- Encender la bomba para que se filtre la muestra.
- Mientras se filtra, se debe preparar el medio de cultivo
- Colocar en la caja un sachet de cultivo para coliformes fecales (m-fc).
- Cuando la muestra esté totalmente filtrada, retirar el embudo.
- Tomar la membrana con una pinza estéril.
- Ubicar la membrana en la caja.
- Codificar la caja
- Poner la caja en la estufa que está a 44.5°C, que es la temperatura adecuada para la formación de estos microorganismos.
- Dejar incubar por 24 horas.

Reporte de Resultados

Una vez realizado el proceso de filtración, se procede al recuento de las colonias formadas en las membranas expresando el resultado en UFC/100 ml o en millones de microorganismos por litro de agua.

16. Coliformes Totales

Método: STANDARD METHODS 9221 C

Fundamento: El grupo de bacterias coliformes totales el cual comprende a todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h. a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Este grupo está conformado por 4 géneros principalmente: Enterobacter, Escherichia, Citrobacter y Klebsiella.

Materiales y Reactivos

- Pipeta de 1ml estéril
- Autoclave
- Disco filtrante
- Estufa

- Cultivo para coliformes fecales
- Agua destilada
- Pinza estéril
- Membranas filtrantes
- Bomba al vacío
- Mechero

Procedimiento:

- Esterilizar los discos filtrantes utilizando el mechero
- Durante todo el procedimiento los mecheros deben permanecer encendidos
- Esperar que éstos se enfríen
- Colocar las membranas en la base de los discos filtrantes
- Añadir al embudo 10 ml de muestra.
- Encender la bomba para que se filtre la muestra.
- Mientras se filtra, se debe preparar el medio de cultivo
- Colocar en la caja un sachet de cultivo para coliformes fecales (m-fc).
- Cuando la muestra esté totalmente filtrada, retirar el embudo.
- Tomar la membrana con una pinza estéril.
- Ubicar la membrana en la caja.
- Codificar la caja
- Poner la caja en la estufa que está a 44.5°C, que es la temperatura adecuada para la formación de estos microorganismos.
- Dejar incubar por 24 horas.

Reporte de Resultados

De igual manera que para los coliformes fecales; una vez realizado el proceso de filtración, se procede al recuento de las colonias formadas en las membranas expresando el resultado en UFC/100 ml o en millones de microorganismos por litro de agua.

2.2.4.3 Determinación de la dosis de Policloruro de Aluminio

Método: Prueba de Jarras

Fundamento: Establece la dosis adecuada de floculante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, específicamente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial de agua cruda para la filtración directa. Este método contribuye en el ajuste del pH, selección del agente coagulante- floculante y de dosis adecuada, elección de velocidad y tiempo de agitación de las palas así como tiempo de reposo posterior.

Materiales y Reactivos

- Vasos de precipitación
- Pipetas graduadas
- Reactivo PAC
- Varillas de agitación

Procedimiento:

- Colocar un litro de la muestra de agua a analizar en los vasos de precipitación
- Adicionar el PAC en diferentes concentraciones
- Agitar las soluciones por aproximadamente 5 minutos a una velocidad de 60 RPM, con el fin de que la mezcla sea rápida.
- Al finalizar el tiempo de agitación; se deja en reposo durante un periodo de 60 minutos para que los flóculos sedimenten.
- Una vez clarificada el agua se realizan mediciones de pH y turbidez para determinar con que concentración se obtiene mejores resultados.

Reporte de resultados:

Lectura y análisis directo

2.3 Datos experimentales

2.3.1 Diagnóstico

El abastecimiento de agua de la población proviene de pozos y vertientes ubicadas a pocos metros del cauce del río Guano, las más conocidas son: Calipogio, Ingarnon, Tuba, Unucun, Pakcha Catequilla, Libertad y Florida. A modo de apreciación se puede decir que estas vertientes son de buena calidad ya que tiene un color transparente y no existen cantidades apreciables de sólidos suspendidos. Dichas vertientes y pozos proveen de agua a las 667 familias en la parroquia¹¹; las cuales generan aguas residuales provenientes del uso doméstico, mismas que no reciben el tratamiento previo a la descarga hacia el río Guano.

Las aguas que resultan del uso doméstico contienen cantidades de desechos fecales, materia orgánica, y se puede apreciar a simple vista la existencia de sólidos como restos de madera, plásticos, entre otros; además de la coloración amarillenta debido a la presencia de partículas en suspensión con lo cual podemos deducir que la turbiedad del agua es bastante alta.

En el desarrollo de la investigación, se realizó la medición del caudal aproximado el mismo que varía cada día, según la rutina, el ritmo de trabajo que llevan los pobladores de la Parroquia San Gerardo y también hemos considerado pertinente realizar algunas mediciones en época de lluvia, en la cual el caudal del agua aumenta.

El nivel de consumo aproximado de agua potable por habitante de la Parroquia San Gerardo fue de 120.36 L/hab*d; el caudal de diseño más alto que se tomó fue de 445,98 m³/día, el mismo que se estima para una proyección de 20 años, dando un aumento a un caudal de 530,946m³/día.

Al realizar la caracterización inicial del agua residual se ha tomado en cuenta tres diferentes análisis importantes: físico, físico químico y microbiológico.

TABLA N° 22. DETERMINACIONES FÍSICAS DEL AGUA RESIDUAL

COLOR	Amarillento – café
--------------	--------------------

	Medida: 65 Und Pt/Co
OLOR	Totalmente desagradable, característica de las aguas residuales
ASPECTO	Abundancia de sólidos

FUENTE: Callay X., 2014

TABLA N° 23. DETERMINACIONES FÍSICO QUÍMICAS

Parámetros	Unidad	Método*	Resultado			Promedio
			M1	M2	M3	Mn
pH	Und.	4500-B	7,18	6,72	7,41	7,10
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1052	1035	1080	1055
Turbiedad	UNT	2130-B	80,19	78,14	92,4	83,5
Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -C	0,02	0,01	0,02	0,016
Nitritos	mg/L	4500-NO ₂ -B	0,019	0,013	0,012	0,014
Fosfatos	mg/L	4500-PO ₄ -B	4,98	5,12	4,93	5
Sulfatos	mg/L	4500-SO ₄ -E	325	294	252	290
DBO ₅	mg/L	5210-B	190	157	182	176
DQO	mg/L	5220-C	268	379	296	314
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	127,12	133,02	131,5 8	130
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1358	1437	1429	1408
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	7,53	9,7	10,6	9,8

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

FUENTE: Laboratorio de Análisis Técnicos- Facultad de Ciencias- ESPOCH

TABLA N° 24. DETERMINACIONES MICROBIOLÓGICAS

Parámetros	Unidad	Método*	Resultado	Pro medi	Límite máximo
------------	--------	---------	-----------	-------------	------------------

						o	permisible
			M1	M2	M3	Mn	
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDAR D METHODS 9221-C	424 8	435 2	430 1	4300	Remoción mayor al 99,9%

FUENTE: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Las aguas residuales que se generan en la Parroquia San Gerardo del Cantón Guano contienen parámetros que tienen valores superiores a los límites permisibles que se establecen en la norma, entre ellos tenemos: DBO₅, DQO Coliformes fecales, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables

Todos los parámetros fueron determinados mediante el análisis físico-químico y análisis microbiológico de las muestras del agua residual, los mismos que fueron comparados con la normativa vigente TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 12; con la cual se ha determinado los distintos parámetros que están fuera de los límites permisibles para la descarga de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce.

2.3.2 Datos

2.3.2.1 Datos del Monitoreo del Caudal

Los datos del caudal diario obtenido durante 7 días de 7:00 a 18:00, se encuentran establecidos con sus respectivas curvas de variación horaria en el ANEXO 1.

2.3.2.2 Datos de la toma de la Temperatura

La medición de la temperatura se realizó in situ para todas las muestras que se tomaron, con un termómetro de mercurio de 50°C.

TABLA N° 25. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA

MUESTRA	1	2	3	4	5
TEMPERATURA °C	21,1	21,9	21,6	22,1	22,2

FUENTE: Callay X., 2014

2.3.2.3 Datos de los Parámetros que están fuera de Norma

TABLA N° 26. PARÁMETROS FUERA DE NORMA

Parámetro	Resultado	Límite*	Condición
DQO	314	250 mg/L	No cumple
DBO	176	100 mg/L	No cumple
Sólidos Suspendidos	130	100 mg/L	No cumple
Sólidos sedimentables	9,8	1 ml/L	No cumple
Coliformes fecales	4300	Remoción > al 99,9%	No cumple

*TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

FUENTE: Callay X., 2014

CAPÍTULO III

3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PARROQUIA SAN GERARDO DEL CANTÓN GUANO

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 Proyección de la Población

- **Población actual**

De acuerdo a los datos obtenidos en el CENSO 2010 y la información facilitada por el GADPR San Gerardo, la población actual se puede calcular con la ecuación *Ec. 5*, tomando en cuenta que el índice de crecimiento poblacional es de 0,94% anual.

$$Pa = P_{fl} + P_e$$

$$Pa = 366 + 2073$$

$$Pa = 2439 \text{ hab.}$$

- **Población futura**

El cálculo de la proyección de la población se ha realizado empleando la siguiente ecuación *Ec. 6*:

$$Pf = P_a (1 + i)^n$$

$$Pf = 2439 (1 + 0,0094)^{20}$$

$$Pf = 2940,88 \text{ hab.}$$

3.1.2 Caudal de diseño

En la determinación del caudal de diseño es fundamental tomar en cuenta tres tipos de caudales: caudal medio, mínimo y máximo. Para el diseño del sistema de tratamiento se requiere del caudal máximo:

- **Dotación de agua**

De acuerdo a los análisis realizados por el Gobierno Provincial se tiene que la dotación de agua es de 120,36 L/hab*día.

- **Caudal medio**

En la determinación del caudal medio utilizamos la *Ec. 7*:

$$Q_{med} = \frac{P_f * D}{1000}$$

$$Q_{med} = \frac{2940,88 \text{ hab} * 120,36 \frac{L}{\text{hab}} \text{ día}}{1000 \frac{L}{m^3}}$$

$$Q_{med} = 353,96 \frac{m^3}{\text{día}}$$

- **Caudal mínimo**

Calculamos el caudal mínimo con la *Ec. 9*:

$$Q_{min} = 0,5 * Q_{med}$$

$$Q_{min} = 0,5 * 353,96 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$Q_{min} = 176,98 \frac{m^3}{\text{día}}$$

- **Caudal máximo**

De acuerdo a la *Ec.11* y *Ec.10*:

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

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{2940,88}}$$

$$M = 1,24$$

$$Q_{max} = Q_{med} * M$$

$$Q_{max} = 353,96 \frac{m^3}{día} * 1,24$$

$$Q_{max} = 439,061 \frac{m^3}{día}$$

3.1.3 Diseño de Rejillas

- **Área Libre**

Se determina en función del caudal de diseño y la velocidad mínima de la *Ec. 13*

$$A_L = \frac{Q}{v}$$

$$A_L = \frac{439,061 \frac{m^3}{día} * \frac{1 \text{ día}}{24h} * \frac{1h}{3600 \text{ seg}}}{0,6 \text{ seg}}$$

$$A_L = 0,01 \text{ m}^2$$

- **Tirante del agua del canal (h)**

Para su determinación utilizamos la *Ec. 14*:

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

$$h = \frac{0,01 \text{ m}^2}{0,5 \text{ m}}$$

$$h = 0,0169 \text{ m}$$

- **Altura del canal (H)**

En el cálculo de la altura del canal es fundamental considerar la altura de seguridad y la altura del tirante, para su determinación empleamos la *Ec. 15*

$$H = h + H_s$$

$$H = (0,0169 + 0,5)m$$

$$H = 0,517 \text{ m}$$

Este valor se aproxima a 0,55 m para la altura del canal.

