



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
RESIDUAL, APLICANDO UN SISTEMA DE HUMEDAL  
ARTIFICIAL CON FLUJO SUPERFICIAL EN LA EXTRACTORA  
TEOBROMA”**

Trabajo de titulación para obtener el grado académico de:

**INGENIERO QUIMICO**

**AUTOR: DARWIN ANTONIO LALANGUI DELGADO**

**TUTOR: ING. JOSÉ GUILLERMO USIÑA MANZANO**

Riobamba-Ecuador

2015

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

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que el trabajo de investigación “**REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, APLICANDO UN SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON FLUJO SUPERFICIAL EN LA EXTRACTORA TEOBROMA**” de responsabilidad del señor egresado Darwin Antonio Lalangui Delgado, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, queda autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. José Usiña. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	.....	.....
Ing. Mabel Parada <b>COLABORADORA DE TESIS</b>	.....	.....
<b>DOCUMENTALISTA</b> <b>SISBIB ESPOCH</b>	.....	.....
<b>NOTA DE TESIS</b>	.....	

Yo “**DARWIN ANTONIO LALANGUI DELGADO**”, soy responsable de todas las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

-----

Darwin Antonio Lalangui Delgado

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por mantener con salud y vida y permitir alcanzar un sueño anhelado y cumplir las metas que me he propuesto.

A mis padres, Hermo Lalangui y Rosa Delgado que con sus consejos, aliento, motivación y amor me supieron apoyar, guiar y a pesar de mis errores nunca dejaron de creer en mí, y gracias a ello pude culminar mi carrera.

Al Ing. José Usiña por su excelente colaboración en la dirección de la presente tesis. A la Ing. Mabel Parada miembro del tribunal de tesis por su valioso tiempo y las sabias opiniones que fueron de gran utilidad.

A la Empresa “Teobroma” por abrirme la puerta y brindarme el apoyo necesario para culminar mi proyecto de tesis, en su distinguida planta.

Darwin

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios quien ha sido luz en mi camino, fuente de amor y de fe. A mis Padres pilar fundamental de mi vida, por su amor, consejos y dedicación, por ser parte de cada experiencia y nuevos retos, por creer en mí y formar al hombre que soy hoy en día. A mis hermanos por jugar, llorar y reír junto a mí. A toda mi familia y amigos por sus buenas oraciones y muy buenos deseos. Especialmente a mi abuelita Alodia Vera quien con su amor cuidó de mí toda mi infancia.

Darwin

## INDICE DE ABREVIATURA

$\alpha$	Grado de inclinación de las barras
$\beta$	Factor dependiente de la forma de la barra
$\phi_e$	Diámetro de la tubería de entrada del agua al filtro
$\phi_s$	Diámetro de la tubería en la salida del agua al filtro
<b>a</b>	Separaciones entre barra
<b>A<sub>L</sub></b>	Área libre entre barras
<b>A<sub>f</sub></b>	Área del flujo
<b>bg</b>	Suma de separación entre barras
<b>BL</b>	Borde Libre
<b>C<sub>a</sub></b>	Altura del agua sobre el lecho
<b>C.O</b>	Carga orgánica
<b>C<sub>vA</sub></b>	Carga volumétrica de DBO
<b>C<sub>o</sub></b>	Concentración del afluente
<b>C<sub>f</sub></b>	Concentración del efluente
<b>d</b>	Número de dispersión
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>e<sub>L</sub></b>	Separación entre laterales
<b>F<sub>c</sub></b>	Altura de drenaje
<b>FLV</b>	Fracción de volumen de la laguna ocupada con lodos
<b>h<sub>c</sub></b>	Coefficiente de convección
<b>k</b>	Constante de ritmo de enfriamiento
<b>K<sub>t</sub></b>	Constante de primer orden dependiendo la temperatura

