



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“REDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA EP-EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA  
POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE  
GUARANDA”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la Obtención del Título de:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTOR: RUTH NATALIA BUCAY VALDIVIEZO**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**2014**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por haberme otorgado la oportunidad de existir y ver realizado un proyecto más en mi vida.

A toda mi familia, quienes me han apoyado incondicionalmente en todo el transcurso de mi vida, especialmente a mi madre Elva Valdiviezo, quien me ha enseñado que hay que seguir a pesar de las dificultades que se presenten.

Al Ilustre Municipio del Cantón Guaranda y a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, especialmente al Ing. Raúl Allan por haberme brindarme la oportunidad de realizar este proyecto investigativo

A mi Director de Tesis Ing. José Usiña y a mi colaboradora Ing. Mónica Andrade, quienes aportaron sus valiosos conocimientos para la ejecución de este proyecto investigativo.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo está dedicado a toda mi familia, quienes cada día me han hecho ser una mejor persona.

A mis padres, Telmo Bucay y Elva Valdiviezo quienes nunca dejaron de apoyarme para lograr cumplir con una meta profesional.

A mis hermanos, Marcelo y Juan Carlos quienes con sus juegos y consejos me han ayudado a fortalecer mis debilidades personales.

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

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “ REDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EP-EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUARANDA” de responsabilidad de la señorita Ruth Natalia Bucay Valdiviezo ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. César Ávalos Infante	.....	.....
<b>DECANO FAC. CIENCIAS</b>		
Ing. Mario Villacrés	.....	.....
<b>DIRECTOR DE ESCUELA</b>		
Ing. José Usiña	.....	.....
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>		
Ing. Mónica Andrade	.....	.....
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		
<b>DIRECTOR CENTRO</b>	.....	.....
<b>DE DOCUMENTACIÓN</b>		

“Yo, Ruth Natalia Bucay Valdiviezo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en ésta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

%	Porcentaje
°C	Grados Centígrados
(aq)	Estado acuoso
A	Área
A.R.	Aguas Residuales
A1	Área de la Sección Transversal
Ab	Ancho de Barras
An	Ancho
b	Ancho del Canal
CH	Carga Hidráulica
CF	Coliformes Fecales
CT	Coliformes Totales
cm	Centímetro
D	Día
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
dm	Decímetro
dm <sup>3</sup>	Decímetro Cúbico
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EMAPAG	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda.
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
g	Gramo
g/ml	Gramo por mililitro
H	Altura
h	Horas
hab	Habitantes
hf	Pérdida de Carga
H <sub>2</sub> O	Agua
Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramos por metro cúbico
(l)	Estado Líquido
L	Litro
m	Metro

m/s	Metro por segundo
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mg	Miligramo
mg/L	Miligramo por litro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MO	Materia Orgánica
NH <sub>3</sub> - N	Nitrógeno Amoniaco
Pa	Población Actual
Pf	Población Final
pH	Potencial de Hidrógeno
ppm	Partes por millón
Q	Caudal
Q <sub>diseño</sub>	Caudal de Diseño
Q <sub>máx</sub>	Caudal Máximo Diario
Q <sub>mín</sub>	Caudal Mínimo Diario
Q <sub>p</sub>	Caudal punta
r	Índice de Crecimiento Anual
Rh	Radio Hidráulico
S	Pendiente
seg	Segundo
Sem	Semana
SD	Sólidos Disueltos
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
Trh	Tiempo de Retención Hidráulico
TUR	Turbiedad
UTN	Unidades técnicas neferométricas
v	Velocidad
vc	Velocidad Terminal

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

### CAPITULO 1

#### PARTE TEÓRICA

1. MARCO TEÓRICO.....	- 1 -
1.1 El Agua.....	- 1 -
1.1.1 Ciclo del Agua.....	- 1 -
1.2 Aguas Disponibles.....	- 2 -
1.2.1 Aguas Subterráneas.....	- 2 -
1.2.2 Agua Superficial.....	- 2 -
1.3 Agua Residual.....	- 4 -
1.3.1 Generalidades, definición, origen.....	- 4 -
1.3.2 Clasificación.....	- 4 -
1.4 Características de las Aguas Residuales.....	- 5 -
1.4.1 Colores generados por las aguas residuales.....	- 6 -
1.4.2 Olores generados por las aguas residuales.....	- 6 -
1.5 Tratamiento de Aguas Residuales.....	- 7 -
1.5.1 Definición.....	- 7 -
1.5.2 Tipos de tratamientos de aguas residuales.....	- 7 -
1.5.3 Etapas de tratamiento para las aguas residuales.....	- 9 -
1.6 Parámetros para el Control de la Calidad del Agua Residual.....	- 10 -
1.7 Rediseño.....	- 15 -
1.7.1 Determinación de la población futura para rediseño.....	- 15 -



1.7.2 Determinación de caudales.....	- 15 -
1.7.3 Sistemas de tratamiento.....	- 18 -
1.7.3.1 Pretratamiento.....	- 18 -
1.7.3.1.1 Cribado o rejillas .....	- 18 -
1.7.3.1.2 Desarenador.....	- 22 -
1.7.3.2 Tratamiento Primario.....	- 27 -
1.7.3.2.1 Floculación y coagulación.....	- 27 -
1.7.3.2.2 Sedimentador .....	- 34 -
1.7.3.3 Tratamiento Secundario.....	- 40 -
1.7.3.3.1 Filtración.....	- 40 -
1.7.3.3.2 Oxidación biológica .....	- 46 -
1.8 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACION AMBIENTAL SECUNDARIA (TULAS). .....	- 47 -
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	
2 REDISEÑO EXPERIMENTAL .....	- 50 -
2.1 Área de Estudio.....	- 50 -
2.2 Tipo de Estudio.....	- 50 -
2.3 Método de Recolección de Muestra .....	- 50 -
2.4 Procedimiento para la Recolección de Información.....	- 51 -
2.5 Metodología.....	- 51 -
2.5.1 Medición de caudales .....	- 52 -
2.6 Métodos y Técnicas .....	- 53 -
2.6.1 Métodos .....	- 53 -
2.6.1.1 Inductivo.....	- 53 -
2.6.1.2 Deductivo.....	- 54 -
2.6.1.3 Experimental.....	- 54 -
2.6.1.3.1 Estado Actual de la Planta.....	- 54 -
2.6.1.3.2 Procesos Existentes.....	- 54 -
2.6.2 Técnicas.....	- 57 -
2.7 Análisis .....	- 57 -

## **CAPITULO 3**

### **REDISEÑO**

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	- 66 -
3.1 Introducción.....	- 66 -
3.1.1 Población futura .....	- 66 -
3.1.2 Dotación de agua consumida a partir de la medición del caudal .....	- 67 -
3.1.3 Sistema de tratamiento .....	- 69 -
3.1.3.1 Pretratamiento.....	- 69 -
3.1.3.1.1 Rediseño del Cribado o Rejilla.....	- 69 -
3.1.3.1.1.1 Rediseño del canal.....	- 69 -
3.1.3.1.1.2 Rediseño de rejillas gruesos .....	- 70 -
3.1.3.1.1.3 Rediseño de rejillas finas.....	- 72 -
3.1.3.1.2 Rediseño del Desarenador Rectangular de F.H. ....	- 74 -
3.1.3.2 Tratamiento Primario.....	- 79 -
3.1.3.2.1 Dimensionamiento para la Coagulación - floculación .....	- 79 -
3.1.3.2.2 Rediseño del Sedimentador rectangular de F.H. ....	- 85 -
3.1.3.3 Tratamiento Secundario.....	- 92 -
3.1.3.3.1 Dimensionamiento del filtro lento biológico. ....	- 92 -
3.1.3.3.2 Rediseño del tanque de oxidación rectangular.....	- 94 -
3.2 Resultados.....	- 97 -
3.2.1 Resultados de la Caracterización Final del Agua Tratada.....	- 97 -
3.2.2 Resultados de las Pruebas de Tratabilidad .....	- 101 -
3.2.3 Resultados de Rediseño.....	- 107 -
3.3 PROPUESTA .....	- 114 -
3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	- 115 -

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 1

Figura 1. Ciclo del Agua.....	- 2 -
Figura 2. Canal abierto y vista del aliviadero lateral para el agua residual a la Planta. ...	- 18 -
Figura 3. Pre-tratamiento con rejillas de barra metálica paralelas e iguales.....	- 19 -
Figura 4. Pre-tratamiento con desarenador rectangular flujo horizontal .....	- 22 -
Figura 5. Floculador tipo circular y mecánico de eje vertical en paralelo.....	- 29 -
Figura 6. Tipos de sedimentadores: rectangulares.....	- 35 -
Figura 7. Filtro lento de arena.....	- 41 -
Figura 8. Oxidación Biológica en forma rectangular. ....	- 46 -

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPITULO 1

Tabla 1. Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas.....	- 3 -
Tabla 2. Color de las aguas residuales.....	- 6 -
Tabla 3. Olores característicos del agua y su origen.....	- 6 -
Tabla 4. Relación del DQO.....	- 14 -
Tabla 5. Información para el proyecto de rejillas de limpieza manual y mecánica. ....	- 20 -
Tabla 6. Tipo de rejillas. ....	- 20 -
Tabla 7. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación....	- 23 -
Tabla 8. Diseño para desarenadores rectangulares de flujo horizontal.....	- 25 -
Tabla 9. Concentración de arenas. ....	- 26 -
Tabla 10. Tipos de Coagulantes – Flocculantes. ....	- 28 -
Tabla 11. Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas. ....	- 30 -
Tabla 12. Parámetros de diseño para paletas. ....	- 31 -
Tabla 13. Valores usuales para procesos de tratamiento de agua residual. ....	- 32 -
Tabla 14. Valores de $C_D$ .....	- 33 -
Tabla 15. Velocidades terminales a caudal máximo.....	- 35 -
Tabla 16. Tiempos de retención para sedimentadores.....	- 36 -
Tabla 17. Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria.....	- 36 -
Tabla 18. Valores de las constantes empíricas a y b.....	- 37 -
Tabla 19. Tipos de filtros.....	- 41 -
Tabla 20. Ventajas y desventajas de los filtros lentos de arena.....	- 42 -
Tabla 21. Resumen del diseño de un filtro biológico lento de arena.....	- 45 -
Tabla 22. Cantidades de DBO. ....	- 47 -
Tabla 23. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	- 48 -

### CAPITULO 2

Tabla 24. Recolección de muestras.....	- 50 -
Tabla 25. Recolección de información. ....	- 51 -
Tabla 26. Resumen de la medición de caudal.....	- 52 -
Tabla 27. Caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual de la descarga, cuerpo receptor (días soleados) (horas pico) .....	- 58 -

Tabla 28. Caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual de la descarga (días lluviosos) (horas pico).....	- 59 -
Tabla 29. Prueba de jarras a turbiedad mínima en días soleados (hora pico).....	- 61 -
Tabla 30. Prueba de jarras a turbiedad promedio en días soleados (hora pico).....	- 62 -
Tabla 31. Prueba de jarras a turbiedad promedio en días lluviosos (hora pico).....	- 63 -
Tabla 32. Prueba de jarras a turbiedad máxima en días lluviosos (hora pico). .....	- 64 -

### **CAPITULO 3**

Tabla 33. Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (días soleados) (horas pico) .....	- 98 -
Tabla 34. Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (días lluviosos) (horas pico).....	- 99 -
Tabla 35. Caracterización química del nitrógeno total en días soleados. ....	- 101 -
Tabla 36. Caracterización química del bario en días soleados. ....	- 102 -
Tabla 37. Caracterización química del DBO <sub>5</sub> en días soleados. ....	- 102 -
Tabla 38. Caracterización química del DQO en días soleados. ....	- 103 -
Tabla 39. Caracterización química del nitrógeno total en días lluviosos. ....	- 104 -
Tabla 40. Caracterización química del bario en días lluviosos.....	- 104 -
Tabla 41. Caracterización química del DBO <sub>5</sub> en días lluviosos. ....	- 105 -
Tabla 42. Caracterización química del DQO en días lluviosos. ....	- 106 -
Tabla 43. Caracterización bacteriológica de coliformes fecales en días lluviosos..	- 106 -
Tabla 44. Resultados de la población futura.....	- 107 -
Tabla 45. Caudales a tratar. ....	- 108 -
Tabla 46. Comparación del canal de entrada y rejillas. ....	- 108 -
Tabla 47. Comparación del desarenador de tipo rectangular.....	- 109 -
Tabla 48. Dimensiones del floculador de tipo vertical. ....	- 110 -
Tabla 49. Comparación del sedimentador de tipo rectangular. ....	- 110 -
Tabla 50. Dimensiones de filtros lentos biológicos.....	- 112 -
Tabla 51. Comparación del tanque de oxidación rectangular.....	- 112 -
Tabla 52. Dosificación de las sustancias químicas. ....	- 113 -
Tabla 53. Costos de Sustancias químicas. ....	- 113 -

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

### CAPITULO 2

Gráfico 1. Control de las aguas residuales descargadas al Río Guaranda. ....	- 53 -
Gráfico 2. Canal de llegada.....	- 55 -
Gráfico 3. Rejillas Gruesas y finas. ....	- 55 -
Gráfico 4. Desarenadores paralelos rectangulares.....	- 56 -
Gráfico 5. Sedimentador Rectangular.....	- 56 -
Gráfico 6. Tanque de oxidación rectangular.....	- 57 -
Gráfico 7. Prueba de jarras a turbiedad mínima de 120,25 NTU. ....	- 62 -
Gráfico 8. Prueba de jarras a turbiedad promedio de 142,54 NTU. ....	- 63 -
Gráfico 9. Prueba de jarras a turbiedad promedio de 285,07 NTU. ....	- 64 -
Gráfico 10. Prueba de jarras a turbiedad promedio de 347,96 NTU. ....	- 65 -

### CAPITULO 3

Gráfico 11. Disminución del nitrógeno total en días soleados. ....	- 101 -
Gráfico 12. Disminución del bario en días soleados. ....	- 102 -
Gráfico 13. Disminución del DBO <sub>5</sub> en días soleados. ....	- 103 -
Gráfico 14. Disminución del DQO en días soleados.....	- 103 -
Gráfico 15. Disminución del nitrógeno total en días lluviosos.....	- 104 -
Gráfico 16. Disminución del bario en días lluviosos.....	- 105 -
Gráfico 17. Disminución del DBO <sub>5</sub> en días lluviosos. ....	- 105 -
Gráfico 18. Disminución del DQO en días lluviosos. ....	- 106 -
Gráfico 19. Disminución de coliformes fecales en días lluviosos.....	- 107 -

## ÍNDICE DE ECUACIONES

### CAPITULO 1

Ecuación 1.....	- 15 -
Ecuación 2.....	- 16 -
Ecuación 3.....	- 16 -
Ecuación 4.....	- 16 -
Ecuación 5.....	- 16 -
Ecuación 6.....	- 17 -
Ecuación 7.....	- 17 -
Ecuación 8.....	- 17 -
Ecuación 9.....	- 19 -
Ecuación 10.....	- 19 -
Ecuación 11.....	- 20 -
Ecuación 12.....	- 20 -
Ecuación 13.....	- 21 -
Ecuación 14.....	- 21 -
Ecuación 15.....	- 21 -
Ecuación 16.....	- 21 -
Ecuación 17.....	- 21 -
Ecuación 18.....	- 23 -
Ecuación 19.....	- 24 -
Ecuación 20.....	- 24 -
Ecuación 21.....	- 24 -
Ecuación 22.....	- 24 -
Ecuación 23.....	- 24 -
Ecuación 24.....	- 25 -
Ecuación 25.....	- 25 -
Ecuación 26.....	- 25 -
Ecuación 27.....	- 25 -
Ecuación 28.....	- 26 -
Ecuación 29.....	- 26 -
Ecuación 30.....	- 27 -

Ecuación 31.....	- 27 -
Ecuación 32.....	- 27 -
Ecuación 33.....	- 27 -
Ecuación 34.....	- 30 -
Ecuación 35.....	- 30 -
Ecuación 36.....	- 30 -
Ecuación 37.....	- 30 -
Ecuación 38.....	- 30 -
Ecuación 39.....	- 31 -
Ecuación 40.....	- 31 -
Ecuación 41.....	- 31 -
Ecuación 42.....	- 31 -
Ecuación 43.....	- 32 -
Ecuación 44.....	- 32 -
Ecuación 45.....	- 32 -
Ecuación 46.....	- 33 -
Ecuación 47.....	- 33 -
Ecuación 48.....	- 34 -
Ecuación 49.....	- 34 -
Ecuación 50.....	- 36 -
Ecuación 51.....	- 37 -
Ecuación 52.....	- 37 -
Ecuación 53.....	- 37 -
Ecuación 54.....	- 37 -
Ecuación 55.....	- 37 -
Ecuación 56.....	- 38 -
Ecuación 57.....	- 38 -
Ecuación 58.....	- 38 -
Ecuación 59.....	- 38 -
Ecuación 60.....	- 39 -
Ecuación 61.....	- 39 -
Ecuación 62.....	- 39 -
Ecuación 63.....	- 39 -



Ecuación 64.....	- 39 -
Ecuación 65.....	- 39 -
Ecuación 66.....	- 44 -
Ecuación 67.....	- 44 -
Ecuación 68.....	- 44 -
Ecuación 69.....	- 44 -
Ecuación 70.....	- 45 -
Ecuación 71.....	- 45 -
Ecuación 72.....	- 47 -
Ecuación 73.....	- 47 -
Ecuación 74.....	- 47 -
Ecuación 75.....	- 47 -

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTE: RECURSO AGUA .....	- 116 -
ANEXO II	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	- 116 -
ANEXO III	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA DEL RIO GUARANDA DEL SECTOR DE MARCOPAMBA .....	- 116 -
ANEXO IV	PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS .....	- 116 -
ANEXO V	EQUIPO DE FLOCULACIÓN - PRUEBA DE JARRAS.....	- 116 -
ANEXO VI	PRESUPUESTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO	
ANEXO VII	PLANOS PROPUESTOS	

## RESUMEN

Se rediseño la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales ubicado en Marcopamba, sector de la ciudad San Pedro de Guaranda, Provincia de Bolívar. Para evitar el aumento de condiciones insalubres de los ciudadanos que viven cerca o a expensas de una fuente de contaminantes y garantizar una armonía entre el medio ambiente y el ser humano.

Al evaluar de forma superficial, una instalación que no está funcionando actualmente y cuyas descargas al Rio Guaranda no han sido descontaminadas, se efectuó caracterizaciones físicas, químicas y bacteriológicas durante 15 días en el Laboratorio de Control de Calidad del Sistema de Tratamiento de Agua Potable “CHAQUISHCA” Cantón Guaranda. Se recogió 250 mL de muestra del agua residual y empleando las Técnicas del Manual de Métodos HACH, se descubre que el bario, nitrógeno total, DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes fecales están fuera de la Norma TULAS. Con estos resultados se aplica la prueba de jarras, el cual proporciona las dosificaciones necesarias de las sustancias PAC, CHEMFLOC y Cal. Los procesos que posee la planta de tratamiento tienen serios inconvenientes; comenzando desde las rejillas, cuyos atascamientos continuos han disminuido la eficiencia; en el desarenador y sedimentador, el caudal de la planta no es abarcado totalmente.

El rediseño de la planta consiste en adquirir un nuevo sistema de rejillas que retendrán un 95% de sólidos; el desarenador y sedimentador, serán ampliados para abastecer en un 90% el caudal disminuyendo la formación de depósitos pesados; la filtración y oxidación biológica, disminuirán los contaminantes de la fuente hidrológica en un 85% reutilizándola como agua de riego para la productividad agrícola.

Aplicando este rediseño en toda la planta de tratamiento de aguas residuales, cambiará significativamente la calidad de vida de los habitantes. Se recomienda aplicar e implementar sistemas de tratamientos de agua residuales que mejorarán en un 100% al equilibrio de todo el medio ambiente.

## SUMMARY

Was redesigned the wastewater treatment plant in Marcopamba at San Pedro in Guaranda city of Bolivar province. To avoid increasing the unhealthy conditions of citizens who live near or at the expense of source pollutants and ensure harmony between the environment and humans.

The superficial assess of a plant that is not currently working and which discharges to Guaranda River have not been unpolluted, physical, chemical and biological characterization was performed for 15 days in the laboratory quality control system of potable water CHAQUISHCA, in Guaranda Canton. Was collected 250 mL of wastewater and applying the techniques of HACH methods (manual of water treatment), find out that the barium, total nitrogen, DBO<sub>5</sub> (biochemical Oxygen Demand for 5 days), DQO (chemical oxygen demand) and fecal coliforms are outside from the TULAS Standard (unified text of the Secondary Environmental Legislation). With these results apply the jar test, which provides the necessary dosages of PAC (poly aluminum chloride), CHEFLOM and lime substances.

The processes of the treatment plant have serious drawbacks; starting from the grids, whose continuous bindings have reduced efficiency; in the settler and the sand remover, the flow of the plant is not fully covered.

The redesigning of the plant is to acquire a new grid system that will retain a 95% of solids; the settler and the sand remover will be extended to provide a 90% flow decreasing the formation of heavy deposits; filtration and biological oxidation, will decrease pollutants hydrological source in 85% reusing as irrigation water to agricultural productivity.

Applying this redesign throughout wastewater treatment plant, significantly change the quality of life for people. Thus is recommended to apply and implement wastewater treatments systems that will improve in 100% to the balance of the whole environment.

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de un adecuado suministro de agua es esencial para la conservación de la vida, así como para la mayoría de procesos industriales y la agricultura. El grado de pureza necesario para el agua varía substancialmente según el uso a que se destine. En sus orígenes es pura, prácticamente destilada; en su ciclo por la tierra se carga de elementos que pueden ser favorables o perjudiciales.

Actualmente en el Cantón Guaranda no existe ningún tratamiento adecuado para la captación de las aguas residuales, lo que provoca una contaminación constante al Río Guaranda que se encuentra ubicado en el lado oriental de la ciudad, la misma que tiene una pendiente con una diferencia de 290 m de Oeste a Este, en sentido transversal.

El origen de estas aguas residuales se relaciona con los hábitos de la vida vigente, cuando un producto de desecho se incorpora al agua, esto trae grandes problemas al ambiente y a la salud de las personas adyacentes al lugar de procedencia.

En nuestros días el desabastecimiento del agua se ha incrementado de una manera preocupante, a lo cual se debe el crecimiento urbano; la intensificación en los cultivos; al consumo extremo del agua relacionado al estilo de vida; o por variaciones climáticas.

Las aguas residuales aunque pueden ser nocivas para la salud, en general son sustancias que se pueden identificar fácilmente utilizando caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas con el fin de conocer el grado de contaminación desde la descarga hasta las aguas abajo del cauce.

Cuando un vertido de agua residual sin tratar llega a un cauce produce efectos negativos tales como: la acumulación de sólidos en suspensión sedimentables en el fondo y a orillas del cauce (arenas y materia orgánica). Tapiza la vegetación de las riberas con residuos sólidos gruesos que lleva el agua residual (plásticos, utensilios, restos de alimentos). El consumo del oxígeno disuelto que tiene el cauce por descomposición de la materia orgánica y compuestos amoniacales del agua residual.

La formación de malos olores por agotamiento del oxígeno disuelto del cauce que no es capaz de recuperarse. La entrada en el cauce de grandes cantidades de microorganismos provocando un número elevado de patógenos existentes. Y el aumento de la eutrofización al portar grandes cantidades de fósforo y nitrógeno.

Por ende en el Ecuador ya se están tomando medidas correctivas contra este impacto que se genera en el ambiente. Algunas ciudades están tomando iniciativas que impulsan áreas investigativas como metodológicas, que ayudaran a contrarrestar el daño que las aguas residuales ocasionan de forma directa o indirectamente a los elementos que necesitamos para poder sobrevivir como es el suelo y la atmosfera.

La EP-Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Guaranda, ha decidido realizar un Rediseño de la Planta de Tratamiento para aguas residuales para este Cantón, con la finalidad de reducir los impactos que pueda generar la descarga de aguas sin un previo tratamiento.

El rediseño y dimensionamiento que se establecerá para esta Planta de Tratamiento, se argumenta principalmente en las necesidades que la población presentara a lo largo de un periodo posterior a diez y seis años.

## ANTECEDENTES

La provincia de Bolívar se encuentra situada en la cordillera occidental de los Andes. La Provincia de Bolívar se llama así en honor al Libertador Simón Bolívar. Posee una extensión de 3.254 km<sup>2</sup>, lo que lo convierte en una de las provincias más pequeñas del Ecuador. No tiene elevaciones importantes, a excepción del Volcán Chimborazo que se encuentra parcialmente en esta provincia.

La capital de la provincia es Guaranda, conocida también como la "Ciudad de las Siete Colinas" y "Ciudad de los Eternos Carnavales". Se encuentra a una altitud de 2.668 msnm con una población 183.641 y se divide en 7 cantones: Caluma, Chillanes, Chimbo, Echeandia, Guaranda, Las Naves, San Miguel.

La problemática que surge en el cantón Guaranda, es que no cuenta actualmente con el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales; la misma que ha ocasionado serios inconvenientes en el vivir social.

Hoy en día, las aguas evacuadas han contaminado algunas fuentes de aguas superficiales que sirven para el abastecimiento de la población; además, la acumulación de aguas servidas ha contribuido a la proliferación de moscas causantes de enfermedades gastrointestinales, entre otras.

La situación es preocupante debido al aumento de la población, lo que ha deteriorado las condiciones de salubridad de la ciudad. La disposición final de las excretas, representa otra situación delicada pues el no disponer de un tratamiento de aguas residuales, constituye altos niveles de contaminación.

Con este estudio, se propone tratar a las aguas residuales y reformar la calidad de vida de todos los habitantes del cantón Guaranda.

## **JUSTIFICACION DEL PROYECTO DE TESIS**

El cantón Guaranda no cuenta con un sistema de tratamiento de agua residual completo, el mismo que ha provocado en sus habitantes alteraciones en su vivir cotidiano, también se ha visto afectado las zonas productivas del sector debido a la disminución de fertilidad agrícola por causa del agua en condiciones insalubres.

El cantón Guaranda requiere un sistema de tratamiento de aguas residuales no solo para controlar posibles riesgos de salud sino para reutilizarla como agua de riego para zonas productivas del sector otorgando un servicio ambiental, asegurando su sustentabilidad en días donde la falta de agua es cada vez más severa por la disminución y contaminación.

El Gobierno Municipal del Cantón Guaranda se ha interesado en rediseñar una Planta de Tratamiento para el Agua residual, con el fin de mejorar el nivel de vida de sus pobladores y minimizar los impactos ambientales causados por las descargas directas de las aguas residuales.

La realización de este proyecto beneficiara a todo el cantón Guaranda, también al medio ambiente que lo rodea. Al profundizar los conocimientos adquiridos se logrará conocer los tipos de tratamientos que serán utilizados para el manejo de dichas aguas residuales, cuya finalidad ha sido la búsqueda de soluciones a los problemas que aquejado a toda la ciudadanía de manera social y económica.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Rediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para EP-Empresa municipal de agua potable y alcantarillado de la Ciudad de Guaranda.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Monitorear las fuentes de acumulación de aguas residuales.
- Caracterizar el estado actual del agua mediante análisis químico- físico y microbiológico
- Plantear alternativas para el tratamiento del agua residual en base a la caracterización realizada
- Determinar las variables a utilizarse en el rediseño de la planta de tratamiento
- Realizar la caracterización del agua luego del tratamiento

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 El Agua

“Químicamente, su molécula tiene un marcado carácter polar, lo que explica que, a su diferencia de lo que ocurre en la mayoría de las sustancias, el agua en estado sólida (hielo) sea menos densa que un estado líquido y que su constante dieléctrica sea elevada; estas características químicas son esenciales para permitir la vida en la Tierra.

Líquido formado por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno formando un ángulo de 104,5°. Es inodoro, insípido, incoloro en cantidad pequeña. Refracta la luz, disuelve muchas sustancias, se solidifica por el frío y se evapora por el calor. En estado más o menos puro forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares. Ocupa las tres cuartas partes de la superficie del globo y constituye el 50-70% de los organismos vivos. El agua es un componente esencial de la estructura y el metabolismo de los seres vivos. Además, es el compuesto más abundante en nuestro planeta. El agua puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación, circulación. De lo contrario es un recurso no renovable en una localidad determinada.”<sup>1</sup>

#### 1.1.1 *Ciclo del Agua*

“El calentamiento que provocan los rayos del sol en los océanos, produce **evaporación**. El vapor de agua sube por causa de los vientos y las corrientes de aire cálido (ascendente). Parte del vapor de agua se **condensa** y regresa directamente al océano en forma de **lluvia** y a la tierra en forma de lluvia o nieve **precipitación**.”<sup>2</sup>

“La **Infiltración** es el agua que cae llega hasta el suelo y penetra en él a través de sus poros, pasando a ser subterránea. Parte del agua caída es utilizada directamente por las

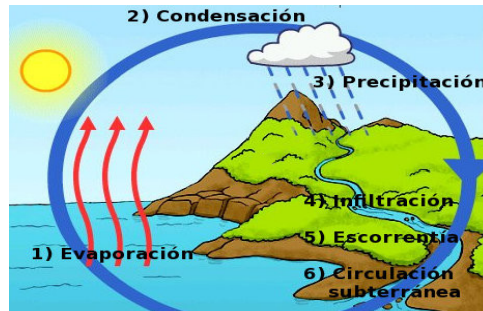
---

<sup>1</sup> GRUPO EDITORIAL. 1996. OCEANO UNO COLOR DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO, pp. 38 – 39

<sup>2</sup> GRUPO GLASA. 2000. EGB Enciclopedia General Básica Temática Ilustrada, Pp. 59 – 60

plantas o a veces por las personas. La **Escorrentía** es el agua que se desliza a través de la superficie, pero bajo el suelo. La forma de desplazamiento depende del tipo de suelo y finalmente la **Circulación subterránea** es el agua que se sigue desplazando bajo la tierra y es absorbida por las raíces de la vegetación o va a parar a distintas masas de aguas como mares o ríos, reiniciando el ciclo.”<sup>3</sup>

**Figura 1.** Ciclo del Agua



Fuente: Imagen de [www.ecologiahoy.com](http://www.ecologiahoy.com)

## 1.2 Aguas Disponibles

### 1.2.1 Aguas Subterráneas

“El agua subterránea son aquellas que se sumergen en la tierra y se emergen en forma de manantiales o que se sacan mediante pozos, tiros o galerías filtrantes. Son susceptibles a contaminación, especialmente durante periodos de fuertes precipitaciones, en los que pueden enturbiarse considerablemente y aún contaminarse por la influencia de la capa freática de algún río próximo. La contaminación puede proceder también del suelo, debido a fenómenos naturales o causada por el hombre.