- **Longitud de la barras**

Para su cálculo utilizamos la *Ec. 16*:

$$Lb = \frac{H}{\sin \phi}$$

$$Lb = \frac{0,55}{\sin 45^\circ}$$

$$Lb = 0,8 \text{ m}$$

- **Número de barras**

Para este cálculo se considera el espesor y la separación entre las barras, establecidos en las *Ec. 17*:

$$n = \frac{b}{e + S}$$

$$n = \frac{0,5}{(0,02 + 0,02)m}$$

$$n = 12,5 \rightarrow \mathbf{13}$$

- **Pérdida de carga (Hf)**

Con la *Ec. 18* calculamos:

$$Hf = \frac{1}{0,7} * \frac{V - V_a}{2g}$$

$$Hf = \frac{1}{0,7} * \frac{0,6 - 0,45}{2 * 9,81}$$

$$\mathbf{Hf = 0,0109 m}$$

- **Velocidad de aproximación**

La determinación de la velocidad de aproximación al canal se calcula con la *Ec. 19*

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

$$V = \frac{439,061 \frac{m^3}{día} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}}}{0,01}$$

$$\mathbf{V = 0,508 \frac{m}{s}}$$

3.1.4 Diseño del Sedimentador Primario

- **Área**

Utilizamos la *Ec. 20* para la determinación del área del sedimentador primario:

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

$$A = \frac{439,061 \frac{m^3}{día}}{\frac{24m^3}{m^2 \text{ día}}}$$

$$A = 18,29 \text{ m}^2$$

- **Diámetro**

Con la *Ec. 21* y *Ec. 22* calculamos el diámetro del sedimentador primario:

$$A = \frac{\pi \emptyset^2}{4}$$

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

$$\emptyset = \sqrt{4 + \frac{18,29}{\pi}}$$

$$\emptyset = 4,82 \text{ m}$$

- **Radio**

Para determinar el radio, utilizamos la *Ec. 23*

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{18,29}{\pi}}$$

$$r = 2,41 \text{ m}$$

- **Volumen**

Con la *Ec. 24* calculamos el volumen del sedimentador:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi (2,41 \text{ m})^2 * 3 \text{ m}$$

$$V = 54,74 \text{ m}^3$$

- **Tiempo de retención hidráulica**

Mediante la *Ec. 24* determinamos el valor de tiempo de retención hidráulica:

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

$$Tr = \frac{54,74 \text{ m}^3}{18,29 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$Tr = 2,99 \text{ h}$$

- **Velocidad de arrastre**

En la determinación de la velocidad de arrastre tenemos valores constantes de k, s, g, d y f; utilizamos la *Ec. 26*:

$$Vh = \left[8k(s - 1)g * \frac{d}{f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Vh = \left[8 * 0,05(1,05 - 1) * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}} * \frac{0,01 \text{ m}}{0,03} \right]^{1/2}$$

$$Vh = 0,256 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Remoción de DBO**

Utilizamos la *Ec. 27*, en la cual tenemos valores de constantes empíricas a y b:

$$R_{DBO} = \frac{Tr}{a + b * Tr}$$

$$R_{DBO} = \frac{2,99}{0,018 + 0,020 * 4}$$

$$R_{DBO} = 30,54\%$$

Aproximadamente la tasa de remoción de la DBO es del 31%

- **Remoción de SST**

De igual manera, utilizamos la *Ec. 27* para determinar la tasa de remoción de SST, en la cual también se consideran los valores de constantes empíricas:

$$R_{SST} = \frac{Tr}{a + b * Tr}$$

$$R_{SST} = \frac{2,99}{0,0075 + 0,0014 * 4}$$

$$R_{SST} = 47,086\%$$

La tasa de remoción de los SST es de aproximadamente 47%

3.1.5 Diseño del Floculador

- **Área**

En la determinación del área empleamos la *Ec. 28*:

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

$$As = \frac{439,061 \frac{m^3}{día}}{50 \frac{m^3}{m^2 día}}$$

$$As = 8,78 m^2$$

- **Radio**

Con la *Ec. 29*, calculamos el radio del Floculador:

$$r = \sqrt{\frac{As}{\pi}} \sqrt{\frac{8,78}{\pi}}$$

$$r = 1,68 m$$

- **Diámetro**

Podemos calcular el diámetro multiplicando por dos; puesto que el diámetro es dos veces el radio. O también podemos obtener el mismo valor con la *Ec. 31*.

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

$$\phi = \sqrt{4 + \frac{8,78}{\pi}}$$

$$\phi = 3,34 \text{ m}$$

- **Volumen**

Calculamos el volumen con la *Ec. 34*

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi (1,68)^2 * 3$$

$$V = 26,6 \text{ m}^3$$

- **Tiempo de retención**

Mediante la *Ec. 33*, se obtiene el tiempo de retención en el Floculador:

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

$$Tr = \frac{26,6 \text{ m}^3}{18,29 \frac{\text{m}^3}{h}}$$

$$Tr = 1,45 \text{ h}$$

- **Gradiente de velocidad del fluido**

Al efectuar la prueba de jarras en el laboratorio de Análisis Técnicos, se determina que la agitación se realizó a aproximadamente 60 revoluciones por minuto, con lo cual se deduce que la paleta debe agitar a 60 RPM para que la mezcla sea eficiente. Por lo tanto calculamos el gradiente de velocidad del fluido con la *Ec. 35*:

$$G = 0,25 * n^{1,25}$$

$$G = 0,25 * (60)^{1,25}$$

$$G = 41,74 \text{ s}^{-1}$$

- **Potencia disipada de la mezcla**

Define la cantidad de potencia que se debe suministrar y se calcula con la *Ec. 37*

$$W = G^2 \mu V$$

$$W = 41,74^2 (1,02 \times 10^{-2}) * 26,6$$

$$W = 472,70 \text{ W}$$

$$W = 472,70 \text{ W} * 1 \frac{\text{HP}}{746 \text{ W}}$$

$$W = 0,63 \text{ HP}$$

3.1.6 Dimensionamiento de paletas

- **Área**

Para determinar el área de las paletas utilizamos la *Ec. 39*

$$A = \frac{1 * P}{C_D * \gamma * v^3}$$

$$A = \frac{1 * 0,63}{1,16 * 1,39 * (0,75)^3}$$

$$A = 0,92 \text{ m}^2$$

- **Longitud**

En la *Ec. 41* con que cual determinamos la longitud de las paletas, tenemos las constantes l y b cuyos valores están establecidos en la TABLA. 14:

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

$$l = \frac{0,92}{0,80}$$

$$l = 1,15 \text{ m}$$

3.1.7 Dimensionamiento del Sedimentador Secundario

- **Área**

Mediante la *Ec. 20*

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

$$A = \frac{439,061 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{32 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}}$$

$$A = 13,7 \text{ m}^2$$

- **Radio**

De la misma manera que en el tanque de sedimentación primaria, empleamos la *Ec. 23* para determinar el radio:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{13,7}{\pi}}$$

$$r = 2,10 \text{ m}$$

- **Diámetro**

Podemos determinar el diámetro con la *Ec. 43*

$$\emptyset = 2r$$

$$\emptyset = 2 (2,10)$$

$$\emptyset = 4,21 \text{ m}$$

El diámetro de reparto central se estima entre un 15 o 20 % del diámetro total y se calcula mediante la *Ec. 42*

$$Rc = \emptyset * 20\%$$

$$Rc = 4,21 * 0,2$$

$$Rc = 0,84 \text{ m}$$

- **Tiempo de retención hidráulica**

Mediante la *Ec. 25*

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

$$Tr = \frac{41,56}{18,29}$$

$$Tr = 2,27 \text{ h}$$

- **Altura de reparto**

Los valores establecidos en la TABLA. 16 se ha elegido un valor de h de 3.0, con lo cual podemos calcular la altura de reparto con la *Ec. 44*

$$Hr = \frac{1}{4} h$$

$$Hr = \frac{1}{4} * 3,0$$

$$Hr = 0,75 \text{ m}$$

- **Volumen**

Utilizamos la *Ec. 24* para obtener el valor del volumen del sedimentador secundario:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi (2,10)^2 * 3,0$$

$$V = 41,56 \text{ m}^3$$

- **Carga de rebose sobre el vertedero periférico de salida**

Para realizar este cálculo, tomamos el caudal y el volumen del tanque según la *Ec. 45*

$$Cv = \frac{Q}{\phi\pi}$$

$$Cv = \frac{18,29 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{4,21 \text{ m} * \pi}$$

$$Cv = 1,4 \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$$

3.2 Resultados

3.2.1 Resultados de la Medición del Caudal

Los valores de los caudales fueron tomados en el Barrio La Unión vía a Cubijés que es el lugar donde llegan las aguas residuales de la Parroquia San Gerardo. Las mediciones se realizaron por 7 días seguidos en intervalos de tiempo de 30 minutos; obteniendo así los siguientes resultados:

TABLA N° 27. RESULTADOS DIARIOS DE LA MEDICIÓN DEL CAUDAL

	LUNES	MART	MIERC	JUEV	VIERN	SÁBAD	DOMI
HORA	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)
7:00	1,147	1,245	1,485	1,742	1,736	1,005	1,289
7:30	1,219	1,496	1,42	1,789	1,724	1,27	1,217
8:00	0,777	1,379	1,454	1,635	1,513	1,581	1,253
8:30	1,793	1,549	1,54	2,045	2,354	2,25	1,619
9:00	2,548	2,388	2,444	2,388	2,373	2,472	1,834
9:30	2,687	2,406	2,62	2,165	2,34	2,656	1,765
10:00	2,866	2,625	2,587	2,613	2,51	2,766	2,599
10:30	2,705	2,7	2,488	2,708	2,359	2,561	2,607
11:00	2,821	2,425	2,745	2,97	2,962	2,799	2,564
11:30	2,814	2,677	2,69	2,65	2,674	3,017	2,633
12:00	2,678	2,675	2,537	2,69	2,61	2,714	2,777
12:30	2,658	2,835	2,823	2,773	2,667	2,626	2,776
13:00	2,757	2,739	2,813	2,726	2,703	3,169	2,881
13:30	2,606	2,886	2,988	2,655	2,61	3,05	3,009
14:00	2,788	2,708	2,436	2,439	2,483	2,503	2,513
14:30	2,716	2,635	2,712	2,574	2,512	2,365	2,565
15:00	1,957	2,182	1,964	2,046	2,148	2,219	2,104
15:30	2,011	2,209	1,854	1,836	2,119	2,233	2,093
16:00	1,076	1,243	2,046	2,417	2,389	2,233	2,495
16:30	1,331	1,394	1,725	1,945	2,248	1,941	2,352
17:00	2,353	2,411	2,449	2,109	2,321	2,64	2,757
17:30	2,885	2,61	2,961	3,0009	2,465	2,509	2,987
18:00	2,927	3,024	2,918	3,033	2,904	2,874	2,917
CAUDAL DIARIO	2,266	2,280	2,334	2,389	2,379	2,411	2,330

CAUDAL MÁXIMO	2,927	3,024	2,988	3,033	2,962	3,169	3,009
CAUDAL MÍNIMO	0,777	1,243	1,42	1,635	1,513	1,005	1,217

FUENTE: CALLAY X., 2015

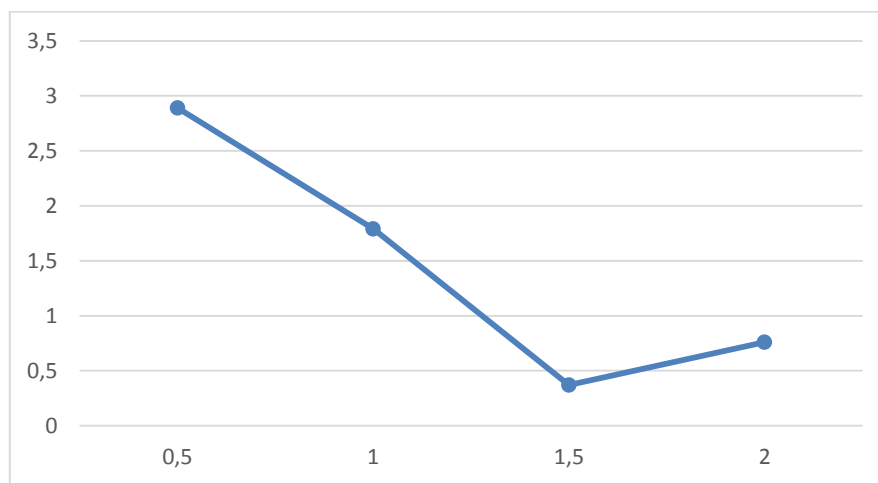
3.2.2 Resultados de las Pruebas de Tratabilidad

TABLA N° 28. DISMINUCIÓN DE LA TURBIEDAD

TURBIEDAD (NTU)	2,89	1,79	0,37	0,76
CONC. (mg/L)	0,5	1	1,5	2

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 1. DISMINUCIÓN DE LA TURBIEDAD