<b><math>k_b</math></b>	Coeficiente de reducción bacteriana
<b><math>K_c</math></b>	Coeficiente del mínimo costo
<b><math>L_a</math></b>	Altura del lecho filtrante
<b><math>n_h</math></b>	Porosidad disponible para el flujo del agua a través del humedal
<b><math>N</math></b>	Número de coliformes fecales en el efluente
<b><math>N_0</math></b>	Número de coliformes fecales en el afluente
<b><math>PR_{real}</math></b>	Periodo de retención real
<b><math>Q_d</math></b>	Caudal de diseño
<b><math>Q_e</math></b>	Caudal de evaporación
<b><math>Q_{inf}</math></b>	Caudal de infiltración
<b><math>Q_{max}</math></b>	Caudal máximo
<b><math>R</math></b>	Radio hidráulico
<b><math>RFF</math></b>	Racimos de frutas frescas
<b><math>R_X</math></b>	Porcentaje de remoción esperado de DBO o Sólidos Suspendedos
<b><math>SS_E</math></b>	Solidos suspendidos en el afluente
<b><math>t</math></b>	Espesor máximo de las barras
<b><math>TAL</math></b>	Tasa de acumulación de lodos
<b><math>TRH</math></b>	Tiempo de retención hidráulico
<b><math>TULSMA</math></b>	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente
<b><math>v_{lav}</math></b>	Velocidad optima de lavado del filtro
<b><math>v_{lf}</math></b>	Cantidad de agua para el lavado del filtro
<b><math>W</math></b>	Ancho de la laguna facultativa
<b><math>X</math></b>	Relación largo-ancho
<b><math>ZL</math></b>	Altura de lodos
<b><math>Zp</math></b>	Talud

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCION .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1.MARCO TEORICO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Palma africana de aceite.....</b>	<b>4</b>
1.1.1. <i>Historia.....</i>	4
1.1.2. <i>Proceso agroindustrial.....</i>	4
1.1.3. <i>Descripción general del proceso de extracción de aceite de palma .....</i>	4
<b>1.2. Características de las aguas residuales .....</b>	<b>6</b>
1.2.1. <i>Características físicas .....</i>	6
1.2.2. <i>Características químicas .....</i>	7
1.2.2.1. <i>Materia orgánica.....</i>	7
1.2.2.2. <i>Materia inorgánica.....</i>	7
1.2.3. <i>Características biológicas .....</i>	8
<b>1.3. Tratamientos de las aguas residuales .....</b>	<b>8</b>
1.3.1. <i>Tratamiento primario o físico-químico .....</i>	9
1.3.2. <i>Tratamiento secundario o biológico.....</i>	9
1.3.3. <i>Tratamiento terciario .....</i>	9
1.3.4. <i>Sistemas naturales de depuración .....</i>	9
1.3.4.1. <i>Humedales artificiales.....</i>	9
1.3.4.2. <i>Clasificación de los humedales artificiales .....</i>	12
1.3.4.3. <i>Fitorremediación.....</i>	13
1.3.5. <i>Lagunas de estabilización.....</i>	14
1.3.5.1. <i>Tipos de lagunas de oxidación .....</i>	14
<b>1.4. Planta de tratamiento de la Extractora “Teobroma” .....</b>	<b>15</b>
1.4.1. <i>Sistema de tratamiento utilizado para el manejo y disposición final de las aguas residuales de la Empresa Extractora “Teobroma” .....</i>	16
1.4.1.1. <i>Pretratamiento.....</i>	16
1.4.1.2. <i>Lagunas de estabilización.....</i>	17