### 1.2.2 Agua Superficial

El agua superficial son aquellas que se colectan o fluyen por la superficie para formar lagos, lagunas, ríos, arroyos o canales. El crecimiento de organismos es común en las

---

<sup>3</sup> Ecología y Medio Ambiente. 30/09/2013. Ciclo del agua.

aguas superficiales, y frecuentemente le imparten sabores y olores objetables. Los defectos de las aguas superficiales son más aparentes que en las aguas subterráneas. Es importante saber la composición de cada una de las aguas para así determinar un tratamiento óptimo. Las diferencias son:”<sup>4</sup>

**Tabla 1.** Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas.

<b>Características Examinadas</b>	<b>Aguas Superficiales</b>	<b>Aguas Subterráneas</b>
Temperatura	Variable, según las estaciones del año.	Relativamente constante.
Turbiedad, materias en suspensión	Variable, a veces elevada.	Bajas o nulas.
Mineralización	Variable en función de los terrenos, precipitaciones, vertidos, etc.	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en las aguas de superficie de la misma región.
Hierro y Magnesio divalentes (en estado disuelto)	Generalmente ausente, salvo en el fondo de cauces de agua, en estado de eutrofización.	Generalmente presente.
Gas carbónico agresivo	Generalmente ausente.	Normalmente presente en gran cantidad.
Oxígeno Disuelto	Normalmente próximo a saturación ente próximo.	Ausencia total en la mayoría de los casos.
Amoniaco	Presente solo en aguas contaminadas.	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación.
Sulfuro de Hidrógeno	Ausente	Normalmente presente.
Elementos vivos	Bacterias (algunas de ellas patógenas), virus, plancton	Frecuentes ferro bacterias

Fuente: Guerrero J. (1991). *Manual de Tratamiento de Aguas.*

<sup>4</sup> ESKEL, Nordell. 2003. Tratamiento de agua para la industria y otros usos, Pp. 48 – 50

## 1.3 Agua Residual

### 1.3.1 Generalidades, definición, origen

“El concepto de aguas residuales o agua servida designa como: una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fabricas e instituciones combinadas con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente.

Las aguas residuales de una forma u otra, ya sea, directa o indirectamente han sido contaminadas. Directas por su utilización en diversas actividades o indirectas por la llegada a cuerpos receptores (río, lagos y otros) de aguas ya contaminadas especialmente con materia fecal y orina de seres humanos o de animales.

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigente. Todavía existen muchos pueblos y ciudades de nuestro país que vierten sus aguas residuales directamente a los ríos, sin depurarlas. Esta conducta ha provocado que la mayoría de los seres vivos que vivían en esos ríos hayan desaparecido.

### 1.3.2 Clasificación

De acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- **Domésticas:** son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.
- **Aguas lluvias (ALL):** son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Los primeros flujos de ALL son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas, rurales, semi

rurales y aún dentro de estas zonas se presentan enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga.

- **Residuos líquidos industriales (RLI):** son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes en industrias diferentes. Los RLI pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados, etc, su composición refleja el tipo de materias primas utilizado dentro del proceso industrial.
- **Aguas residuales agrícolas (ARA):** son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.”<sup>5</sup>

#### 1.4 Características de las Aguas Residuales

“Los contaminantes presentes en las aguas residuales son generalmente mezclas complejas de compuestos orgánicos e inorgánicos originados de flujos domésticos o industriales, de agua de lluvia o infiltración del agua subterránea.

Las aguas residuales domesticas están conformadas principalmente de agua (99.9%) junto con concentraciones relativamente pequeñas de solidos suspendidos orgánicos e inorgánicos. Entre las sustancias orgánicas presentes están los carbohidratos, grasas, jabones, detergentes sintéticos, proteínas y sus productos de descomposición, así como varios químicos orgánicos sintéticos y naturales provenientes de los procesos industriales. En términos generales podemos decir que las aguas residuales poseen algunas características como:

- Líquido turbio
- Color amarillo a gris
- Olor séptico
- Heces, residuos vegetales, papel, plásticos
- Flujo en la alcantarilla: variable

---

<sup>5</sup> METCALF & EDDY. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización, pp. 289

### 1.4.1 Colores generados por las aguas residuales

El color aparente en aguas residuales es causado por los sólidos en suspensión. El color verdadero es causado por material coloidal y sustancias disueltas. El color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual según el siguiente cuadro.

**Tabla 2.** Color de las aguas residuales.

<b>Color</b>	<b>Característica del agua</b>
Café claro	Agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga
Gris claro	Agua que ha sufrido algún grado de descomposición Agua que ha permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección
Gris oscuro o negro	Agua séptica que han sufrido una fuerte descomposición bacterias bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno)

Fuente: López M (2009)

### 1.4.2 Olores generados por las aguas residuales

Los olores característicos de las aguas residuales son causados por los gases formados en el proceso de descomposición anaerobia. Principales tipos de olores:

**Tabla 3.** Olores característicos del agua y su origen.

<b>NATURALEZA</b>	<b>ORIGEN</b>
Olor balsámico	Flores
Dulzor	Coelosphaerium
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H <sub>2</sub>
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas

(Continuación)

Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: ROMERO, J., *Tratamiento de aguas residuales*.

## 1.5 Tratamiento de Aguas Residuales

### 1.5.1 Definición

“El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para constituir los así llamados tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado). Se conocen como operaciones unitarias a los métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos; y como procesos unitarios a los métodos que la eliminación de los contaminantes se realizan en base de procesos químicos o biológicos.

Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y bombas a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, como estatales (regulaciones y controles).

### 1.5.2 Tipos de tratamientos de aguas residuales



### *a) Físicos*

Los efluentes industriales que contienen elementos insolubles en suspensión son sometidos a tratamientos físicos para separarlos, evitando de esa forma que contaminen o dificulten posteriores etapas del tratamiento. Las sustancias más comunes que se suelen encontrar en el efluente son:

- Materias grasas flotantes: grasas, aceites, hidrocarburos alifáticos, alquitranes, etc.
- Sólidos en suspensión: Arenas, óxidos, pigmentos, fibras, etc.

Los tratamientos físicos más comunes son:

- Sedimentación. Flotación: Natural o provocada con aire.
- Filtración: Con arena, carbón, cerámicas, etc.
- Adsorción: Con carbón activo, zeolitas, etc.
- Extracción: Con líquido disolvente que no se mezcla con el agua.

### *b) Químico*

Cuando los contaminantes están disueltos, se recurre a tratamientos químicos para precipitarlos, neutralizarlos, oxidarlos o reducirlos, según corresponda. A continuación se enumeran los principales tratamientos y cuándo se aplica cada uno:

- **Precipitación química:** Eliminación de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de lechada de cal, hidróxido sódico u otros que suben el pH.
- **Coagulación / floculación:** Agregación de pequeñas partículas usando coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio, poli-electrolitos, etc.)

### *c) Biológicos*

Este tipo de tratamiento se basa en el uso de microbios que descomponen y asimilan las sustancias presentes en el efluente. Así tenemos a los lodos activados.

- **Lodos activados:** se efectúan en grandes estanques, que debe contar con agitación y aireación adecuada con una suspensión de microbios formando un barro o lodo activado. Se agrega el agua contaminada y los microorganismos van descomponiendo los contaminantes en sustancias simples, o asimilando otras sustancias en su interior. Luego se efectúa una decantación para separar los lodos, obteniendo agua tratada y parte de los lodos se envían de nuevo al estanque. También se suelen agregar nutrientes para promover la actividad de los lodos. Los más avanzados utilizan oxígeno puro en un sistema hermético y con una campana se extraen los gases producidos.

Este tratamiento es adecuado, para aguas residuales con alto contenido de materias orgánicas, pero no están limitados a ellas. Se conocen bacterias capaces de asimilar **metales pesados y fosfatos**. De hecho, casi cualquier residuo puede ser descompuesto mediante algas o bacterias adecuadas, ya sean naturales u obtenidas artificialmente por ingeniería genética.

### ***1.5.3 Etapas de tratamiento para las aguas residuales***

El tratamiento que se dará a las aguas residuales, nos servirá para disminuir sus contaminantes y de esta manera obtener un mayor grado de purificación. El grado de tratamiento requerido para el agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. Las etapas para un tratamiento de aguas residuales son:

- a) ***Pre-tratamiento.***- es aquel que busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejas, tamices o cribas, desarenadores y desengrasadores.
- b) ***Tratamiento primario físico-químico.***- busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química.
- c) ***Tratamiento secundario o tratamiento biológico.***- se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos. Suele aplicarse tras los anteriores. Consisten

en la oxidación aerobia de la materia orgánica o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen fangos en mayor o menor medida que, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final.

- d) *Tratamiento terciario, de carácter físico-químico o biológico.*- desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente pueden lograr un agua apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización (reciclaje de efluentes).”<sup>6</sup>

## 1.6 Parámetros para el Control de la Calidad del Agua Residual

### - Color, Olor y Sabor

“El agua residual puede tener un color grisáceo pero al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente a gris oscuro, y finalmente adquirir un color negro, que suele clasificarse al agua residual como séptica.

El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que a lo que huele, sabe el agua. La presencia de olor a sulfuro de hidrógeno (huevo podrido) indica una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua residual. Tanto el sabor como el olor pueden describirse cualitativamente. Los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo del sabor solo se lo debe hacer en muestras seguras para el consumo humano.

### - Dureza

También llamada grado hidrotimétrico, la dureza corresponde a la suma de las concentraciones de cationes metálicos excepto los metales alcalinos y el ion hidrógeno.

---

<sup>6</sup> ROMERO, J. 2002. Tratamiento de aguas residuales, pp. 17; 20 – 45.

En la mayoría de los casos se debe principalmente a la presencia de iones calcio y magnesio, y algunas veces también se unen hierro, aluminio, manganeso y estroncio.

#### - **Densidad**

La densidad de un agua residual se define como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Es una característica física importante del agua residual, dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua limpia a la misma temperatura.

#### - **Sólidos**

Se define como sólidos a toda la materia que permanece como residuos excepto el agua contenida en los materiales líquidos y semilíquidos que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales entre otras.

**Sólidos Totales (ST).**- El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Denominado también como residuo total después de realizar su determinación.

**Sólidos Suspendidos.**- Porción de sólidos suspendidos retenidos en un filtro.

**Sólidos Sedimentables.**- Porción de sólidos en suspensión que se sedimentaran por acción de la gravedad en un periodo determinado.

#### - **Turbidez**

La turbidez como medida de las propiedades de transmisión de luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de agua vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

## - **Alcalinidad y Acidez**

La alcalinidad se define como la capacidad para neutralizar ácidos, su capacidad de aceptar protones, y reaccionar con iones de hidrogeno; está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. La determinación de la alcalinidad total es importante en procesos de coagulación química, cuyas sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados de hidróxidos insolubles.

Para que ocurra una coagulación completa es necesario un exceso de alcalinidad; además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor.

La acidez del agua puede definirse como la capacidad de neutralizar bases, reaccionar con iones hidroxilo, ceder protones. La acidez más común en el agua es el CO<sub>2</sub> (gas incoloro, ligeramente soluble en agua) el mismo que puede estar disuelto por reacciones coagulantes químicos usados en tratamientos, oxidación de materia orgánica o por disolución del dióxido de carbono atmosférico.”<sup>7</sup>

## - **Metales pesados**

Como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a nivel traza, de muchos metales. Entre ellos podemos destacar el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe), y el mercurio (Hg). Muchos de estos metales están catalogados como contaminantes prioritarios.

Algunos de ellos son imprescindibles para el desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas, debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferiría con gran número de los usos de agua. Es por ello que resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias.

---

<sup>7</sup> [IBIDEN] 5. PAGINA 508 – 515

## - **Tensoactivos**

“O agentes de actividad superficial, son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua) y uno fuertemente hidrofílico (soluble en agua). Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza. Los tensoactivos tienden a acumularse en la interface aire-agua y pueden causar la aparición de espumas en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La determinación de elementos tensoactivos se realiza por el análisis de cambio de color de una muestra estándar de azul de metileno, llamado así sustancias activas al azul de metileno (SAAM). A partir de la legislación de 1965, los alquil benceno sulfonatos (ABS) han sido reemplazados dentro de la composición de los detergentes por alquil sulfonatos lineales (ASL), los cuales son biodegradables.

## - **Nitrógeno**

Debido a que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteína, se necesita conocer datos sobre la presencia de este nutriente para establecer el grado de descomposición del agua residual; las formas oxidadas pueden tomarse como una medida del grado de oxidación mediante procesos biológicos. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico, el mismo que se determina por el método de Kjeldahl.”<sup>8</sup>

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

“Parámetro analítico que mide la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente la materia orgánica utilizando oxidantes químicos como el dicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$ ) con ácido sulfúrico a 150°C durante 2 horas. El resultado se expresa en cantidad de oxígeno (mg/l). La oxidación completa, valora la materia orgánica y también la inorgánica. Por eso  $DQO > DBO$ .

---

<sup>8</sup> CRITES, R. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones, pp. 121 – 132

**Tabla 4.** Relación del DQO.

<b>Relación</b>	<b>Significado</b>
<b>&gt; 0,5</b>	Agua residual tratable biológicamente.
<b>0,5 - 0,2</b>	Agua residual moderadamente tratable biológicamente.
<b>&lt; 0,2</b>	Agua residual no biodegradable.

*Fuente: Metcalf & Eddy, 1996*

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

El DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos especialmente bacterias consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra, bajo condiciones aerobias y el resultado se expresa en mg de O<sub>2</sub>/l de agua tratada. Determina la concentración de la materia orgánica en el ensayo de DBO 5 días a Temperatura de 20°C en oscuridad y con agitación. En 5 días se elimina 60-70% de la materia orgánica, la degradación total requeriría 20 a 28 días.”<sup>9</sup>

- **Coliformes**

“Coliforme significa con forma de coli. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. Por su amplia diversidad el grupo coliformes ha sido dividido en dos grupos:

Bacterias Coliformes Totales, comprende la totalidad del grupo y se encuentran comúnmente en el medioambiente (Por ejemplo, en el suelo y las plantas) y generalmente no causan problemas.

Bacterias Coliformes Fecales, es un subgrupo de bacterias coliformes totales de origen intestinal, y tiene el potencial de causar enfermedades.”<sup>10</sup>

<sup>9</sup> [IBIDEN] 5. PAGINA 538 – 551.

<sup>10</sup> División de salud de Carolina del Norte. 2009. BACTERIAS COLIFORMES EN LOS POZOS DE AGUA PRIVADA PÚBLICA.

## 1.7 Rediseño

El rediseño consiste en evaluar los procesos existentes en una planta de tratamiento de aguas residuales; para ello se debe volver a diseñar o implementar nuevos procesos, cuya finalidad es nivelar las diferencias que atraigan resultados no deseados.

### 1.7.1 *Determinación de la población futura para rediseño*

Para realizar un rediseño de una planta de tratamiento de agua residual, primero proyectaremos hacia una población futura, de acuerdo al último censo poblacional en el año 2010 del Cantón Guaranda. Este cálculo se lo realizó con la ayuda de la fórmula:

$$P_f = P_a (1 + r n) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

$P_f$  = Población final

$P_a$  = Población actual

$r$  = Índice de crecimiento anual

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

### 1.7.2 *Determinación de caudales*

Es importante analizar cuidadosamente, las características y variaciones de los caudales de agua residual, ya que pueden afectar en el diseño hidráulico de las redes de alcantarillado y en las plantas de tratamiento de agua residual. La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de recogida que se emplee, y puede incluir los siguientes componentes:

- ❖ Agua residual doméstica. Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales y públicas.
- ❖ Infiltración y aportaciones incontroladas. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas.



- ❖ Aguas pluviales. Se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.

Para calcular el agua consumida por cada habitante en el día, se utiliza la expresión:

$$D_c = \frac{Q_{promc} \times 1000 \text{ L/m}^3}{P_f} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

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

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

$P_f$  = Población final

**“Caudal medio diario y Caudal de diseño (Q<sub>md</sub>).**- es el valor medio de caudal diario (m<sup>3</sup>/día) obtenido como media anual. El caudal medio diario es el parámetro de caudal en el cual se diseña la capacidad de la planta de tratamiento. Se puede calcular al multiplicar la población servida (P) por el consumo previsto (D<sub>c</sub>) usando la expresión:

$$Q_{servido} = \frac{\text{poblacion (hab)} \times D_c \left(\frac{\text{L}}{\text{hab}} \cdot \text{día}\right)}{1000 \text{ L/m}^3} \quad \text{Ecuación 3}$$

De manera que el caudal medio diario se calcula mediante la población servida, el consumo medio por habitante y un coeficiente “K” toma el valor de 0,8 como se indica:

$$Q_{md} = K_1 \times Q_{servido} \quad \text{Ecuación 4}$$

Se calcula el caudal de diseño, que no es más que el caudal medio diario (Q<sub>md</sub>), expresado en (m<sup>3</sup>/h) en vez de (m<sup>3</sup>/día).

$$Q_{diseño} = \frac{Q_{md}}{24} \quad \text{Ecuación 5}$$

**Caudal máximo diario (Q<sub>máx</sub>).**- es el valor máximo del caudal diario. Se suele utilizar para el dimensionado de aquellas unidades que tienen tiempos de retención hidráulica altos como son las balsas de homogeneización y las de aireación prolongada.

Puede estimarse a partir del caudal medio diario donde  $K_p$  puede tomar un valor comprendido entre 1,5 y 2,5 así tenemos la siguiente expresión:

$$Q_{\text{máx}} = K_p \times Q_{\text{md}} \quad \text{Ecuación 6}$$

**Caudal mínimo diario ( $Q_{\text{mín}}$ ).**- es el valor mínimo de caudal diario, está ligado a periodos de sequía. Es un dato importante para el funcionamiento de las estaciones de bombeo. Dado que sobre todo al principio, se suele trabajar con caudales inferiores a los proyectados y se pueden producir retenciones de residuos en las conducciones, pozos y arquetas, así como de ciertos elementos que funcionen en vacío, bombas, sistemas de agitación, etc. con lo que podrían sufrir deterioros. Se obtiene en función del caudal medio diario y del tamaño de la población, donde  $k$  es un valor entre 0,3 y 0,5.

$$Q_{\text{mín}} = K \times Q_{\text{md}} \quad \text{Ecuación 7}$$

**Caudal punta ( $Q_p$ ).**- es el caudal hidráulico máximo que puede admitir la planta. Se emplea para el cálculo de los pre-tratamientos (desbaste, desarenador, etc.) conducciones, bombeos, tanques de sedimentación, cloración y sistemas de medida. Se puede considerar  $Q_p$  como tres veces el  $Q_{\text{md}}$  durante épocas secas; mientras que se debe tomar como cinco veces en el caso de tiempo de lluvias, así tenemos:

$$Q_p = K_1 \times Q_{\text{md}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Si el caudal de ingreso supera el caudal punta, los rendimientos pueden sufrir una drástica disminución pudiendo incluso llegar a anularse la capacidad de tratamiento de dicha unidad. Para lo cual podemos encontrar compuertas y vertederos, los cuales consisten en un elemento que puede ser fijo o móvil (tablero) que se interpone en el desplazamiento del fluido modificando la sección útil del canal.

El funcionamiento para el tipo de vertederos a utilizar, se basará en la existencia de una zona del canal de entrada donde la altura del paramento lateral es menor que en el resto, de manera que cuando el caudal sea demasiado mayor, el agua en exceso rebosará por el vertedero de tormentas yendo al canal auxiliar, donde el agua se almacenará hasta que pueda ser tratada como se indica en los siguiente gráficos:

**Figura 2.** Canal abierto y vista del aliviadero lateral para el agua residual a la Planta.



Fuente: Fotografías de Alejandro Fuentes Santos (2009)

Para el rediseño del canal, la compuerta de acceso al sistema de pre-tratamiento como la de by-pass será de las mismas dimensiones, de canal abierto con una anchura de 1,5 m. La altura de las compuertas será la anchura más un margen de 0,3 m de modo que medirán 1,8 m. La carga de agua será equivalente a la anchura de las compuertas, es decir 1,5 m. La altura de la maniobra será la altura de la compuerta más 1 m de margen, en total 2,8 m.”<sup>11</sup>

### ***1.7.3 Sistemas de tratamiento***

#### ***1.7.3.1 Pretratamiento***

##### ***1.7.3.1.1 Cribado o rejillas***

“El cribado, sirve para eliminar los sólidos suspendidos de gran tamaño presentes en el agua residual, es decir elimina materias flotantes > 5mm. También contribuyen a dar una mejor apariencia a la planta y reducen el volumen de flotantes (espuma).

Las rejillas o cribas de gruesos se usan como elementos de protección para evitar que solidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos. Estos elementos rompen o desgarran los sólidos en suspensión, que se eliminan por sedimentación.

---

<sup>11</sup> ISLA DE JUANA, Ricardo. 2005. “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: aguas de proceso, residuales y de refrigeración”, pp. 20-31

Las rejillas de finos generalmente se fabrican en mallas metálicas de acero, o en base de placas o chapas de acero perforado que muchas veces se utilizan en tanques de sedimentación. Se consigue eliminar entre un 5% a 20 % de sólidos en suspensión, de un 40% a un 60% se eliminan por sedimentación. El problema de estas rejillas es el atascamiento de material solido por el uso de tamices finos o con abertura pequeña.”<sup>12</sup>

**Figura 3.** Pre-tratamiento con rejillas de barra metálica paralelas e iguales



*Fuente: Fotografías de Comarco.*

Los materiales retenidos entre las rejas se conocen con el nombre de residuos o basuras. Para rediseñar las rejillas, debemos relacionar la velocidad media del agua residual con la abertura de las rejas sugeridas.

### ***Ecuación de Manning***

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

S = Pendiente

Rh = Radio hidráulico promedio

n = Coeficiente de Manning

Para calcular el área transversal del canal total, donde se ubicara la reja se utiliza:

$$A_t = \frac{Qp}{v} \quad \text{Ecuación 10}$$

Tirante en el canal de rejas será obtenida a través de la siguiente fórmula:

---

<sup>12</sup> Guzmán Mercado Álvaro. 2013. TRATAMIENTOS PRELIMINARES.

$$H_a = \frac{A}{b} \quad \text{Ecuación 11}$$

En las siguientes tablas se detalla las especificaciones que cada una de las rejillas deben poseer para retener las materias suspendidas.

**Tabla 5.** Información para el proyecto de rejas de limpieza manual y mecánica.

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

*Fuente: Metcalf & Eddy*

**Tabla 6.** Tipo de rejas.

<b>TIPO DE REJA</b>	<b>ESPARCIMIENTO ENTRE BARRAS (mm)</b>
Gruesa	40 hasta 100
Media	20 hasta 40
Fina	10 hasta 20
Muy fina (rotatoria)	0,25 hasta 2,5

*Fuente: Ministerio del Desarrollo.*

Se recomienda un borde libre  $h_0$  entre 0,20 y 0,25 m. La longitud de las barras depende del grado de inclinación que tienen con la horizontal, y el tirante de agua máximo del canal de reja de barras, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen } \alpha} \quad \text{Ecuación 12}$$

El cálculo de la suma de las separaciones entre barras (m), tanto para rejillas gruesas como rejillas finas se conoce mediante la siguiente forma:

$$bg = \left( \frac{b-e}{s+e} + 1 \right) e \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

b = Ancho del canal de entrada (mm)

e = Separación entre barras (mm)

S = Espesor de las barras (mm)

Para calcular el área de espacios entre barrotes, necesitamos las siguientes expresiones:

$$\text{Área de espacios} = b_g \times L_b \quad \text{Ecuación 14}$$

Cálculo de la velocidad a través de la rejilla, a través de la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{Q_p}{A_{\text{espacios}}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Mediante la siguiente ecuación, calcularemos el número de barrotes de la rejilla:

$$n = \frac{bg}{e} - 1 \quad \text{Ecuación 16}$$

No hay que descartar pérdidas de carga, las mismas que aumentan cuando las rejillas se saturan con los residuos o basuras retenidos, en general en sistemas manuales las pérdidas no deben ser mayores a 15 cm, lo cual se calcula mediante la expresión:

$$h_f = k \left( \frac{V_c^2 - v^2}{2 \times g} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

Dónde:

$h_f$  = Pérdida de carga (m).

k = Coeficiente empírico, incluye pérdidas por turbulencia y formación de remolinos.

$V_c$  = Velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja (m/s).

$v$  = Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

### 1.7.3.1.2 Desarenador

“Los desarenadores se utilizan para remover o girar en forma de remolino, haciendo que las arenas, grava, u otro material sólido se precipiten al fondo. En el tanque de desarenado se sedimentan materiales de hasta de 20 mm. Los desarenadores pueden ser rectangulares o circulares; de flujo horizontal o helicoidal; aireados o no; de limpieza manual o mecánica. Además reducen la formación de depósitos pesados en tuberías y minimizan la frecuencia de limpieza en los digestores.”<sup>13</sup>

El desarenador más sencillo, es un canal rectangular de flujo horizontal por donde circula la suspensión a una velocidad horizontal controlada, y para mantener esta velocidad constante se utilizan dispositivos de control llamados vertederos de salida.

**Figura 4.** Pre-tratamiento con desarenador rectangular flujo horizontal



*Fuente: Fotografía de Enrique Padilla Díaz*

Para rediseñar el desarenador rectangular de flujo horizontal, se tomará en cuenta la relación que existe entre: diámetros de la partícula y la velocidad de sedimentación.

---

<sup>13</sup> COLLAZOS, Carlos Julio. 2008. “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES”. (Tesis), pp: 23 – 24.

**Tabla 7.** Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.

Material	Φ Límite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	> 1.0	> 10000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{d g \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton.
Arena gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$ Allen.
Arena fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Para calcular la velocidad de sedimentación, se utilizará la siguiente expresión:

$$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right] \quad \text{Ecuación 18}$$

Dónde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación (m/s)

$d$  = Diámetro de la partícula (m)

$\mu$  = Viscosidad cinemática del agua a 13,5°C (kg/m s)

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)



$\rho_a$  = Densidad de la arena.

$\rho$  = Densidad del agua a 13,5°C (kg/m<sup>3</sup>)

Procedemos a calcular el número de Reynolds (Re) teniendo la siguiente fórmula:

$$N_{Re} = \frac{V_s \times \rho \times d}{\mu} \quad \text{Ecuación 19}$$

Una vez obtenido el valor del Número de Reynolds, el coeficiente de arrastre  $C_D$  será calculado a través de la siguiente ecuación:

$$C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0.34 \quad \text{Ecuación 20}$$

Entonces la velocidad de sedimentación crítica de la partícula en la zona de transición:

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_D} (\rho_s - 1) \times d} \quad \text{Ecuación 21}$$

El caudal a tratar por línea del desarenador se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Q_o = \frac{Q_p}{N_{unidades}} \quad \text{Ecuación 22}$$

Dónde:

$Q_o$  = Caudal por línea del desarenador (L/s)

$Q_p$  = Caudal punta que entra al desarenador (L/s)

$N_{unidades}$  = Número de unidades (adimensional)

La velocidad horizontal se conocerá por medio de la siguiente expresión:

$$V_h = \frac{Q_o}{A_T} \quad \text{Ecuación 23}$$

A través del cálculo de caudal por línea se podrá conocer el ancho “b” largo “Lg” y profundidad o altura “h” del desarenador, utilizando los siguientes criterios:

**Tabla 8.** Diseño para desarenadores rectangulares de flujo horizontal.

VALOR			
CARACTERÍSTICA	UNIDAD	INTERVALO	VALOR USUAL
Tiempo de retención para caudal pico	min	2 – 5	3
<b>Dimensiones:</b>			
Profundidad	m	2 – 5	3
Longitud	m	7.5 – 20	12
Ancho	m	2.5 – 7	3.5
Relación Ancho - Profundidad	Razón	1:1 a 5:1	1.5:1
Relación Largo - Ancho	Razón	3:1 a 5:1	4:1

Fuente: Metcalf & Eddy. (1996)

Para calcular el área total se utilizará la siguiente ecuación:

$$A_T = L_g \times b \quad \text{Ecuación 24}$$

Para calcular el periodo de retención hidráulico, primero se multiplicara el largo, ancho y altura del desarenador, el cual se da a conocer por medio de la fórmula:

$$V = b \times L_g \times h \quad \text{Ecuación 25}$$

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_0} \quad \text{Ecuación 26}$$

Para conocer el tirante sobre el vertedero de salida se utiliza la fórmula de Francis, sin considerar contracciones laterales, teniendo así:

$$h_v = \left( \frac{Q_0}{1.84 \times b} \right)^{2/3} \quad \text{Ecuación 27}$$

La velocidad de paso por el vertedero de salida no debe ser superior a 1 m/s para evitar causar turbulencias y arrastre de material, el mismo que se conoce mediante la ecuación:

$$U_v = \left( \frac{Q_0}{h_v \times b} \right)^{2/3} \quad \text{Ecuación 28}$$

La mayoría de los problemas originado por las arenas en el fondo del desarenador, son atribuidos a tamaños de partículas iguales o superiores a 0,2 mm. La arena sin un tratamiento (lavado) puede contener 50% o más de materia orgánica, donde la consecuencia de la formación de ácidos orgánicos volátiles tanto en un clima cálido como frío, provocaría una descomposición rápida liberando malos olores y atrayendo la proliferación de insectos y roedores. Por ello se ha visto que la forma más común de disponer arenas, es el relleno sanitario, donde primero deben ser estabilizados con cal antes de su disposición. Para esto se debe estimar la concentración de las arenas extraídas, en función de la caracterización del efluente. Teniendo la información:

**Tabla 9.** Concentración de arenas.

Contaminantes	Unidades	CONCENTRACION		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales	mg/l	350	720	1200
Disueltos Totales:	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275

*Fuente: WEF, 1992*

Mediante el caudal por línea y con el valor tomado de esta tabla, se calcula:

$$V_a = SSF \times Q_0 \quad \text{Ecuación 29}$$

Dónde:

$V_a$  = Volumen de arenas (cm/s)

SSF = Sólidos Suspendidos Fijos (cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

El volumen total de lodos se calcula mediante las siguientes expresiones, cuyos valores serán asumidos para la altura y longitud de los diferentes volúmenes, teniendo así:

$$V_1 = l g \times b \times x \times h \quad \text{Ecuación 30}$$

$$V_2 = \frac{l g \times b \times x \times h}{2} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$V_t = V_1 + V_2 \quad \text{Ecuación 32}$$

La arena que se va a ser extraída del tanque del desarenador se calcula mediante el intervalo de tiempo, el mismo que se conoce mediante la ecuación:

$$t = \frac{V_t}{Q_a} \quad \text{Ecuación 33}$$

Dónde:

$t$  = Intervalo de tiempo de desalojo de lodos (días)

$Q_a$  = Caudal diario de lodo por línea (m<sup>3</sup>/día)

### **1.7.3.2 Tratamiento Primario**

#### **1.7.3.2.1 Floculación y coagulación**

“Son procesos utilizados para eliminar sólidos en suspensión y material coloidal, difíciles de sedimentar por su reducido tamaño.

La **Coagulación** consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando productos químicos (coagulantes) que neutralizan su carga eléctrica, es decir elimina coloides y la **Floculación** consiste en la aglomeración de las partículas coloidales desestabilizadas, formando agregados de mayor tamaño denominados “flóculos”, los cuales se sedimentan por gravedad. Para favorecer la formación de flóculos más voluminosos, se utiliza determinados productos químicos (floculantes) generalmente de naturaleza polimérica, que establecen puentes de unión entre los flóculos, inicialmente formados aumentando su densidad y se sedimentan al fondo del decantador.