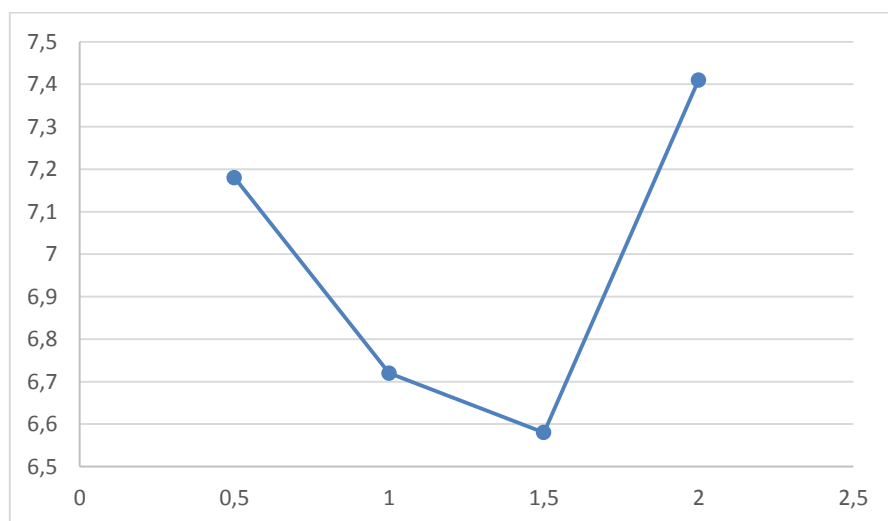
FUENTE: CALLAY X., 2015

TABLA N° 29. VARIACIÓN DEL pH

pH	7,18	6,72	6,58	7,41
CONC. (mg/L)	0,5	1,0	1,5	2,0

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 2. VARIACIÓN DEL pH



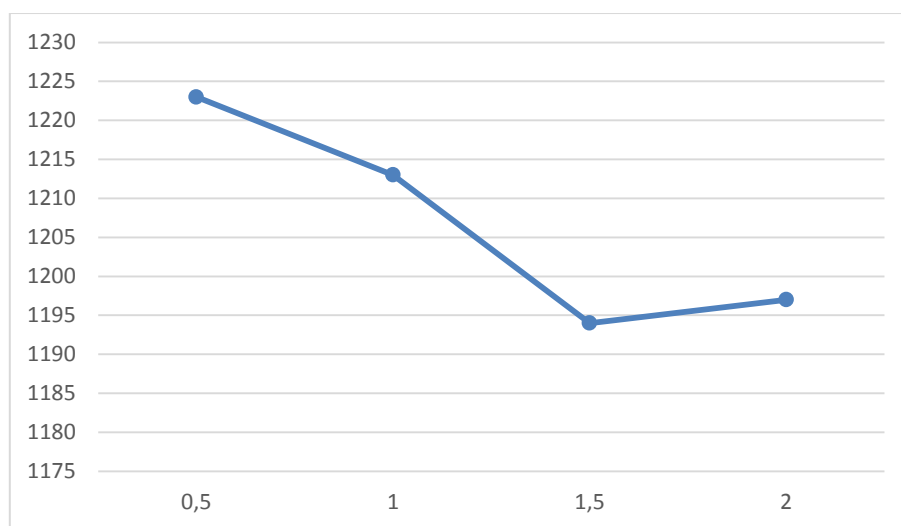
FUENTE: CALLAY X., 2015

TABLA N° 30. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

C.E.	1223	1213	1194	1197
CONC. (mg/L)	0,5	1,0	1,5	2,0

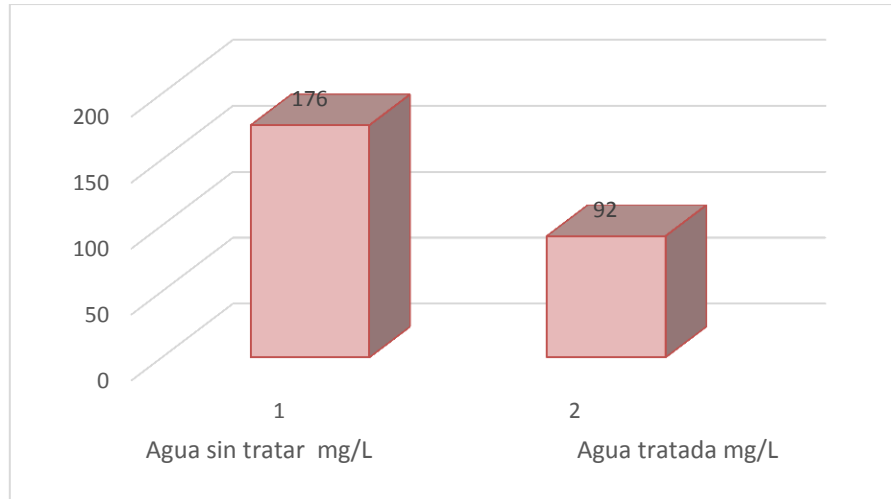
FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 3. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



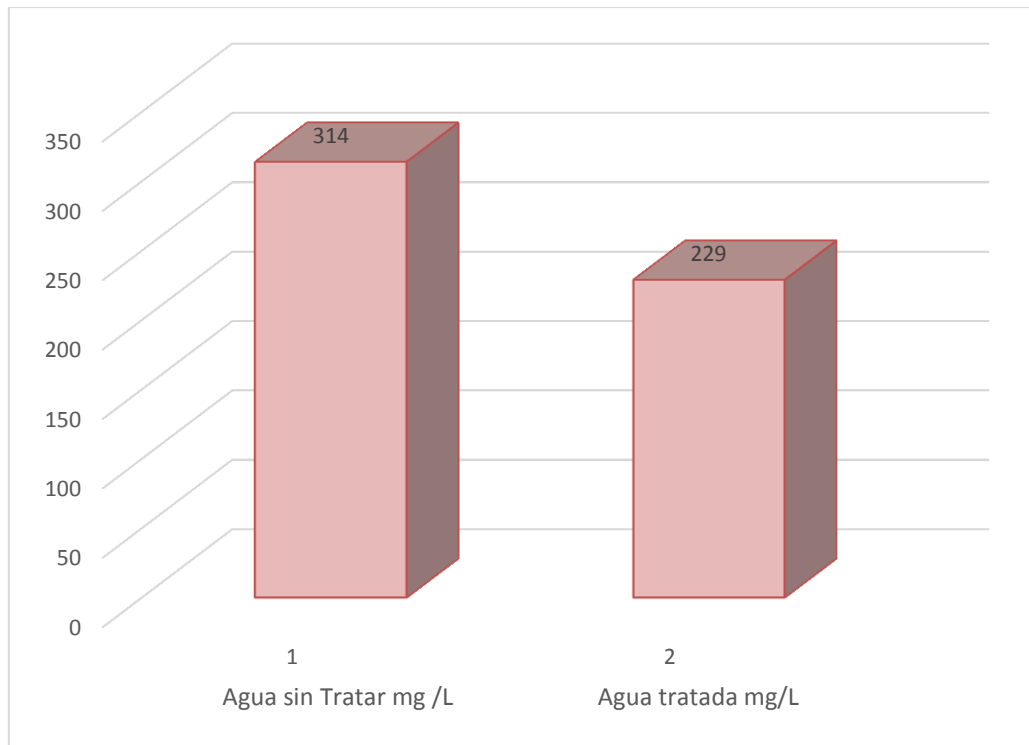
FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 4. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO



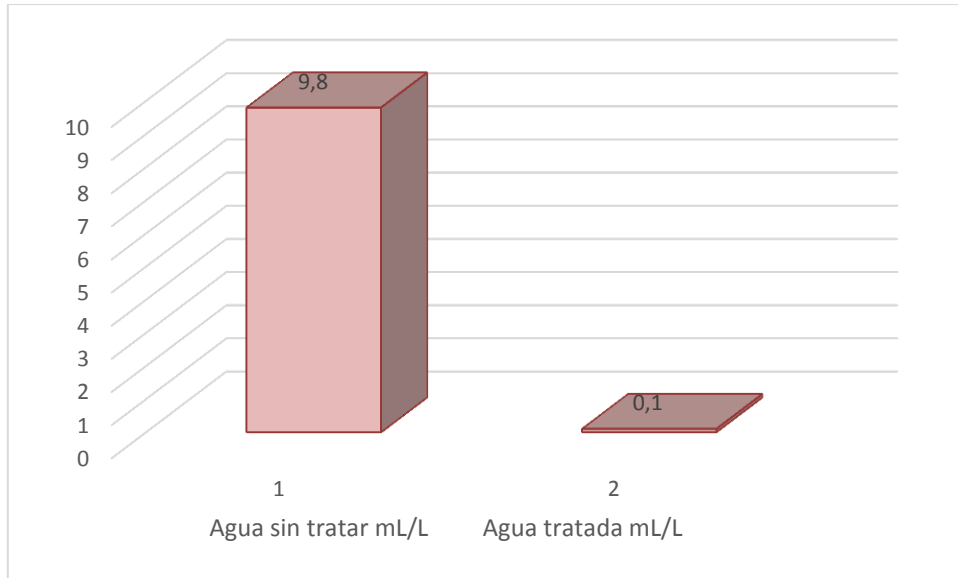
FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 5. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO



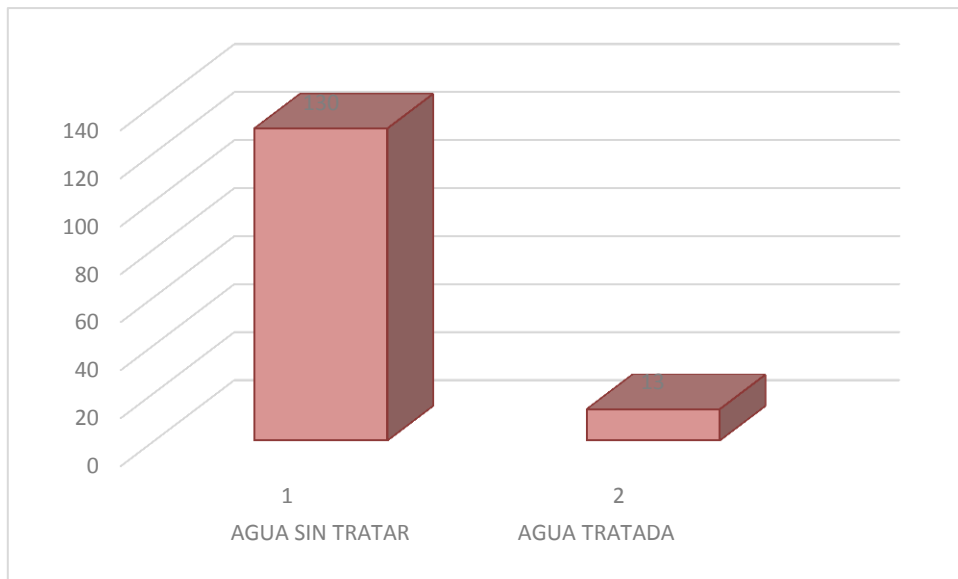
FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 6. DISMINUCIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES



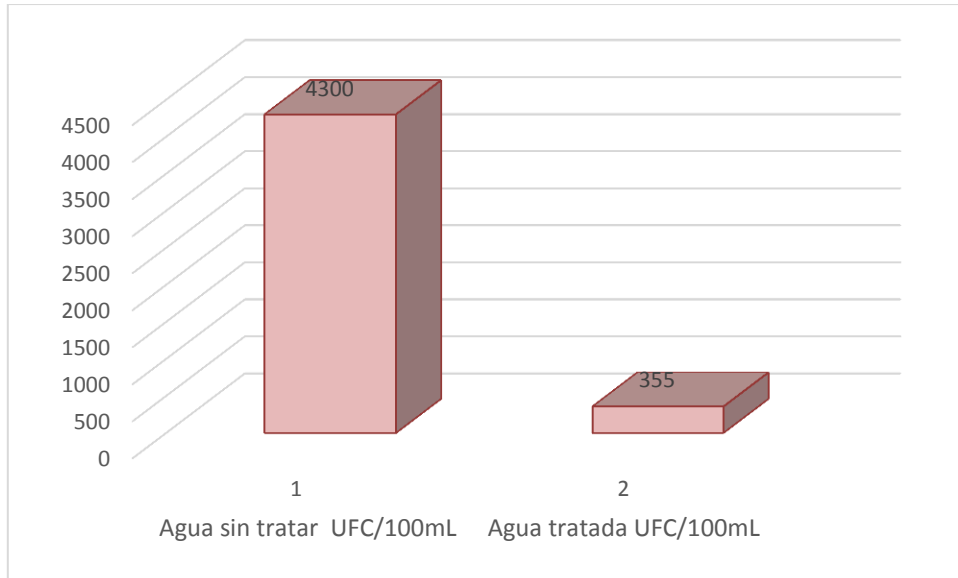
FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 7. DISMINUCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS



FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 8. DISMINUCIÓN DE COLIFORMES FECALES



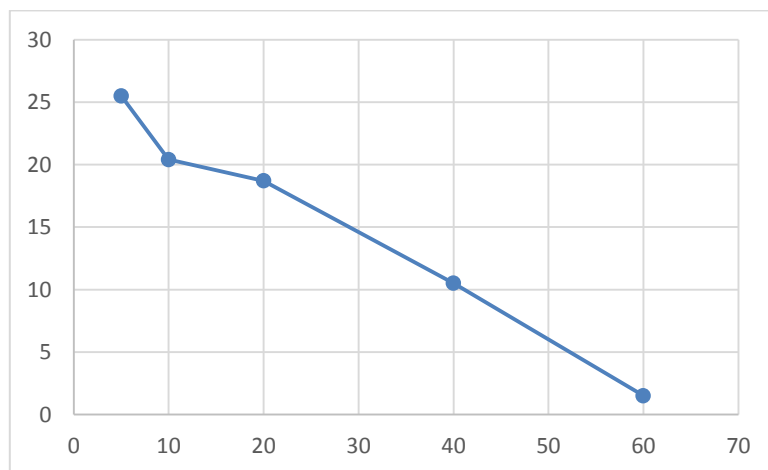
FUENTE: CALLAY X., 2015

TABLA N° 31. TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN

TIEMPO (min)	5	10	20	40	60
ALTURA (cm)	25,5	20,4	18,7	10,5	1,5

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 9. TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN



FUENTE: CALLAY X., 2015

3.2.3 Resultado final de las pruebas de caracterización final del agua tratada

Luego de realizar algunos ensayos para determinar la dosis adecuada que nos permita disminuir los valores de los parámetros que estaban fuera de los límites permisibles establecidos en la norma, las pruebas de tratabilidad efectuadas han disminuido dichos parámetros, lo cual resulta evidente puesto que, el agua tratada presenta características físicas, tales como olor y color, completamente diferentes al agua sin tratar.