<b>1.5.</b>	<b>Normativa ambiental .....</b>	<b>18</b>
1.5.1.	<i>Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.....</i>	18
<b>1.6.</b>	<b>Rediseño o Reingeniería .....</b>	<b>20</b>
1.6.1.	<i>Pretratamiento .....</i>	20
1.6.1.1.	<i>Cribado o rejillas.....</i>	20
1.6.1.2.	<i>Trampa de grasa.....</i>	24
1.6.1.3.	<i>Laguna de enfriamiento.....</i>	26
1.6.2.	<i>Lagunas anaeróbicas .....</i>	30
1.6.2.1.	<i>Consideraciones del rediseño de la laguna anaeróbica.....</i>	30
1.6.3.	<i>Lagunas facultativas.....</i>	32
1.6.3.1.	<i>Consideraciones para el rediseño de la laguna facultativa .....</i>	32
1.6.4.	<i>Humedal artificial de flujo libre.....</i>	37
1.6.4.1.	<i>Consideraciones para el diseño del humedal de flujo libre .....</i>	37
1.6.5.	<i>Filtración.....</i>	39
1.6.5.1.	<i>Consideraciones para el diseño de un filtro rápido en arena .....</i>	39
1.6.6.	<i>Laguna de maduración.....</i>	45
1.6.6.1.	<i>Consideraciones para el rediseño de la laguna de maduración .....</i>	45

## **CAPITULO II**

<b>2.MARCO METODOLOGICO.....</b>	<b>48</b>	
<b>2.1. Área de estudio.....</b>	<b>48</b>	
<b>2.2. Métodos de recolección de información .....</b>	<b>49</b>	
<b>2.3. Plan de muestreo .....</b>	<b>49</b>	
2.3.1.	<i>Selección de la muestra .....</i>	49
2.3.2.	<i>Número de muestra.....</i>	49
2.3.3.	<i>Tratamiento de las muestra .....</i>	51
<b>2.4. Métodos y técnicas.....</b>	<b>51</b>	
2.4.1.	<i>Métodos .....</i>	51
2.4.1.1.	<i>Inductivo .....</i>	51
2.4.1.2.	<i>Deductivo.....</i>	51
2.4.1.3.	<i>Experimental.....</i>	52
2.4.2.	<i>Técnicas.....</i>	52
2.4.2.1.	<i>Demanda bioquímica de oxígeno .....</i>	53
2.4.2.2.	<i>Demanda química de oxígeno .....</i>	54
2.4.2.3.	<i>Sólidos sedimentables.....</i>	55

2.4.2.4.	<i>Sólidos totales</i> .....	56
2.4.2.5.	<i>Grasas y aceites</i> .....	57
<b>2.5.</b>	<b>Datos experimentales</b> .....	<b>58</b>
2.5.1.	<i>Caracterización Física, Química y Microbiológica</i> .....	58
2.5.2.	<i>Evaluación de la caracterización del agua residual</i> .....	63
<b>2.6.</b>	<b>Parámetro de no cumplimiento con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua”.</b> .....	<b>65</b>
2.6.1.	<i>Calidad de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua Dulce, del TULSMA”</i> .....	65
2.6.1.1.	<i>Parámetros Físicos y Químicos</i> .....	65
2.6.1.2.	<i>Parámetros Microbiológicos</i> .....	66

### CAPITULO III

<b>3.MARCO DE RESULTADO, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b> .....	<b>68</b>
<b>3.1. Cálculo del Caudal de diseño</b> .....	<b>68</b>
3.1.1. <i>Caudal máximo</i> .....	68
<b>3.2. Sistema de tratamiento</b> .....	<b>68</b>
3.2.1. <i>Pretratamiento</i> .....	68
3.2.1.1. <i>Rediseño del cribado o rejilla</i> .....	68
3.2.1.2. <i>Rediseño de rejillas finas</i> .....	70
3.2.1.3. <i>Rediseño de la trampa de grasa</i> .....	72
3.2.2. <i>Tratamiento primario</i> .....	74
3.2.2.1. <i>Rediseño de la laguna de enfriamiento-sedimentación</i> .....	74
3.2.2.2. <i>Cálculo de la transferencia de calor por convección</i> .....	77
3.2.3. <i>Tratamiento secundario</i> .....	79
3.2.3.1. <i>Rediseño de la laguna anaeróbica</i> .....	79
3.2.3.2. <i>Rediseño de la Laguna Facultativa</i> .....	82
3.2.3.3. <i>Diseño de Humedal Artificial de Flujo Libre</i> .....	89
3.2.3.4. <i>Diseño de filtro rápido de arena</i> .....	91
3.2.4. <i>Tratamiento Terciario</i> .....	96
3.2.4.1. <i>Rediseño de la laguna de maduración</i> .....	96
<b>3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>99</b>
3.3.1. <i>Análisis, interpretación y discusión de resultados</i> .....	99
3.3.2. <i>Presentación de resultados</i> .....	100
3.3.2.1. <i>Resultado del tratamiento</i> .....	100
3.3.3. <i>Resultados del rediseño</i> .....	107