**Tabla 10.** Tipos de Coagulantes – Floculantes.

<b>Coagulantes</b>	<b>Floculantes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sales de aluminio: sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, Aluminato de Sodio. Policloruro de aluminio (polímero inorgánico de aluminio).</li><li>• Sales de hierro: cloruro de hierro (III), sulfato de hierro (III). Sulfato Ferroso.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Polímeros: a base de sales de aluminio, a base de sales de hierro, sintéticos catiónicos, sintéticos aniónicos.</li><li>• Poli electrólitos (Como ayudantes de floculación).</li><li>• Cal</li></ul>

*Fuente: ESKEL, Nordell. Tratamiento de agua para industria y otros usos.*

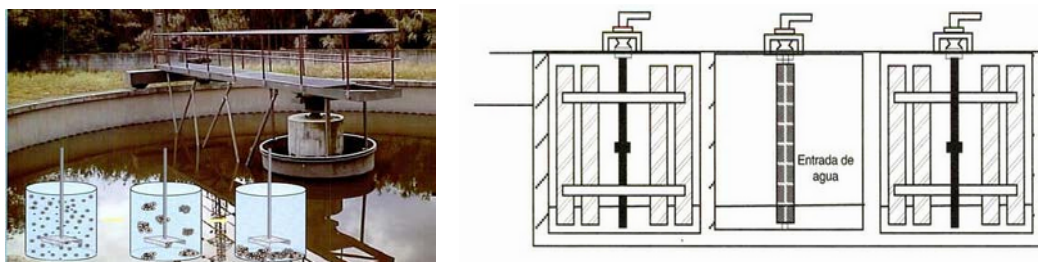
El proceso de coagulación y coadyuvacion (permite un pH óptimo), el cual efectúa un mismo sistema de mezcla rápida y homogénea del producto coagulante/coadyuvantes con el agua residual. Cuya cámara de mezcla posee un sistema de agitación que puede ser del tipo hélice o turbina. Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizar las partículas, se precisa de la floculación peri-cinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse.”<sup>14</sup>

“Para el floculador mecánica vertical con paletas, se aplica en tanques o cuadrada plan como la sección cámara y sirven para remover con una agitación lenta y uniforme toda la masa de agua, lo que permite la agregación de los reactivos. La floculación se compone de un sistema de accionamiento, el mismo que posee un motor que acciona un engranaje reductor a través de un conjunto de poleas espaciadas, con canales de aluminio; lo que permite la selección de tres velocidades diferentes, simplemente cambiando la posición de la cinta o por un convertidor de frecuencia. En cambio la unidad de agitación está formada por un eje principal tubular, en el que las paletas son verticales, dependiendo del tamaño del floculador. Un cojinete para el eje de guía principal está instalado en el fondo del tanque. Acabado de las piezas de metal con pintura a base de epoxi. Teniendo de esta manera”<sup>15</sup>

<sup>14</sup> SEDAPAL. 2000. COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN.

<sup>15</sup> Aguamarket. 2000. FLOCULADOR MECANICO VERTICAL COM PALETAS.

**Figura 5.** Floculador tipo circular y mecánico de eje vertical en paralelo.



Fuente: Agilar, M.I. & otros. Tratamiento de Coagulación – Floculación.

Las cantidades a utilizar del floculante como del coagulante serán calculadas mediante ensayos previos del test de jarras; mencionando de esta manera:

**“Poli-cloruros de aluminio (PAC’s – 0,8).-** Son coagulantes de aluminio pre-polymerizado, que no deben confundirse con los polímeros ya que no pueden ser descritos con una sola fórmula química debido a que consisten de una serie de compuestos con propiedades diferentes que aseguran su buen rendimiento en diversas aplicaciones y condiciones de operación. Los PAC’s pueden ser representados por diferentes fórmulas empíricas cuya fórmula general:  $Al_2(OH)_xCl_{6-x}$  donde  $0 < x < 6$ . No es explosivo, pero se debe evitar el contacto prolongado con la piel. Reemplaza al sulfato de Aluminio y otros coagulantes inorgánicos. No causa taponamiento de filtros y excluye los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, por procesos de coagulación- floculación. No necesita de floculantes para la aglomeración de flocs.

**La cal.-** se vende comercialmente en forma de cal viva o cal hidratada o apagada. La cal viva es granular, tiene un contenido mínimo de CaO de 90% siendo el óxido de magnesio su principal impureza. La cal hidratada especialmente el T-30 (Especial) es un polvo que contiene el 96% de Carbonato de calcio, posee agregados que mejoran su desempeño en la regulación del pH se puede preparar por fluidificación en un tanque que contiene una turbina mezcladora. La mezcla es descrita como  $Ca(OH)_2$ . La aplicación de la cal requiere una unidad especial que se conoce como calador. La reacción química para la calación es:  $CaO$  (cal viva) +  $H_2O$   $Ca(OH)_2$  (cal apagada). Un dosificador gravimétrico aplica la cal en polvo a una cámara de mezclado donde el agua para la solución es llevada para apagarla. El calador suministra la cal al agua de forma

que se mantenga una concentración precisa, el control se realiza mediante la medición del pH para agregar cal o agua. La cal es bombeada del tanque de almacenamiento al de alimentación de la cal apagada en forma controlada por el pH y el caudal.”<sup>16</sup>

**Tabla 11.** Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas.

Suspensión	Carga de superficie (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	
	Intervalo	Caudal punta
Floculo de alúmina	25 – 50	50
Floculo y hierro	25 – 50	50
Floculo de cal	30 – 60	60
Agua residual cruda	25 – 50	50

*Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales.*

Para el dimensionamiento de floculación mecánica vertical con paletas, se considera el área superficial, que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q_p}{c_s} \quad \text{Ecuación 34}$$

Al calcular el área superficial, se tomara como base para conocer el ancho y largo del tanque de floculación, mediante las siguientes ecuaciones:

$$A_s = 4 b^2 \quad \text{Ecuación 35}$$

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{4}} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$Lg = 4 b \quad \text{Ecuación 37}$$

El diámetro de la tubería se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\phi_{Tubería} = \sqrt{\frac{4 Q}{v \pi}} \quad \text{Ecuación 38}$$

<sup>16</sup> [IBIDEN] 4. PAGINA 425 – 432.

Es fundamental lograr una rápida incorporación y mezcla de los reactivos al agua residual, a través de medios mecánicos como brazos instalados sobre un eje vertical. En donde cada serie puede llevar dos, tres o más paletas, que entran en contacto con el líquido de manera frontal. Las dosificaciones suelen ser puestas en seco o húmedo.

**Tabla 12.** Parámetros de diseño para paletas.

Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Tiempo de retención (min)	20-60	30
Floculación inducida por paletas, máxima velocidad periférica de la paleta, con reductor de velocidad de hasta el 30 % de velocidad máxima (m/s).	0,45-1,00	0,6
Agitación de paletas (rpm)	50-80	60

*Fuente: METCALF & EDDY., Tratamiento y depuración de aguas residuales*

El diámetro del tanque se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\Phi_{Tanque} = \sqrt[3]{4 \times \frac{V}{\pi}} \quad \text{Ecuación 39}$$

Para conocer el diámetro del impulsor para las paletas se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1}{3} \Phi_{Tanque} \quad \text{Ecuación 40}$$

El ancho de las palas del impulsor, se calcula a través de la fórmula:

$$q = \frac{1}{5} C \quad \text{Ecuación 41}$$

La longitud de las palas del impulsor, se conoce al utilizar la siguiente ecuación:

$$l = \frac{1}{4} C \quad \text{Ecuación 42}$$

Para calcular la longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central:



$$l_{DC} = \frac{1}{2} C \quad \text{Ecuación 43}$$

El diámetro del disco central, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$s = \frac{1}{4} \phi_{Tanque} \quad \text{Ecuación 44}$$

**Tabla 13.** Valores usuales para procesos de tratamiento de agua residual.

PROCESO	TIEMPO DE RETENCIÓN	VALORES DE G, (s <sup>-1</sup> )
Mezcla: operaciones comunes en la mezcla rápida del agua residual	10 – 30 s	500 – 1500
Mezcla rápida para un contacto inicial y de reactivos químicos	≤ 1 s	1500 – 6000
Mezcla rápida de reactivos químicos en procesos de filtración por contacto	< 1 s	2500 – 7500
Floculación: procesos comunes de floculación empleados en el tratamiento de agua residual	30 – 60 min	50 – 100
Floculación en procesos de filtración directa	2 – 10 min	25 – 150
Floculación en procesos de filtración por contacto	2 – 5 min	25 – 200

*Fuente: CRITES, R., TCHOBANOGLOUS G., Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones.*

Para conocer la potencia disipada de la mezcla, los datos requeridos será el gradiente de velocidad G, como el tiempo de retención para dicho velocidad. Teniendo la expresión:

$$P = G^2 \mu V \quad \text{Ecuación 45}$$

Dónde:

G = gradiente de velocidad

$\mu$  = viscosidad dinámica a una temperatura de 13,5°C

V = volumen de floculación (m<sup>3</sup>)

El valor  $C_D$ , será calculado a través de la cantidad de paletas que se requiera utilizar en el tratamiento, con el fin de obtener movimientos giratorios necesarios. Se indica:

**Tabla 14.** Valores de  $C_D$

Cantidad	$C_D$
1	1,16
5	1,20
20	1,50
$\infty$	1,95

*Fuente: ROUSE., 2003*

Al calcular la potencia con que se realiza una agitación adecuada, el área de las paletas se resolverá mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{2P}{\rho \times C_D \times v^3} \quad \text{Ecuación 46}$$

Dónde:

A = área de la sección transversal de la paleta ( $m^2$ )

P = potencia necesaria (W)

v = velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido (m/s)

$\rho$  = densidad del fluido ( $Kg/m^3$ )

La longitud de la Paleta se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$l = \frac{A}{b} \quad \text{Ecuación 47}$$

Dónde:

l = longitud de la paleta (m)

A = área de la sección transversal de la paleta ( $m^2$ )

b = ancho de la paleta (m)

### **Dosificación del PAC**

Aforo de la solución del PAC que se utiliza en el día, se calcula a través de la ecuación:

$$x = \frac{Q_p \times C}{P \times \rho} \quad \text{Ecuación 48}$$

Dónde:

x = Aforo del PAC (L/día)

C = Concentración del PAC utilizado en el test de jarras (ppm)

P = Porcentaje de dilución

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

### **Dosificación de CAL**

Aforo de la solución del Cal que se utiliza en el día, por medio de la ecuación:

$$x = \frac{Q_p \times C}{P \times \rho} \quad \text{Ecuación 49}$$

Dónde:

x = Aforo del CAL (L/día)

C = Concentración del CAL utilizado en el test de jarras (ppm)

P = Porcentaje de dilución

$\rho$  = Densidad de la CAL (Kg/L)

#### **1.7.3.2.2 Sedimentador**

“El sedimentador es aquella estructura que sirve para reducir la velocidad de las aguas negras, y que de esta manera se pueda lograr la sedimentación de los sólidos. Esta operación separa las partículas más densas que el agua en dos fases. Una fase sólida que está formada de partículas y solidos suspendidos (más pesados que el agua) bajo la acción de la gravedad se van depositando en el fondo, el cual se extraen los lodos que se van formando por medio de colectores mecánicos, y una fase líquida formada por el agua y compuestos en disolución. Se consideran tres tipos de:

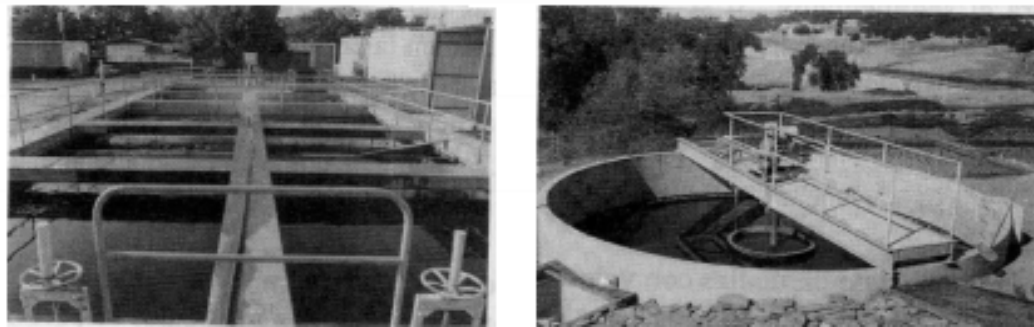
**Sedimentación discreta:** Las partículas que se sedimentan mantienen sus propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico). Por ejemplo, la deposición de partículas de arena en los desarenadores.

**Sedimentación por zonas:** Las partículas se aglomeran de una manera que su permanencia es constante.

**Sedimentación con floculación:** Las partículas se agrupan y por ello existen cambios en densidad y en la velocidad de sedimentación. Este tipo de sedimentación se lleva a cabo en clarificadores o sedimentadores primarios.

Un Sedimentador Rectangular, cuenta con sistemas de recolección de lodo sedimentado, los cuales pueden ser de barredores con cadenas o de puente móvil. En los sistemas con barredores, los lodos sedimentados se arrastras hasta los pozos para lodos.”<sup>17</sup>

**Figura 6.** Tipos de sedimentadores: rectangulares



*Fuente: Monografía “Diseño del tratamiento primario sedimentador”*

Para este sedimentador rectangular, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

**Tabla 15.** Velocidades terminales a caudal máximo.

Decantación Primaria	Velocidad a Caudal Máximo		
	Valor Mínimo	Valor Típico	Valor Máximo
Decantadores circulares	2,0 m/h	2,5 m/h	3,0 m/h
Decantadores rectangulares	1,8 m/h	2,2 m/h	2,6 m/h

*Fuente: URALITA*

<sup>17</sup> RAMALHO, R. 1993. Tratamiento de Aguas Residuales, pp. 222 – 300.

**Tabla 16.** Tiempos de retención para sedimentadores.

Decantación Primaria	Velocidad a Caudal Máximo		
	Valor Mínimo	Valor Típico	Valor Máximo
Tiempo de retención caudal medio	1,5 h	2,0 h	3,0 h
Tiempo de retención caudal máximo	1,0 h	1,5 h	2,0 h

Fuente: URALITA

**Tabla 17.** Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria.

PARAMETRO	Intervalo	Valor Típico
Carga sobre el vertedero m <sup>3</sup> / m d	125 – 500	250
Carga superficial, en m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> d		
- Gasto medio	32 – 48	100
- Gasto máximo ext.	80 – 120	250
Dimensiones, en m		
<b>Rectangular</b>		
Profundidad	3 – 5	3,6
Longitud	15 – 90	25 – 40
Ancho	3 – 24	6 -10
Velocidad de rastra	0,6 – 1,2 m/min	1,0

Fuente: Metcalf & Eddy. Inc.

Para el rediseño se deberá calcular el área superficial del tanque del sedimentador rectangular, el cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{Q_p}{V_c} \quad \text{Ecuación 50}$$

Dónde:

$Q_p$  = Caudal a tratar (m<sup>3</sup>/h)

$V_c$  = Velocidad terminal (m/h)

La velocidad de arrastre, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$v_A = \left( \frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 51}$$

Dónde:

k = Constante de cohesión

S = Gravedad específica

d = Diámetro de las partículas (m)

f = Factor de fricción Darcy – Weisbach

Para calcular la velocidad horizontal, primero se resolverá el área sección transversal para lo cual se obtendrá las siguientes ecuaciones:

$$A_t = \frac{V_{\text{Tanque sedimentador}}}{Lg_{\text{Tanque sedimentador}}} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$v_H = \frac{Q_p}{A_t} \quad \text{Ecuación 53}$$

Mediante la siguiente tabla se calculará las tasas de remociones, teniendo en cuenta:

**Tabla 18.** Valores de las constantes empíricas a y b.

VARIABLE	A	B
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

*Fuente: Metcalf & Eddy. Inc.*

La tasa de remoción del DBO, se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$\text{REMOCIÓN DBO} = \frac{tr}{a + (b \times tr)} \quad \text{Ecuación 54}$$

La tasa de remoción de SST, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{REMOCIÓN SST} = \frac{tr}{a + (b \times tr)} \quad \text{Ecuación 55}$$

Para determinar la altura máxima, el fondo de la unidad debe tener una pendiente del 5 al 10% que facilitar el escurrimiento del material depositado. Obteniendo:

$$H' = H + 0.10 H \quad \text{Ecuación 56}$$

Dónde:

$H'$  = Altura máxima (m)

$H$  = Altura del tanque sedimentador (m)

El cálculo para la altura de agua sobre el coronamiento del vertedero de salida, se obtendrá a través de la siguiente expresión:

$$H_v = \left[ \frac{Q_p}{1.84 \times 0.75b} \right]^{2/3} \quad \text{Ecuación 57}$$

Dónde:

$b$  = Ancho del tanque sedimentador

Para calcular la longitud final de la unidad, la ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada teniendo así:

$$l_{gf} = Lg + 1 \text{ m} \quad \text{Ecuación 58}$$

### **Rediseño de la Pantalla Difusora**

El área total de los orificios, se considerará una velocidad de orificios no mayor a 10cm/s mediante la siguiente expresión:

$$A_{To} = \frac{Q_p}{V_o} \quad \text{Ecuación 59}$$

Dónde:

$A_{To}$  = Área total de los orificios (m<sup>2</sup>)

$V_o$  = Velocidad de paso entre los orificios (m/s)

Para calcular el área de cada orificio, consideramos la expresión:

$$A_o = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{Ecuación 60}$$

Dónde:

$A_o$  = Área de cada orificio ( $m^2$ )

$d$  = Diámetro de cada orificio (m)

El número de orificios, se obtendrá mediante una relación entre:

$$n = \frac{A_{T_o}}{A_o} \quad \text{Ecuación 61}$$

La porción de altura de la pantalla difusora con orificios ( $H_{pd}$ ) se expresara como:

$$H_{pd} = H - \left[\frac{2}{5} \times H\right] \quad \text{Ecuación 62}$$

Una vez determinada  $H_{pd}$  se calcula el espacio entre filas de orificios, con la ecuación:

$$a_1 = \frac{H_{pd}}{n_f} \quad \text{Ecuación 63}$$

Dónde:

$a_1$  = espacio entre filas de orificios (adimensional)

$n_f$  = Número de filas de orificios (adimensional)

Para determinar el espacio entre columnas de orificios, se tendrá la expresión:

$$a_2 = \frac{b}{n_c + 1} \quad \text{Ecuación 64}$$

Dónde:

$a_2$  = espacio entre columnas de orificios (adimensional)

$n_c$  = Número de columnas de orificios (adimensional)

El volumen total para el tanque de lodos, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_t = h \times b \times l_g \quad \text{Ecuación 65}$$



Dónde:

Lg = longitud del tanque de lodos (m)

H = restante de altura máxima (m)

b = ancho del tanque de sedimentación (m)

Obteniendo el volumen total del tanque para lodos y calculando la cantidad de lodo que se va a extraer de los sedimentador, el cual requerirá del valor de los sólidos suspendidos de tipo fijo de lodos ( $3.0 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ).

### ***1.7.3.3 Tratamiento Secundario***

#### ***1.7.3.3.1 Filtración***

“Es un proceso, en el cual se separan las partículas cuya densidad es próxima a la del agua, su velocidad de sedimentación es baja por lo que tienden a re-suspenderse. La filtración depende tanto de la naturaleza como de la cantidad de materia insoluble presente, aunque algunos son más permeables que otros.

Básicamente se hace pasar el agua residual por un lecho poroso para separar las partículas y microorganismos objetables que no han quedado retenidos en el proceso de sedimentación. Ocurre en dos etapas distintas pero complementarias:

- Transporte de partículas dentro de los poros, mecanismo físico. (Cernido, difusión, sedimentación entre otros transportes)
- Adherencia a ellas a los granos del medio filtrante, mecanismo químico. (Fuerzas de Van der Waals; Puente químico)

La filtración puede realizarse de dos maneras distintas: con filtración rápida o filtración lenta. Además cuentan con cuatro tipos: lechos de arena sola, lechos mixtos de arena y antracita, lechos de antracita sola, y lechos de carbón activado granular. Los cuales podemos considerar lo siguiente:

**Tabla 19.** Tipos de filtros.

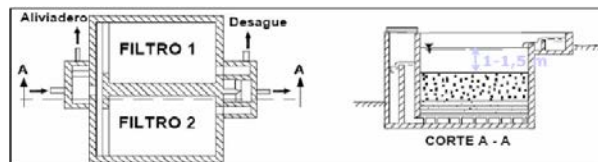
Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido de flujo	Según la carga sobre el lecho
LENTOS 2 – 10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	Arena	Ascendente Descendente	Por Gravedad
RAPIDOS 120 - 360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	<u>Lecho Simple:</u> Arena Antracita	Ascendente Descendente	Por gravedad Por presión
RAPIDOS 240 - 480 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	<u>Lecho Mixto:</u> a) Lecho doble: Arena Antracita b) Lecho triple: Arena Antracita Granate	Ascendentes Descendentes	Por gravedad Por presión

Fuente: Valencia Arboleda, Jorge. Teoría y práctica de la depuración del Agua

**Filtros Biológicos:** permiten la remoción de materia orgánica a través de un medio poroso granular. Este al recibir agua con suficiente carga orgánica disuelta, tiende a formar una película biológica alrededor de los granos del medio poroso. La biopelícula formada está compuesta por un grupo variado de moléculas y/o compuestos asimilables por las bacterias, degradándose en otros compuestos más inofensivos.

**Filtro lento de arena:** son una de las tecnologías más antiguas de depuración de aguas residuales, siendo muy eficaces.”<sup>18</sup>

**Figura 7.** Filtro lento de arena



Fuente: Libro de Metodos Naturales de Depuración

<sup>18</sup> VALENCIA LÓPEZ, Adriana Elizabeth. 2013. “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN LUIS - PROVINCIA DE CHIMBORAZO”. (Tesis), pp: 44 – 47.

**Tabla 20.** Ventajas y desventajas de los filtros lentos de arena.

<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
Es muy sencillo y confiable con operar con los recursos disponibles del medio rural ya que no necesita control de la velocidad: el control de flujo se lo realiza mediante vertederos El agua tratada no presenta cambios organolépticos El precio de la arena es baja	Necesita de un pre-tratamiento ya que no debe de operar con aguas con turbiedad que sobrepasen los 10 UNT. Se puede aceptar una turbiedad máxima de 50 UNT. La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja La presencia de plaguicidas en el afluente puede llegar a alterar o destruir el proceso microbiológico del lecho.

*Fuente: Libro de los Métodos Naturales de Depuración*

### **Agua sobrenadante en el filtro**

Consiste en un almacenamiento de agua cruda como reserva durante unas horas. Durante este tiempo se produce sedimentación y aglomeración de las partículas y oxidación del agua. También es una cantidad de agua que actúa como peso para vencer la resistencia que ejerce la capa de arena y así controlar la velocidad de filtración. También para que no se quede sin agua de entrada.

### **Lecho del medio filtrante (arena)**

La arena se va a encargar de filtrar el agua que se quiere tratar. Granulométricamente la arena tiene características como: El coeficiente de uniformidad, el cual nos indica la regularidad de los granos de arena para poder conocer sobre la porosidad existente entre los granos. La arena tiene que estar limpia, si hace falta tendría que ser lavada para evitar que contenga cantidades de arcilla, lodos o materia orgánica apreciable. Además si queremos una mejor calidad de agua en la salida podemos añadir unos 0,10m de carbón activado en la base del lecho de arena. De la misma forma si necesitamos aumentar el pH podemos poner una capa de conchas trituradas.

## **Caja del filtro**

Los materiales más utilizados para la construcción de la caja de los filtros de arena es sin duda el hormigón para el piso y ladrillos, piedras u hormigón (en masa o armado) para las paredes. La forma de los filtros es de forma rectangular cuyas paredes deben ser impermeables con el fin de evitar las pérdidas de agua tratada como también la entrada de agua no tratada y perjudicar la calidad del agua tratada. La caja del filtro debe estar semienterrada para que no se caliente en exceso el conjunto el sistema del filtraje y que impida la entrada del polvo horizontal con facilidad para la limpieza periódica.

## **Sistema de drenaje**

El objetivo del sistema de drenaje es:

Proporcionar un soporte físico al lecho de arena

Una salida con poca resistencia al agua tratada.

Está compuesto por un dren principal y un conjunto de drenes secundarios, normalmente perpendiculares al principal. Encima del conjunto de drenes se colocan una serie de capas de material granular de distintos tamaños para que se cumpla por un lado la función de soporte del lecho de arena y por otro lado evitar que parte de la arena pase al sistema de drenaje y tapone la salida de agua tratada. La capa situada en la parte baja tendría una distribución de diámetros de grano más gruesos, es decir mientras que vamos colocando capas, el tamaño de grano sería cada vez más pequeño. Para reducir el espesor total de las capas de grava, se puede colocar cemento poroso como sistema de drenaje, cuya propiedad física es tener un peso específico inferior o igual a  $2500 \text{ kg/m}^3$ , libres de cualquier tipo de impurezas. El espesor de cada capa debe ir creciendo 5-7 cm para las partes más finas y entre 8-12 cm para las partes más gruesas.

## **Cámara de salida**

La cámara de salida generalmente consta de dos secciones separadas por una pared, en cuya parte superior se coloca un vertedero con rebosadero ligeramente por encima de la

parte superior del lecho de arena (10-15 cm). Este vertedero previene el desarrollo de una presión inferior a la atmosférica en el lecho filtrante, pues ello podría dar lugar a la formación de burbujas de aire debajo de la capa biológica. El vertedero también asegura que el filtro funcione independientemente de las fluctuaciones en el nivel del tanque de agua clara. Al permitir la caída libre del agua sobre el vertedero, se aumenta la concentración de oxígeno en el agua filtrada, por cuyo motivo la cámara del vertedero debe estar debidamente ventilada para facilitar la aireación. Otra buena manera de conseguir una velocidad de filtración constante consistirá en colocar una válvula en la salida del agua tratada. Cuando la válvula se encuentre abierta al máximo nos indicará que debemos cambiar la arena del filtro ya que no es capaz de filtrar correctamente el agua a tratar.”<sup>19</sup>

Para el dimensionamiento de un filtro lento biológico de arena, se deberá conocer el área superficial ( $m^2$ ), cada una debe retener la capacidad total del flujo sin sobrecarga y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{Q_p}{n \times V_f} \quad \text{Ecuación 66}$$

Dónde:

$V_f$  = Velocidad del filtrado (m/h)

$n$  = Número de unidades (adimensional)

Para determinar el ancho y el largo de la unidad, utilizaremos el coeficiente de mínimo costo, el cual depende del número de unidades de filtración. Se calcula mediante:

$$K = \frac{(2 \times n)}{(n+1)} \quad \text{Ecuación 67}$$

Longitud del filtro:  $L_g = (A_s \times K)^{1/2} \quad \text{Ecuación 68}$

Ancho del filtro:  $b = (A_s/K)^{1/2} \quad \text{Ecuación 69}$

---

<sup>19</sup> BLACIO, Diego., PALACIOS José. 2011. “FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA, POSIBILIDADES DE USO DE FLA (FILTROS LENTOS DE ARENA) CON AGUA SUPERFICIAL DE NUESTRA REGIÓN”. (Tesis), pp: 10 – 27.

**Tabla 21.** Resumen del diseño de un filtro biológico lento de arena.

PARÁMETROS	UNIDADES
<b>Número de filtros:</b>	2 aunque mejor si son 4
<b>Velocidad de filtración:</b>	0.1 a 0.3 m/h
La debilidad de los filtros es el contacto arena pared y la manera de minimizar este contacto es aumentar el área de cada filtro	Área mínima = 100 m <sup>2</sup> Área máxima = 2000 m <sup>2</sup> y 5000 m <sup>2</sup>
<b>Agua sobrenadante en el filtro:</b>	
Altura Sobre el nivel del agua	entre 1,0 m y 1,5 m entre 20 cm y 30 cm.
<b>Lecho de arena:</b>	
Se asumen de arriba a la base del lecho de arena:	0,30 - 0,40 m para la zona bacteriológica 0,40 - 0,50 m para la zona de oxidación 0,5 cm para garantizar la existencia de arena Total de la capa de arena tendría entre 1,2-1,4 m
Tamaño efectivo	0.15 a 0.35 mm.
Coefficiente de uniformidad	2 - 5
<b>Sistema del drenaje:</b>	
Altura del drenaje incluyendo capa de grava	0,3 - 0,5 m
Tubos perforados (de tipo lateral y múltiple)	
Máxima velocidad en múltiples y laterales	0,3 m/s
Espacio entre laterales	1,5 m
Espacio de orificios de laterales	0,15 m
Tamaño de orificios de laterales	3 mm
<b>Limpieza de los filtros:</b>	Limpieza mecánica

*Fuente: Tesis. Calculo del Filtros Lentos de Arena.*

La velocidad de filtración real para filtros lentos. Si el agua residual posee mayor contaminación, menor será la velocidad de filtración:

$$V_{fR} = \frac{Q_p}{2 \times A_s \times b} \quad \text{Ecuación 70}$$

El vertedero de entrada, se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$h_a = \left( \frac{Q_p}{1,84 \times b} \right)^{2/3} \quad \text{Ecuación 71}$$

### ***1.7.3.3.2 Oxidación biológica***

“Son tratamientos que destruyen la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual mediante el empleo de microorganismos, suministrando oxígeno.

Para que las bacterias de tipo aerobio se reproduzcan por división binaria, se les proporcionan los medios de reproducción adecuados como son nutrientes, temperatura y oxígeno. Estos tanques debe mantener en equilibrio la biomasa (bacterias y materia orgánica) para que se lleve a cabo el proceso de degradación y a la vez exista la formación de flóculos.

Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento, es la transformación de la materia orgánica en gases y materia celular, la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. En el caso de aguas residuales urbanas, se persigue la eliminación de Nitrógeno y Fósforo. Además se busca la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan en el agua residual.

**Figura 8.** Oxidación Biológica en forma rectangular.



*Fuente: Fotografía de SlideShare. Tratamiento de oxidación.*

En esta etapa se generan nuevos lodos conocidos como fangos biológicos, cuya eficiencia se expresa en términos de porcentaje de disminución del DBO. Entonces se asumirá que el 10% del agua original aún no es tratada pero si esta agua es diluida al medio natural ya es factible la sostenibilidad de la vida acuática.”<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Degrémon. 1991. Water Treatment Handbook, pp: 300 - 312

**Tabla 22.** Cantidades de DBO.

<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Calidad del agua</b>
1-2	Muy buena
3-5	Moderadamente limpia
6-9	Ligeramente contaminada
>100	Muy contaminada

*Fuente: Metcalf & Eddy, 1996*

Para el rediseño de este tanque de oxidación de tipo rectangular, se deberá calcular primero el volumen utilizando la siguiente expresión:

$$V = Q_p \times t_r \quad \text{Ecuación 72}$$

Para conocer el área superficial, se calculara mediante la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{V}{H} \quad \text{Ecuación 73}$$

El porcentaje de la eficiencia de remoción del DQO, se calcula mediante la expresión:

$$E_{DQO} = 100 [1 - (0.68 \times t_r^{-0,35})] \quad \text{Ecuación 74}$$

El porcentaje de la eficiencia de la remoción de DBO, se conoce mediante la fórmula:

$$E_{DBO} = 100 [1 - (0.70 \times t_r^{-0,50})] \quad \text{Ecuación 75}$$

De los lodos decantados una fracción se purga como lodos en exceso, mientras que otra porción se recircula al reactor biológico para mantener en él una concentración determinada de microorganismos. El agua tratada es reutilizada ya que no es putrefacta. De un 90 a un 95% del material orgánico presente es digerido por las bacterias.

## **1.8 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACION AMBIENTAL SECUNDARIA (TULAS).**



**Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce.** Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación:

**Tabla 23.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0

Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO4=	mg/l	1000
Temperatura	oC		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Fuente: TULAS, 2003

## CAPÍTULO II

### 2 REDISEÑO EXPERIMENTAL

#### 2.1 Área de Estudio

El rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizara en la Ciudad de Guaranda, Provincia de Bolívar. En la parroquia Ángel Polivio Chávez específicamente en el Sector Cdla. Marcopamba.

#### 2.2 Tipo de Estudio

El tipo de estudio que se utilizara para el presente trabajo es de tipo descriptivo – cuantitativo, de forma físico químicos, gravimétricos, o volumétricos. Un tipo de estudio rígido, el cual describe características y se generalizan varios fenómenos similares, mediante la exploración y descripción de situaciones reales. Conoce las variables pertenecientes al problema, se apoya en una hipótesis de tipo general dirigida en una dirección específica. Estos estudios sirven para categorizar la información mediante datos obtenidos durante la elaboración del proyecto.

#### 2.3 Método de Recolección de Muestra

**Tabla 24.** Recolección de muestras.

FUNDAMENTO	MATERIALES	TECNICA
Método de selección de muestras para estudiar los parámetros dentro de las aguas contaminadas.	Bolsas estériles Whirl-pak o frascos estériles (125 ml) debidamente etiquetados con la fecha y hora de muestreo.	Recoger tres (3) tipos de muestra, cada una en un volumen aproximado a 10 ml.