TABLA N° 32. ANÁLISIS FÍSICO FINAL

COLOR	Transparente Medida: 3,7
OLOR	No desagradable
APARIENCIA	Poco turbia

FUENTE: CALLAY X., 2015

TABLA N° 33. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO FINAL

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITES
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	Método estándar 9221 C Filtración por membrana	355	Remoción mayor al 99,9%

FUENTE: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH

TABLA N° 34. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO FINAL

PARÁMETRO	UNIDAD*	MÉTODO	RESULTADO
pH		PE-LSA-01	6,58
Turbidez	FTU-UTM	STANDARD	0,37

		METHODS 2130 B	
DQO	mg/L	STANDARD METHODS 5220-D mod	229
DBO	mg/L	STANDARD METHODS 5210-B	92
Sólidos sedimentables	mL/L	STANDARD METHODS 2540-B	< 0,1

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 21° Ed, STANDARD METHODS y Métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° Ed

FUENTE: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH

3.2.4 Resultado de los Análisis dentro de la Normativa Ambiental

TABLA N° 35. PARÁMETROS DENTRO DE LA NORMA AMBIENTAL

Parámetro	Resultado	Límite*	Condición
DQO	229 mg/L	250 mg/L	Cumple
DBO	92 mg/L	100 mg/L	Cumple
Sólidos Sedimentables	< 0,1 mL /L	1 mL/L	Cumple
Coliformes Fecales	355 UFC/100ml	Remoción mayor al 99,9%	Cumple

*TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

FUENTE: CALLAY X., 2015

3.2.5 Resultado del dimensionamiento

- **Caudal de diseño**

Tomando en cuenta algunos parámetros como la población actual, población futura y la vida de la planta estimada para 20 años, se han obtenido los siguientes datos, detallados a continuación en la tabla:

TABLA N° 36. RESULTADOS DE CAUDAL DE DISEÑO

PARÁMETRO	RESULTADO
Población actual	2439 hab
Población futura	2940,88 hab
Dotación de agua	120,36 L/hab. día
Caudal medio	353,96 m ³ /día
Caudal mínimo	176,98 m ³ /día
Caudal de diseño	439,061 m ³ /día

FUENTE: CALLAY X., 2015

- **Cribado o Rejillas**

El objetivo de las rejillas es retener los sólidos de mayor tamaño; tales como, plásticos, madera, entre otros; las cuales son de limpieza manual y los resultados de sus dimensiones son:

TABLA N° 37. RESULTADOS DEL DISEÑO DE REJILLAS

DETALLE	DIMENSIONES
Separación entre barras	2 cm
Espesor de las barras	2 cm
Ancho del canal	50 cm
Largo del canal	80 cm
Inclinación de la rejilla	45 °
Número de barras	13

FUENTE: CALLAY X., 2015

- **Sedimentador Primario**

Con el fin de eliminar los sólidos de menor tamaño que no pueden ser retenidos por las cribas, se ha diseñado un sedimentador secundario cuyo caudal de diseño corresponde a 439,061 m³/día:

TABLA N° 38. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO

DETALLE	DIMENSIONES
Área	18,29 m ²
Diámetro	4,82 m
Radio	2,41 m
Volumen	54,74 m ³
Tiempo de retención	2,99 h
Velocidad de arrastre	0,256 m/s
R _{DBO} (%)	30,54
R _{SST} (%)	47,086

FUENTE: CALLAY X., 2015

- **Floculador**

De acuerdo a los cálculos realizados y a la prueba de jarras, el resultado del dimensionamiento del Floculador se detalla en la siguiente tabla:

TABLA N° 39. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL FLOCULADOR

DETALLE	DIMENSIONES
Área superficial	8,78 m ²
Diámetro	3,34 m
Radio	1,68 m
Volumen	26,6 m ³
Tiempo de retención	1,45 h
Gradiente de velocidad del fluido	41,74 s ⁻¹
Potencia disipada de la mezcla	0,63 HP
Área de la paleta	0,92 m ²
Longitud de la paleta	1,15 m

Ancho de la paleta	0,80 m
--------------------	--------

FUENTE: CALLAY X., 2015

- **Sedimentador Secundario**

Para el sedimentador secundario, obtuvimos las siguientes dimensiones:

TABLA N° 40. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

DETALLE	DIMENSIONES
Área	13,7 m ²
Diámetro	4,21 m
Radio	2,10 m
Volumen	41,56 m ³
Tiempo de retención	2,27 h
Altura de reparto	0,75 m
Reparto central	0,84 m
Carga de rebose	1,4 m ² /h

3.3 PROPUESTA

Las aguas residuales que se generan en la Parroquia San Gerardo del Cantón Guano, mismas que son descargadas en el río Guano; requieren un sistema de tratamiento adecuado. Por lo cual, se realizó el dimensionamiento basando nuestros cálculos en los diferentes análisis previos. En primer lugar, se efectuó las mediciones de caudales durante 7 días seguidos en intervalos de tiempo de 30 min. A continuación; una vez planteado el plan de muestreo, se recogió varias muestras simples con el fin de tener una muestra compuesta representativa de toda el agua residual. Las muestras fueron llevadas al laboratorio respetando las condiciones de temperatura para que al realizar los análisis, tengan las mismas características que cuando se toman las muestras.

Una vez realizadas las pruebas de caracterización, se determinó varios parámetros que no cumplen con la Normativa Ambiental vigente; estos son: DQO, DBO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y coliformes fecales. Además, es importante mencionar

que el agua residual tiene características físicas, tales como olor y color no adecuados para aguas que se descargan a un cuerpo de agua dulce, que nos permiten deducir a simple vista que es necesario el tratamiento previo.

La contaminación del río Guano mediante la descarga de las aguas residuales, contienen abundante materia orgánica, sólidos y microorganismos que contaminan considerablemente el río. Por lo cual, es fundamental la implementación de un sistema de tratamiento para disminuir no solo los parámetros que no cumplen con la Normativa, sino también, la contaminación ambiental.

El sistema de tratamiento planteado consta de los siguientes procedimientos: En primer lugar, se propone ubicar rejillas de limpieza manual cuya función es retener los sólidos gruesos. Sus características son: 50 cm de ancho y 0,55 cm de altura del canal, la longitud de las barras es de 0,80, su espesor y separación entre barras es de 2 cm, y el número de barras empleado es de 13.

A continuación, tenemos un sedimentador primario en donde aquellos sólidos que no fueron retenidos en las rejillas, van a sedimentar por acción de la gravedad en un tiempo de retención de 2,99 horas. El sedimentador primario tiene una capacidad de volumen de 54,74 m³. De esta manera se obtiene una disminución del DBO del 30,54% y de SST de 47,086%.

Como todo sistema de tratamiento es importante considerar un proceso químico, tomamos en cuenta un Floculador; en el que se realiza un proceso de coagulación-floculación empleando Policloruro de aluminio (PAC) al 10% en dosis de 1,5 mL por cada litro de agua. El Floculador tiene una capacidad de 26,6 m³, con diámetro y radio de 3,34 y 1,68 m respectivamente. Además, la paleta de agitación tiene un ancho de 0,80 m y largo 1,15m.

La sedimentación secundaria consiste precipitación química en la que los lodos, producto de la coagulación-floculación, van a sedimentar en un tiempo de retención de 2,27 h; con lo cual se puede ubicar los parámetros problema dentro de la Norma de Calidad Ambiental establecida en el TULSMA LIBRO VI, Anexo 1, TABLA. 12 de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Las dimensiones del tanque de sedimentación secundaria tiene un volumen de 41,56 m³.

El Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales que se propone, disminuirá la materia orgánica y microorganismos patógenos hasta el nivel de mantener los parámetros dentro de los límites permisibles y garantizar la calidad que requiere para ser descargada en el río Guano reduciendo el impacto ambiental.

3.4 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los valores obtenidos en las pruebas de caracterización con las cuales se identificaron los parámetros fuera de norma, son el resultado de la realización de 3 análisis; puesto que un promedio puede determinar valores más reales y exactos de las características del agua. Se distinguieron cuatro parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles: DQO de 314 mg/L, DBO 176 mg/L, sólidos sedimentables 9,8 mL/L, sólidos suspendidos 130 mg/L y coliformes fecales 4300 UFC/100 mL; en esas condiciones el agua es descargada al río Guano, por lo cual el impacto ambiental que se origina es una de las más importantes preocupaciones del Gobierno Parroquial puesto que, los sectores aledaños emplean el agua del río en sus actividades agrícolas.

El agua residual contiene evidente exceso de material orgánico y microbiológico que puede ser reducido mediante la implementación del Sistema de Tratamiento. Además será posible mantener un ambiente sano que no perjudique la flora y fauna del sector.

Al efectuar pruebas de tratabilidad se pudo determinar los procesos que el agua residual requiere para reducir los parámetros que no cumplen con los límites permisibles. Se estableció el diseño de un sedimentador primario porque mediante la sedimentación por acción de la gravedad es posible eliminar aquellos sólidos que no son posibles de retener en las rejillas de limpieza manual, ubicadas en el área de ingreso del agua residual.

Mediante dichas pruebas de tratabilidad se determinó además la dosis de floculante Policloruro de Aluminio (PAC) al 10%; siendo el valor más adecuado de acuerdo a las características analizadas de inmediato al agua tratada, es de 1,5 mililitros por litro de agua residual, lo que permite ubicar a los parámetros problema dentro de la Normativa de

Calidad Ambiental. Por último, se produce una precipitación química en donde los lodos que se forman por el proceso de sedimentación contienen toda la materia orgánica y microbiológica que se desea eliminar.

Los valores finales que se obtienen mediante los procedimientos físico-químicos son: DQO 229 mg/L, DBO 92 mg/L, sólidos sedimentables <0,1 mL/L, sólidos suspendidos 13 mg/L y coliformes fecales 355 UFC/100mL; mismos que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la Normativa de Calidad Ambiental vigente TULSMA LIBRO VI, Anexo 1, TABLA. 12 de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

De esta manera, ha sido posible cumplir con los objetivos propuestos inicialmente basados en la necesidad de implementar un sistema de tratamiento en la Parroquia San Gerardo que contribuya al bienestar no solo del medio ambiente, sino también, de la población.