3.3.3.1.	<i>Comparación del rediseño del canal de entrada y del sistema de rejilla.....</i>	107
3.3.3.2.	<i>Comparación del rediseño de la trampa de grasa .....</i>	108
3.3.3.3.	<i>Comparación del rediseño de la laguna de enfriamiento-sedimentación .....</i>	108
3.3.3.4.	<i>Comparación del rediseño de la laguna anaerobia .....</i>	109
3.3.3.5.	<i>Comparación del rediseño de la laguna facultativa.....</i>	110
3.3.3.6.	<i>Implementación del humedal artificial .....</i>	111
3.3.3.7.	<i>Implementación del filtro rápido de arena .....</i>	112
3.3.3.8.	<i>Comparación del rediseño de la laguna de maduración.....</i>	113
<b>3.4.</b>	<b>Propuesta del Rediseño.....</b>	<b>114</b>
3.4.1.	<b>Costos de implementación de la propuesta .....</b>	116
3.4.1.1.	<i>Análisis de costo de Laguna de Enfriamiento .....</i>	116
3.4.1.2.	<i>Análisis de costo de la Laguna Anaeróbica .....</i>	116
3.4.1.3.	<i>Análisis de costo de la Laguna Facultativa.....</i>	117
3.4.1.4.	<i>Análisis de costo del Humedal Artificial de flujo libre.....</i>	118
3.4.1.5.	<i>Análisis de costo del Filtro rápido de arena .....</i>	119
3.4.1.6.	<i>Análisis de costo de la Laguna de Maduración.....</i>	119
3.4.1.7.	<i>Análisis del costo total.....</i>	120
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>124</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Superficie de palma africana por región y por provincia.....	4
<b>Tabla 1-2.</b> Contaminantes generados en el Proceso.....	5
<b>Tabla 1-3.</b> Caracterización de Aguas Residuales en Extractoras De Palma.....	6
<b>Tabla 1-4.</b> Categoría Taxonómica.....	10
<b>Tabla 1-5.</b> Lagunas y sus dimensiones.....	17
<b>Tabla 1-6.</b> Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.....	18
<b>Tabla 1-7.</b> Características según el tipo de limpieza.....	20
<b>Tabla 1-8.</b> Criterios de Diseño de una Trampa de Grasa.....	25
<b>Tabla 1-9.</b> Dimensiones recomendadas para las trampa grasa, según el caudal de diseño.....	26
<b>Tabla 1-10.</b> Información para el diseño de tanques de sedimentación primaria.....	27
<b>Tabla 1-11.</b> Información para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares.....	28
<b>Tabla 1-12.</b> Valores de constante empíricas.....	29
<b>Tabla 1-13.</b> Eficiencia de remoción según los factores.....	31
<b>Tabla 1-14.</b> Valores de porosidad total.....	38
<b>Tabla 1-15.</b> Tipos de Filtros.....	39
<b>Tabla 1-16.</b> Parámetros de Diseño de Filtro rápidos de Arena.....	44
<b>Tabla 1-17.</b> Parámetros de Diseño Laterales.....	45
<b>Tabla 1-18.</b> Velocidades de Diseño.....	45
<b>Tabla 2-1.</b> Descripción del Área de Investigación.....	48
<b>Tabla 2-2.</b> Recolección de muestra.....	50
<b>Tabla 2-6.</b> Técnica para determinar DBO.....	53
<b>Tabla 2-7.</b> Técnica para determinar DQO.....	54
<b>Tabla 2-9.</b> Técnica para determinar Solidos Sedimentables.....	55
<b>Tabla 2-10.</b> Técnica para determinar Sólidos Totales.....	56
<b>Tabla 2-15.</b> Técnica para determinar Grasas y Aceites.....	57
<b>Tabla 2-16.</b> Datos de los análisis Físicos-Químicos del agua residual cruda (entrada).....	59
<b>Tabla 2-17.</b> Datos de los análisis microbiológicos del agua residual cruda (entrada).....	60
<b>Tabla 2-18.</b> Datos de los análisis Físicos-Químicos del agua tratada (Laguna de Maduración).....	61
<b>Tabla 2-19.</b> Datos de los análisis microbiológicos del agua (Laguna de Maduración).....	62
<b>Tabla 2-20.</b> Comparación de los resultados del agua tratada vs límites permisible.....	63
<b>Tabla 2-21.</b> Parámetros Físicos-Químicos fuera de Norma.....	65
<b>Tabla 2-22.</b> Parámetro Microbiológico fuera de Norma.....	66
<b>Tabla 3-1.</b> Dimensiones Estimadas según el Caudal.....	73
<b>Tabla 3-2.</b> Resultados Físicos-Químicos después del tratamiento con Humedal Flujo Libre..	100