*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

## 2.4 Procedimiento para la Recolección de Información

La toma de muestras se realizó en forma sistemática por quince días consecutivos. El agua residual sin tratar, fue recolectada en el lugar de captación que procede del Río Guaranda, para ello se siguió la siguiente metodología:

**Tabla 25.** Recolección de información.

<b>DIAS</b>	<b># MUESTRAS</b>	<b>HORA</b>	<b>LUGAR</b>
1	2	Por la mañana- tarde	Captación - Agua residual del Río Guaranda.
2	2	Por la mañana- tarde	
3	2	Por la mañana- tarde	
4	2	Por la mañana- tarde	
5	2	Por la mañana- tarde	
6	2	Por la mañana- tarde	
7	2	Por la mañana- tarde	
8	2	Por la mañana- tarde	
9	2	Por la mañana- tarde	
10	2	Por la mañana- tarde	
11	2	Por la mañana- tarde	
12	2	Por la mañana- tarde	
13	2	Por la mañana- tarde	
14	2	Por la mañana- tarde	
15	2	Por la mañana- tarde	
<b># total de muestras</b>	<b>30</b>		

*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

## 2.5 Metodología

Durante la investigación, se trató de manejar diferentes medidas de corrección frente a este gran impacto social y ambiental. Para ello, se dio mayor importancia al lugar de

captación donde todas las aguas servidas se acumulaban frecuentemente, siendo la medición de caudales el método más apropiado.

### 2.5.1 Medición de caudales

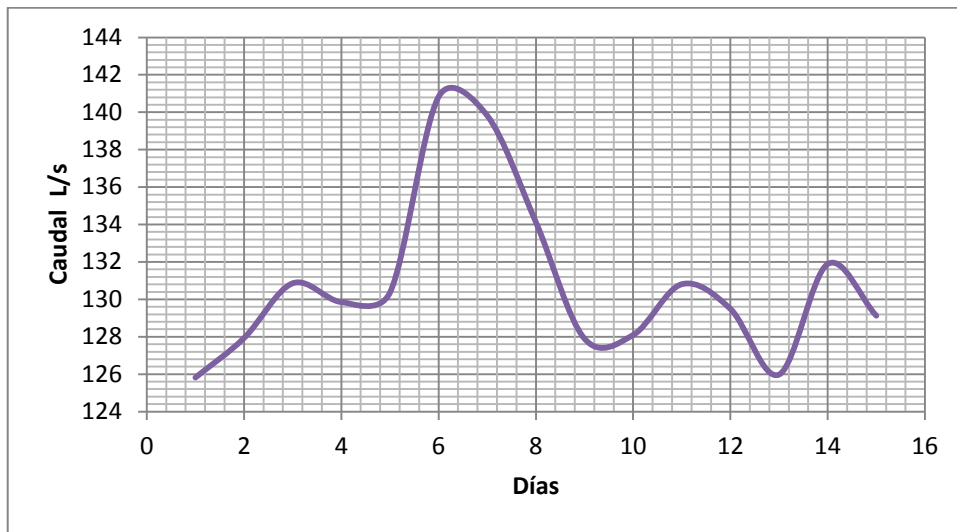
Las mediciones del caudal, se realizó a las aguas residuales acumuladas cuyo origen es de tipo doméstico ya que la Ciudad de Guaranda no posee ninguna clase de industria a sus alrededores. Usando la medición volumétrica manual y mediante datos de la Empresa Municipal de Guaranda, el 85% de agua potable consumida se convierte en agua residual; valor obtenido a través de hidrogramas diarios. Por medio de la Ecuación de Manning, se determinó la velocidad media y la pendiente existente, sin dejar de lado el ancho y altura de la película del agua (tirante), en el colector común al Río Guaranda. Cuyo promedio de aguas residuales generadas, es aproximadamente **130,858 L/s**.

**Tabla 26.** Resumen de la medición de caudal.

<b>Día</b>	<b>Radio Hidráulico (m)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
1	0.11	125,818
2	0.11	127,930
3	0.11	130,858
4	0.10	129,854
5	0.11	130,359
6	0.10	140,824
7	0.10	139,819
8	0.11	134,129
9	0,10	127,898
10	0.11	128,094
11	0,10	130,808
12	0.11	129,489
13	0.11	125,978
14	0.11	131,888
15	0,10	129,124
<b>Promedio</b>	<b>0.11</b>	<b>130,858</b>

Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**Gráfico 1.** Control de las aguas residuales descargadas al Río Guaranda.



*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

## 2.6 Métodos y Técnicas

### 2.6.1 Métodos

En el desarrollo de este proyecto, se considerara tres tipos de métodos: inductivo, deductivo y experimental, lo cual nos facilitara el conocimiento de los hechos regidos en un tratamiento de aguas residuales, y gracias a los cuales se facilitara el estudio y desarrollo de un sistema de tratamiento.

#### 2.6.1.1 Inductivo

Para este estudio, se tomó una referencia el caudal medido mediante el método volumétrico manual, esto nos permitió conocer la cantidad de agua contaminada en el Río Guaranda. Luego se procedió a recoger muestras en los frascos estériles para sus posteriores caracterizaciones desarrolladas en el Laboratorio de Control de Calidad del Sistema de Tratamiento de Agua Potable “CHAQUISHCA”. Los resultados obtenidos fueron tabulados y comparados con un estudio realizado anteriormente, para el desarrollo del sistema de tratamiento de aguas residuales.

### **2.6.1.2 *Deductivo***

Para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, se deberá tomar en cuenta los efectos que produce la contaminación hacia el entorno y sectores aledaños, cuyas descargas son de forma directa. Para dar una solución se incluyó etapas de tratamientos primarios, secundarios, los mismos que serán seleccionados de acuerdo a las características que presenta dicha agua, y cuyo objetivo es asegurar que los parámetros establecidos por el TULAS estén dentro del rango permitido para que el efluente vuelva a ser reutilizado en la agricultura.

### **2.6.1.3 *Experimental***

Los métodos experimentales que se realizaron a las muestras recogidas del Río Guaranda, fueron las físico-químicas y microbiológicas. Para conocer las medidas exactas, de las sustancias coagulantes y floculantes se utilizó la prueba de jarras. Además la recolección de datos resulta clave en el trabajo de experimentación.

#### **2.6.1.3.1 *Estado Actual de la Planta.***

El agua residual pasa por un canal de conducción, el mismo que fluye al interior de la planta de tratamiento seguido por un sistema de rejillas, seguidamente pasa por dos tanques desarenadores de flujo horizontal, que remueve las arenas que arrastra está agua. Como tratamiento primario utiliza tres tanques sedimentadores que elimina los sólidos sedimentables y finalmente posee tres tanques de oxidación donde el agua se purifica. Una vez terminado el tratamiento el agua es vertido nuevamente al Río Guaranda para la utilización en la agricultura.

#### **2.6.1.3.2 *Procesos Existentes***

La planta de tratamiento posee un sistema compuesto de elementos, tales como:

**Canal de entrada.-** Lleva el fluido residual hacia el primer tratamiento preliminar (sistema de rejillas). Está construido de concreto y abarca una velocidad de 0,79 m/s.

Rectangular con medidas: 0,80 m x 0,55 m (ancho, altura) con un borde libre de 0.15 m, cuya profundidad total del canal redondea a 0.70 m.

**Gráfico 2.** Canal de llegada.



*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

**Sistema de rejillas.-** Se utiliza dos tipos de rejillas con una inclinación de 60 grados. La rejilla gruesa que sirve para atrapar residuos grandes como trapos, basura, etc. La rejilla fina que atrapa residuos más pequeños. La limpieza que se realiza es de forma manual. El número de barrotes que posee la rejilla gruesa son 14 y 21 barrotes de rejilla fina.

**Gráfico 3.** Rejillas Gruesas y finas.



*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

**Desarenadores.-** Posee dos desarenadores rectangulares de flujo horizontal paralelos divididos por una pared, utiliza un canal de Parshall la misma que sirve de medidor del caudal y pérdida menor de carga. El volumen que abarca cada tanque es 31 m<sup>3</sup> con una longitud de transición de 3,92 m con un ángulo de divergencia de 12.5°. Utiliza una tubería de PVC de 500 mm de diámetro para la evacuación del agua al sedimentador.



**Gráfico 4.** Desarenadores paralelos rectangulares.



*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

**Sedimentadores.-** Como tratamiento primario para el agua residual se ha ocupado las siguientes medidas: 8,80 m x 26,40m x 2,5 m (ancho, longitud, altura propuesto) los mismos que se encuentran dispuestos paralelamente, eliminando un 50 a 60 % de las materias en suspensión. Para el vertedero de salida donde se promueve la salida del agua residual, la instalación de tubería de PVC de 500 mm de diámetro sirve como conexión para la entrada del agua hacia el tanque de oxidación.

**Gráfico 5.** Sedimentador Rectangular.



*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

**Tanque de Oxidación.-** Son utilizados como parte de un tratamiento secundario, cuya finalidad es depurar al agua residual. Los tanques de oxidación rectangular paralelas, poseen las siguientes medidas: 10,50 m x 31,50 m (ancho, longitud). Para el vertedero de salida, se utiliza tubería PVC de 500 mm de diámetro y lleva el efluente hacia el cuerpo receptor (Río Guaranda).

**Gráfico 6.** Tanque de oxidación rectangular.



*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

### **2.6.2 Técnicas**

Las técnicas utilizados, se basan en el manual “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y el manual de Métodos HACH. La descripción de todas las técnicas aplicadas en el estudio de los parámetros del agua residual del Rio Guaranda se las puede encontrar en el Anexo1.

### **2.7 Análisis**

Con todos los datos recolectados se procederá a registrarlos en diferentes cuadros para cada periodo de tiempo, a fin de que permita realizar un análisis comparativo con la investigación desarrollada anteriormente, y de esta manera poder rediseñar esta planta de tratamiento de aguas residuales. Para determinar la calidad del agua residual, se realizó caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas, mostrándose:

**Tabla 27.** Caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual de la descarga, cuerpo receptor (días soleados) (horas pico)

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA					PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL	Límite Máximo Permissible
		07-abr	11-abr	16-abr	25-abr	30-abr		
COLOR	UTC	20,00	25,00	22,00	30,00	45,00	28,40	-
TURBIEDAD	NTU	120,25	148,67	132,40	150,83	160,57	142,54	-
Ph	.....	7,98	7,54	8,12	7,96	7,83	7,886	5.0 – 9.0
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	264,31	324,60	310,57	366,85	380,09	329,28	-
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	140,68	156,96	146,03	170,71	180,84	159,04	1600
TEMPERATURA	°C	18,09	17,95	18,46	18,32	18,51	18,27	< 35
<b>NITRÓGENO TOTAL (N)</b>	<b>mg/L</b>	<b>22,140</b>	<b>26,58</b>	<b>20,47</b>	<b>22,58</b>	<b>22,43</b>	<b>22,84</b>	<b>15</b>
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0,74	0,68	0,63	0,71	0,69	0,69	-
NITRÓGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,52	0,68	0,57	0,64	0,7	0,622	-
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	8,00	10,00	6,00	11,00	7,00	8,4	1000
FLUORUROS (F)	mg/L	1,18	0,80	0,69	0,97	0,82	0,892	5,0
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,68	0,75	0,64	0,71	0,66	0,688	10,0
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,89	0,94	0,74	0,82	0,90	0,858	2,0
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,026	0,034	0,025	0,030	0,029	0,0288	0,5
COBRE (Cu)	mg/L	0,05	0,08	0,05	0,07	0,08	0,066	1,0
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	120,00	80,00	100,00	110,00	90,00	100	-
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,009	0,007	0,007	0,008	0,008	0,0078	5,0
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	4,30	3,32	3,80	4,25	3,64	3,862	1 000
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,016	0,020	0,018	0,025	0,019	0,0196	2,0
COBALTO (Co)	mg/L	0,064	0,070	0,058	0,069	0,058	0,0638	0,5
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,2
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	5,0
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,1
<b>BARIO (Ba<sup>2+</sup>)</b>	<b>mg/L</b>	<b>18,00</b>	<b>20,00</b>	<b>10,00</b>	<b>16,00</b>	<b>12</b>	<b>15,2</b>	<b>2,0</b>
BROMO (Br)	mg/L	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	-
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	3,60	1,95	2,54	3,36	2,54	2,798	-
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,12	0,10	0,18	0,15	0,19	0,148	-

(Continuación)

OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	25,00	30,00	28,00	32,00	27,00	28,4	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	225,34	226,89	230,47	229,06	234,64	229,28	100
DQO	mg/L	524,12	530,54	533,69	528,47	567,30	536,824	250
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	1300	600	800	1100	700	900	-
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	2500	1800	2100	2800	1900	2220	3000

Fuente: Dpto. Control de Calidad E.P-EMAPA-G – Ruth Bucay (Tesisista)

**Tabla 28.** Caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual de la descarga (días lluviosos) (horas pico)

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA					PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL	Límite Máximo Permissible
		08-abr	09-abr	21-abr	23-abr	29-abr		
COLOR	UTC	45,00	75,00	50,00	65,00	80,00	63,00	-
TURBIEDAD	NTU	220,69	290,63	250,84	315,25	347,96	285,07	-
pH	.....	8,94	8,47	9,56	8,64	9,40	9,00	5.0 – 9.0
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	394,61	324,60	310,57	366,85	380,09	355,34	-
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	190,57	156,96	146,03	170,71	180,84	169,02	1600
TEMPERATURA	° C	16,54	17,95	18,46	18,32	18,51	17,96	< 35
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	32,05	26,580	20,470	22,58	22,43	24,82	15
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	1,16	0,68	0,63	0,71	0,69	0,77	-
NITRÓGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,85	0,68	0,57	0,64	0,7	0,69	-
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	14,00	10,00	6,00	11,00	7,00	9,60	1000
FLUORUROS (F)	mg/L	2,25	0,80	0,69	0,97	0,82	1,11	5,0
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,83	0,75	0,64	0,71	0,66	0,72	10,0

(Continuación)

MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,96	0,94	0,74	0,82	0,90	0,87	2,0
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,047	0,034	0,025	0,030	0,029	0,03	0,5
COBRE (Cu)	mg/L	0,08	0,08	0,05	0,07	0,08	0,07	1,0
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	240,00	80,00	100,00	110,00	90,00	124,00	-
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,008	0,009	0,009	0,009	0,008	0,01	5,0
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	10,25	9,68	7,63	8,82	6,47	8,57	1 000
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,024	0,038	0,027	0,045	0,041	0,04	2,0
COBALTO (Co)	mg/L	0,125	0,185	0,146	0,138	0,129	0,14	0,5
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0,2
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	5,0
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0,1
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	20,00	18,00	15,00	19,00	22,00	18,80	2,0
BROMO (Br)	mg/L	0,12	0,09	0,11	0,10	0,13	0,11	-
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	6,42	3,85	4,62	7,69	4,61	5,44	-
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,21	0,19	0,20	0,24	0,23	0,21	-
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	36,00	25,00	30,00	38,00	32,00	32,20	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	486,72	554,61	503,97	560,09	620,32	545,14	100
DQO	mg/L	856,42	876,45	923,65	890,64	825,64	874,56	250
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	2200	1300	1100	2600	1500	1740,00	-
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4000	2800	3400	3200	3800	3440,00	3000

Fuente: Dpto. Control de Calidad E.P-EMAPA-G – Ruth Bucay (Tesista)

## Prueba de jarras para la turbiedad

Para la ejecución del tratamiento de coagulación – floculación se realizó la prueba de jarras a diferentes turbiedades; en este caso desde 120,25 NTU hasta 347,96 NTU (valores obtenidos mediante la caracterización física).

Los reactivos que se utilizaron por su efectividad fueron: el Policloruro de aluminio PAC y CHEMFLOC 932, floculante aniónico que acelera el proceso de floculación.

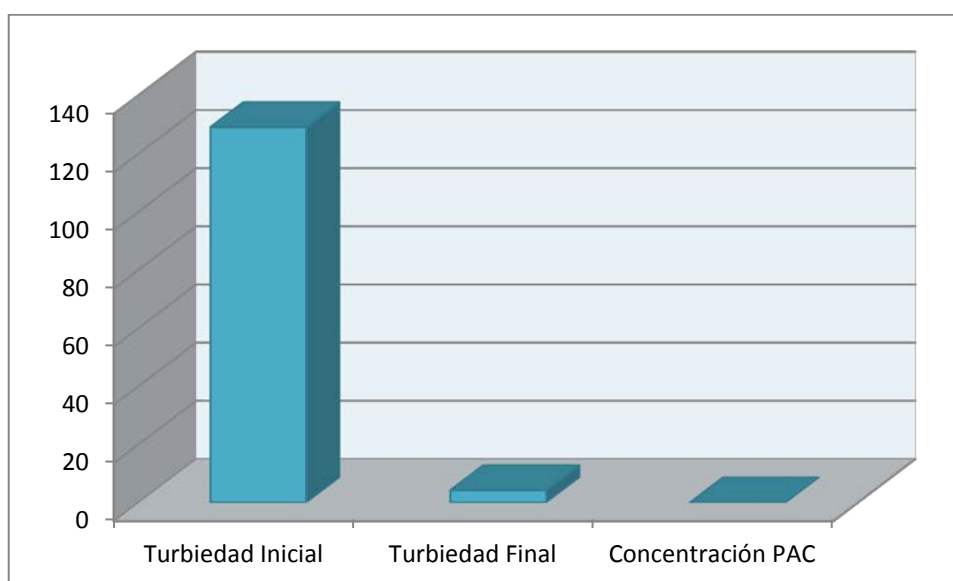
En las siguientes tablas, se indica las concentraciones que se ha utilizado y las dosificaciones que se deberá ocupar tanto para los coagulantes PAC y CHEMFLOC:

**Tabla 29.** Prueba de jarras a turbiedad mínima en días soleados (hora pico).

TURBIEDAD 120,25 NTU							
Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	2,00	0,50	4,12	0,82	11,78	69,51
0,80	0,01	3,00	1,00	3,81	0,72	11,54	70,13
0,80	0,01	4,00	1,50	3,50	0,63	11,30	70,75
0,80	0,01	5,00	2,00	3,21	0,58	11,06	71,38
0,80	0,02	2,00	0,50	8,25	1,49	6,25	83,82
0,80	0,02	3,00	1,00	7,70	1,39	6,01	84,44
0,80	0,02	4,00	1,50	6,46	2,26	5,77	85,07
<b>0,80</b>	<b>0,02</b>	<b>5,00</b>	<b>2,00</b>	<b>11,15</b>	<b>1,67</b>	<b>4,21</b>	<b>89,11</b>
0,80	0,03	2,00	0,50	5,25	1,26	11,66	69,82
0,80	0,03	3,00	1,00	4,91	1,38	11,42	70,44
0,80	0,03	4,00	1,50	4,59	1,42	11,18	71,07
0,80	0,03	5,00	2,00	4,27	1,28	10,94	71,69
0,80	0,04	2,00	0,50	3,96	1,15	10,70	72,31
0,80	0,04	3,00	1,00	3,66	1,28	10,46	72,93
0,80	0,04	4,00	1,50	3,37	1,11	10,22	73,55
0,80	0,04	5,00	2,00	3,09	1,11	9,98	74,18

Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**Gráfico 7.** Prueba de jarras a turbiedad mínima de 120,25 NTU.



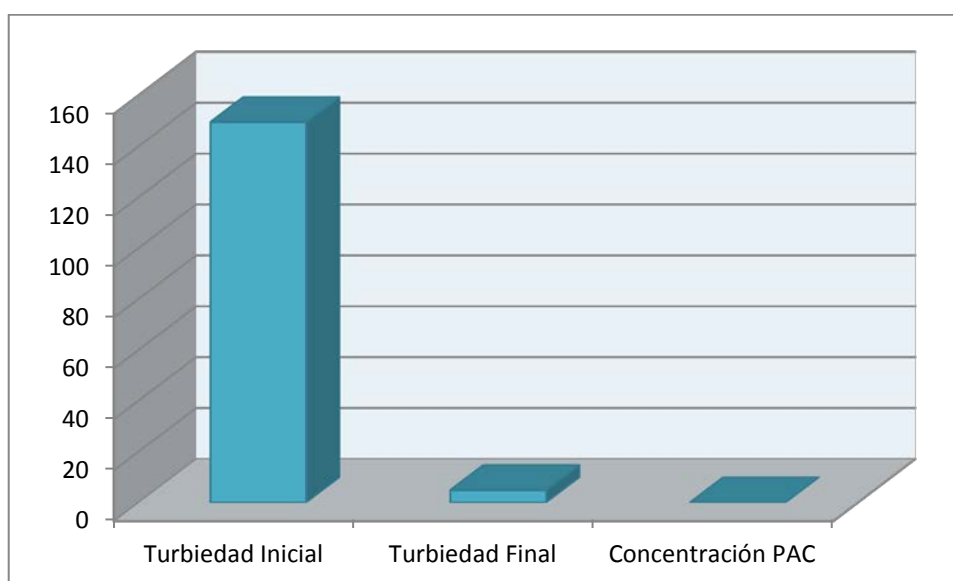
Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**Tabla 30.** Prueba de jarras a turbiedad promedio en días soleados (hora pico).

TURBIEDAD 142,54 NTU							
Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	2,00	0,75	13,71	7,13	21,10	75,93
0,80	0,01	3,00	1,25	12,81	6,28	20,67	76,42
0,80	0,01	4,00	1,75	11,94	5,49	20,24	76,91
0,80	0,01	5,00	2,25	11,10	4,77	19,81	77,40
0,80	0,02	2,00	0,75	14,03	9,54	23,38	73,33
0,80	0,02	3,00	1,25	13,39	8,71	23,09	73,65
0,80	0,02	4,00	1,75	13,82	8,57	22,66	74,14
0,80	0,02	5,00	2,25	14,01	8,27	22,24	74,63
0,80	0,03	2,00	0,75	7,88	8,27	12,12	86,18
0,80	0,03	3,00	1,25	8,97	10,67	10,55	87,97
<b>0,80</b>	<b>0,03</b>	<b>4,00</b>	<b>1,75</b>	<b>1,65</b>	<b>1,98</b>	<b>4,85</b>	<b>94,47</b>
0,80	0,03	5,00	2,25	5,23	6,49	7,70	91,22
0,80	0,04	2,00	0,75	25,84	9,04	34,92	60,16
0,80	0,04	3,00	1,25	23,26	7,68	34,21	60,97
0,80	0,04	4,00	1,75	20,94	6,49	33,78	61,46
0,80	0,04	5,00	2,25	18,52	5,37	33,07	62,27

Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**Gráfico 8.** Prueba de jarras a turbiedad promedio de 142,54 NTU.



Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

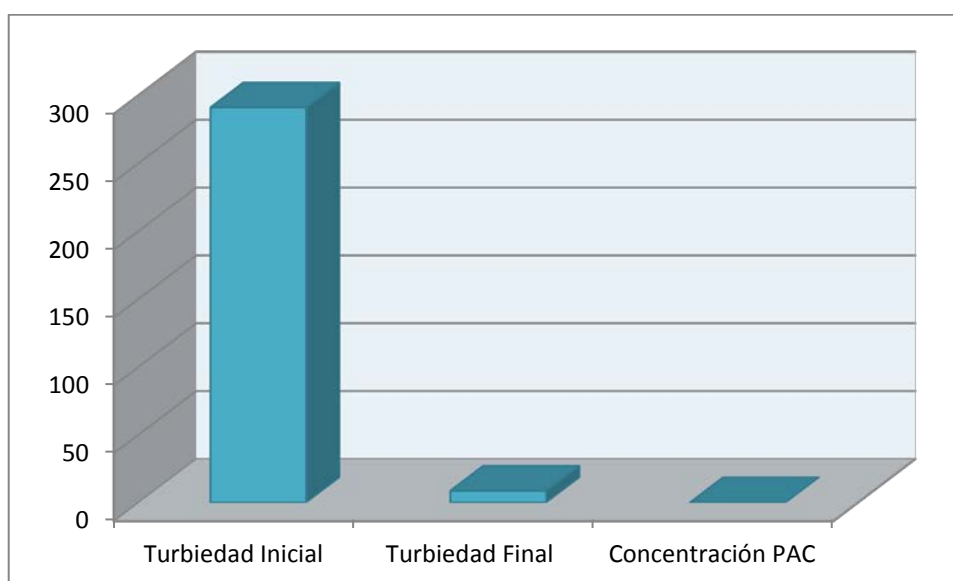
**Tabla 31.** Prueba de jarras a turbiedad promedio en días lluviosos (hora pico).

TURBIEDAD 285,07 NTU							
Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	2,00	0,75	13,39	10,04	24,80	74,81
0,80	0,01	3,00	1,25	12,21	8,55	23,95	75,68
0,80	0,01	4,00	1,75	11,08	7,20	23,09	76,55
0,80	0,01	5,00	2,25	10,01	6,00	22,24	77,42
0,80	0,02	2,00	0,75	12,22	10,39	18,24	81,47
0,80	0,02	3,00	1,25	11,30	9,38	17,39	82,34
0,80	0,02	4,00	1,75	10,42	8,44	16,53	83,21
0,80	0,02	5,00	2,25	9,56	7,56	15,68	84,08
0,80	0,03	2,00	0,75	7,55	7,33	14,25	85,53
0,80	0,03	3,00	1,25	6,83	6,56	13,40	86,39
0,80	0,03	4,00	1,75	6,15	5,84	12,54	87,26
0,80	0,03	5,00	2,25	5,49	5,16	11,69	88,13
0,80	0,04	2,00	0,75	7,00	6,93	11,12	88,71
<b>0,80</b>	<b>0,04</b>	<b>3,00</b>	<b>1,25</b>	<b>4,96</b>	<b>4,81</b>	<b>8,55</b>	<b>91,32</b>
0,80	0,04	4,00	1,75	7,70	7,16	10,26	89,58
0,80	0,04	5,00	2,25	8,88	7,99	10,83	89,00

Fuente: Ruth Bucay (Tesista)



**Gráfico 9.** Prueba de jarras a turbiedad promedio de 285,07 NTU.



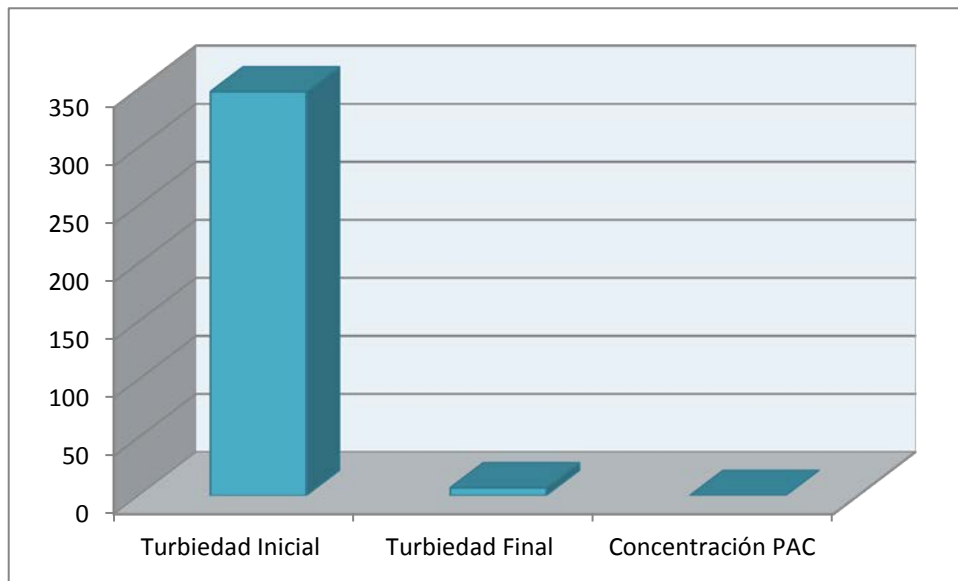
Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

**Tabla 32.** Prueba de jarras a turbiedad máxima en días lluviosos (hora pico).

TURBIEDAD 347,96 NTU							
Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	2,00	0,75	15,35	13,20	34,10	78,50
0,80	0,01	3,00	1,25	14,36	11,92	33,40	78,94
0,80	0,01	4,00	1,75	13,41	10,73	32,71	79,38
0,80	0,01	5,00	2,25	12,48	9,61	32,01	79,82
0,80	0,02	2,00	0,75	20,11	16,89	29,58	81,36
0,80	0,02	3,00	1,25	19,06	15,63	28,88	81,79
0,80	0,02	4,00	1,75	18,04	14,43	28,18	82,23
0,80	0,02	5,00	2,25	17,04	13,29	27,49	82,67
0,80	0,03	2,00	0,75	15,00	10,35	26,79	83,11
0,80	0,03	3,00	1,25	14,09	9,44	26,10	83,55
0,80	0,03	4,00	1,75	13,21	8,59	25,40	83,99
0,80	0,03	5,00	2,25	12,35	7,78	24,71	84,43
0,80	0,04	2,00	0,75	11,20	9,64	12,18	92,32
0,8	0,04	3,00	1,25	11,02	8,82	11,48	92,76
0,80	0,04	4,00	1,75	7,48	5,61	8,70	94,52
<b>0,80</b>	<b>0,04</b>	<b>5,00</b>	<b>2,25</b>	<b>5,16</b>	<b>3,35</b>	<b>6,61</b>	<b>95,83</b>

Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

**Gráfico 10.** Prueba de jarras a turbiedad promedio de 347,96 NTU.



*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

## CAPÍTULO III

### 3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1 Introducción

Para rediseñar e implementar procesos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Guaranda, nos basamos en la caracterización del agua en el sitio captador (Río Guaranda) como en la salida de dicho efluente tratado; donde los resultados de los parámetros nos llevan al desarrollo de los siguientes cálculos:

##### 3.1.1 Población futura

Para calcular la población futura para el año 2030 se utilizara la siguiente Ecuación 1

$$P_f = P_a (1 + r n)$$

##### Datos:

$P_a$  = Población actual (26000 habitantes)

$r$  = Índice de crecimiento anual (2,19%)

$$P_f = 26000 [1 + 2,19 \times 10^{-2} (2014 - 2010)]$$

$$P_f = 26000 [1 + 2,19 \times 10^{-2} (4)]$$

$$P_f = 28277,6 \text{ hab.}$$

$$P_f = 28277,6 [1 + 2,19 \times 10^{-2} (2030 - 2014)]$$

$$P_f = 28277,6 [1 + 2,19 \times 10^{-2} (16)]$$

$$P_f = 28277,6 [1 + 0,3504]$$

$$P_f = 38186,07 \text{ hab.}$$

### 3.1.2 Dotación de agua consumida a partir de la medición del caudal

A través de la medición promedio del caudal realizado, tenemos que 130,88 L/s equivale a 11306,13 m<sup>3</sup>/día. Para calcular la cantidad de agua que consume la Ciudad de Guaranda en (L/ hab\*día) se utilizará la siguiente Ecuación 2

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

$$D_c = \frac{11306,13 \text{ m}^3/\text{día} \times 1000 \text{ L/m}^3}{28277,6 \text{ hab}}$$

$$D_c = 399,83 \text{ L / hab. * día}$$

El Caudal servido, se calcula al conocer que la población futura para el año 2030 es de 38186,07 habitantes y mediante la siguiente Ecuación 3

$$Q_m = \frac{\text{Población} \times D_c}{1000 \text{ L/m}^3}$$

$$Q_m = \frac{38186,07 \text{ hab} \times 399,83 \text{ L/hab*día}}{1000 \text{ L/m}^3}$$

$$Q_m = 15267,94 \text{ m}^3/\text{día}$$

El caudal medio diario (Q<sub>md</sub>) con un valor de K<sub>1</sub> de 0,8. Se calcula con la Ecuación 4

$$Q_{md} = K_1 \times Q_{servido}$$

$$Q_{md} = 0,8 \times 15267,94 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{md} = 12214,35 \text{ m}^3/\text{día}$$

Caudal de diseño, expresado en (m<sup>3</sup>/h) se obtiene mediante la Ecuación 5

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{Q_{\text{md}}}{24 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{12214,35 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 508,93 \text{ m}^3/\text{h}$$

Caudal máximo diario ( $Q_{\text{máx}}$ ) maneja un valor para  $K_p$  de 1,5 y mediante la Ecuación 6

$$Q_{\text{máx}} = K_p \times Q_{\text{md}}$$

$$Q_{\text{máx}} = 1,5 \times 12214,35 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{máx}} = 763,39 \text{ m}^3/\text{h}$$

Caudal mínimo diario ( $Q_{\text{mín}}$ ) el valor  $K$  es 0,3. Se calcula mediante la Ecuación 7

$$Q_{\text{mín}} = K \times Q_{\text{md}}$$

$$Q_{\text{mín}} = 0,3 \times 12214,35 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{mín}} = 152,68 \text{ m}^3/\text{h}$$

Caudal punta ( $Q_p$ ) para el tiempo de lluvias  $K_1$  es cinco veces y para el tiempo de sequía es tres veces; se asume un promedio de 4 veces. Este caudal se ha empleado para el rediseño de la Planta de Tratamientos y se calcula mediante la Ecuación 8

$$Q_p = K_1 \times Q_{\text{md}}$$

$$Q_p = 4 \times 12214,35 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_p = 2035,72 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.1.3 Sistema de tratamiento

#### 3.1.3.1 Pretratamiento

##### 3.1.3.1.1 Rediseño del Cribado o Rejilla

Las rejillas son de tipo limpieza manual, son limpiadas periódicamente y posee una inclinación de 60° con respecto al plano horizontal. Las rejillas gruesas como finos tendrán una anchura de barra de 5mm, las mismas que están resumidas en la Tabla 6. Para rediseñar los tipos de rejillas, se deberá ampliar el canal que lleva el agua residual a la Planta de Tratamiento. La velocidad de entrada del agua residual se obtendrá

#### **Datos:**

S = Pendiente: Dato de los planos del levantamiento topográfico – 2%

Rh = Radio hidráulico promedio: 0,11 m

n = Coeficiente de Manning: Material de concreto – 0,013

Al conocer los datos especificados y la Ecuación de Manning, se obtiene la Ecuación 9

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

$$v = \frac{1}{0,013} 0,11^{2/3} 0,002^{1/2}$$

$$v = 0,79 \text{ m/s}$$

##### 3.1.3.1.1.1 Rediseño del canal

Área transversal total del canal, se calcula mediante la Ecuación 10

$$A_t = \frac{Qp}{v}$$

$$A_t = \frac{0,565 \text{ m}^3/\text{s}}{0,79 \text{ m/s}}$$

$$A_t = 0,71 \text{ m}^2$$

El tirante en el canal, se propone un ancho de canal 1,5 m y con la Ecuación 11

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

$$H_a = \frac{0,71 \text{ m}^2}{1,5 \text{ m}}$$

$$H_a = 0,47 \text{ m}$$

Se establece que el borde libre  $h_o$  sea de 0,27 m, entonces la profundidad total del canal se calcula al sumar  $H_a + h_o$  tomando el valor de 0,74 m.