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ◆ Al efectuar el plan de muestreo, se tomó en cuenta no solo la forma correcta de recoger las muestras, sino también, la transportación de las mismas en las condiciones adecuadas para que conserven sus características; pues de lo contrario, la materia orgánica y microbiológica se ve alterada si las muestras no son analizadas inmediatamente o si no son conservadas a la temperatura correcta. El plan de muestreo por tanto, incluyó emplear 3 tipos de recipientes: plásticos, estériles y frascos de vidrio color ámbar; también, un recipiente de refrigeración con hielos para conservar las muestras y adhesivos para etiquetarlas con hora y fecha de recolección. El punto de muestreo se establece al realizar la medición de los caudales durante 7 días en intervalos de 30 minutos, con lo cual se determinó la hora adecuada de recolectar las muestras, siendo ésta entre las 9 am y 13 pm en donde el caudal permanece constante.
- ◆ Según las pruebas de caracterización iniciales, el agua residual de la Parroquia San Gerardo contiene abundante material orgánico, microbiológico y sólidos sedimentables que no cumplen con la Normativa puesto que se encuentran fuera de los límites permisibles; para lo cual, se realizaron 3 ensayos con el fin de determinar un valor promedio. Es importante mencionar que antes de llevar a cabo los análisis de laboratorio, a simple vista es posible identificar que el color amarillento del agua y la presencia de sólidos hacen que la calidad del agua sea nula.
- ◆ Una vez obtenido el resultado de las pruebas de caracterización de las 3 muestras analizadas tenemos valores promedio que nos permite identificar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles para descarga de efluentes a un cuerpo receptor, estos parámetros son: DQO 314 mg/L, DBO 176 mg/L, CF 4300 UFC/100mL, SS 130 mg/L y SSed 9,8 mL/L.

- ◆ Al efectuar las pruebas de tratabilidad, se determina la dosis de floculante PAC al 10% que se necesita para poder reducir los sólidos mediante la operación del Policloruro de Aluminio y posteriormente la precipitación por acción de la gravedad, lo cual sucede en un tiempo de reposo de 60 minutos luego de la agitación mecánica por 5 0 10 minutos.
- ◆ Realizando los cálculos correspondientes, entre los cuales se requieren el caudal de diseño y la población futura, se realizó el diseño del Sistema de Tratamiento que consiste en un pretratamiento con rejillas de limpieza manual que tienen como objetivo retener sólidos grueso, un sedimentador primario en el cual los sólidos de menor tamaño sedimentarán por acción de la gravedad, un Floculador con agitación en el que se va a dosificar PAC al 10% y por último un sedimentador secundario donde se realizará la precipitación química de los lodos resultantes del proceso de coagulación-floculación.
- ◆ Al aplicar este tratamiento se ha logrado obtener agua de mejor calidad con características que permiten ubicar los parámetros dentro de los límites permisibles, puesto que se consigue disminuir aquellos valores que no cumplían y los resultados son: DQO 229 mg/L, DBO 92 mg/L, CF 355 UFC/100mL, SS 13 mg/L y SSed <0,1 mL/L; mismos que se encuentran dentro de la norma.
- ◆ Es importante mencionar que aunque se considera necesario un proceso de desinfección, en este caso no lo empleamos debido a que el cloro residual que resulta del proceso de desinfección puede actuar negativamente en las características naturales del agua eliminando la vida microbiana que contribuye en la degradación de la materia orgánica presente en todos los efluentes.

4.2 RECOMENDACIONES

- ◆ Es importante recalcar la importancia de la implementación del sistema de tratamiento, puesto que en la actualidad es evidente el daño que ha causado la descarga inadecuada del agua residual al efluente cercano. La Parroquia San Gerardo necesita contar con la depuración adecuada del agua para que su actividad agrícola no se vea afectada por el empleo del agua de río que contiene gran cantidad de material patógeno proveniente de la descarga de las aguas residuales.
- ◆ Las rejillas o cribas deben ser despejadas periódicamente para evitar que el agua se desvíe debido a la obstrucción que puede provocar la presencia excesiva de sólidos de mayor tamaño. Dichos sólidos deben ser retirados y ubicados en el contenedor para evitar que vuelvan a ingresar al canal de llegada del agua.
- ◆ Además de las rejillas, todas las unidades de tratamiento requieren de limpieza y mantenimiento periódico con el fin de obtener el correcto funcionamiento del sistema y por ende la durabilidad del mismo.
- ◆ Los lodos generados pueden ser dispuestos directamente para relleno sanitario o ubicados en un botadero.
- ◆ El GADPR San Gerardo debería considerar la implementación de normativas internas tomando en cuenta el importante impacto ambiental que la descarga inadecuada que las aguas residuales provocan en el sector.
- ◆ Es importante mencionar alternativas adicionales a la señalada en la presente; puesto que, siendo el factor económico lo que define la factibilidad del proyecto, se puede considerar alternativas que impliquen bajar costos en el tratamiento. Existen opciones en las cuales se utiliza plantas que tienen características degradables sobre la materia orgánica del agua residual. Estas plantas conocidas como gramíneas se encuentran en abundancia en el sector, por lo cual es posible emplear un procedimiento biológico con varias especies naturales como ésta para poder obtener la calidad de agua que se desea y a bajo costo.

5 BIBLIOGRAFIA

1. **ARELLANO, A.**, Documento de Clase Tratamiento de Aguas Residuales, Quito-Ecuador, MAE, 2000, Pp. 2-16. (13)
2. **CASTRO, L.**, Parámetros físico-químicos para la calidad del agua, Lima-Perú, CEPIS, 1993. Pp. 11, 12,15-20. (11)
3. **CRITES, R. y TCHOBANOGLIOUS, G.** Tratamientos de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá - Colombia, McGraw Hill, 2000. Pp. 33, 42-44, 46 - 90, 247-337, 636-640. (4)
4. **DÍAZ, J.**, Introducción a la Ingeniería Ambiental, México D.F.-México, Editorial Alfa omega, 2000. Pp. 29. [¹²] (17)
5. **ECUADOR, MINISTERIO DE AMBIENTE**, Vol. 6, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Quito-Ecuador, 2013, Pp. 2 – 15.
6. **ECUADOR, SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO**, Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, Patrimonio Hídrico, Quito-Ecuador, 2013, Pp. 229. [¹³]
7. **ECUADOR, GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL RURAL SAN GERARDO**, PLAN DE DESARROLLO, Guano-Ecuador, GADPR, 2011., Pp. 12-18 [⁵]

8. **MENDOCA, S.**, Sistemas de lagunas de Estabilización como utilizar aguas residuales en sistemas de regadío, México D.F.-México, McGraw-Hill, Interamericana, 1997. Pp. 132-145. (2)
9. **METCALF, EDDY.** Ingeniería de Aguas Residuales. 3a. ed. Madrid - España, McGraw-Hill, 1995. pp. 41 – 60, 539 [7] [9] [6] [5] (3)
10. **ROMERO, J.**, Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de Diseño, Bogotá-Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002, Pp. 17-25,37,38,80,288 (1)
11. **ROMERO, J.**, Calidad del Agua, Bogotá -Colombia, Alfa omega, 2002. Pp. 67, 71 - 74, 233 - 246, 706 - 707. [3] (6)
12. **ROMO, L.**, Agua, Patrimonio de la Humanidad, Quito-Ecuador, Editorial Universitaria, 2002, Pp. 99 (8)
13. **SIERRA. C.**, Características Físicas, Químicas y Biológicas del agua, Medellín-Colombia, Editorial Universidad de Medellín, 2011, Pp. 68,69 (5)
14. **VALDEZ, C, y VÁZQUEZ, A.** Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales, México D.F.-México, Fundación ICA, 2003, Pp. 59, 77-81, 90 - 94, 97 - 103, 127 - 133, 255 - 263.
15. **APHA, AWWA, WPCF.** Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17a. ed. Madrid – España, Villey, 1992.Pp. 95 – 110.

16. CALIDAD DEL AGUA, Determinación de cloruros en aguas negras,

http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf.

2015-03-25

17. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL ETAP

<http://etap.usual.es/>

2015-03-26

18. ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo4.pdf

2015-01-21

19. EVALUACIÓN ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS EN AGUAS

http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%20Anexos1.pdf

2014-12-28

20. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES,

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/cap2.pdf.

2014-12-21

21. GUÍA PARA EL MONITOREO DE VERTIMIENTOS, AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

<http://responsabilidadintegral.org/administracion/circulares/archivos/Guia%20Caracterizacion%20Vertimientos%20-%20IDEAM.pdf>

2014-12-29

22. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS

<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

2015-01-21

23. MANUAL DE MUESTREO DE AGUAS

http://www.cegesti.org/agace/presentaciones/manual_aguas_muestreo_de_aguaspdf

2014-12-17

**24. MUESTREO, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y
LODOS DE AGUAS RESIDUALES**

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/026578/Tomo%202/026578-02.pdf>

2014-12-28

**25. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES, Fiscalización Ambiental en Aguas
Residuales**

<http://www.oefa.gob.pe/>

2015-03-25

26. POTABILIZACIÓN Y DEPURACIÓN DEL AGUA

<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/agua.pdf>

2015-02-24

**27. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND
WASTEWATER**

<https://www.standardmethods.org/>

2015-02-24

**28. TÉCNICAS DE DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA MEDIANTE
PRUEBA DE JARRAS**

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19121/Anexo.pdf>.

2015-01-21

29. DESING OF MUNICIPAL TREATMENT PLANTS

http://www.wefnet.org/ewef/images/MOP8/MOP8_Frontmatter.pdf.

2015-03-25

6 ANEXOS

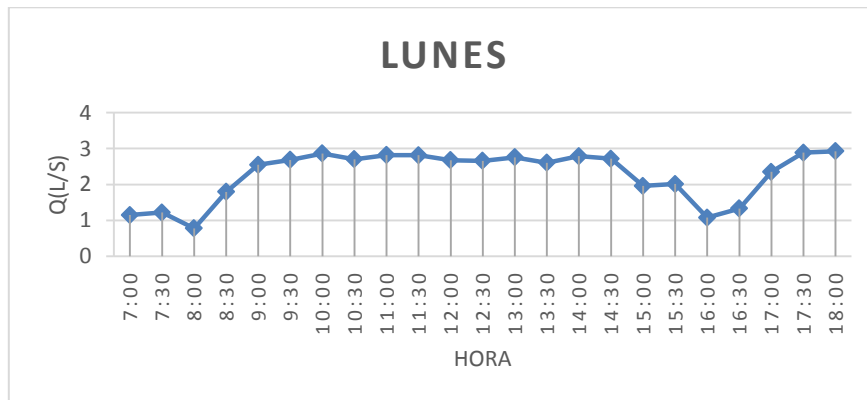
ANEXO N° 1. MEDICIONES DE LOS CAUDALES DIARIOS

A. CAUDALES DÍA LUNES

HORA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	Q(ml/s)	Q(L/s)
7:00	3,4	3,9	1147,05	1,147
7:30	3,28	4	1219,51	1,219
8:00	3,6	2,8	777,77	0,777
8:30	3,57	6,4	1792,71	1,793
9:00	3,1	7,9	2548,39	2,548
9:30	3,014	8,1	2687,458	2,687
10:00	3	8,6	2866,66	2,866
10:30	3,29	8,9	2705,17	2,705
11:00	3,013	8,5	2821,1	2,821
11:30	3,024	8,5	2814,56	2,814
12:00	3,286	8,8	2678,02	2,678
12:30	3,461	9,2	2658,19	2,658
13:00	3,3	9,1	2757,57	2,757
13:30	3,415	8,9	2606,15	2,606
14:00	3,12	8,7	2788,46	2,788
14:30	3,35	9,1	2716,42	2,716
15:00	3,27	6,4	1957,18	1,957
15:30	3,58	7,2	2011,17	2,011
16:00	3,25	3,5	1076,92	1,076
16:30	3,38	4,5	1331,36	1,331
17:00	3,06	7,2	2352,94	2,353
17:30	2,98	8,6	2885,91	2,885
18:00	3,04	8,9	2927,63	2,927

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 10. VARIACIÓN DEL CAUDAL DÍA LUNES