<b>Tabla 3-3.</b> Resultados Físicos-Químicos después del tratamiento con filtro rápido de arena..	101
<b>Tabla 3-4.</b> Resultados Microbiológicos después del tratamiento con el filtro de arena.....	101
<b>Tabla 3-5.</b> Cumplimientos de Parámetros de Análisis .....	101
<b>Tabla 3-6.</b> Comparación de Agua Inicial y Agua Tratada .....	102
<b>Tabla 3-7.</b> Resultado de Caudal Máximo .....	107
<b>Tabla 3-8.</b> Comparación del rediseño del canal de entrada y del sistema de rejillas. ....	107
<b>Tabla 3-9.</b> Comparación del rediseño de la trampa de grasa.....	108
<b>Tabla 3-10.</b> Comparación del rediseño de la laguna de enfriamiento-sedimentación .....	108
<b>Tabla 3-11.</b> Comparación del rediseño de la laguna anaerobia.....	109
<b>Tabla 3-12.</b> Comparación del rediseño de la laguna facultativa .....	110
<b>Tabla 3-13.</b> Implementación del humedal artificial .....	111
<b>Tabla 3-14.</b> Implementación del filtro rápido de arena .....	112
<b>Tabla 3-15.</b> Comparación del rediseño de la laguna de maduración.....	113
<b>Tabla 3-16.</b> Comparación del % de eficiencia de remoción del diseño con el rediseño. ....	113

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Diagrama de proceso de Extracción de Aceite de Palma .....	5
<b>Figura 1-2.</b> Esquema de un EDAR.....	8
<b>Figura 1-3.</b> Clasificación de los humedales según el flujo.....	12
<b>Figura 1-4.</b> Humedal de Flujo Superficial .....	12
<b>Figura 1-5.</b> Humedal Subsuperficial con flujo vertical .....	13
<b>Figura 1-6.</b> Humedal Subsuperficial con flujo horizontal.....	13
<b>Figura 1-7.</b> Zona de la Laguna Facultativa .....	15
<b>Figura 1-8.</b> Diagrama del EDAR de la Extractora “Teobroma” .....	16
<b>Figura 1-9.</b> Características de rejilla manual.....	21
<b>Figura 1-10.</b> Rejilla de tipo mecánico .....	21
<b>Figura 1-11.</b> Factor de forma de barras para rejas .....	24
<b>Figura 1-12.</b> Laguna anaerobia .....	30
<b>Figura 1-13.</b> Laguna Facultativa .....	32
<b>Figura 1-14.</b> Dimensionamiento de una Laguna Facultativa .....	35
<b>Figura 1-15.</b> Secciones de un Filtro Rápido.....	40
<b>Figura 2-1.</b> Ubicación Geográfica de la Extractora “Teobroma” .....	48