Longitud de las barras para las rejillas, se calcula mediante la Ecuación 12

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen } \alpha}$$

$$L_b = \frac{0,47 \text{ m}}{\text{sen } 60}$$

$$L_b = 0,54 \text{ m}$$

### **3.1.3.1.1.2 Rediseño de rejillas gruesos**

Suma de las separaciones entre barras, se utiliza valores tomados de la Tabla 5 Para la separación entre barras (e) 42 mm y espesor (S) 13mm; teniendo así la Ecuación 13

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

$$bg = \left( \frac{1500 - 42}{13 + 42} + 1 \right) 42$$

$$bg = 1155,38 \text{ mm}$$

$$bg = 1,16 \text{ m}$$

La suma de la separación entre barras es de 1,16 m. Al asumir un ancho del canal de 1,50 m cada barrote existente ocuparan un espacio de 0,34 m.

El área de espacio entre barrotes, se calcula mediante la Ecuación 14

$$\text{Área de espacios} = b_g \times L_b$$

$$\text{Área de espacios} = 1,15 \text{ m} \times 0,54 \text{ m}$$

$$\text{Área de espacios} = 0,62 \text{ m}^2$$

Velocidad a través de la rejilla gruesa, se calcula mediante la Ecuación 15

$$V_c = \frac{Q_p}{A_{\text{espacios}}}$$

$$V_c = \frac{0,565 \text{ m}^3/\text{s}}{0,62 \text{ m}^2}$$

$$V_c = 0,91 \text{ m/s}$$

Número de barrotes de la rejilla gruesa, (adimensional) se calcula por la Ecuación 16

$$n = \frac{bg}{e} - 1$$

$$n = \frac{1155,38 \text{ mm}}{42 \text{ mm}} - 1$$



$$n = 26,5 \cong 27$$

Pérdida de Carga, se calcula mediante la Ecuación 17 Teniendo en cuenta:

**Datos:**

k = Coeficiente empírico: 1/0,7

g = Aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

V<sub>c</sub> = Velocidad de flujo de las rejillas gruesas: 0,91 m/s

v = Velocidad de entrada del agua residual: 0,79 m/s

$$h_f = k \left( \frac{V_c^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

$$h_f = \frac{1}{0,7} \left( \frac{(0,91 \text{ m/s})^2 - (0,79 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_f = 0,015 \text{ m}$$

**3.1.3.1.1.3 Rediseño de rejillas finas**

Suma de las separaciones entre barras para rejillas finas, se utiliza valores de la Tabla 5 Para separación entre barras (e) 18 mm y espesor (S) 13mm. Ecuación de la página 21:

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

$$bg = \left( \frac{1500 - 18}{13 + 18} + 1 \right) 18$$

$$bg = 878,52 \text{ mm}$$

$$bg = 0,88 \text{ m}$$

La separación entre barras es de 0,88 m. Al asumir un ancho del canal de 1,50 m cada barrote existente ocuparan un espacio de 0,62 m.

El área de espacio entre barrotes, se calcula mediante la Ecuación de la página 21:

$$\text{Área de espacios} = b_g \times L_b$$

$$\text{Área de espacios} = 0,88 \text{ m} \times 0,54 \text{ m}$$

$$\text{Área de espacios} = 0,47 \text{ m}^2$$

Velocidad a través de la rejilla fina, se calcula mediante la Ecuación de la página 21:

$$V_c = \frac{Q_p}{A_{\text{espacios}}}$$

$$V_c = \frac{0,565 \text{ m}^3/\text{s}}{0,47 \text{ m}^2}$$

$$V_c = 1,20 \text{ m/s}$$

Número de barrotes de la rejilla fina, (adimensional) con la Ecuación de la página 21:

$$n = \frac{bg}{e} - 1$$

$$n = \frac{878,52 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1$$

$$n = 47,80 \cong 48$$

Pérdida de Carga, se calcula mediante la Ecuación de la página 21. Teniendo en cuenta:

**Datos:**

k = Coeficiente empírico: 1/0,7

g = Aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

V<sub>c</sub> = Velocidad de flujo de las rejillas gruesas: 1,20 m/s

v = Velocidad de entrada del agua residual: 0,79 m/s

$$h_f = k \left( \frac{V_c^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

$$h_f = \frac{1}{0,7} \left( \frac{(1,20 \text{ m/s})^2 - (0,79 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_f = 0,059 \text{ m}$$

### 3.1.3.1.2 Rediseño del Desarenador Rectangular de F.H.

Para rediseñar al desarenador rectangular de flujo horizontal de limpieza manual se deberá ocupar los siguientes parámetros:

Velocidad de sedimentación; tiene relación los diámetros de las partículas con el régimen de flujo, se aplica la Ley de Allen mediante la Ecuación 18

#### Datos:

d = Diámetro de la partícula: 0.03 cm

$\mu$  = Viscosidad cinemática del agua a 13,5°C:  $1,1595 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$

$\rho_o = \rho_{\text{H}_2\text{O}}$  a 4 °C:  $1000 \text{ kg/m}^3$

$\rho_a = \rho_r \times \rho_o = 2,65 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2650 \text{ kg/m}^3$

$\rho$  = Densidad del agua a 13,5°C:  $998,95 \text{ kg/m}^3$

$$V_s = 0,22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$$

$$V_s = 0,22 \left( \frac{2650 - 998,95}{998,95} \times 9,8 \right)^{2/3} \left[ \frac{0,0003}{((1,1595 \times 10^{-3})/998,95)^{1/3}} \right]$$

$$V_s = 0,040 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds (adimensional) se calcula mediante la Ecuación 19

$$N_{Re} = \frac{V_s \times \rho \times d}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,040 \times 998,95 \times 0,0003}{1,1595 \times 10^{-3}}$$

$$N_{Re} = 10,34$$

Coefficiente de arrastre  $C_D$  se calcula con el  $N_{Re}$  mediante la siguiente Ecuación 20

$$C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34$$

$$C_D = \frac{24}{10,34} + \frac{3}{\sqrt{10,34}} + 0,34$$

$$C_D = 3,59$$

Velocidad de sedimentación crítica en la zona de transición, se calcula con Ecuación 21

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_D} (\rho_r - 1) \times d}$$

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{9,8}{3,59} (2,65 - 1) \times 0,0003}$$

$$V_{sc} = 0,042 \text{ m/s}$$

Caudal a tratar en el desarenador, se calcula a través de la Ecuación 22

$$Q_o = \frac{Q_p}{\text{Unidades}}$$

$$Q_o = \frac{565 \text{ L/s}}{2} = 282,5 \text{ L/s}$$

Altura, se calcula con la relación ancho - profundidad 1:1; valor asumido de la Tabla 8

$$\frac{b}{h} = \frac{1}{1}$$

$$h = \frac{b}{1} \longrightarrow \frac{2,5}{1}$$

$$h = 2,5 \text{ m}$$

Velocidad horizontal se calcula a través de la siguiente Ecuación 23

$$V_h = \frac{Q_o}{A_T}$$

$$V_h = \frac{0,2825 \text{ m}^3/\text{s}}{18,75 \text{ m}^2}$$

$$V_h = 0,015 \text{ m/s}$$

Área total, se calcula mediante la siguiente Ecuación 24

$$A_T = Lg \times b$$

$$A_T = 7,50 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$$

$$A_T = 18,75 \text{ m}^2$$

Volumen del desarenador, se calcula con la Ecuación 25

$$V = b \times lg \times h$$

$$V = 2,5 \text{ m} \times 7,50 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$$

$$V = 46,88 \text{ m}^3$$

Periodo de retención hidráulico, se calcula mediante el volumen que contiene dicho desarenador; se conoce a través de la Ecuación 26

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_0}$$

$$T_{rh} = \frac{46,88 \text{ m}^3}{0,2825 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$T_{rh} = 165,95 \text{ s}$$

Tirante sobre el vertedero de salida, se calcula mediante la Ecuación 27

$$h_v = \left( \frac{Q_0}{1,84 \times b} \right)^{2/3}$$

$$h_v = \left( \frac{0,2825}{1,84 \times 2,5} \right)^{2/3}$$

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

Velocidad de paso por el vertedero de salida, se calcula a través de la Ecuación 28

$$U_v = \left( \frac{Q_0}{h_v \times b} \right)^{2/3}$$

$$U_v = \left( \frac{0,2825}{0,15 \times 2,5} \right)^{2/3}$$

$$U_v = 0,83 \text{ m/s}$$

La concentración promedio de sólidos totales que posee el agua residual de la ciudad de Guaranda tiene una concentración baja de **164.03 mg/L**.

Volumen de arena, se conoce que los de sólidos en suspensión tipo “fijos” es 20 mg/L que equivale a 9,1 cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> valor de la Tabla 9 Se calcula mediante la Ecuación 29

$$Va = SSF \times Q_o$$

$$Va = 9,1 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \times 0,2825 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Va = 2,57 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Va = 0,222 \text{ m}^3/\text{día}$$

Volumen de lodos, se calcula al asumir la altura y longitud del tanque de reserva de lodos, y se conoce a través de la siguiente Ecuación 30

$$V_1 = lg \times b \times h$$

$$V_1 = 1 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 0,92 \text{ m}$$

$$V_1 = 2,3 \text{ m}^3$$

Segundo volumen de lodos, se calcula con la Ecuación 31

$$V_2 = \frac{lg \times b \times h}{2}$$

$$V_2 = \frac{9 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 0,46 \text{ m}}{2}$$

$$V_2 = 5,17 \text{ m}^3$$

Volumen total de lodos, se conoce a través de las Ecuaciones 32. Teniendo:

$$V_t = V_1 + V_2$$

$$V_t = 2,3 \text{ m}^3 + 5,17 \text{ m}^3$$

$$V_t = 7,47 \text{ m}^3$$

Intervalo de tiempo, se debe tener en cuenta el volumen por línea de lodos y el caudal de las arenas; se calcula con la siguiente Ecuación 33

$$t = \frac{V_t}{Q_a}$$

$$t = \frac{7,47 \text{ m}^3}{0,222 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$t = 33,65 \text{ días} \cong 34 \text{ días}$$

Entonces por cada 34 días, se deberá abrir las compuertas de los extremos del tanque de los lodos para su eficiente salida. El desarenador tendrá un ángulo de divergencia de 12°

### **3.1.3.2 Tratamiento Primario**

#### **3.1.3.2.1 Dimensionamiento para la Coagulación - floculación**

Este proceso consiste en tratar al agua residual con aditivos químicos que favorezcan la sedimentación rápida de flóculos, formados por la materia coloidal no sedimentable. Para el dimensionamiento de este tratamiento se debe tener en cuenta:

Área superficial, cuyo valor tomado de la Tabla 11 es 50 m/d y con la Ecuación 34

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

$$A_s = \frac{48857,4 \text{ m}^3/\text{día}}{50 \text{ m}/\text{día}}$$

$$A_s = 977,15 \text{ m}^2$$

El ancho “b” del tanque floculador, se calculará mediante las ecuaciones 35 y 36



$$A_s = 4 b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{4}}$$

$$b = \sqrt{\frac{977,15 \text{ m}^2}{4}}$$

$$b = 15,63 \text{ m}$$

El largo "Lg" del tanque floculador, se calculará mediante la siguiente Ecuación 37

$$Lg = 4 b$$

$$Lg = 4 (15,63 \text{ m})$$

$$Lg = 62,52 \text{ m}$$

Diámetro de la tubería, se conoce a través de la siguiente Ecuación 38

$$\phi_{Tubería} = \sqrt{\frac{4 Q}{v \pi}}$$

$$\phi_{Tubería} = \sqrt{\frac{4 \times 0,565 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 0,217 \text{ m}/\text{s}}}$$

$$\phi_{Tubería} = 1,82 \text{ m}$$

Volumen del desarenador, se asume una altura de 2,7 m. Ecuación de la Página 25:

$$V = b \times lg \times h$$

$$V = 15,63 \text{ m} \times 62,52 \text{ m} \times 2,7 \text{ m}$$

$$V = 2638,41 \text{ m}^3$$

Periodo de retención hidráulico, se calcula mediante el volumen que contiene dicho floculador; se conoce a través de la Ecuación de la Página 25:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_p}$$

$$T_{rh} = \frac{2638,41 \text{ m}^3}{48857,4 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$T_{rh} = 0,054 \text{ día}$$

$$T_{rh} = 1,30 \text{ h}$$

Diámetro del tanque, se conoce a través de la siguiente Ecuación 39

$$\phi_{Tanque} = \sqrt[3]{4 x \frac{V}{\pi}}$$

$$\phi_{Tanque} = \sqrt[3]{4 x \frac{2638,41 \text{ m}^3}{\pi}}$$

$$\phi_{Tanque} = 14,97 \text{ m} \cong 15,00 \text{ m}$$

Diámetro del impulsor para la paleta se conocerá a través de la Ecuación 40

$$C = \frac{1}{3} \phi_{Tanque}$$

$$C = \frac{1}{3} x 15,00 \text{ m}$$

$$C = 5,00 \text{ m}$$

Ancho de las palas del impulsor, se calcula a través de la Ecuación 41

$$q = \frac{1}{5} C$$

$$q = \frac{1}{5} \times 5,00 \text{ m}$$

$$q = 1,00 \text{ m}$$

Longitud de las palas del impulsor, se calcula a través de la Ecuación 42

$$l = \frac{1}{4} C$$

$$l = \frac{1}{4} \times 5,00 \text{ m}$$

$$l = 1,25 \text{ m}$$

Longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central, calcula la Ecuación 43

$$l_{DC} = \frac{1}{2} C$$

$$l_{DC} = \frac{1}{2} \times 5,00 \text{ m}$$

$$l_{DC} = 2,50 \text{ m}$$

Diámetro del disco central, se calcula mediante la siguiente Ecuación 44

$$s = \frac{1}{4} \Phi_{Tanque}$$

$$s = \frac{1}{4} \times 15,00 \text{ m}$$

$$s = 3,75 \text{ m}$$

Potencia disipada de la mezcla, se calcula utilizando el valor del gradiente de velocidad de la Tabla 13 y se conoce mediante la Ecuación 45

**Datos:**

$G$  = gradiente de velocidad:  $50 \text{ s}^{-1}$  a un tiempo de retención 30 – 60 min.

$\mu$  = viscosidad dinámica a una temperatura de  $13,5^\circ\text{C}$ :  $1,1595 \times 10^{-3} \text{ Kg/m s}$

$V$  = volumen de floculación:  $2638,41 \text{ m}^3$

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

$$P = \left(50/s\right)^2 (1,1595 \times 10^{-3} \text{ Kg/m s}) (2638,41 \text{ m}^3)$$

$$P = 7648,09 \text{ W} \quad \frac{1CV}{745,7 \text{ W}} \quad \frac{1HP}{0,9863 \text{ CV}}$$

$$P = 10,40 \text{ HP}$$

Área de las paletas, se calcula con el valor  $C_D$  de la tabla 14 mediante la Ecuación 46

**Datos:**

$C_D$  = coeficiente de resistencia al avance de las paletas: 1,20

$v$  = velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido a emplear: se asume valores entre 0,6 y 0,75.

$\rho$  = densidad del fluido:  $1000 \text{ Kg/m}^3$

$$A = \frac{2P}{\rho \times C_D \times v^3}$$

$$A = \frac{2 (7648,09 \text{ W})}{(1000 \text{ Kg/m}^3) (1,20) (0,65\text{m/s})^3}$$

$$A = 46,41 \text{ m}^2$$

Longitud de la Paleta sección transversal, se conoce a través de la siguiente Ecuación 47

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

$$l_p = \frac{46,41 \text{ m}^2}{15,63 \text{ m}}$$

$$l_p = 2,97 \text{ m}$$

### **Dosificación de las Sustancias Químicas**

Aforo de la solución PAC. Se calcula mediante la siguiente Ecuación 48

$$x = \frac{Q_p \times C}{P \times \rho}$$

$$x = \frac{2035,72 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ mg/L}}{1 \times 1,25 \text{ Kg/L}}$$

$$x = 542,86 \text{ mL/min}$$

$$x = 781,72 \text{ L/día}$$

Aforo de la solución de CAL. Se calcula a través de la Ecuación 49

$$x = \frac{Q_p \times C}{P \times \rho}$$

$$x = \frac{2035,72 \text{ m}^3/\text{h} \times 25 \text{ mg/L}}{1 \times 2,21 \text{ Kg/L}}$$

$$x = 383,81 \text{ mL/min}$$

$$x = 552,69 \text{ L/día}$$

Las dosificaciones de las sustancias químicas, serán colocadas manualmente mediante el método por goteo. Se utilizarán dos motores de 5,50 HP para coagular las mezclas coagulantes y flocular las partículas de diámetros pequeños.

### 3.1.3.2.2 Rediseño del Sedimentador rectangular de F.H.

La sedimentación puede darse una o varias veces, dependiendo del rediseño que se quiera realizar a la planta de tratamiento. En nuestro caso existirá, un solo sedimentador de forma rectangular de flujo horizontal y se calcula mediante los siguientes criterios:

Área superficial, se conoce mediante el valor propuesto de velocidad terminal 2,2 m/h, Tabla 16 y se calcula a través de la Ecuación 50

$$A_s = \frac{Q_p}{V_c}$$

$$A_s = \frac{2035,72 \text{ m}^3/\text{h}}{2,2 \text{ m/h}}$$

$$A_s = 925,33 \text{ m}^2$$

El ancho “b” del tanque sedimentador se calcula con las Ecuaciones de la Página 30:

$$A_s = 4 b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{4}}$$

$$b = \sqrt{\frac{925,33 \text{ m}^2}{4}}$$

$$b = 15,21 \text{ m}$$

El largo “Lg” del tanque sedimentador se calcula con la Ecuación de la Página 30:

$$L_g = 4 b$$

$$L_g = 4 \times 15,21 \text{ m}$$

$$Lg = 60,84 \text{ m}$$

Volumen del tanque de sedimentación rectangular, se calcula al asumir una altura de 3,6 m y se conoce mediante la Ecuación de la Página 25:

$$V = b \times lg \times h$$

$$V = 15,21 \text{ m} \times 60,84 \text{ m} \times 3,6 \text{ m}$$

$$V = 3331,35 \text{ m}^3$$

Periodo de retención hidráulico, se calcula mediante el volumen que contiene dicha sedimentación rectangular; se conoce a través de la Ecuación de la Página 25:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_p}$$

$$T_{rh} = \frac{3331,35 \text{ m}^3}{2035,72 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_{rh} = 1,64 \text{ h}$$

Velocidad de arrastre, se calcula por medio de la Ecuación 51

**Datos:**

k = Constante de cohesión: 0,05

S = Gravedad específica: 1,25

d = Diámetro de las partículas: 0,0003 m

f = Factor de fricción Darcy – Weisbach: para concreto es 0,025

$$v_A = \left( \frac{8k (s-1) g d}{f} \right)^{1/2}$$

$$v_A = \left( \frac{8 \times 0,05 \times (1,25 - 1) \times 9,8 \times 0,0003}{0,025} \right)^{1/2}$$

$$v_A = 0,11 \text{ m/s}$$

Área sección transversal, se conoce por medio de la Ecuación 52

$$A_t = \frac{V_{\text{Tanque sedimentador}}}{Lg_{\text{Tanque sedimentador}}}$$

$$A_t = \frac{3331,35 \text{ m}^3}{60,84 \text{ m}}$$

$$A_t = 54,75 \text{ m}^2$$

Velocidad horizontal, se calcula mediante la Ecuación 53

$$v_H = \frac{Q_p}{A_t}$$

$$v_H = \frac{0,565 \text{ m}^3/\text{s}}{54,75 \text{ m}^2}$$

$$v_H = 0,010 \text{ m/s}$$

Por lo tanto  $0,010 \ll 0,11$ ; en donde el material sedimentado no será re-suspendido, evitando el arrastre de las partículas.

Tasa de remoción de DBO, se conoce con los valores de la Tabla 18 y la Ecuación 54

**Datos:**

a = Constante: 0,018

b = Constante: 0,020

$$REMOCIÓN DBO = \frac{tr}{a + (b \times tr)}$$



$$REMOCIÓN DBO = \frac{1,64}{0,018 + (0,020 \times 1,64)}$$

$$REMOCIÓN DBO = 32,28 \%$$

Tasa de remoción de SST, se conoce con los valores de la Tabla 18 y la Ecuación 55

**Datos:**

a = Constante: 0,0075

b = Constante: 0,014

$$REMOCIÓN SST = \frac{tr}{a + (b \times tr)}$$

$$REMOCIÓN SST = \frac{1,64}{0,0075 + (0,014 \times 1,64)}$$

$$REMOCIÓN SST = 53,84 \%$$

Altura máxima, se considera una pendiente del 10% en el fondo de la unidad, y se conoce mediante la siguiente Ecuación 56

**Datos:**

H' = Altura máxima: 0,10 m

H = Altura del tanque sedimentador: 3,6 m

$$H' = H + 0,10 H$$

$$H' = 3,6 m + (0,10 \times 3,6 m)$$

$$H' = 3,96 m$$

Altura de agua sobre el vertedero, se calcula mediante la Ecuación 57

$$Hv = \left[ \frac{Q_p}{1,84 \times 0,75 b} \right]^{2/3}$$

$$Hv = \left[ \frac{0,565}{1,84 \times 0,75 \times 15,21} \right]^{2/3}$$

$$Hv = 0,090 \text{ m}$$

Longitud final de la unidad, se propone una distancia entre la entrada de dicho tanque a la pantalla difusora de 1m y se calcula a través de la Ecuación 58

$$l_{gf} = Lg + 1 \text{ m}$$

$$l_{gf} = 60,84 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

$$l_{gf} = 61,84 \text{ m}$$

### **Rediseño de la Pantalla Difusora**

Área total de los orificios, se calcula al proponer una velocidad de orificios 0,1 m/s mediante la utilización de la siguiente Ecuación 59

$$A_{To} = \frac{Q_p}{V_o}$$

$$A_{To} = \frac{0,565 \text{ m}^3/\text{s}}{0,1 \text{ m/s}}$$

$$A_{To} = 5,65 \text{ m}^2$$

Área de cada orificio, se asume un diámetro de orificio 0,40 m, calcula la Ecuación 60

$$A_o = \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2$$

$$A_o = \pi \left( \frac{0,40 \text{ m}}{2} \right)^2$$

$$A_o = 0,125 \text{ m}^2$$

Número de orificios (adimensional) se calcula mediante la Ecuación 61

$$n = \frac{A_{T_o}}{A_o}$$

$$n = \frac{5,65 \text{ m}^2}{0,125 \text{ m}^2}$$

$$n = 45,2 \cong 45$$

Porción altura de la pantalla difusora con orificios, se obtiene mediante la Ecuación 62

$$H_{pd} = H - \left[ \frac{2}{5} \times H \right]$$

$$H_{pd} = 3,6 \text{ m} - \left[ \frac{2}{5} \times 3,6 \text{ m} \right]$$

$$H_{pd} = 2,16 \text{ m}$$

Espacio entre filas de orificios, se propone que el número de filas de orificios sea 5 y se calcula a través de la siguiente Ecuación 63

$$a_1 = \frac{H_{pd}}{n_{f+1}}$$

$$a_1 = \frac{2,16 \text{ m}}{6}$$

$$a_1 = 0,36 \text{ m}$$

Espacio entre columnas de orificios, se propone que el número de columnas de orificios sea 9 y se conoce a través de la siguiente Ecuación 64

$$a_2 = \frac{b}{n_c + 1}$$

$$a_2 = \frac{15,21 \text{ m}}{10}$$

$$a_2 = 1,52 \text{ m}$$

Cantidad de lodo a extraer del sedimentador, se conoce que sólidos en suspensión tipo “fijos” es  $3,0 \text{ cm}^3/\text{m}^3$  (dato proporcional) se calcula con la Ecuación de la Página 26:

$$V_a = SSF \times Q_p$$

$$V_a = 3,0 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \times 0,565 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_a = 1,695 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$V_a = 0,146 \text{ m}^3/\text{día}$$

Volumen total del tanque para lodos, se calcula al asumir la altura y longitud del tanque de reserva de lodos, y se conoce por medio de la Ecuación 65

$$V_t = h \times b \times lg$$

$$V_t = 0,36 \text{ m} \times 15,21 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$V_t = 5,48 \text{ m}^3$$

Intervalo de tiempo, desaloja los lodos sedimentados por la Ecuación de la Página 27:

$$t = \frac{V_t}{\text{Cantidad de lodo a extraer}}$$

$$t = \frac{5,48 \text{ m}^3}{0,146 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$t = 37,53 \text{ días} \cong 37 \text{ días}$$

Por cada 37 días, se debe abrir las compuertas de los extremos del tanque de lodos para que de manera hidráulica se evacuen los lodos. El tanque de la sedimentación rectangular de flujo horizontal posee una pendiente de 10%.

### 3.1.3.3 *Tratamiento Secundario*

#### 3.1.3.3.1 *Dimensionamiento del filtro lento biológico.*

Para el dimensionamiento del filtro lento biológico de arena de tipo rectangular; se utilizará arena y antracita, sencillo y confiable de operar sin controladores de velocidad.

Área superficial, se calcula al asumir una velocidad de filtración de 3 m/h dato tomado de la Tabla 21 y se determina por medio de la Ecuación 66

$$A_s = \frac{Q_p}{n \times V_f}$$

$$A_s = \frac{2035,72 \text{ m}^3/\text{h}}{4 \times 0,3 \text{ m/h}}$$

$$A_s = 1696,43 \text{ m}^2$$

Coefficiente de mínimo costo, depende del número de unidades a utilizar en la filtración biológica y se calcula mediante la siguiente Ecuación 67

$$K = \frac{(2 \times n)}{(n+1)}$$

$$K = \frac{(2 \times 4)}{(4+1)}$$

$$K = 1,6$$

Longitud del filtro, se calcula mediante la siguiente Ecuación 68

$$L = (A_s \times K)^{1/2}$$

$$L = (1696,43 \text{ m}^2 \times 1,6)^{1/2}$$

$$L = 52,09 \text{ m}$$

Ancho total del filtro, se obtiene a través de la siguiente Ecuación 69

$$b = (A_s/K)^{1/2}$$

$$b = (1696,43 \text{ m}^2/1,6)^{1/2}$$

$$b = 32,56 \text{ m}$$

Velocidad de filtración real para filtros lentos, se utiliza la Ecuación 70

$$V_{fR} = \frac{Q_p}{2 \times A_s \times b}$$

$$V_{fR} = \frac{2035,72 \text{ m}^3/\text{h}}{2 \times 1696,43 \times 32,56}$$

$$V_{fR} = 0,018 \text{ m/h}$$

Vertedero de entrada, se calculara a través de la siguiente Ecuación 71

$$h_a = \left( \frac{Q_p}{1,84 \times b} \right)^{2/3}$$

$$h_a = \left( \frac{0,565}{1,84 \times 32,56} \right)^{2/3}$$

$$h_a = 0,045 \text{ m}$$

Volumen de la filtración biológica, posee una altura total de 3,20 m calculado en la Tabla 21 y se conoce a través de la Ecuación de la Página 25:

$$V = b \times l_g \times h$$

$$V = 32,56 \text{ m} \times 52,09 \text{ m} \times 3,20 \text{ m}$$

$$V = 5427,36 \text{ m}^3$$

Periodo de retención hidráulico, se calcula mediante el volumen que contiene dicho tanque de filtración biológica; se obtiene la Ecuación de la Página 25:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_p}$$

$$T_{rh} = \frac{5427,36 \text{ m}^3}{2035,72 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_{rh} = 2,67 \text{ h}$$

El sistema de drenaje posee un criterio de velocidad límite, el mismo que no debe sobrepasar los 0.30 m/s.

### **3.1.3.3.2 Rediseño del tanque de oxidación rectangular**

Se utiliza para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, el cual deriva de residuos humanos, alimentos, jabones, detergentes entre otros.