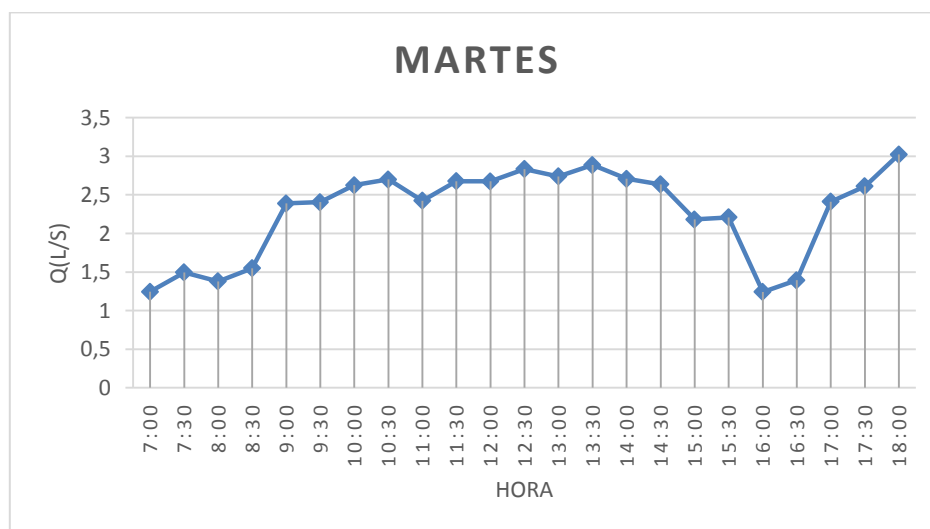
FUENTE: CALLAY X., 2015

B. CAUDALES DÍA MARTES

HORA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	Q(ml/s)	Q(L/s)
7:00	3,615		4,5	1244,81
7:30	3,542		5,3	1496,33
8:00	3,408		4,7	1379,11
8:30	3,356		5,2	1549,46
9:00	3,391		8,1	2388,67
9:30	3,491		8,4	2406,18
10:00	2,971		7,8	2625,37
10:30	3,074		8,3	2700,06
11:00	3,629		8,8	2424,91
11:30	3,025		8,1	2677,68
12:00	3,439		9,2	2675,19
12:30	3,562		10,1	2835,49
13:00	3,249		8,9	2739,3
13:30	3,153		9,1	2886,14
14:00	3,065		8,3	2707,99
14:30	3,681		9,7	2635,15
15:00	3,254		7,1	2181,92
15:30	3,123		6,9	2209,41
16:00	3,458		4,3	1243,49
16:30	3,872		5,4	1394,62
17:00	3,235		7,8	2411,12
17:30	3,371		8,8	2610,5
18:00	3,042		9,2	3024,32

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 11. VARIACIÓN DEL CAUDAL DÍA MARTES



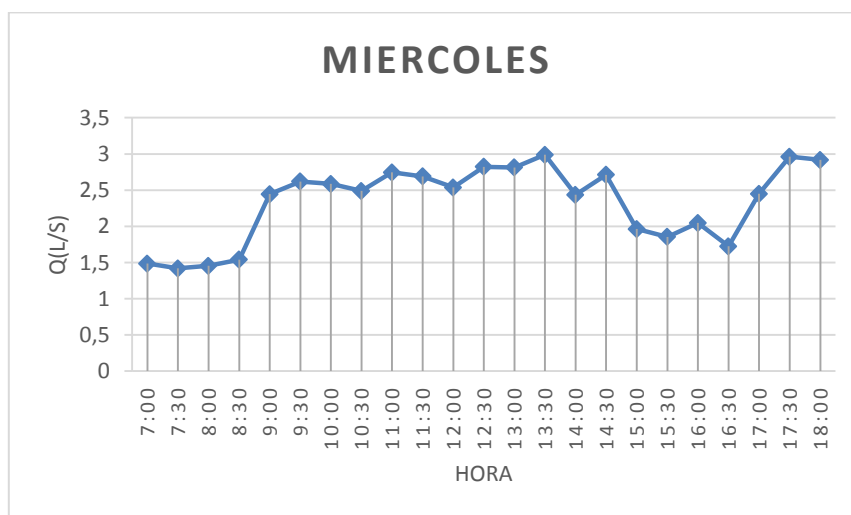
FUENTE: CALLAY X., 2015

C. CAUDALES DÍA MIÉRCOLES

HORA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	Q(ml/s)	Q(L/s)
7:00	3,5	5,2	1485,71	1,485
7:30	3,379	4,8	1420,53	1,42
8:00	3,3	4,8	1454,54	1,454
8:30	3,57	5,5	1540,61	1,54
9:00	3,6	8,8	2444,44	2,444
9:30	3,205	8,4	2620,9	2,62
10:00	3,13	8,1	2587,85	2,587
10:30	3,416	8,5	2488,29	2,488
11:00	3,46	9,5	2745,66	2,745
11:30	3,308	8,9	2690,44	2,69
12:00	3,231	8,2	2537,91	2,537
12:30	3,117	8,8	2823,22	2,823
13:00	3,128	8,8	2813,29	2,813
13:30	3,045	9,1	2988,5	2,988
14:00	3,243	7,9	2436,01	2,436
14:30	3,281	8,9	2712,58	2,712
15:00	3,359	6,6	1964,87	1,964
15:30	3,721	6,9	1854,34	1,854
16:00	3,322	6,8	2046,95	2,046
16:30	3,129	5,4	1725,79	1,725
17:00	3,184	7,8	2494,74	2,449
17:30	3,073	9,1	2961,27	2,961
18:00	3,426	10	2918,85	2,918

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 12. VARIACIÓN DEL CAUDAL DÍA MIERCOLES



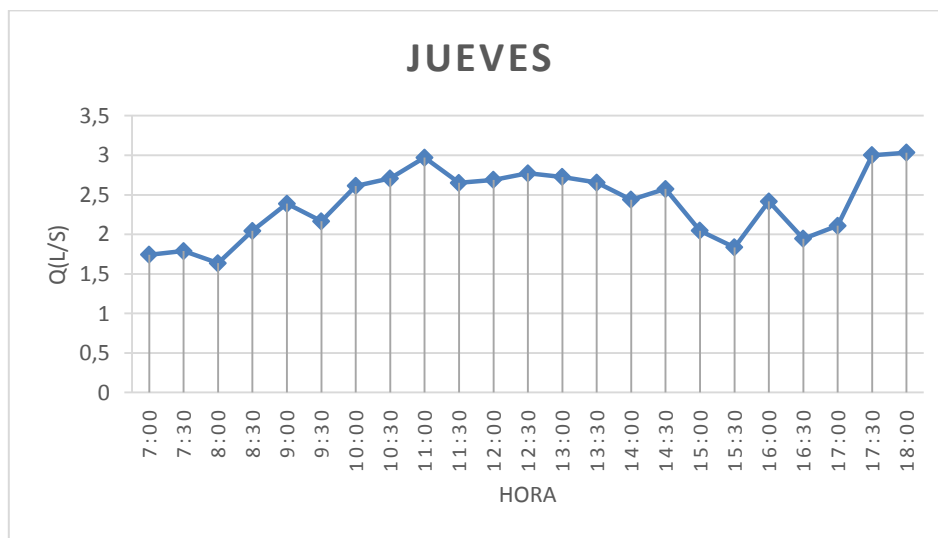
FUENTE: CALLAY X., 2015

D. CAUDALES DÍA JUEVES

HORA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	Q(ml/s)	Q(L/s)
7:00	3,501	6,1	1742,35	1,742
7:30	3,521	6,3	1789,26	1,789
8:00	3,425	5,6	1635,03	1,635
8:30	3,373	6,9	2045,65	2,045
9:00	3,726	8,9	2388,62	2,388
9:30	3,602	7,8	2165,46	2,165
10:00	2,985	7,8	2613,06	2,613
10:30	3,027	8,2	2708,95	2,708
11:00	3,299	9,8	2970,59	2,97
11:30	3,811	10,1	2650,22	2,65
12:00	3,679	9,9	2690,94	2,69
12:30	3,029	8,4	2773,19	2,773
13:00	3,411	9,3	2726,47	2,726
13:30	3,653	9,7	2655,35	2,655
14:00	3,321	8,1	2439,02	2,439
14:30	3,224	8,3	2574,44	2,574
15:00	3,371	6,9	2046,87	2,046
15:30	3,703	6,8	1836,34	1,836
16:00	3,682	8,9	2417,16	2,417
16:30	3,135	6,1	1945,77	1,945
17:00	3,224	6,8	2109,18	2,109
17:30	3,199	9,6	3000,93	3,0009
18:00	3,363	10,2	3033,01	3,033

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 13. VARIACIÓN DEL CAUDAL DÍA JUEVES



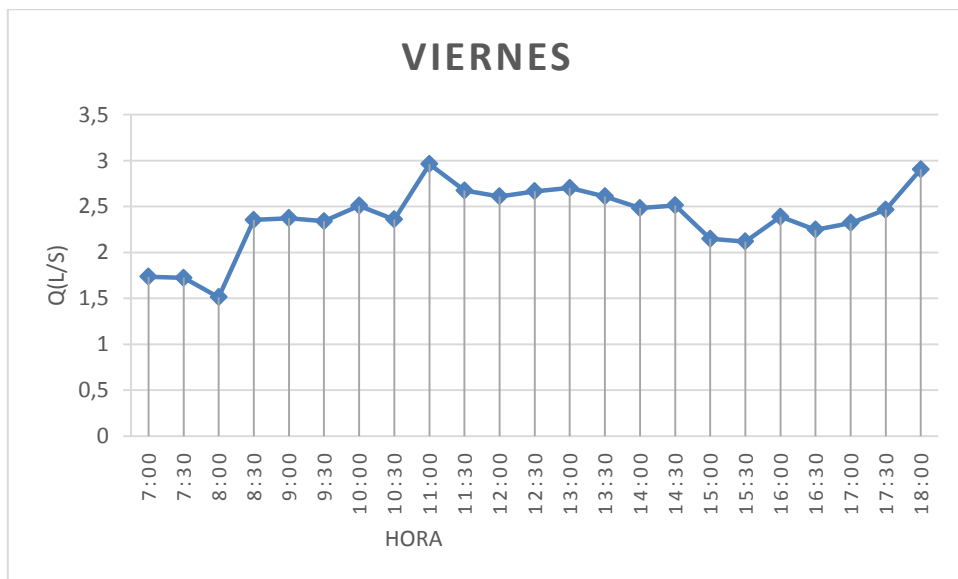
FUENTE: CALLAY X., 2015

E. CAUDALES DÍA VIERNES

HORA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	Q(ml/s)	Q(L/s)
7:00	3,512	6,1	1736,9	1,736
7:30	3,828	6,6	1724,13	1,724
8:00	3,304	5	1513,31	1,513
8:30	3,015	7,1	2354,89	2,354
9:00	3,749	8,9	2373,96	2,373
9:30	3,631	8,5	2340,95	2,34
10:00	3,067	7,7	2510,59	2,51
10:30	3,518	8,3	2359,29	2,359
11:00	3,646	10,8	2962,15	2,962
11:30	3,402	9,1	2674,89	2,674
12:00	3,409	8,9	2610,73	2,61
12:30	3,037	8,1	2667,1	2,667
13:00	3,514	9,5	2703,47	2,703
13:30	3,601	9,4	2610,38	2,61
14:00	3,463	8,6	2483,39	2,483
14:30	3,304	8,3	2512,1	2,512
15:00	3,305	7,1	2148,26	2,148
15:30	3,019	6,4	2119,9	2,119
16:00	3,473	8,3	2389,86	2,389
16:30	2,758	6,2	2248,5	2,248
17:00	3,317	7,7	2321,37	2,321
17:30	3,326	8,2	2465,42	2,465
18:00	3,408	9,9	2904,92	2,904

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 14. VARIACIÓN DEL CAUDAL DÍA VIERNES



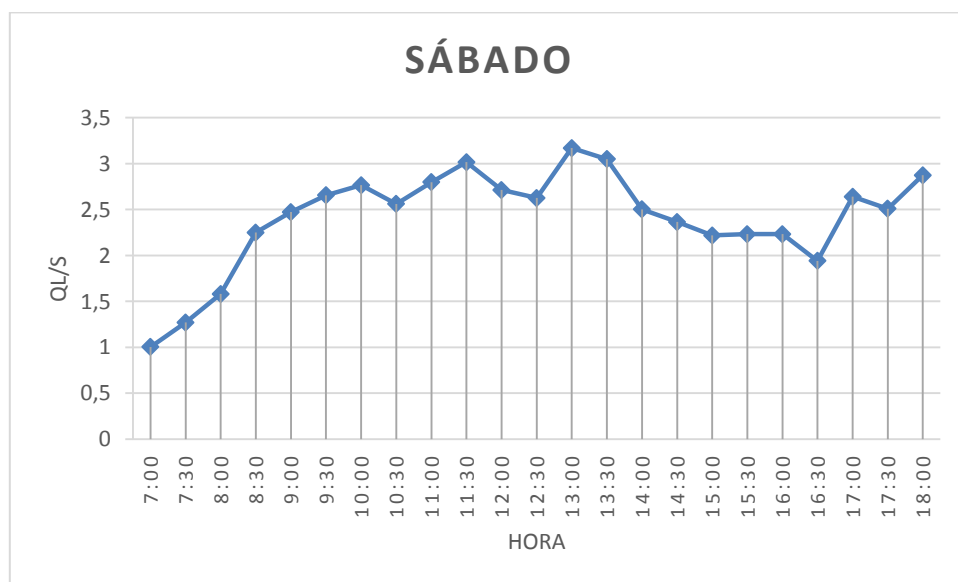
FUENTE: CALLAY X., 2015

F. CAUDALES DÍA SÁBADO

HORA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	Q(ml/s)	Q(L/s)
7:00	3,281	3,3	1005,79	1,005
7:30	3,307	4,2	1270,03	1,27
8:00	3,415	5,4	1581,25	1,581
8:30	3,511	7,9	2250,07	2,25
9:00	3,276	8,1	2472,52	2,472
9:30	3,614	9,6	2656,33	2,656
10:00	3,362	9,3	2766,21	2,766
10:30	3,904	10	2561,47	2,561
11:00	3,679	10,3	2799,67	2,799
11:30	3,281	9,9	3017,37	3,017
12:00	3,574	9,7	2714,04	2,714
12:30	3,427	9	2626,2	2,626
13:00	3,092	9,8	3169,46	3,169
13:30	3,049	9,3	3050,18	3,05
14:00	3,435	8,6	2503,63	2,503
14:30	3,339	7,9	2365,97	2,365
15:00	3,289	7,3	2219,51	2,219
15:30	3,089	6,9	2233,73	2,233
16:00	3,179	7,1	2233,4	2,233
16:30	3,502	6,8	1941,74	1,941
17:00	3,219	8,5	2640,57	2,64
17:30	3,985	10	2509,41	2,509
18:00	3,409	9,8	2874,74	2,874