## INDICE DE GRAFICAS

<b>Grafica 2-1.</b> Variación de la concentración de contaminantes antes y después del tratamiento.	66
<b>Grafica 2-2.</b> Parámetros Físicos y Químicos fuera de Norma .....	66
<b>Grafica 2-3.</b> Parámetro Microbiológico fuera de Norma .....	67
<b>Grafica 3-1.</b> Comparación del agua tratada vs limites permisible de la norma .....	102
<b>Grafica 3-2.</b> Comparación del Agua inicial vs Agua final .....	103
<b>Grafica 3-3.</b> Porcentaje de remoción de DBO5 .....	103
<b>Grafica 3-4.</b> Porcentaje de remoción de DQO .....	104
<b>Grafica 3-5.</b> Porcentaje de remoción de Solidos Suspendidos.....	104
<b>Grafica 3-6.</b> Porcentaje de remoción de Solidos Totales .....	105
<b>Grafica 3-7.</b> Porcentaje de remoción de Nitrógeno Amoniacal .....	105
<b>Grafica 3-8.</b> Porcentaje de remoción de Grasas y Aceites .....	106
<b>Grafica 3-9.</b> Porcentaje de remoción de Coliformes Fecales .....	106

## **INDICE DE ANEXOS**

- Anexo A.** Caracterización preliminar a la entrada del tratamiento
- Anexo B.** Caracterización preliminar a la salida del tratamiento.
- Anexo C.** Análisis después del tratamiento en la laguna enfriamiento
- Anexo D.** Análisis después del tratamiento en la laguna anaeróbica
- Anexo E.** Análisis después del tratamiento en la laguna facultativa
- Anexo F.** análisis después del tratamiento en el humedal de flujo libre
- Anexo G.** Caracterización final fisicoquímica
- Anexo H.** Caracterización final microbiológico
- Anexo I.** Toma de muestra
- Anexo J.** Tratamiento con humedal de flujo libre
- Anexo K.** Tratamiento con filtro
- Anexo L.** Análisis en el laboratorio
- Anexo M.** Muestras en los distintos procesos
- Anexo N.** Corte superior de la laguna anaeróbica
- Anexo O.** Corte superior del humedal de flujo libre
- Anexo P.** Diseño de la planta de tratamiento
- Anexo Q.** Diseño del sistema en 3d



## **RESUMEN**

Con el objetivo de mejorar el rendimiento de la Extractora de palma de aceite Teobroma, y evitar un impacto ambiental por descarga de residuos líquidos proveniente de la industria, se rediseñó la planta de tratamientos de aguas residuales para la extractora que está ubicada en el km 34 vía Santo Domingo- Esmeraldas. Se realizó el reconocimiento del área de investigación, luego se tomó muestras de la actual planta de tratamiento, antes y después del proceso en horarios diferentes: 09h00 a 11h00 y 14h00 a 15h00, obteniendo una muestra compuesta para los respectivos análisis. Los análisis preliminares se realizaron en el laboratorio de análisis técnico de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, obteniendo los siguientes resultados: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 2700 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 4500 mg/L, Aceites y Grasas 187,50 mg/L, Sólidos en Suspensión 494,50 mg/L, Nitrógeno Amoniacal 125 mg/L, Sólidos Totales 6184 mg/L, Coliformes Fecales 4200 UFC/100ml. Los parámetros citados se encuentran fuera de los límites permisibles de la normativa ambiental del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA). Con estos parámetros se determinó un tratamiento adecuado para las aguas residuales originadas en la extractora. Con el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se obtuvieron porcentajes de remoción: DBO<sub>5</sub> 99,9%, DQO 99,9%, Nitrógeno Amoniacal 57,9 %, Sólidos en suspensión 99,9%, Sólidos totales 99,5%, Aceites y grasas 99,6%, Coliformes fecales 99,4%. Se concluye que el tratamiento utilizado es eficiente de tal manera que existe una remoción alta de los contaminantes del agua residual. Se recomienda a la extractora la implementación del humedal de flujo libre y un filtro rápido de arena, para evitar la contaminación del río Blanco que atraviesa el Cantón la Concordia.