Volumen del tanque de oxidación, se calcula al proponer un tiempo de retención de 1,15 h el cual se conoce mediante la siguiente Ecuación 72

$$V = Q_p \times tr$$

$$V = 2035,72 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,15 \text{ h}$$

$$V = 2341,08 \text{ m}^3$$

Área superficial, se calcula al asumir una altura de 2,75 m cuya captación de oxígeno será mayor, con un espacio de 0,50 m para situar los lodos en el fondo. Ecuación 73

$$A_s = \frac{V}{H}$$

$$A_s = \frac{2341,08 \text{ m}^3}{2,75 \text{ m}}$$

$$A_s = 851,30 \text{ m}^2$$

El ancho “b” del tanque de oxidación se calcula por las Ecuaciones de la Página 30:

$$A_s = 4 b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{4}}$$

$$b = \sqrt{\frac{851,30 \text{ m}^2}{4}}$$

$$b = 14,59 \text{ m}$$

El largo “Lg” del tanque de oxidación se calcula con la Ecuación de la Página 30:

$$Lg = 4 b$$

$$Lg = 4 \times 14,59 \text{ m}$$



$$Lg = 58,36 \text{ m}$$

Vertedero de entrada, se calculara mediante la Ecuación de la Página 46:

$$ha = \left( \frac{Q_p}{1,84 \times b} \right)^{2/3}$$

$$ha = \left( \frac{0,565}{1,84 \times 14,59} \right)^{2/3}$$

$$ha = 0,076 \text{ m}$$

Porcentaje de la eficiencia de remoción del DQO se conoce mediante la Ecuación 74

$$E_{DQO} = 100 [1 - (0,68 \times t_r^{-0,35})]$$

$$E_{DQO} = 100 [1 - (0,68 \times 1,15^{-0,35})]$$

$$E_{DQO} = 35,25 \%$$

Porcentaje de la eficiencia de la remoción de DBO se calcula a través la Ecuación 75

$$E_{DBO} = 100 [1 - (0,70 \times t_r^{-0,50})]$$

$$E_{DBO} = 100 [1 - (0,70 \times 1,15^{-0,50})]$$

$$E_{DBO} = 34,72 \%$$

La eficiencia del DBO de remoción real es 67 %, cuyo valor depende tanto del tratamiento de sedimentación como del tratamiento de oxidación biológica. El valor de DBO inicial es de 229,28 mg/L

$$DBO_f = DBO_i - \frac{DBO_i \times 67 \%}{100}$$

$$DBO_f = 229,28 - \frac{229,28 \times 67 \%}{100}$$

$$DBO_f = 34,39 \text{ mg/L}$$

Entonces la remoción del DBO obtenido para ser descargada al Río Guaranda se encuentra dentro de la NORMA que exige un límite máximo de 100 mg/L.

## **3.2 Resultados**

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

Se realizó los diferentes análisis físicos-químicos y microbiológicos, en el Laboratorio de Control de Calidad “EMAPA-G” y en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; se procedió a sacar valores promedios, el mismo que es comparado con los valores permisibles del TULAS, Recurso Agua, Libro VI. Descarga efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce.

**Tabla 33.** Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (días soleados) (horas pico)

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA					PROMEDIO DEL AGUA TRATADA	Límite Máximo Permissible
		07-abr	11-abr	16-abr	25-abr	30-abr		
COLOR	UTC	10,02	11,03	11,00	12,00	10,00	10,81	-
TURBIEDAD	NTU	4,24	5,63	4,12	5,83	4,42	4,85	-
Ph	.....	6,37	5,43	5,10	5,65	6,22	5,754	5.0 – 9.0
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	123,20	113,45	100,46	123,54	160,04	124,14	-
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	40,57	45,85	45,02	40,60	39,73	42,354	1600
TEMPERATURA	°C	7,02	6,84	6,49	6,21	5,40	6,39	< 35
<b>NITRÓGENO TOTAL (N)</b>	<b>mg/L</b>	<b>13,810</b>	<b>13,88</b>	<b>12,92</b>	<b>13,97</b>	<b>13,92</b>	<b>13,7</b>	<b>15</b>
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15	0,14	-
NITRÓGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,17	0,17	0,17	0,146	0,169	0,165	-
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	2,34	2,58	3,21	2,78	2,54	2,69	1000
FLUORUROS (F)	mg/L	0,32	0,37	0,69	0,97	0,82	0,6336	5,0
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,68	0,65	0,64	0,71	0,66	0,67	10,0
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,13	0,12	0,13	0,12	0,11	0,122	2,0
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,015	0,122	0,153	0,147	0,116	0,11	0,5
COBRE (Cu)	mg/L	0,02	0,02	0,03	0,015	0,03	0,0222	1,0
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	43,00	51,00	42,00	44,20	51,92	46,42	-
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,004	0,003	0,003	0,002	0,004	0,0032	5,0
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	2,12	2,41	2,01	2,13	2,12	2,16	1 000
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,00464	2,0
COBALTO (Co)	mg/L	0,014	0,020	0,028	0,019	0,028	0,02	0,5
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0,2
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	5,0
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0,1
<b>BARIO (Ba<sup>2+</sup>)</b>	<b>mg/L</b>	<b>1,98</b>	<b>2,00</b>	<b>1,94</b>	<b>1,96</b>	<b>2</b>	<b>1,976</b>	<b>2,0</b>
BROMO (Br)	mg/L	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	-
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	1,54	1,83	1,63	1,25	1,43	1,536	-

(Continuación)

CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,12	0,10	0,18	0,15	0,19	0,15	-
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	13,00	10,67	16,43	12,00	12,40	12,9	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	34,94	36,34	32,53	34,67	33,49	34,39	100
DOO	mg/L	81,01	80,11	81,04	80,17	80,27	80,52	250
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	300	326	314	311	375	325,20	-
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	875	876	870	876	874	874,2	3000

Fuente: Dpto. Control de Calidad E.P- EMAPA-G – Ruth Bucay (Tesisista)

**Tabla 34.** Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (días lluviosos) (horas pico)

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA					PROMEDIO DEL AGUA TRATADA	Límite Máximo Permissible
		07-abr	11-abr	16-abr	25-abr	30-abr		
COLOR	UTC	10,02	11,03	11,00	12,00	10,00	41,6	-
TURBIEDAD	NTU	4,24	5,63	4,12	5,83	4,42	4,85	-
Ph	.....	6,37	5,43	5,10	5,65	6,22	6,488	5.0 – 9.0
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	123,20	113,45	100,46	123,54	160,04	210,23	-
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	40,57	45,85	45,02	40,60	39,73	94,8	1600
TEMPERATURA	°C	7,02	6,84	6,49	6,21	5,40	6,956	< 35
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	13,810	13,88	12,92	13,97	13,92	12,03	15
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15	0,1652	-
NITRÓGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,17	0,17	0,17	0,146	0,169	0,172	-
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	2,34	2,58	3,21	2,78	2,54	4,8	1000
FLUORUROS (F)	mg/L	0,32	0,37	0,69	0,97	0,82	0,744	5,0
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,68	0,65	0,64	0,71	0,66	0,1286	10,0
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,13	0,12	0,13	0,12	0,11	0,44	2,0

(Continuación)

CROMO (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	0,015	0,122	0,153	0,147	0,116	0,016	0,5
COBRE (Cu)	mg/L	0,02	0,02	0,03	0,015	0,03	0,452	1,0
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	43,00	51,00	42,00	44,20	51,92	101,1	-
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,004	0,003	0,003	0,002	0,004	0,0084	5,0
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	2,12	2,41	2,01	2,13	2,12	4,08	1 000
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,0146	2,0
COBALTO (Co)	mg/L	0,014	0,020	0,028	0,019	0,028	0,0838	0,5
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0,2
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	5,0
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0,1
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2,00	2,00	1,98	1,97	1,93	1,976	2,0
BROMO (Br)	mg/L	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,0844	-
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	1,54	1,83	1,63	1,25	1,43	3,892	-
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,12	0,10	0,18	0,15	0,19	0,136	-
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	13,00	10,67	16,43	12,00	12,40	14,2	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	34,94	36,34	32,53	34,67	33,49	81,77	100
DOO	mg/L	81,01	80,11	81,04	80,17	80,27	131,2	250
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	300	326	314	311	375	843,4	-
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	875	876	870	876	874	2580	3000

Fuente: Dpto. Control de Calidad E.P-EMAPA-G – Ruth Bucay (Tesisista)

### 3.2.2 Resultados de las Pruebas de Tratabilidad

Al realizar la prueba de jarras y filtrar dicha agua; se volvió a caracterizar tanto física, química como bacteriológicamente. Los parámetros que se encuentran fuera de la Norma TULAS, bajaron notoriamente hasta obtener un agua tratada dentro del límite permisible para la descarga del agua residual al agua dulce (Río Guaranda).

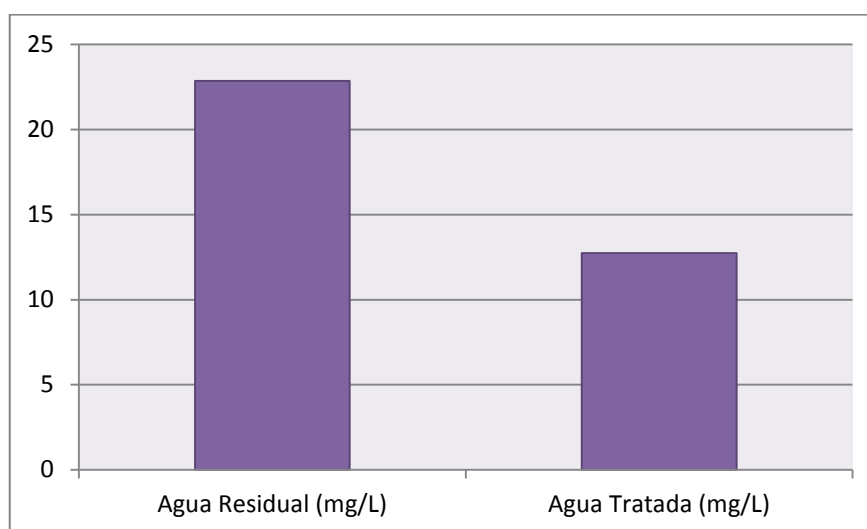
Los parámetros que no están cumpliendo con la Norma del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, en días soleados (hora pico) son:

**Tabla 35.** Caracterización química del nitrógeno total en días soleados.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permissible (mg/L)
22,84	12,73	44	15,00

*Fuente: Ruth Bucay*

**Gráfico 11.** Disminución del nitrógeno total en días soleados.



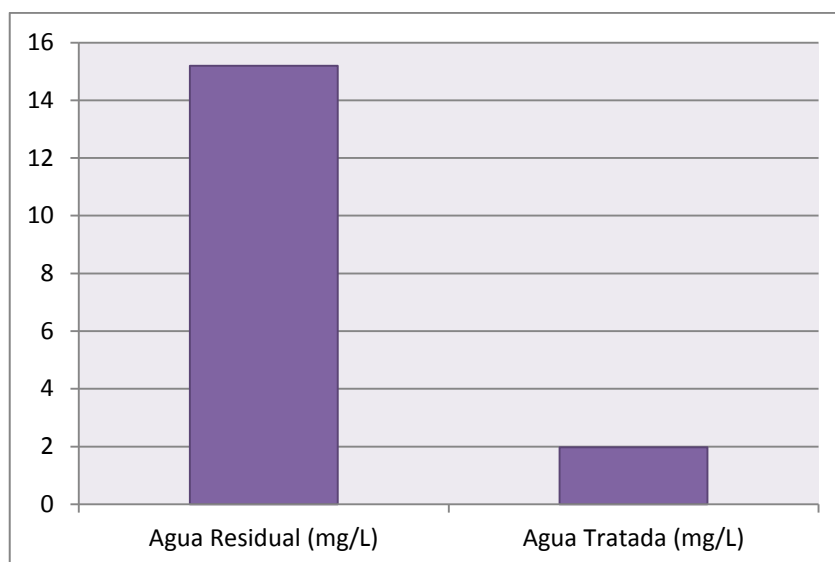
*Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)*

**Tabla 36.** Caracterización química del bario en días soleados.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permisible (mg/L)
15,2	1,976	87	2,00

Fuente: Ruth Bucay

**Gráfico 12.** Disminución del bario en días soleados.



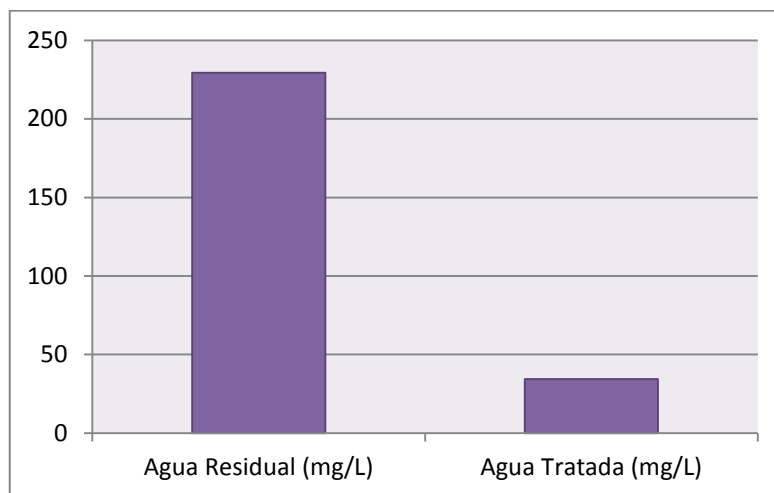
Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**Tabla 37.** Caracterización química del DBO<sub>5</sub> en días soleados.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permisible (mg/L)
229,28	34,39	85	100

Fuente: Ruth Bucay

**Gráfico 13.** Disminución del DBO<sub>5</sub> en días soleados.



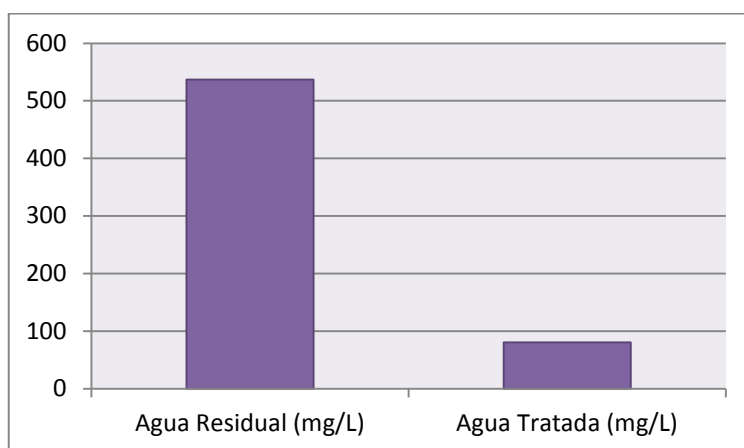
Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**Tabla 38.** Caracterización química del DQO en días soleados.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permissible (mg/L)
536,824	80,52	85	250

Fuente: Ruth Bucay

**Gráfico 14.** Disminución del DQO en días soleados.



Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)



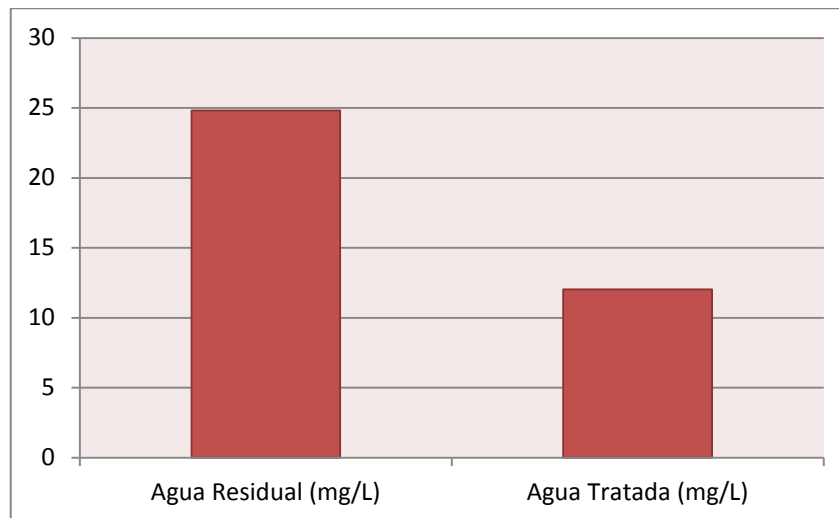
Los parámetros que no están cumpliendo con la Norma, en días lluviosos (hora pico)

**Tabla 39.** Caracterización química del nitrógeno total en días lluviosos.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permisible (mg/L)
24,82	12,03	51,53	15,00

*Fuente: Ruth Bucay*

**Gráfico 15.** Disminución del nitrógeno total en días lluviosos.



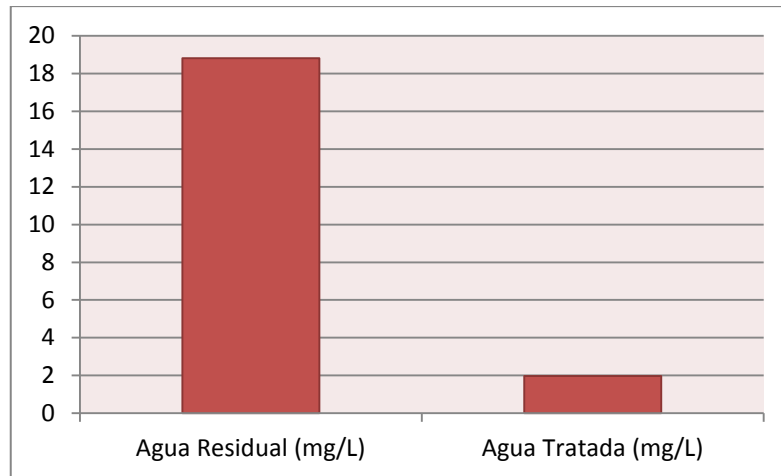
*Fuente: Ruth Bucay (Tesis)*

**Tabla 40.** Caracterización química del bario en días lluviosos.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permisible (mg/L)
18,80	1,976	89,49	2,00

*Fuente: Ruth Bucay*

**Gráfico 16.** Disminución del bario en días lluviosos.



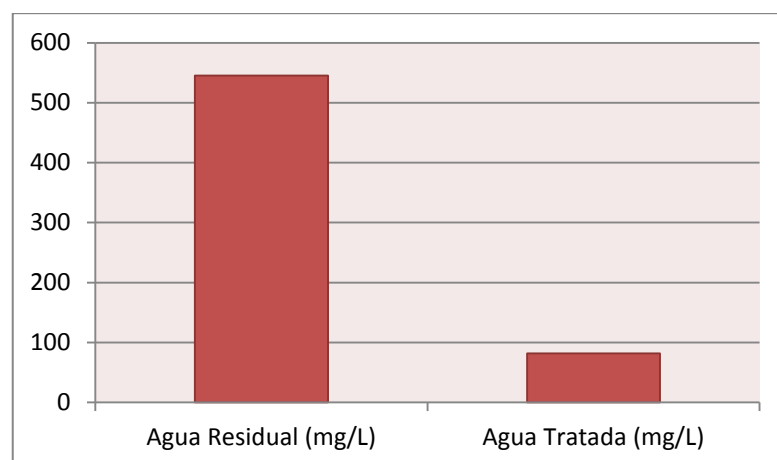
Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

**Tabla 41.** Caracterización química del DBO<sub>5</sub> en días lluviosos.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permissible (mg/L)
545,14	81,77	85	100

Fuente: Ruth Bucay

**Gráfico 17.** Disminución del DBO<sub>5</sub> en días lluviosos.



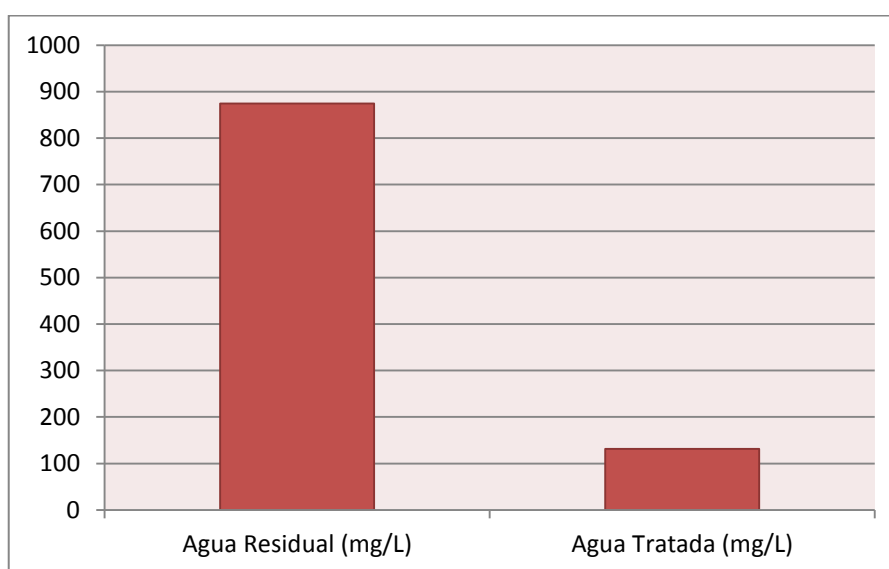
Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

**Tabla 42.** Caracterización química del DQO en días lluviosos.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permissible (mg/L)
874,56	131,2	85	250

Fuente: Ruth Bucay

**Gráfico 18.** Disminución del DQO en días lluviosos.



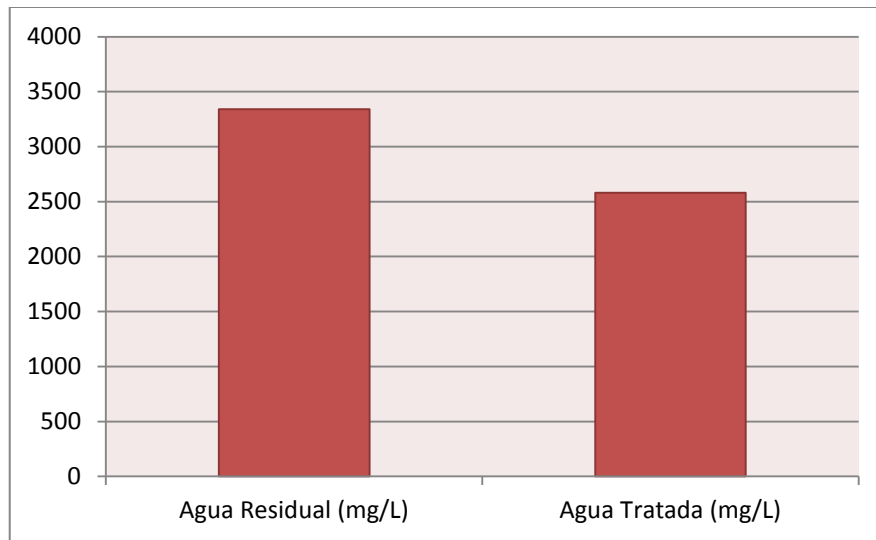
Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**Tabla 43.** Caracterización bacteriológica coliformes fecales en días lluviosos.

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Permissible (mg/L)
3340	2580	23	3000

Fuente: Ruth Bucay

**Gráfico 19.** Disminución de coliformes fecales en días lluviosos.



Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

### 3.2.3 Resultados de Rediseño

#### a. Población futura.

**Tabla 44.** Resultados de la población futura.

<b>POBLACIÓN FUTURA</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Población del 2010	26000	Habitantes
Población del 2014 ( $P_a$ )	28277,6	Habitantes
Índice anual $\text{\textcircled{R}}$	2,19	%
Período de tiempo (n)	16	Años
Población futura 2030 ( $P_f$ )	38186,07	Habitantes

Fuente: INEN 2010 (Último Censo) - Ruth Bucay (Tesisista)

**b. Caudales para la planta de tratamientos de aguas residuales.**

**Tabla 45.** Caudales a tratar.

<b>CAUDALES</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Dotación de agua consumida	399,83	L/ hab*día
Caudal medio “ $Q_{md}$ ”	12214,35	$m^3/día$
Caudal de diseño “ $Q_{dis}$ ”	508,93	$m^3/h$
Caudal Máximo diario “ $Q_{MD}$ ”	763,39	$m^3/h$
Caudal Mínimo diario ( $Q_{mín}$ )	152,68	$m^3/h$
Caudal Punta “ $Q_p$ ”	2035,72	$m^3/h$

Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**c. Comparación del rediseño del canal de entrada y del sistema de rejillas.**

**Tabla 46.** Comparación del canal de entrada y rejillas.

<b>CANAL DE ENTRADA</b>	<b>DISEÑO</b>	<b>REDISEÑO</b>	<b>Diferencia</b>
Caudal Punta a tratar “ $Q_p$ ”	0,34 $m^3/s$	0,565 $m^3/s$	0,225 $m^3/s$
Velocidad del flujo “ $v$ ”	0,79 m/s		
Longitud del canal “ $L_g$ ”	55,00 m		
Área transversal “ $A_t$ ”	0,44 $m^2$	0,71 $m^2$	0,27 $m^2$
Altura total “ $H$ ”	0,70 m	0,74 m	0,04 m
Ancho “ $b$ ”	0,80 m	1,5 m	0,7 m
Borde libre “ $h_o$ ”	0,15 m	0,27 m	0,12 m
<b>REJILLAS</b>			
Ángulo de inclinación con respecto a la horizontal	60 Grados		
<b>Rejillas Gruesas</b>			
Separación entre barrotes “ $e$ ”	4,00 $\times 10^{-2}$ m	4,42 $\times 10^{-2}$ m	

Espesor de los barrotes “S”	$1,27 \times 10^{-2}$ m	$1,3 \times 10^{-2}$ m	
Suma separaciones entre barras “bg”	0,62 m	1,16 m	0,54 m
Número de barrotes “n”	14	27	13
Pérdida de Carga “h <sub>f</sub> ”	0,02 m	0,015 m	0,005 m
<b>Rejillas Finas</b>			
Separación entre barrotes “e”	$2,50 \times 10^{-2}$ m	$1,8 \times 10^{-2}$ m	
Espesor de los barrotes “S”	$1,27 \times 10^{-2}$ m	$1,3 \times 10^{-2}$ m	
Suma separaciones entre barras “bg”	0,54 m	0,88 m	0,34 m
Número de barrotes “n”	21	48	27
Pérdida de Carga “h <sub>f</sub> ”	0,05 m	0,059 m	0,009 m

Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

#### d. Comparación del rediseño del desarenador rectangular.

**Tabla 47.** Comparación del desarenador de tipo rectangular.

<b>DESARENADOR RECTANGULAR</b>			
	<b>DISEÑO</b>	<b>REDISEÑO</b>	<b>Diferencia</b>
Caudal a tratar “Q <sub>p</sub> ”	0,17 m <sup>3</sup> /s	0,2825 m <sup>3</sup> /s	0,1125 m <sup>3</sup> /s
Velocidad de Sedimentación “V <sub>s</sub> ”	0,031 m/s	0,040 m/s	0,009 m/s
Velocidad de Sedimentación Crítica	....	0,042 m/s	....
Longitud “L <sub>g</sub> ”	7,50 m		
Altura “H”	2,00 m	2,5 m	0,5 m
Ancho “b”	2,5 m		
Volumen “V”	37,5 m <sup>3</sup>	46,88 m <sup>3</sup>	9,38 m <sup>3</sup>
Longitud de transición “L”	3,92 m		
Vertedero de salida “h <sub>v</sub> ”	0,15 m		
<b>ARENA (LODOS)</b>			
Volumen de arena	0,15 m <sup>3</sup> /día	0,222 m <sup>3</sup> /día	0,072 m <sup>3</sup> /día
Volumen total del tanque para lodos	3,6 m <sup>3</sup>	7,47 m <sup>3</sup>	3,87 m <sup>3</sup>
Intervalo de tiempo para desalojar lodo	20 Días	34 Días	14 Días

Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)

**e. Implementación de Coagulación – Floculación.**

**Tabla 48.** Dimensiones del floculador de tipo vertical.

<b>FLOCULACIÓN DE PANTALLA DE FLUJO VERTICAL</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal a tratar “Q <sub>p</sub> ”	48857,4	m <sup>3</sup> /día
Ancho “b”	15,63	m
Longitud “L <sub>g</sub> ”	62,52	m
Altura “H”	2,7	m
Diámetro del tanque “ $\Phi_{Tanque}$ ”	15	m
Volumen “V”	2638,41	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención hidráulico “T <sub>rh</sub> ”	1,30	h
<b>PALETA (IMPULSOR)</b>		
Diámetro del impulsor para la paleta “C”	5,00	m
Ancho de las palas del impulsor “q”	1,00	m
Longitud de las palas del impulsor “l”	1,25	m
Longitud de palas en el disco central “l <sub>DC</sub> ”	2,50	m
Diámetro del disco central “s”	3,75	m
Potencia disipada “P”	7648,09	W
Área de las paletas “A”	46,41	m <sup>2</sup>
Longitud transversal de la paleta “l <sub>p</sub> ”	2,97	m

Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

**f. Comparación del rediseño del sedimentador rectangular.**

**Tabla 49.** Comparación del sedimentador de tipo rectangular.

<b>SEDIMENTADOR RECTANGULAR</b>			
	<b>DISEÑO</b>	<b>REDISEÑO</b>	<b>Diferencia</b>
Caudal a tratar “Q <sub>p</sub> ”	414,13 m <sup>3</sup> /h	2035,72 m <sup>3</sup> /h	1621,59 m <sup>3</sup> /h
Área superficial “A <sub>s</sub> ”	230 m <sup>2</sup>	925,33 m <sup>2</sup>	695,33 m <sup>2</sup>

Ancho "b"	8,80 m	15,21 m	6,41 m
Longitud "lg"	26,40 m	60,84 m	34,44 m
Altura "H"	2,50 m	3,6 m	1,1 m
Volumen "V"	580,80 m <sup>3</sup>	3331,35 m <sup>3</sup>	2750,55 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención hidráulico "t <sub>rh</sub> "	1,40 h	1,64 h	0,24 h
Velocidad de arrastre "v <sub>A</sub> "	0,06 m/s	0,11 m/s	0,05 m/s
Velocidad horizontal "v <sub>H</sub> "	5,2 x 10 <sup>-3</sup> m/s	1 x 10 <sup>-2</sup> m/s	4,8 x 10 <sup>-3</sup> m/s
Tasa de remoción de DBO	30,43 %	32,28 %	
Tasa de remoción de SST	51,66 %	53,84 %	
Altura de agua sobre el vertedero "H <sub>v</sub> "	....	9,0 x 10 <sup>-2</sup> m	....
Longitud final "l <sub>gf</sub> "	27,40 m	61,84 m	34,44 m
<b>PANTALLA DIFUSORA</b>			
Velocidad entre los orificios "V <sub>o</sub> "	0,11 m/s		
Caudal a tratar "Q <sub>p</sub> "	0,11 m <sup>3</sup> /s	0,565 m <sup>3</sup> /s	0,455 m <sup>3</sup> /s
Área total de orificios "A <sub>TO</sub> "	1,15 m <sup>2</sup>	5,65 m <sup>2</sup>	4,5 m <sup>2</sup>
Área de cada orificio "A <sub>o</sub> "	0,031 m <sup>2</sup>	0,125 m <sup>2</sup>	0,09 m <sup>2</sup>
Número de orificios "n"	40	45	5
Altura de la pantalla provista de orificios "H <sub>pd</sub> "	1,50 m	2,16 m	0,66 m
Número de filas con orificios	5		
Espacio entre filas de orificios "a <sub>1</sub> "	0,30 m	0,36 m	0,06 m
Número de columnas con orificios	9		
Espacio entre columnas orificios "a <sub>2</sub> "	0,97 m	1,52 m	0,55 m
<b>ARENA (LODOS)</b>			
Volumen de arena	0,03 m <sup>3</sup> /día	0,146 m <sup>3</sup> /día	0,116 m <sup>3</sup> /día
Volumen total del tanque para lodos	2,2 m <sup>3</sup>	5,48 m <sup>3</sup>	3,28 m <sup>3</sup>
Intervalo de tiempo calculado para desalojar el lodo	37 Días		

Fuente: Ruth Bucay (Tesisista)