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 15. VARIACIÓN DEL CAUDAL DÍA SABADO



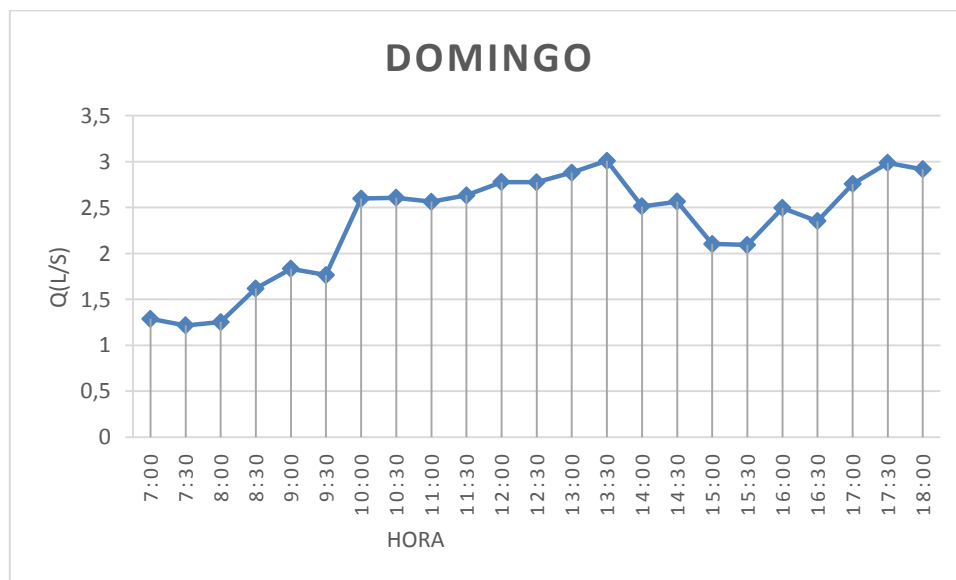
FUENTE: CALLAY X., 2015

G. CAUDALES DÍA DOMINGO

HORA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	Q(ml/s)	Q(L/s)
7:00	3,101	4	1289,9	1,289
7:30	3,204	3,9	1217,22	1,217
8:00	3,032	3,8	1253,29	1,253
8:30	3,396	5,5	1619,55	1,619
9:00	3,544	6,5	1834,08	1,834
9:30	3,058	5,4	1765,86	1,765
10:00	3,385	8,8	2599,7	2,599
10:30	3,298	8,6	2607,64	2,607
11:00	3,471	8,9	2564,1	2,564
11:30	3,304	8,7	2633,17	2,633
12:00	3,564	9,9	2777,77	2,777
12:30	3,602	10	2776,23	2,776
13:00	3,297	9,5	2881,4	2,881
13:30	2,957	8,9	3009,8	3,009
14:00	3,621	9,1	2513,11	2,513
14:30	3,508	9	2565,56	2,565
15:00	3,421	7,2	2104,64	2,104
15:30	3,821	8	2093,69	2,093
16:00	3,446	8,6	2495,64	2,495
16:30	3,358	7,9	2352,59	2,352
17:00	3,228	8,9	2757,12	2,757
17:30	3,079	9,2	2987,98	2,987
18:00	3,531	10,3	2917,02	2,917

FUENTE: CALLAY X., 2015

GRÁFICO N° 16. VARIACIÓN DEL CAUDAL DÍA DOMINGO



FUENTE: CALLAY X., 2015

ANEXO N° 2. PUNTO DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE CAUDALES

a)



b)



c)



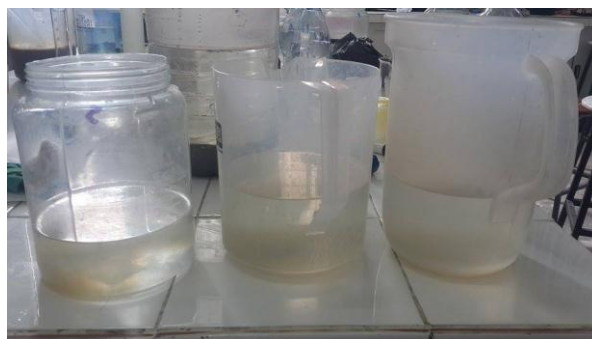
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CRIBADO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Medida de caudales	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS			
b) Muestreo	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA			
c) Materiales	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	CALLAY XIMENA	2	1:1	14/05/15

ANEXO N° 3. PRUEBAS DE TRATABILIDAD

d)



e)



c)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CRIBADO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
d) Agitación	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS			
e) Sedimentación		ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
f) Agua Tratada y sin tratar		CALLAY XIMENA	3	1:1	14/05/15

ANEXO N° 4. RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN

ESPOCH

**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Ximena Callay
 Fecha de Análisis: 26 de noviembre del 2014
 Fecha de Entrega de Resultados: 15 de diciembre de 2014
 Tipo de muestras: Agua Residual Doméstica
 Localidad: Parroquia San Gerardo Cantón Guano

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Color	Und Pt/Co			65
pH	Und.	4500-B	5-9	7.10
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1255
Turbiedad	UNT	2130-B		83.5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	314
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	176
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	1000	290
Nitritos	mg/L	4500-NO2-B		0.014
Nitratos	mg/L	4500-NO3-C	10	0.01
Fosfatos	mg/L	4500-PO4-B	10	5
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	130
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C		422
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	1408
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	9.8

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

** Valores referenciales para aguas residuales que descargan a un cuerpo de agua dulce
 TULSMA LIBRO 6 TABLA 12

Observaciones: Los resultados de este informe son el promedio de tres determinaciones de la caracterización del agua residual.

Atentamente.



Dra. Gina Alvarez R.
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CARACTERIZACIÓN		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Caracterización inicial físico-química	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	4	1:1	15/05/15

ANEXO N° 5. RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

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

N° SE: 012 - 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Ximena Callay **INFORME N°:** 012-15
EMPRESA: Tesis ESPOCH **N° SE:** 012-15
DIRECCIÓN: Cardenas y Cacique Toca - Guano **FECHA DE RECEPCIÓN:** 23-03-15
TELÉFONO: **FECHA DE INFORME:** 25-03-15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual **TIPO DE MUESTRA:**

IDENTIFICACIÓN: MA-029-15 San Gerardo Agua

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



RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -029-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	8900	N/A	23-03-15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	4300	N/A	23-03-15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:
Dr. Juan Carlos Lara R.



Dr. Juan Carlos Lara R.
TÉCNICO I.S.A.

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CARACTERIZACIÓN		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Caracterización inicial microbiológica	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	5	1:1	15/05/15

ANEXO N° 6. CARACTERIZACIÓN FINAL



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

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

N° SE: 018 - 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Ximena Callay **INFORME N°:** 018 - 15

EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 018 - 15

DIRECCIÓN: Cacique Toca y Cárdenas (Guano) **FECHA DE RECEPCIÓN:** 28 - 04 - 15

TELÉFONO: 0995455834 **FECHA DE INFORME:** 04 - 05 - 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual **TIPO DE MUESTRA:**

IDENTIFICACIÓN: MA - 051 -15 A.T.S.G. Agua

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

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 051-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K*2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	8.58	+/- 0.08	28-04-15
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	1194	+/- 8 %	28-04-15
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	0.37	N/A	28-04-15
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	796	+/- 8 %	28-04-15
* Sólidos Suspendedos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	13	N/A	28-04-15
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	102	N/A	28-04-15
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	0.51	N/A	28-04-15
* Nitratos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 NO ₃ - E mod	0.02	N/A	28-04-15
* Nitritos	mg/l	STANDARD METHODS 4500- NO ₂ - B	0.196	N/A	28-04-15
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	92	N/A	28-04-15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	229	+/- 10 %	28-04-15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	575	N/A	28-04-15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	355	N/A	28-04-15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:
 Dr. Juan Carlos Lara R.
 Dr. Jinsop Mario Ruiz B.




Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 - Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
Caracterización final físico-química	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA CALLAY XIMENA			
			6	1:1	15/05/15

ANEXO N° 7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

CARACTERIZACIÓN INICIAL		NORMATIVA	CARACTERIZACIÓN FINAL	
DETERMINACIÓN	RESULTADO	LÍMITE*	DETERMINACIÓN	RESULTADO
DQO	314 mg/L	250 mg/L	DQO	229 mg/L
DBO	176 mg/L	100 mg/L	DBO	92 mg/L
Sólidos Sedimentables	9,28 mL/L	1 mL/L	Sólidos Sedimentables	<0,1
Sólidos suspendidos	130,57 mg/L	100 mg/L	Sólidos suspendidos	13 mg/L
Coliformes fecales	4300 UFC/100mL	Remoción < al 99,99 %	Coliformes fecales	355 UFC/100mL

* TULAS., ANEXO 1, TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	COMPARACIÓN DE RESULTADOS		
a) Comparación	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	LÁMINA	ESCAL	FECHA
			7	1:1	16/05/15

ANEXO N° 8. ANÁLISIS ECONÓMICO

Detalle	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Total	Metros de Construcción	Costo
REJILLAS						
Marco de hierro	0,80	0,50	0,03	1,33	2,66	30,11
Barras de hierro	0,80	0,2	-	1,00	2,00	19,04
					4,66	49,15

Detalle	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor del material (m)	Total (m)	Metros de Construcción	Costo
SEDIMENTADOR PRIMARIO						
Pared	3,00	4,8	0,1	7,9	15,8	
Hormigón simple fc 210 kg /cm ²						
SEDIMENTADOR SECUNDARIO	3,00	4,2	0,1	7,3	14,6	
Hormigón simple fc 210 kg /cm ²					30,4	4873,62

Detalle	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor del material (m)	Total	Metros de Construcción	Costo
FLOCULADOR						
Paredes	2,00	3,36	0,1	5,46	10,92	1768,56
Paleta	1,5	0,05	0,02	1,57	3,14	315,16
Acero inoxidable						2083,72

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ANÁLISIS ECONÓMICO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Costos	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	8	1:1	16/05/15

ANEXO N° 9. INVERSIÓN TOTAL

a)

DETALLE	COSTO
Mano de obra de construcción e instalación hidráulica	3300
Válvulas y tubería	200
TOTAL	3500

b)

	Dosis (kg)	Costo unitario (\$)	Costo diario
COSTO POLI CLORURO DE ALUMINIO	30,46 kg/día	0,75	22.84

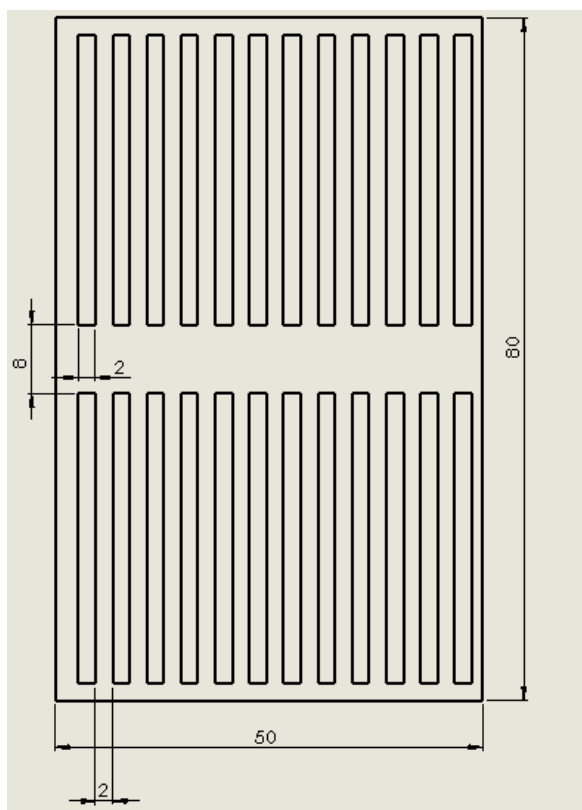
c)