**g. Implementación de filtros lentos biológicos.**

**Tabla 50.** Dimensiones de filtros lentos biológicos.

<b>FILTROS LENTOS BIOLÓGICOS.</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal a tratar “ $Q_p$ ”	2035,72	$m^3/h$
Velocidad del filtrado “ $V_f$ ”	0,3	$m/h$
Área superficial “ $A_s$ ”	1696,43	$m^2$
Coefficiente de mínimo costo “ $K$ ”	1,6	Adimensional
Longitud del filtro “ $L$ ”	52,09	$m$
Ancho total del filtro “ $b$ ”	32,56	$m$
Altura “ $H$ ”	3,20	$m$
Velocidad de filtración real “ $V_{fR}$ ”	$1,8 \times 10^{-2}$	$m/h$
Vertedero de entrada “ $ha$ ”	$4,5 \times 10^{-2}$	$m$
Volumen “ $V$ ”	5427,36	$m^3$
Tiempo de retención hidráulico “ $t_{th}$ ”	2,67	$h$

Fuente: Ruth Bucay (Tesis)

**h. Comparación del rediseño del tanque de oxidación de tipo rectangular.**

**Tabla 51.** Comparación del tanque de oxidación rectangular.

<b>TANQUE DE OXIDACIÓN RECTANGULAR</b>			
	<b>DISEÑO</b>	<b>REDISEÑO</b>	<b>Diferencia</b>
Caudal a tratar “ $Q_p$ ”	414,13 $m^3/h$	2035,72 $m^3/h$	1621,59 $m^3/h$
Tiempo de retención “ $t_r$ ”	1 h	1,15 h	0,15 h
Volumen del tanque de oxidación “ $V$ ”	415,0 $m^3$	2341,08 $m^3$	1926,08 $m^3$
Área superficial “ $A_s$ ”	332,0 $m^2$	851,30 $m^2$	519,30 $m^2$
Ancho “ $b$ ”	10,50 m	14,59 m	4,09 m
Longitud “ $L_g$ ”	31,50 m	58,36 m	26,86 m
Altura “ $H$ ”	1,25 m	2,75 m	1,50 m

Tasa de Remoción de DQO	32 %	35,25 %
Tasa de Remoción de DBO	30 %	34,72 %
Vertedero de entrada "ha"	0,076 m	

Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

### i. Resultados de las dosificaciones químicas.

**Tabla 52.** Dosificación de las sustancias químicas.

	Policloruro de aluminio- 08	CAL (T – 30)
Caudal a tratar "Q <sub>p</sub> "	2035,72 m <sup>3</sup> /h	
Dosificación "P"	1	
Concentración "C"	20 ppm	25 ppm
Densidad "ρ"	1,25 Kg/L	2,21 Kg/L
Aforo de la solución PAC "x"	542,86 mL/día	383, 81 mL/día

Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

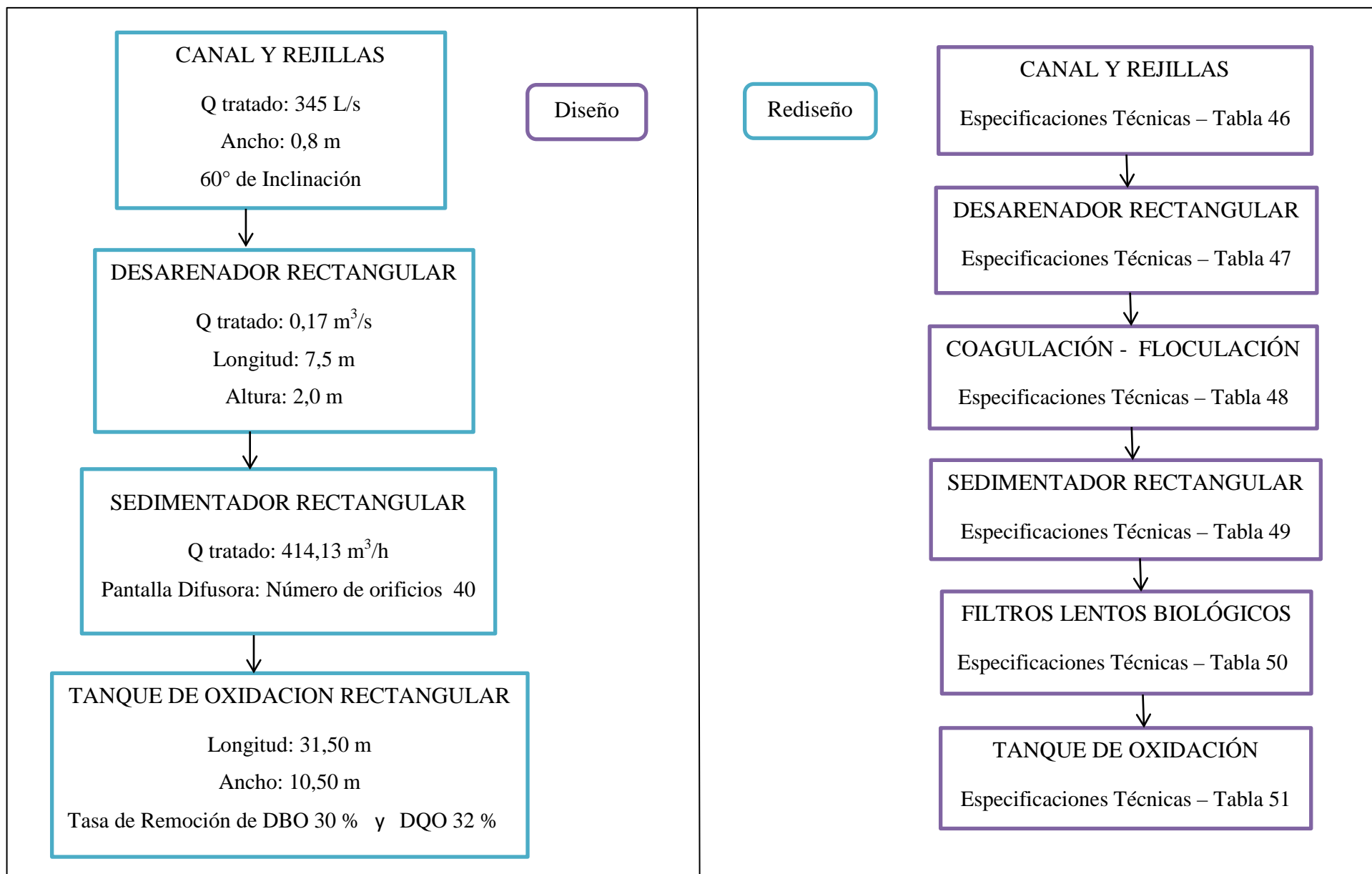
### j. Costo total de sustancias químicas.

**Tabla 53.** Costos de Sustancias químicas.

SUSTANCIAS QUÍMICAS			
	TEST DE JARRAS (ppm)	CANTIDAD A UTILIZAR (L/DÍA)	COSTO DEL QUIMICO POR AÑO (USD)
PAC	15	586,28	192,59
	20	781,72	256,79
	25	977,14	321,00
CAL	20	442,15	371,19
	25	552,68	463,98
	30	663,22	556,77
CHEMFLOC	80	2253,76	4354,96

Fuente: Ruth Bucay (Tesista)

### 3.3 PROPUESTA



### 3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El agua residual es recogido del Río Guaranda, cuya descarga final está ubicada en el sector de Marcopamba. Esta fuente contaminada posee un olor desagradable con un color ligeramente amarillenta, dándonos un aspecto poco confiable para el reutilizo; sin embargo se ha procurado que por medio de una serie de tratamientos el agua mejore, disminuyendo en un 85% su grado de contaminación orgánica como microbiológica.

En las horas pico se recogió muestras del agua residual en la descarga final; una vez llevadas al Laboratorio de Control de Calidad “EP-EMAPA-G” de la Ciudad de Guaranda se efectuó los primeros análisis físico-químicos y microbiológicos.

Cada valor fueron comparadas con los límites permisibles de la Norma TULAS, Recurso Agua, Libro VI cuyos parámetros que no se apegaron a esta Norma son: **nitrógeno total** 24,82 mg/L (Limite: 15 mg/L) **bario** 18,80 mg/L (Limite: 2 mg/L) **DBO<sub>5</sub>** 545,14 mg/L (Limite: 100 mg/L) **DQO** 874,56 mg/L (Limite: 250 mg/L) y **coliformes fecales** 3440,00 mg/L (Limite: 3000 mg/L) datos obtenidos en días lluviosos. En la caracterización de los días soleados tenemos: **nitrógeno total** 22,84 mg/L, **bario** 15,2 mg/L, **DBO<sub>5</sub>** 229,28 mg/L y **DQO** 536,824 mg/L.

Al realizar las prueba de jarras durante los días de monitoreo, se determinó que los tratamientos que se deberían implementar son: coagulación- floculación y filtración.

Las sustancias químicas que interactuarán en el tratamiento de coagulación-floculación:

- ☆ La cal contrarresta el olor y su dosificación será de 3 ppm.
- ☆ El floculante PAC se utiliza para disminuir la turbiedad y permite que cada parámetro se encuentre entre los rangos permisibles del TULAS. Se administrará en el agua residual, una dosificación de 20 mL para días soleados a una concentración de 0,02 ppm y 25 mL en días lluviosos con una concentración de 30 ppm en 1000 mL de muestra.

Deduciendo de esta manera que después de utilizar los tratamientos seleccionados, los parámetros que se encontraban fuera de la Norma ahora se hallan dentro de los límites

establecidos por el TULAS en la tabla de descarga de efluentes a un cuerpo receptor: Agua dulce. Teniendo de esta manera: **nitrógeno total** 12,03 mg/L (Limite: 15 mg/L) **bario** 1,976 mg/L (Limite: 2 mg/L) **DBO<sub>5</sub>** 81,77 mg/L (Limite: 100 mg/L) **DQO** 131,2 mg/L (Limite: 250 mg/L) y **coliformes fecales** 2580 mg/L (Limite: 3000 mg/L) en días lluviosos y en los días soleados tenemos al: **nitrógeno total** 13,7 mg/L, **bario** 1,976 mg/L, **DBO<sub>5</sub>** 34,39 mg/L y **DQO** 80,52 mg/L.

Logrando garantizar la disminución de la materia orgánica y agentes patógenos para su disposición final el “Río Guaranda”.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

La planta de tratamiento de aguas residuales en el Cantón Guaranda; se lo ha rediseñado para una proyección de 16 años, la misma que consta de 6 procesos de tratamientos, pretendiendo de esta manera reducir la contaminación de descarga en un 85%

El monitoreo fue realizado por 15 días en condiciones climáticas de lluvia-invierno cuyo caudal aumento permitiendo el recogimiento para la medición de caudal de manera sistemática del río Guaranda; siendo la fuente hidrográfica de acumulación de todos los tipos de aguas de escorrentía, pluviales y especialmente domésticas. Como consecuencia de toda esta descarga el río acumulado grandes cantidades residuales con características organolépticas desagradables a simple vista.

Inicialmente, se identificó que mediante análisis físico-químico y bacteriológico, el agua superficial contiene altos valores de concentración de compuestos orgánicos volátiles como: nitrógeno total 22,84 mg/L, bario 15,2 mg/L, DBO<sub>5</sub> 229,28 mg/L, y DQO 536,824 mg/L (días soleados) y en los días lluviosos tenemos al nitrógeno total 24,82 mg/L, bario 18,80 mg/L, DBO<sub>5</sub> 545,14 mg/L, DQO 874,56 mg/L y coliformes fecales 3440,00 mg/L; los cuales de cierto modo han generado un olor intolerable.

En base a los análisis realizados, se plantea que la mejor alternativa a seguir consta de diferentes tratamientos empezando desde la utilización de las rejillas, desarenador, coagulación-floculación, sedimentación rectangular simple, hasta filtración y oxidación biológicas, con la finalidad de reutilizar la fuente hidrográfica tanto en el riego de cultivos como en el mejoramiento acuático.

Se determinó que las variables para el rediseño de ingeniería de una planta de tratamientos es el volumen que abarca cada tratamiento, diámetros de las partículas. Las

variables de caracterización del agua son: pH, la temperatura y presión del lugar de estudio; coliformes totales, DBO<sub>5</sub>, DQO, conductividad eléctrica entre otras.

Después de ser tratada el agua del río Guaranda, mediante la utilización de plantas pilotos se comprueba que los parámetros de la caracterización físico-química y bacteriológica mostrada en las Tabla 33 y Tabla 34 ; están dentro de la Norma Tulas, Libro VI, “Calidad de descarga del efluente a un cuerpo de agua dulce”

### **Recomendaciones**

El funcionamiento y la construcción completa de los tratamiento (floculación, filtración biológica) en la planta de tratamientos de aguas residuales para el Cantón Guaranda, cuyos contaminantes orgánicos volátiles desagradables, están afectando drásticamente los cultivos aledaños como la vida hidrológica acuática.

El mantenimiento de las diferentes etapas de tratamientos, tales como:

Rejillas, las mismas que serán obstruidas por solidos de gran tamaño.

Todos los procesos establecidos para esta planta generan la acumulación de lodos, grava y arena de origen orgánico. Sin dejar de lado los accesorios primarios y secundarios utilizados en diferentes redes hidráulicas.

La correcta disposición de los lodos extraídos de toda la planta de tratamiento; servirán para la reutilización del suelo, haciéndolos fértiles para la agricultura.

La capacitación de todo el personal que vaya a estar a cargo de la planta de tratamiento de aguas residuales, cuya finalidad será aumentar el control y la eficiencia de cada uno de los procesos a utilizar

## BIBLIOGRAFÍA

### **BACTERIAS COLIFORMES EN LOS POZOS DE AGUA PRIVADA PÚBLICA.**

División de Salud Pública de Carolina del Norte. Septiembre de 2009

[http://epi.publichealth.nc.gov/oeo/docs/Las\\_Bacterias\\_Coliformes\\_WellWaterFactSt.pdf](http://epi.publichealth.nc.gov/oeo/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf)

Fecha de consulta: 2014-04- 20

**BLACIO, Diego., PALACIOS José.** “FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA, POSIBILIDADES DE USO DE FLA (FILTROS LENTOS DE ARENA) CON AGUA SUPERFICIAL DE NUESTRA REGIÓN”. (Tesis). (Ing. civil.) Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería civil. Cuenca - Ecuador. 2011, pp: 10 – 27.

**CICLO DEL AGUA.** Ecologiahoy. 30/09/2013

<http://www.ecologiahoy.com/ciclo-del-agua>

Fecha de consulta: 2014- 04- 12

**COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN.** SEDAPAL. Abril del 2000

<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Residual.pdf>

Fecha de consulta: 2014-04- 29

**COLLAZOS, Carlos Julio.** “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES”. (Tesis). (Ing.) Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Cátedra Internacional. Bogotá – Colombia. 2008, pp: 23 – 24.

**CRITES, R.** Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. D. F - México. McGraw - Hill Interamericana. 2000, pp. 121 – 132.

**DEGRÉMON,** Water Treatment Handbook. 6<sup>a</sup> ed., Paris – Francia. Lavoisier Publishing. 1991, pp. 234 – 236.



**ESKEL, Nordell.** Tratamiento de agua para la industria y otros usos. 2ª ed., D. F – MEXICO. Continental. 2003, pp. 48 – 50; 427 - 432.

**FLOCULADOR MECANICO VERTICAL COM PALETAS.** Aguamarket. 2000.  
<http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=13599&nombreactivo=floculador+mecanico+vertical+com+paletas>

Fecha de consulta: 2014-05- 19

**GRUPO CLASA.** EGB Enciclopedia General Básica Temática Ilustrada. Buenos Aires – Argentina. Printer Colombiana. 2000, pp. 59 – 60.

**GRUPO EDITORIAL.** OCEANO UNO COLOR DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO. Barcelona – España. Litografía Roses. 1996, pp. 38 – 39.

**ISLA DE JUANA, Ricardo.** “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: aguas de proceso, residuales y de refrigeración”. Madrid – España. Bellisco. 2005, pp. 20 – 31.

**METCALF & EDDY.** Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ª ed., Madrid – España. Mc Graw Hill Interamericana. 1995, pp. 289, 508 – 515; 538 – 551.

**MINISTERIO DE AMBIENTE.** TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA (TULAS): LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE, Libro XI. 2ª ed., Quito- Ecuador. 2010, pp. 2 – 15.

**RAMALHO, R.** Tratamiento de Aguas Residuales. 2ª ed., Barcelona – España. Reverté. 1993, pp. 222 – 300.

**ROMERO, J.** Tratamiento de aguas residuales. 2ª ed., Bogotá – Colombia. Mc Graw– Hill Interamericana. 2002, pp. 17; 20 – 45.

**TRATAMIENTOS PRELIMINARES.** Guzmán Mercado Álvaro. Agosto 2013  
[www.fundacionchile.com/archivos/tratamientos\\_preliminares.pdf](http://www.fundacionchile.com/archivos/tratamientos_preliminares.pdf)

Fecha de consulta: 2014-04- 25

**VALENCIA LÓPEZ, Adriana Elizabeth.** “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN LUIS - PROVINCIA DE CHIMBORAZO”. (Tesis). (Ing. Biot. Amb.) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba – Ecuador. 2013, pp: 44 – 47.

# **ANEXOS**

**ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTE:  
RECURSO AGUA.**

<b>DETERMINACION TECNICA</b>	<b>UNIDAD MEDIDA</b>	<b>METODOS</b>
<b>FISICOS</b>		
pH	-----	Potenciómetro
Temperatura	°C	Termómetro
Turbiedad	NTU	Turbidímetro
Sólidos totales disueltos	mg/Lt	Conductímetro
Color	Pt-Co	Fotómetro
Caudal	m <sup>3</sup> /s	Volumétrico
Tiempo	S	Cronómetro
<b>QUÍMICOS</b>		
Dureza.	mg/L	Volumétrico y/o Espectrofotómetro
Alcalinidad.	mg/L	Volumétrico y/o Espectrofotómetro
Sulfatos	mg/L	Espectrofotómetro
Fosfatos	mg/L	Espectrofotómetro
Hierro	mg/L	Espectrofotómetro
Nitritos	mg/L	Espectrofotómetro
Nitratos	mg/L	Espectrofotómetro
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>		
Coliformes totales	NPM/100ml	Método por el filtro de Membrana
Coliformes fecales	NPM/100ml	Método por el filtro de Membrana

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO pH**  
**STANDARD METHODS \*4500 HB**

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVO	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El pH es el “potencial de hidrogeno” y es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución.</p> <p>Se basa en el equilibrio iónico (acido-base) de las sustancias en solución acuosa y en la auto-ionización del agua.</p>	<p>Potenciómetro</p> <p>2 vasos de vidrio</p> <p>Limpiadores</p>	<p>Soluciones buffer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>© pH 4</li> <li>© pH 7</li> <li>© pH 10</li> <li>© Agua destilada.</li> <li>© Muestra de agua</li> </ul>	<p>Después que el equipo haya sido calibrado, ponga 100 ml de muestra en un vaso de 250ml.</p> <p>Introduzca el electrodo en el vaso, agitar y presione READ. Deje un tiempo estable hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de pH directamente de la pantalla y registre el valor y limpie el electrodo con agua destilada, seque.</p> <p>Ponga el electrodo en la porta electrodo hasta volver a utilizar.</p>	<p><math>pH = - \log (H^+)</math></p> <p>Dónde:</p> <p>pH = potencial de hidrógeno</p> <p><math>(H^+)</math> = concentración molar de iones hidrógeno.</p> <p>□</p>

*Fuente: STÁNDAR METHODS \*4500 HB, Edición 17*

## Determinación de la DBO

### Método 5210- B

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVO	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Esta prueba mide el oxígeno utilizado, durante un periodo de incubación específica. Puede medir el oxígeno utilizado para oxidar los compuestos reducidos del nitrógeno.</p>	<p>Equipo de DBO Botella de incubación Grasa Tampones de copa Cápsula magnética Termómetro Embudo</p>	<p>© Soluciones Tampón Fosfato © Solución de sulfato magnesio © Solución de cloruro férrico</p>	<p>Preparar las diluciones en un frasco ámbar, así como un blanco con dilucion Determinar mediante electrodo selectivo el oxígeno disuelto Incubar durante 5 días en oscuridad a <math>20^{\circ}\text{C} \pm 1</math> Medir el resultado</p>	<p><math>\text{DBO}_5 = (\text{T}_0 - \text{T}_5) - (\text{D}_0 - \text{D}_5) (F-1)</math> Dónde: <math>\text{T}_0</math> = oxígeno disuelto inicial en la muestra. <math>\text{T}_5</math> = oxígeno disuelto inicial a los 5 días en la muestra <math>\text{D}_0</math> = oxígeno disuelto inicial en el blanco <math>\text{D}_5</math> = oxígeno disuelto a los 5 días en el blanco <math>F</math> = factor de dilucion</p>

*Fuente: Método 5220 – C Métodos Normalizados para análisis de aguas residuales y potables*

## Determinación de la DQO

### Método 5220- C

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Esta prueba mide expresamente en oxígeno.</p> <p>La porción de materia orgánica M.O biodegradable o no, de una muestra que es susceptible de oxidación por un fuerte oxidante químico (dicromato de potasio)</p>	<p>Reactor DQO</p> <p>Probeta graduada</p> <p>Vaso de precipitación</p> <p>Tubos de reactivos de digestión con tapa</p> <p>Toallas de papel</p> <p>Pipetas volumétricas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊙ Solución de dicromato potásico a 0.1N</li> <li>⊙ Reactivo ácido sulfúrico</li> <li>⊙ Solución indicadora de ferroina</li> <li>⊙ Solución de sulfato ferroso</li> </ul>	<p>Recoge las muestras en un frasco de cristal. Si hay retraso consérvese la muestra a un pH de 2 usando ácido sulfúrico. Coloque las muestras en los tubos y el reactivo dicromato, después vierta con cuidado el ácido sulfúrico, tápelos e inviértalos cuidadosamente. Enfríese a la temperatura ambiente, añada 2 gotas de ferroina y titule con la solución valorante.</p>	<p>Cuando el agua no está sembrada: <math>ROB_5 = \frac{D_1 - D_2}{P}</math></p> <p>Cuando el agua de disolución está sembrada: <math>ROB_5 = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}</math></p> <p>D1= OD de la muestra diluida después de su preparación mg/L.</p> <p>D2= OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C</p> <p>P y f = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada</p> <p>B<sub>1</sub>= OD del control antes de la incubación mg/L.</p> <p>D<sub>2</sub>= OD del control después de la incubación.</p>

*Fuente: Método 5220 – C Métodos Normalizados para análisis de aguas residuales y potables*

**DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD**  
**MÉTODO HACH DR 2800**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULOS</b>
<p>Es la capacidad de un cuerpo, de medir el paso de la corriente eléctrica a través de sí. Tiene la capacidad de que los electrones pasen por él. Varía con la temperatura.</p>	<p>Vasos de precipitación                      Agua destilada                      Muestra de agua                      Limpiadores</p>		<p>En un vaso de precipitación colocamos 100 ml de muestra de agua. Lavar varias veces el electrodo (celda conductometrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar. Determinamos el parámetro de medida (Cond) en el equipo y presionamos READ. Además se medirá la temperatura y registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque y guarde el electrodo.</p>	<p>LECTURA DIRECTA</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*



**DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS**  
**MÉTODO HACH DR 2800**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULOS</b>
<p>Los sólidos disueltos totales es la medida de la cantidad total de materias disueltas en el agua, por ejemplo: calcio, cloro, magnesio, sulfatos, etc. Básicamente, el TDS es cualquier cosa disuelta en el agua.</p> <p>Un problema como el agua turbia suele atribuirse a un alto nivel de TDS, causando corrosión al equipo y los accesorios, así como una acumulación de incrustaciones.</p> <p>Sólo una cosa cambiará el TDS y reducirá significativamente su nivel: agua limpia.</p>	<p>Vasos de precipitación</p> <p>Agua destilada</p> <p>Muestra de agua</p> <p>Limpiadores</p>		<p>Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar. Seleccionamos el parámetro de medida en la pantalla (STD) y presionamos READ. Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de sólidos totales disueltos. Además se medirá la temperatura. Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque y guarde el electrodo.</p>	<p>LECTURA DIRECTA</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

**DETERMINACIÓN DE DUREZA**  
**MÉTODO HACH DR 2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La dureza residual se conoce como dureza no carbónica o permanente. Las aguas que poseen esta dureza pueden ablandarse añadiendo carbonato de sodio y cal, o filtrándolas a través de zeolitas naturales o artificiales que absorben los iones metálicos que producen la dureza, y liberan iones sodio en el agua. Los detergentes contienen ciertos que inactivan las sustancias causantes de la dureza del agua.</p>	<p>Erlenmeyer de 50 mL Bureta de 50 mL Pipeta de 10 mL Vaso de precipitación de 50 mL</p>	<p>⊙ Solución Tampón para dureza. ⊙ Negro de Eriocromo T ⊙ Solución EDTA 0,02 N</p>	<p>Tomar 50 ml de muestra residual en el Erlenmeyer. Agregar 2 ml de la solución tampón Seguidamente colocar una pizca del indicador de negro de Eriocromo T. Luego agregar lentamente la solución EDTA hasta que nos dé una coloración poco azulada. Se lee observando la cantidad de EDTA que se ha usado.</p>	$\text{CaCO}_3 = \frac{V_1 \times N \times 10^5}{V_2}$ <p>Dónde: CaCO<sub>3</sub> = concentración de Carbonato de Calcio en ppm (mg/L) V<sub>1</sub> = volumen consumido de EDTA (mL) N = concentración de EDTA V<sub>2</sub> = volumen de la muestra (mL) □</p>

*Fuente: STANDARD MÉTODOS \* 2340 B y C, edición 17*

**DETERMINACIÓN DE ALUMINIO**  
**MÉTODO HACH DR 2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Se encuentra en todas las fuentes de abastecimiento de agua natural, en pequeñas cantidades de aluminio.</p> <p>El contenido de aluminio, se expresa como <math>Al_2O_3</math> y varía desde 0.1 ppm hasta poco más de 8 ppm. La filtración reduce el aluminio de 0.6 a 1.5 ppm</p> <p>La existencia de aluminio en aguas tratadas proviene del uso común de sales de aluminio en coagulación de aguas destinadas a consumo doméstico.</p>	<p>Cubetas cuadrada, de 10 mL</p> <p>Pipeta de 10 mL</p> <p>Limpiadores</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>© Aluminio Aluver3</li> <li>© Ácido Ascórbico</li> <li>© Bleaching3</li> </ul>	<p>Llenar en un erlenmeyer 50 mL de muestra residual. Añadir un sobre de ácido ascórbico en polvo. Tapar e invertir para disolver el polvo. Añadir un sobre de AluVer3 en polvo e invertir el tubo durante un minuto.</p> <p><b>Preparación del blanco:</b></p> <p>llenar una cubeta de 10 mL con mezcla del tubo mezclador. Añadir un sobre de reactivo Bleaching3, agitar con rotación durante 30 segundos y comienza un periodo de reacción de 15 minutos. Finalmente leer la medición como <math>Al^{3+}</math></p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

## DETERMINACIÓN DE AMONIO SALICILATO

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Si las aguas residuales son frescas, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana.</p> <p>El nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato. El agua residual doméstica suele contener 20-50 mg/L de nitrógeno total y 12-40 mg/L de amonio.</p>	<p>Cubetas cuadrada, de 10 mL</p> <p>Pipeta de 10 mL</p> <p>Limpiadores</p>	<p>© Salicilato de amoniaco en polvo.</p> <p>© Cianurato de Amoniac en polvo.</p>	<p><b>Para preparar el blanco,</b> llenar una cubeta con 10 mL de agua desionizada y otra cubeta de 10 mL de muestra residual.</p> <p>Añadir a las dos cubetas un sobre de reactivo salicilato de amoniaco en polvo.</p> <p>Tapar y agitar. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos. Después añadir a cada cubeta un sobre de reactivo de cianuro de amoniaco en polvo. Tapar las cubetas y agitar.</p> <p>Comienza un periodo de 15 minutos. Finalmente leer la medición en NH<sub>3</sub>-N.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

## DETERMINACIÓN DE BARIO

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El bario es un metal blanco-plateado que existe en el ambiente solamente en minerales. Las sales solubles de bario son agudamente tóxicas cuando se encuentra como un producto químico en las aguas residuales. Pueden ocasionar intoxicación aguda. Los compuestos del Bario que son persistentes usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el sedimento de las aguas.</p>	<p>Cubetas cuadrada, de 10 mL Pipeta de 10 mL Limpiadores</p>	<p>© Un sobre de reactivo Bariver4</p>	<p>En una cubeta, llenar 10 mL de muestra residual. Añadir un sobre de reactivo Bariver4 en polvo. Tapar y agitar. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos.</p> <p><b>Para preparar el blanco,</b> llenar otra cubeta 10 mL de muestra residual. Finalmente leer la medición en Ba<sup>2+</sup>.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

## DETERMINACIÓN DE BROMO

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Cuando el bromo orgánico entra en las aguas superficiales, tiene efectos negativos en la salud de las aguas, peces, marisco y algas.</p> <p>El bromo se utiliza como desinfectante, porque daña a los microorganismos, las bromaminas y ácido hipobromoso reacciona con la materia orgánica en el agua para formar subproductos desinfección con bromo.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL.</p> <p>Pipetas de 10 mL.</p>	<p>© Sobres de reactivo de cloro total DPD en polvo.</p>	<p>Llenar una cubeta de 10 mL de muestra residual. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de DPD en polvo. Agitar la cubeta con rotación, durante 20 segundos. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos.</p> <p><b>Para preparar el blanco,</b> llenar otra cubeta cuadrada de 10 mL de muestra residual. Seleccionar en la pantalla: Medición Br<sup>-</sup>.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

## DETERMINACIÓN DE HIERRO

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Este metal es un buen agente reductor y, dependiendo de las condiciones, puede oxidarse hasta el estado 2+ 3+ o 6+.</p> <p>En solución contribuye con el desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL.</p> <p>Pipetas de 10 mL.</p>	<p>© Sobres de reactivo de FerroVer en polvo.</p>	<p>Llenar una cubeta de 10 mL de muestra residual. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de FerroVer en polvo. Agitar la cubeta con rotación.</p> <p>Comienza un periodo de reacción de 3 minutos.</p> <p><b>Para preparar el blanco</b>, llenar otra cubeta cuadrada de 10 mL de muestra residual. Seleccionar en la pantalla: Medición. Fe<sup>+</sup>.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

## DETERMINACIÓN DE COBRE

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El cobre es el producto químico más común en las aguas residuales. Aunque el cobre es considerado como no tóxico, las concentraciones altas pueden tener efectos tanto agudos como crónicos. El cobre en el agua residual puede hacer que sea ácido y corrosivo.</p> <p>En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL.</p> <p>Pipetas de 10 mL.</p>	<p>© Sobres de reactivo Cobre Cuver1 en polvo.</p>	<p>Llenar una cubeta de 10 mL de muestra residual. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de Cobre Cuver1 en polvo. Agitar la cubeta con rotación. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos.</p> <p><b>Para preparar el blanco,</b> llenar otra cubeta cuadrada de 10 mL de muestra residual.</p> <p>Seleccionar en la pantalla: Medición. Cu<sup>+</sup>.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*



## DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El cromo hexavalente es encontrado en forma de cromatos. Este cromo puede ingresar mediante los inhibidores de la corrosión utilizados en tuberías.</p> <p>Altas concentraciones de Cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL.</p> <p>Pipetas de 10 mL.</p>	<p>© Sobres de reactivo ChromaVer3 en polvo.</p>	<p>Llenar una cubeta de 10 mL de muestra residual. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de ChromaVer3 en polvo. Agitar la cubeta con rotación. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos.</p> <p><b>Para preparar el blanco,</b> llenar otra cubeta cuadrada de 10 ml de muestra residual. Seleccionar en la pantalla: Medición. Cr<sup>6+</sup>.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