PRESUPUESTO TOTAL APROXIMADO	
DETALLE	COSTO
Rejillas	49,15
Sedimentador primario y secundario	4873,62
Floculador	2083,72
Mano de obra de construcción e instalación hidráulica	3500
TOTAL	10506.49

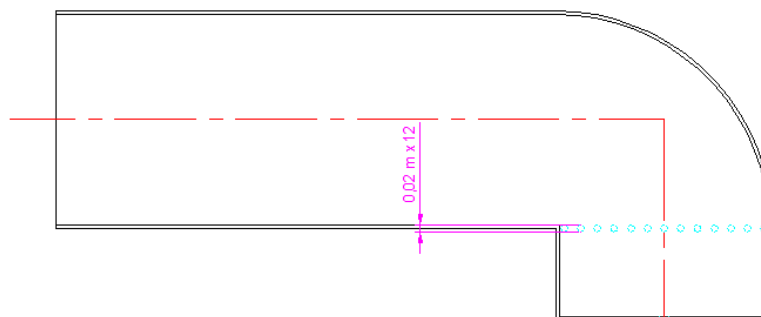
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ANÁLISIS ECONÓMICO TOTAL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Costo Total	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	9	1:1	16/05/15

ANEXO N° 10. DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL

a)

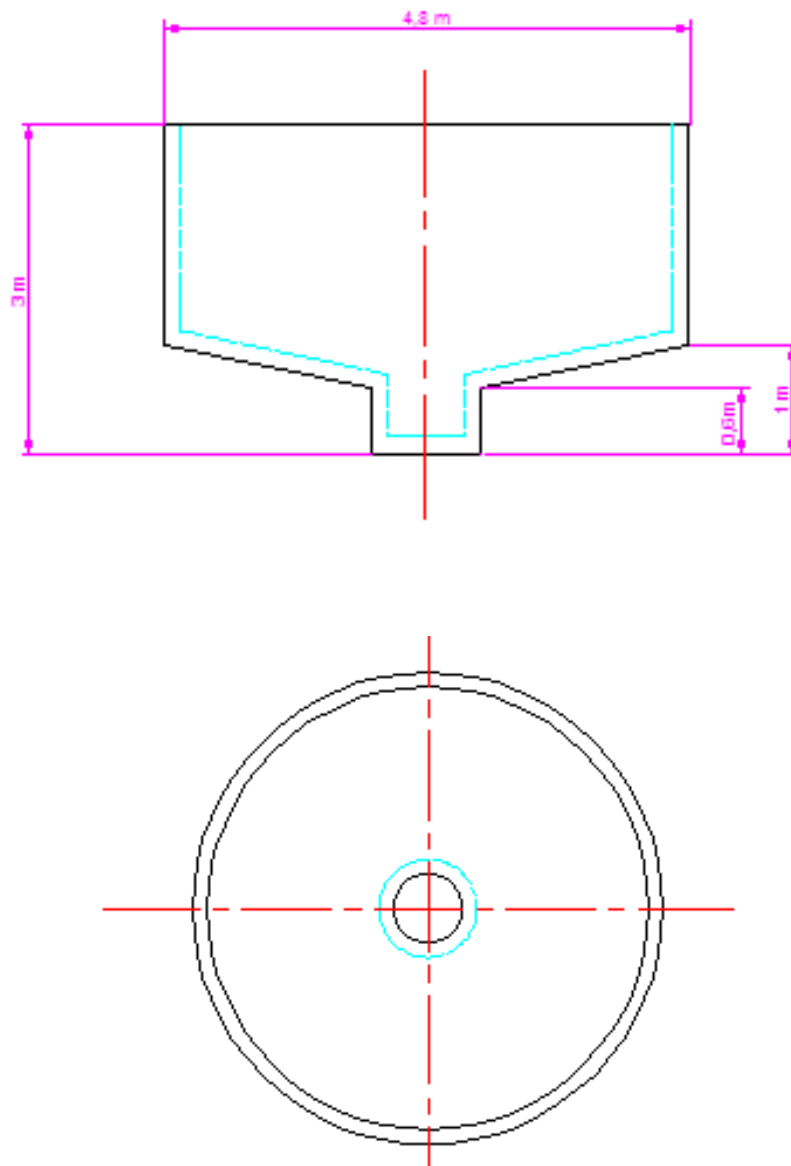


b)



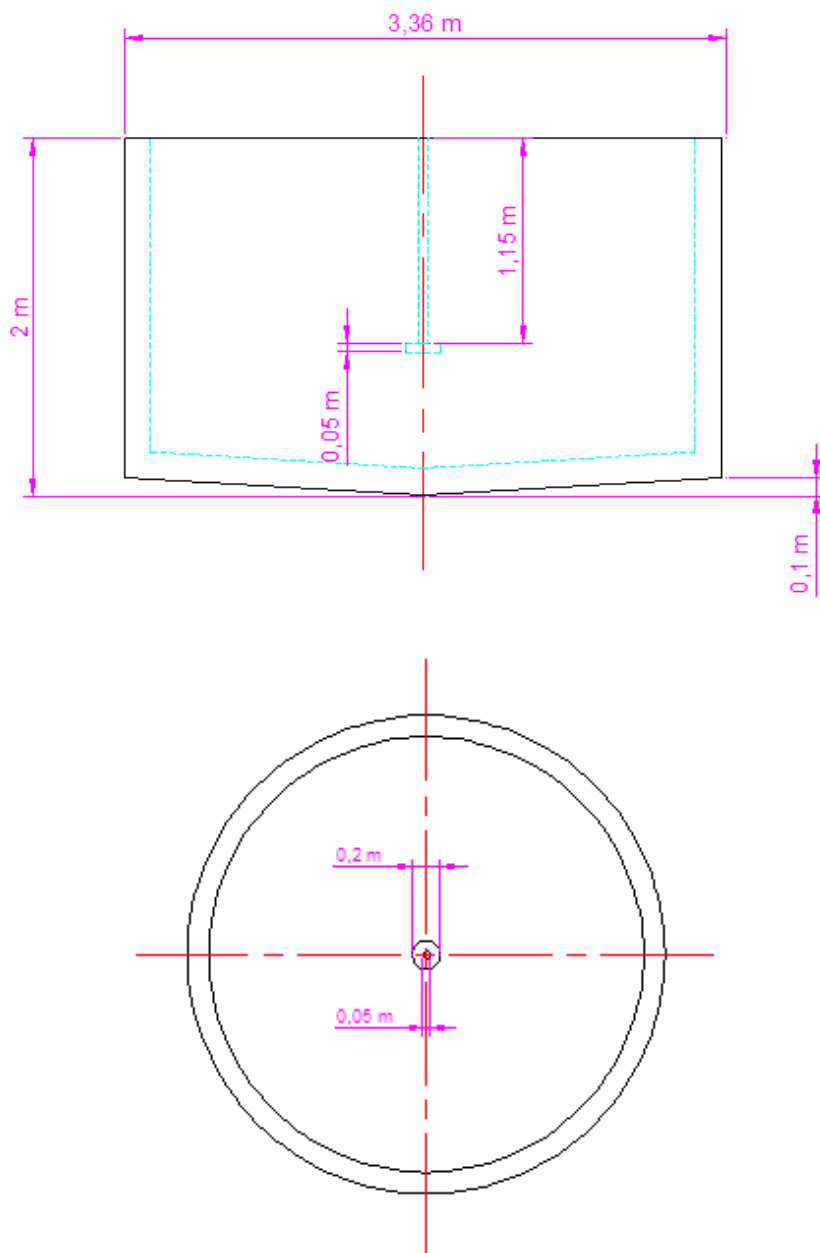
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CRIBADO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
<p>a) Rejillas</p> <p>b) Tubería</p>	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	10	2:1	17/05/15

ANEXO N° 11. DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO



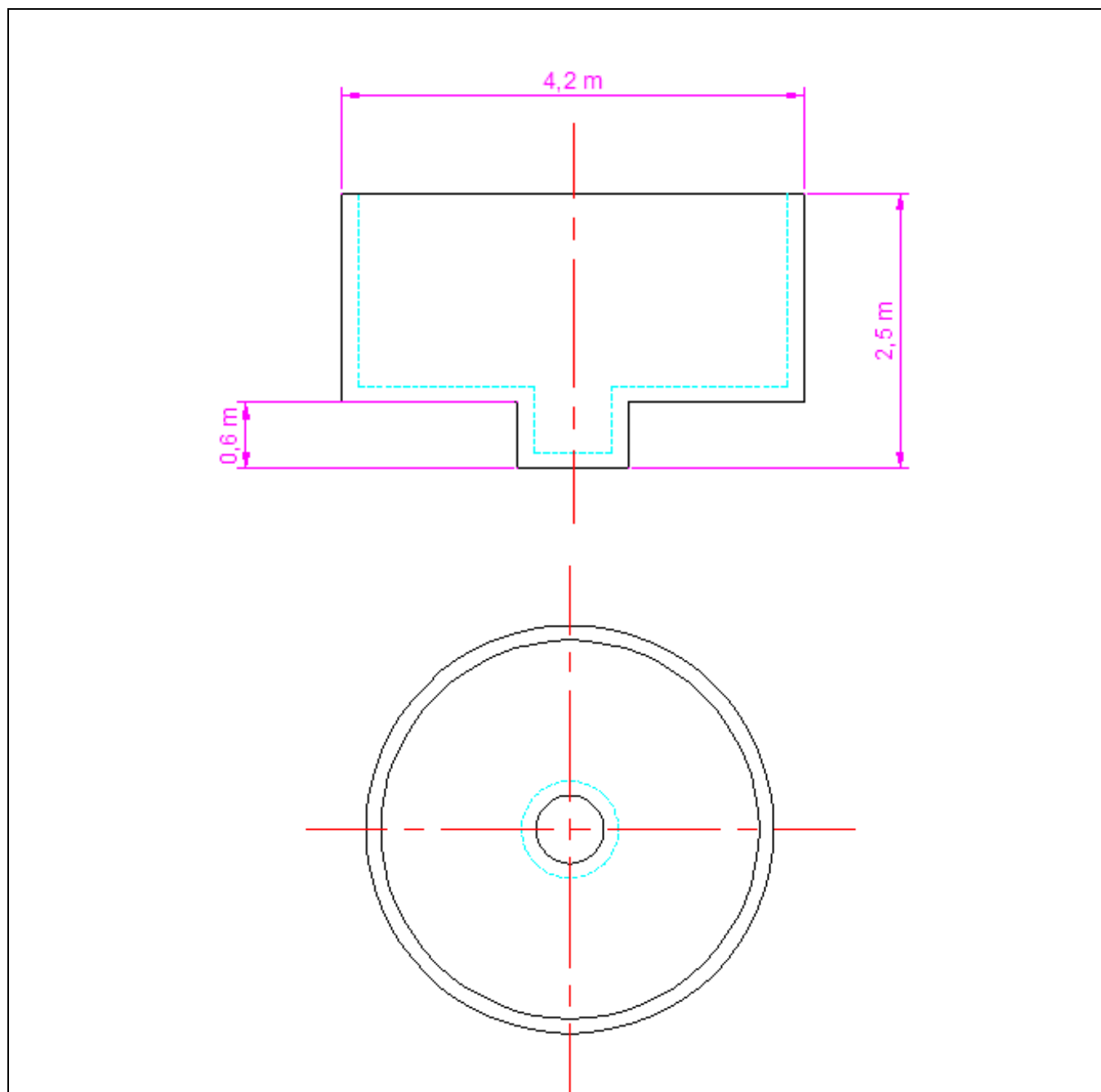
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SEDIMENTACIÓN PRIMARIA		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Sedimentador Primario	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS			
		ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	11	2:1	17/05/15

ANEXO N° 12. DIMENSIONAMIENTO DE FLOCULADOR



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	COAGUL- FLOCUL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Floculador	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA CALLAY XIMENA	12	2:1	17/05/15

ANEXO N° 13. DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SEDIMENTACIÓN SEC.		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Sedimentador Secundario	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA CALLAY XIMENA	13	2:1	17/05/15

ANEXO N° 14. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN GERARDO