Fuente: HACH DR 2800, Model Series

## DETERMINACIÓN DE CROMO TOTAL

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El cromo es un metal pesado altamente peligroso para los seres humanos. La forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en el agua, pues si está presente en grandes cantidades, el cromo (VI) se reducirá a cromo (III), que se podrá absorber en las partículas o formar complejos insolubles.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL. Pipetas de 10 mL. Baño maría. Baño de agua fría. Termómetro.</p>	<p>Ⓢ Reactivo ácido en polvo. Ⓢ Reactivo Chromaver3 en polvo. Ⓢ Reactivo Cromo1 en polvo. Ⓢ Reactivo Cromo2 en polvo.</p>	<p>En un erlenmeyer de 25 ml de muestra residual, añadir un sobre de Cromo1, disolver. Colocar la muestra preparada en el baño maría y esperar por 5 minutos, después retirar y enfriar hasta 25°C. Luego añadir el sobre de Cromo2 e invertir. Añadir el sobre de Reactivo ácido y disolver rotacionalmente. Añadir el sobre de ChromaVer3, disolver y esperar 5 minutos. <b>Para preparar el blanco,</b> Llenar otra cubeta de agua residual. Medir. Cr Total</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

## DETERMINACIÓN DE CLORUROS

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. La concentración en aguas residuales va desde la más alta 100 mg/L y débil de 30 mg/L. Si se riega en los campos altas concentraciones de cloruro presente en las aguas residuales, se deterioraría, la calidad del suelo.	Cubetas de análisis de 10 mL.  Pipetas de 10 mL.	☉ 1 mL Solución férrica.  ☉ 2 mL Solución de tiocianato mercúrico.	Llenar una cubeta con la muestra residual, y la otra con agua desionizada.  Pipetear 0,8 mL de solución de tiocianato mercúrico en las dos cubetas y mezclar.  Pipetear 0,4 mL de solución de férrica en las dos cubetas y mezclar. Tiempo de reacción 2 minutos.  Finalmente mediremos en forma de Cl <sup>-</sup>	LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)

*Fuente: HACH DR 2800, Model Series*

## DETERMINACIÓN DE SULFATOS

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Bajo condiciones reductoras, las corrientes ricas en sulfatos pueden derivar en sulfuros, que son compuestos tóxicos, corrosivos y que generan mal olor. En el Bio-tratamiento de las aguas residuales es conveniente eliminar también las especies azufradas disueltas en ella.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL. Pipetas de 10 mL. Limpiadores</p>	<p>© Sobres de reactivo SulfaVer en polvo.</p>	<p>Llenar una cubeta de 10 mL de muestra residual. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de SulfaVer en polvo. Agitar la cubeta con rotación. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos.</p> <p><b>Para preparar el blanco</b>, llenar otra cubeta cuadrada de 10 ml de muestra residual. Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b>. <math>\text{SO}_4^{2-}</math>.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

Fuente: HACH DR 2800, Model Series

## DETERMINACIÓN DE NIQUEL/COBALTO

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El níquel termina en la superficie de las aguas residuales. El níquel puede existir ya sea disuelto en el agua o se adjunta al material en suspensión, tienen un color verde, no tienen olor ni sabor característicos. La concentración en los ríos y lagos es muy baja.</p> <p>El cobalto entra en el agua específicamente en la superficie del agua a través de la escorrentía cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que poseen Cobalto.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL.</p> <p>Pipetas de 10 mL.</p> <p>Limpiadores</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊙ 0,5 mL de Solución indicadora PAN 0,3%</li> <li>⊙ Sobres de reactivo de EDTA en polvo</li> <li>⊙ Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo</li> </ul>	<p>Llenar una cubeta con la muestra residual, y la otra con agua desionizada.</p> <p>Añadir a cada cubeta un sobre de reactivo de phthalate-fosfato en polvo, disolver. Pipetear 0,5 mL de solución indicadora PAN 0,3% en las dos cubetas y mezclar.</p> <p>Tiempo de reacción 15 minutos. Luego añadir a cada cubeta un sobre de reactivo de EDTA en polvo, agitar vigorosamente y medir en forma de Co/Ni.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Serie*

## DETERMINACIÓN DE FOSFATOS

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Los abonos inorgánicos están constituidos por diversas clases de fosfatos solubles como: aniones meta ( $\text{PO}_3^-$ ), piro ( $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ) y ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Debido a su elevada solubilidad estos aniones son arrastrados fácilmente por las aguas superficiales hacia ríos. Por otro lado, los detergentes utilizan fosfatos como agentes alcalinizadores, estos aceleran el proceso de eutrofización de las aguas de lagos y ríos. La utilización de fosfatos y nitratos provocan la eutrofización.	Cubetas de análisis de 10 mL. Pipetas de 10 mL. Limpiadores	© Sobres de reactivo fosfato PhosVer3 en polvo	Llenar una cubeta de 10 mL de muestra residual. Añadir el contenido de un sobre de reactivo fosfato PhosVer3 en polvo. Agitar la cubeta con rotación. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos. <b>Para preparar el blanco,</b> llenar otra cubeta cuadrada de 10 ml de muestra residual. Seleccionar en la pantalla: Medición. ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).	LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)

Fuente: HACH DR 2800, Model Serie

## DETERMINACIÓN DE MOLIBDENO

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El molibdeno es un elemento esencial para los animales y para las plantas, es utilizado en abonos para las plantas. Una vez que el molibdeno entre en una masa de agua se puede añadir al sedimento y luego es consumido por el pez. El rol del molibdeno en las plantas es estimular la fijación de nitrógeno y la reducción de nitrato. Esto es llevado a cabo en el agua por ciertas algas que convierten el nitrógeno molecular en amoníaco.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL. Pipetas de 10 mL. Limpiadores</p>	<p>© Sobres de reactivo Molibdeno1 en polvo © Sobres de reactivo Molibdeno2 en polvo © Sobres de reactivo Molibdeno3 en polvo</p>	<p>Llenar una cubeta de 10 mL de muestra residual. Añadir un sobre de reactivo Molibdeno1. Agitar en rotación. Luego añadimos el sobre Molibdeno2. Agitamos y finalmente añadimos el sobre Molibdeno3 en polvo, que agitaremos en rotación. Su periodo de reacción es de 5 minutos.</p> <p><b>Para preparar el blanco,</b> llenar otra cubeta cuadrada de 10 ml de muestra residual. Seleccionar en la pantalla: Medición. Mo.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Serie*

## DETERMINACIÓN DE FLUOR

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Flúor es uno de los productos químicos más peligrosos en las aguas residuales. La ingestión aguda de exceso de fluoruros resultados en intoxicación crónica.	Cubetas de análisis de 10 mL. Pipetas de 10 mL. Limpiadores	© 2 mL de Solución SPADNS Reagent	Llenar una cubeta con la muestra residual, y la otra con agua desionizada. Añadir a cada cubeta 2 mL de Solución SPADNS Reagent y mezclar. Tiempo de reacción 1 minuto. Finalmente seleccionar en la pantalla: Medición. F.	LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)

*Fuente: HACH DR 2800, Model Serie*



## DETERMINACIÓN DE MANGANESO

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Existe la evidencia de que el Mn se encuentra en las aguas superficiales como pequeñas partículas en el agua, tanto en suspensión en su forma tetravalente, como en la forma trivalente en un complejo soluble relativamente estable. Aunque raramente sobrepasa 1 mg/l, el agua que contiene cantidades excesivas de hierro y manganeso dejar un sabor oxidado y un aspecto amarillento en el agua.</p>	<p>Cubetas de análisis de 10 mL. Pipetas de 10 mL. Limpiadores</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ⓢ Solución de reactivo de cianuro alcalino</li> <li>Ⓢ Solución indicadora PAN 0,1%</li> <li>Ⓢ Sobres de ácido ascórbico en polvo</li> </ul>	<p>Llenar una cubeta con la muestra residual, y la otra con agua desionizada. Añadir a cada cubeta el contenido de un sobre de ácido ascórbico. Tapar e invertir con cuidado para disolver el polvo. Añadir 12 gotas de solución de reactivo de cianuro alcalino a cada cubeta. Agitar. Luego añadir a cada cubeta 12 gotas de solución indicadora Pan 0,1%, y agitar. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos. Finalmente seleccionar en la pantalla: Medición. Mn.</p>	<p>LECTURA DIRECTA CON EL ESPECTOFOTOMETRO EN (mg/L)</p>

*Fuente: HACH DR 2800, Model Serie*

## DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES

### MÉTODO HACH DR 2800

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La bacteria Escherichia Coli se encuentra frecuentemente en el intestino humano. cuando el agua las contiene, quiere decir que ha sido contaminada con las heces fecales de recién expulsión, puesto que estas bacterias en el medio exterior mueren rápidamente. El índice coliforme mide el grado de concentración de estas bacterias, aceptándose que si bien para bañar o nadar, su grado de concentración pueda ser de hasta 240 E. Coli por mL, para beberla no debería contener ninguna.</p>	<p>Cámara Incubadora Equipo de Filtración Cajas Petri Pinza Termómetro Cronómetro Pads adsorbentes Reverbero Lente de aumento Pipetas plásticas Pasteur. Membranas de filtro de 0.47</p>	<p>© Medio de cultivo ampollas m- Coliblu 24 ® Broth © Alcohol antiséptico 700G1</p>	<p>Desinfectar el sitio de análisis y esterilizar: Interior del tubo de filtración, Interior de las cajas Petri. Colocar un pad absorbente en la caja petri y armar el equipo de la bomba de vacío. Coloque la membrana con la cuadrícula hacia arriba en el soporte, utilizando una pinza estéril. Si la membrana está rasgada o contaminada, deseche y use una nueva. Ajustar la membrana y aplaste el embudo firmemente hacia abajo. Poner la muestra del agua residual en el embudo de 100 mL y filtrar. Apagar la bomba de vacío y con la pinza estéril tome la membrana de la unidad de</p>	<p>La temperatura de la incubadora, debe ser de 45° C. Después se removerá las cajas Petri de la incubadora y se colocaran en una superficie plana. Remover las tapas y utilizando el lente de aumento se contará todas las colonias de color azul, y de color rojo sin considerar el tamaño. Las colonias deberán contarse rápidamente. Determinada las colonias se asumirá que se ha filtrado en 100 ml de muestra, este valor es igual al número de colonias por 100 ml. Registrar los resultados.</p>

			<p>filtración, colóquela sobre el pad que se encuentra saturado de la ampolla m-Coli blue posteriormente retirado el exceso de dicho medio. Tapar la caja Petri y codificarlo con el número de muestra, y lugar. Dejar un periodo de resucitación de 1 a 4 horas, lo cual permitirá que los coliformes fisiológicamente estresados se recuperen antes del cultivo.</p>	
--	--	--	--	--

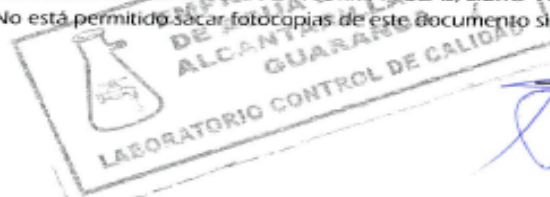
*ANUAL DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA EL CONTROL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS*

**RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLOGICO**  
**AGUA RESIDUAL FINAL DE LA DESCARGA CUERPO RECEPTOR (DÍAS SOLEADOS) (HORAS PICO)**

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULAS	SEMANA MONITOREADA				
		Lim.Max.Per	07-abr	11-abr	16-abr	25-abr	30-abr
COLOR	UTC	Ina. en dis	20.00	25.00	22.00	30.00	45.00
TURBIEDAD	NTU	.....	120.25	148.67	132.40	150.83	160.57
pH	.....	.....	7.98	7.54	8.12	7.96	7.83
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	uS/cm	.....	264.31	324.60	310.57	366.85	380.09
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	140.68	156.96	146.03	170.71	180.84
TEMPERATURA	°C	.....	18.09	17.95	18.46	18.32	18.51
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	22.140	26.58	20.47	22.58	22.43
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	0.74	0.68	0.63	0.71	0.69
NITROGENO AMONICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	0.52	0.68	0.57	0.64	0.7
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	8.00	10.00	6.00	11.00	7.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	1.18	0.80	0.69	0.97	0.82
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	0.68	0.75	0.64	0.71	0.66
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.89	0.94	0.74	0.82	0.90
CROMO (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	0.5	0.026	0.034	0.025	0.030	0.029
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.05	0.08	0.05	0.07	0.08
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	120.00	80.00	100.00	110.00	90.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.009	0.007	0.007	0.008	0.008
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	4.30	3.32	3.80	4.25	3.64
NIQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.016	0.020	0.018	0.025	0.019
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.064	0.070	0.058	0.069	0.058
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	18.00	20.00	10.00	16.00	12
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	3.60	1.95	2.54	3.36	2.54
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.12	0.10	0.18	0.15	0.19
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	25.00	30.00	28.00	32.00	27.00
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	225.34	226.89	230.47	229.06	234.64
DOO	mg/L	250	524.12	530.54	533.69	528.47	567.30
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	1300	600	800	1100	700
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. al 99%	2500	1800	2100	2800	1900

LIMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA TULAS, LIBRO VI, TABLA 12, DESCARGA A UN CUERPO DULCE

NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la E.P-EMAPA-G



ING. QUI. RAUL ALLAN  
 Técnico Control de Calidad E.P-EMAPA-G

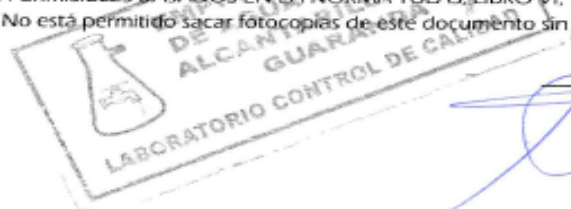


**RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO**  
**AGUA RESIDUAL FINAL DE LA DESCARGA CUERPO RECEPTOR (DÍAS LLUVIOSO) (HORAS PICO)**

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULAS	SEMANA MONITOREADA				
		Lim.Max.Per	08-abr	09-abr	21-abr	23-abr	29-abr
COLOR	UTC	Ina. en dis	45.00	75.00	50.00	65.00	80.00
TURBIEDAD	NTU	.....	220.69	290.63	250.84	315.25	347.96
pH	.....	.....	8.94	8.47	9.56	8.64	9.40
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	394.61	324.60	310.57	366.85	380.09
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	190.57	156.96	146.03	170.71	180.84
TEMPERATURA	°C	.....	16.54	17.95	18.46	18.32	18.51
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	32.05	26.580	20.470	22.58	22.43
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	1.16	0.68	0.63	0.71	0.69
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	0.85	0.68	0.57	0.64	0.7
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	14.00	10.00	6.00	11.00	7.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	2.25	0.80	0.69	0.97	0.82
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	0.83	0.75	0.64	0.71	0.66
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.96	0.94	0.74	0.82	0.90
CROMO (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	0.5	0.047	0.034	0.025	0.030	0.029
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.08	0.08	0.05	0.07	0.08
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	240.00	80.00	100.00	110.00	90.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.008	0.009	0.009	0.009	0.008
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	10.25	9.68	7.63	8.82	6.47
NIQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.024	0.038	0.027	0.045	0.041
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.125	0.185	0.146	0.138	0.129
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	20.00	18.00	15.00	19.00	22.00
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.12	0.09	0.11	0.10	0.13
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	6.42	3.85	4.62	7.69	4.61
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.21	0.19	0.20	0.24	0.23
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	36.00	25.00	30.00	38.00	32.00
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	486.72	554.61	503.97	560.09	620.32
DOO	mg/L	250	856.42	876.45	923.65	890.64	825.64
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	2200	1300	1100	2600	1500
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. Al 99%	4000	2800	3400	3200	3800

LIMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA TULAS, LIBRO VI, TABLA 12, DESCARGA A UN CUERPO DULCE

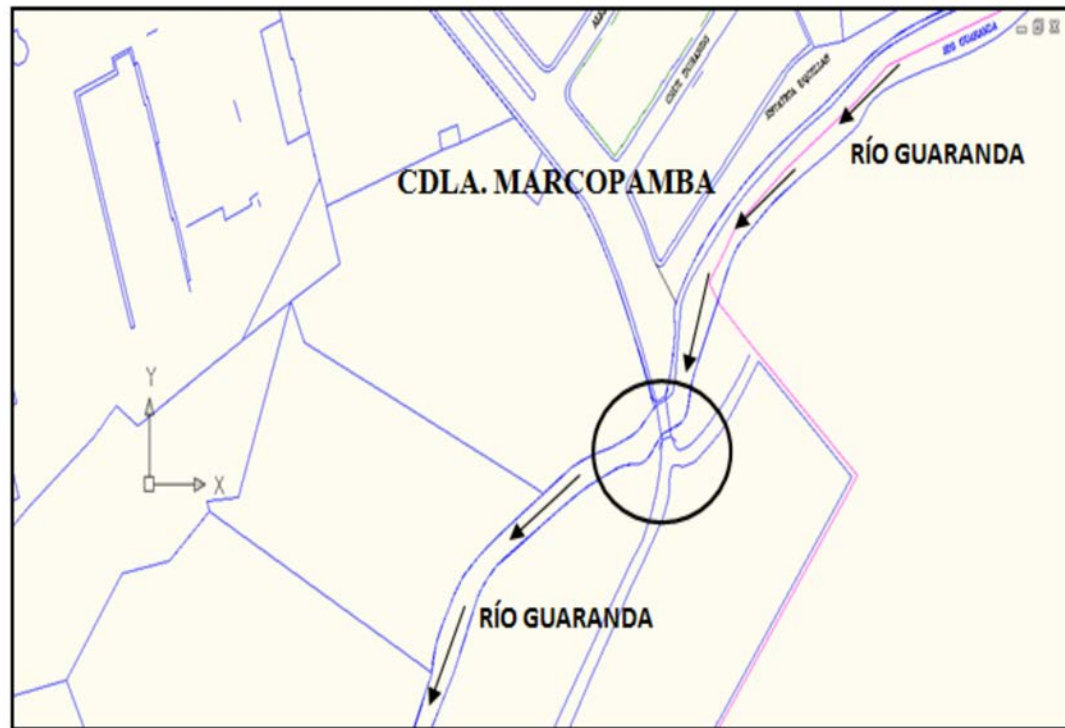
NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la E.P-EMAPA-G



ING. QUI. RAUL ALLAN  
 Técnico Control de Calidad E.P-EMAPA-G



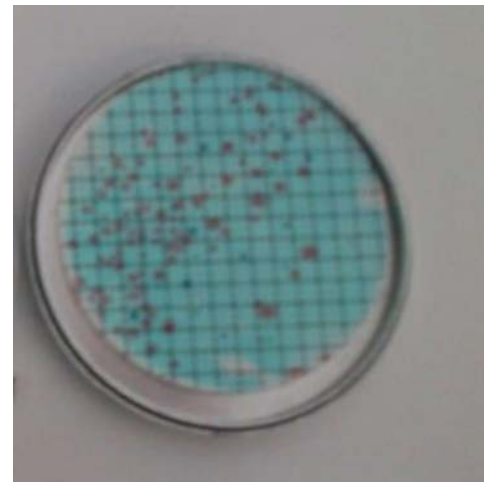
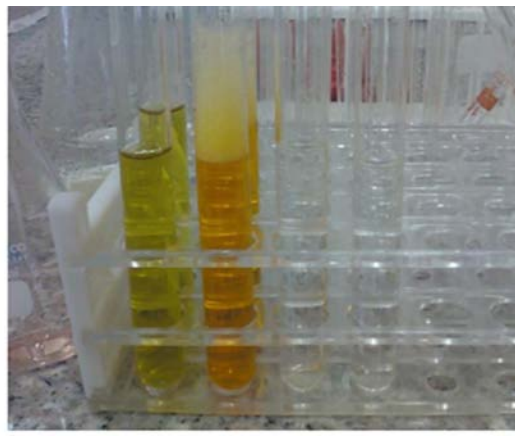
## ANEXO II LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**ANEXO III RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA DEL RIO GUARANDA DEL SECTOR DE MARCOPAMBA**



## ANEXO IV PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS





## ANEXO V EQUIPO DE FLOCULACIÓN - PRUEBA DE JARRAS



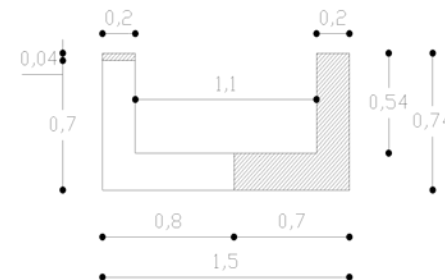
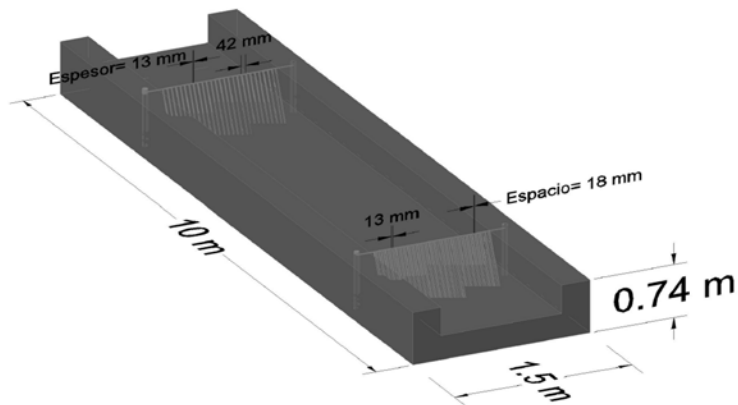
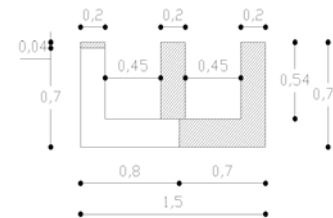
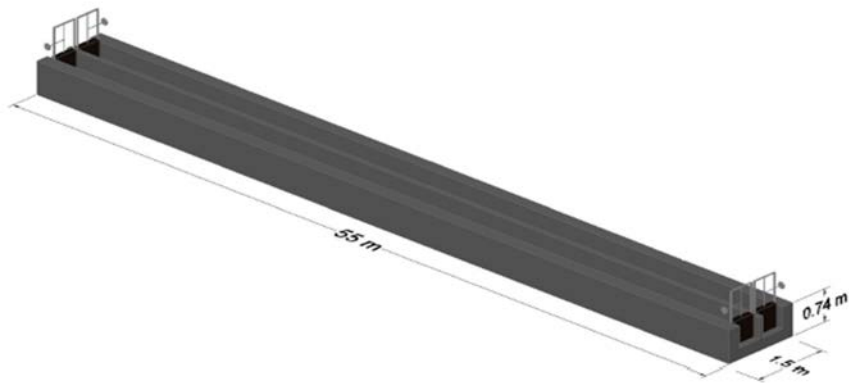
**ANEXO VI PRESUPUESTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

<b><u>RUBRO</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>UNIDAD</u></b>	<b><u>CANTIDAD</u></b>	<b><u>P.TOTAL</u></b>
<b>PRELIMINARES</b>				
500	Replanteo y nivelación	m2	21.046,00	34.725,90
500-1	Derrocamiento de estructura existente	m3	800,65	3.162,57
500-2	Desalojo de material	m3	38.367,87	76.352,06
<b>CANAL DE ENTRADA Y DESBASTE</b>				
501	Excav. H=0 a 2 m a maquina	m3	72,15	148,63
501-1	Hormigón Simple f'c=210kg/cm2 (inc encofrado)	m3	41,68	5.588,45
501-2	Compuerta de volante de acero inoxidable	u	4,00	925,44
501-3	Malla electrosoldada 6mm15x15 cm	m2	132,26	656,01
501-4	Junta de dilatación de PVC	m	6,50	40,89
501-5	Rejilla canal de cribado	u	2,00	7,36
<b>DESARENADOR</b>				
502	Excavación de suelo sin clasificar	m3	128,63	196,80
502-1	Hormigón Simple f'c=210kg/cm2 (inc encofrado)	m3	29,25	3.921,84
502-2	Malla electrosoldada 6mm15x15 cm	m2	36,06	178,86
502-3	Compuerta de volante de acero inoxidable	u	4,00	925,44
502-4	Tapa Inspección Tool 1,20X1,20 m	u	2,00	126,82
502-5	Prov. Inst. de Tubería de PVC D=110mm	m	8,70	63,34
502-6	Prov. Inst. de Codo de PVC D=110mmx90°	u	1,00	5,29
502-7	Prov. Inst. de Tee de PVC D=110mm	u	1,00	4,01
502-8	Prov. Inst. de Válvula de Compuerta HG 4"	u	1,00	57,65

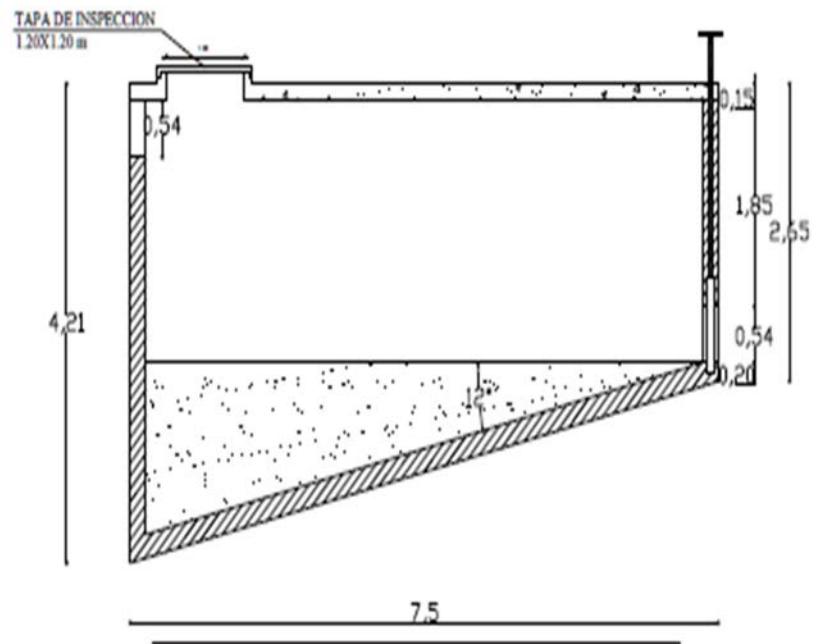
PRESUPUESTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO

<b><u>RUBRO</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>UNIDAD</u></b>	<b><u>CANTIDAD</u></b>	<b><u>P.TOTAL</u></b>
<b>COAGULADOR Y FLOCULADOR</b>				
503	Excavación de suelo sin clasificar	m3	10.448,97	15.986,92
503-1	Hormigón Simple f`c=210kg/cm2 (inc encofrado)	m3	1.659,02	222.441,40
503-2	Malla electrosoldada 6mm15x15 cm	m2	8.919,96	44.243,00
503-3	Tapa Inspección Tool 1,20X1,20 m	u	16,00	1.014,56
<b>SEDIMENTADORES</b>				
504	Excavación de suelo sin clasificar	m3	13.194,01	20.186,84
504-1	Prov. Inst. de Tee de PVC D=110mm	u	3,00	12,03
504-2	Prov. Inst. de Válvula de Compuerta HG 4"	u	1,00	57,65
<b>TANQUE DE FILTROS BIOLÓGICOS</b>				
505	Excavación de suelo sin clasificar	m3	5.302,35	8.112,60
505-1	Hormigón Simple f`c=210kg/cm2 (inc encofrado)	m3	927,16	124.313,61
505-2	Malla electrosoldada 6mm15x15 cm	m2	4.219,06	20.926,54
<b>TANQUE DE OXIDACION</b>				
506	Excavación de suelo sin clasificar	m3	9.221,76	14.109,29
506-1	Hormigón Simple f`c=210kg/cm2 (inc encofrado)	m3	1.641,89	220.144,61
506-2	Malla electrosoldada 6mm15x15 cm	m2	7.564,61	37.520,47

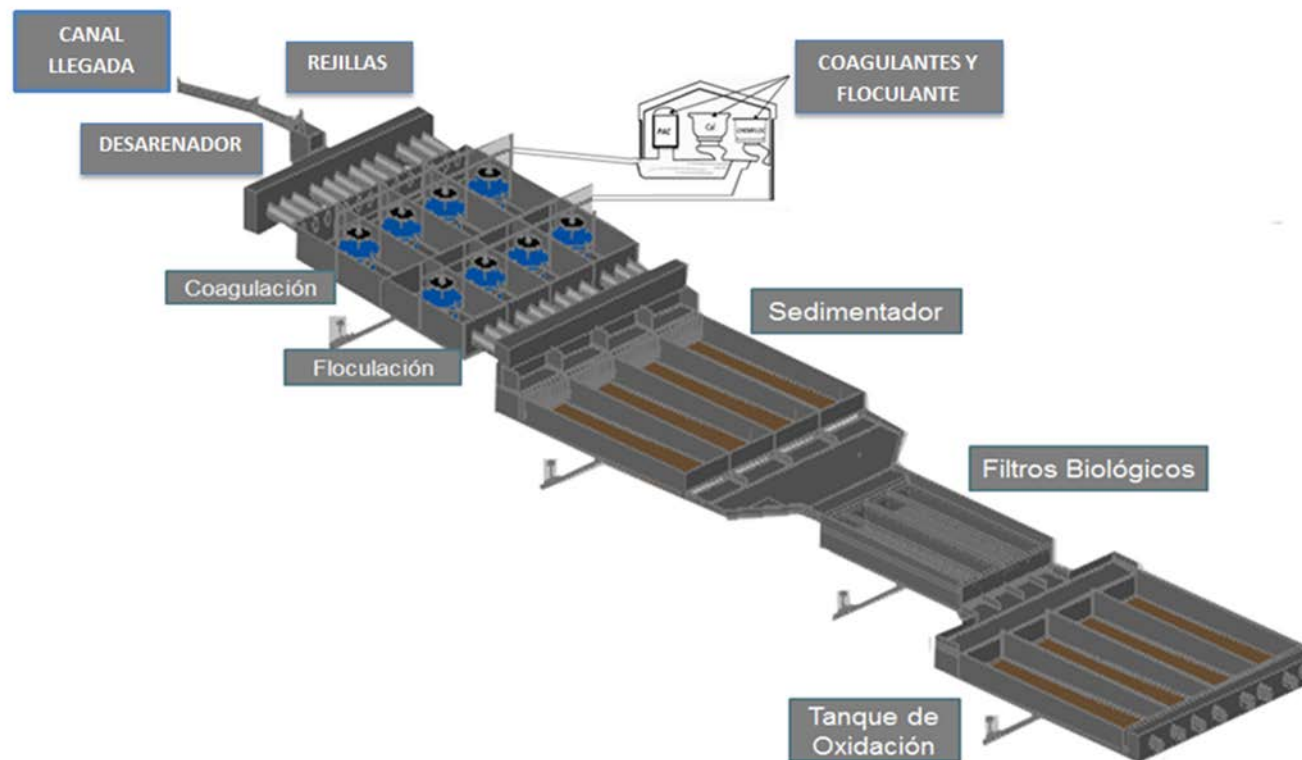
**PLANOS**  
**PROPUESTOS**



NOTAS	CATEGORÍA DE DIAGRAMAS	ESPOCH	CANAL DE LLEGADA Y SISTEMA DE REJILLAS		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE ING. QUÍMICA</b>  <b>RUTH BUCAY VALDIVIEZO</b>	1/8		11/2014



NOTAS	<b>CATEGORÍA DE DIAGRAMAS</b> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESPOCH</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  RUTH BUCAY VALDIVIEZO	<b>DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL</b>		
			Lámina	Escala	Fecha
			2/8		11/2014



NOTAS	CATEGORÍA DE DIAGRAMAS	ESPOCH	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE ING. QUÍMICA</b>  <b>RUTH BUCAY VALDIVIEZO</b>	FINAL	1:1000	11/2014