**PALABRAS CLAVES:** <REDISEÑO DE LA PLANTA> <SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS [PROVINCIA]> <CONCORDIA [CANTÓN]> <EXTRACTORA DE PALMA DE ACEITE “TEOBROMA”> <CARACTERIZACIÓN DEL AGUA> <ANÁLISIS DE AGUA> <HUMEDAL DE FLUJO LIBRE> <TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE [TULSMA] >

## SUMMARY

In order to improve the performance of palm oil extractor Teobroma and avoid environmental impact by discharging liquid waste from industry, plant wastewater treatment was redesigned for the extractor plant located km 34 Santo Domingo- Esmeraldas way road. Recognition of the research area was performed, the samples the current treatment plant was taken before and after the process at different time: 9h00 to 11h00 and 14h00 to 15h00, obtaining a composite sample for the respective analysis. Preliminary analyzes were performed in the laboratory of technical analysis of the Science Faculty at Polytechnic School of Chimborazo, with the following results: Biochemical Oxygen Demand (BOD 5) 2700 mg / L, Chemical Oxygen Demand 4500 mg / L, Oils and Fats 187.50 mg / L, suspended solids 494.50 mg / L, ammonia nitrogen 125 mg / L, total solids 6184 mg / L, 4200 UFC fecal coliform / 100ml. The parameters are outside of the permissible limits of environmental regulations unified secondary environmental legislation (USER) text. With these parameters proper treatment for waste originating from the extractor was determined. With the redesign of the plant wastewater treatment removal percentages obtained were: 99.9% BOD 5, COD 99.9%, 57.9% ammonia nitrogen, suspended solids 99.9% 99.5% total solids, oil and grease 99.6%, 99.4% fecal coliforms. It is concluded that the treatment is used efficiently so that there is a high removal of contaminants from wastewater. Wetland implementing free flow and rapid sand filter is recommended to the extractor, to prevent contamination of the Rio Blanco river that runs which crosses the Concordia canton.

**KEYWORDS:** <REDESIGN OF THE PLANT> <SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS [PROVINCIA]> <CONCORDIA [CANTÓN]> <PALM OIL EXTRACTOR “TEOBROMA”> <WATER CHARACTERIZATION> <ANALYSIS OF WATER> <FREE FLOW WETLAND> <ENVIRONMENTAL REGULATIONS UNIFIED SECONDARY ENVIRONMENTAL LEGISLATION [USER] TEXT>

## **INTRODUCCION**

El recurso 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 principalmente según el uso a que se destine. Al inicio es pura, prácticamente destilada; en su ciclo por la tierra se carga de elementos que pueden ser favorables o perjudiciales

Actualmente la Extractora Teobroma cuenta con una planta de tratamientos de agua, pero por falta de mantenimiento su eficiencia ha disminuido considerablemente, lo que equivale a que en vez de disminuir los contaminantes prácticamente lo está concentrando, es decir el sistema no está cumpliendo con su función.

Este problema va a ser estudiado y desarrollado hasta obtener un agua residual óptima, para que sea descargada al río Blanco sin alteración al ambiente diseñando su sistema de tratamiento adecuado.

El rediseño de la Planta de Tratamiento, considera la cantidad de fruta procesada para tener el promedio de agua residual generada por cada tonelada de RFF, la caracterización físico-química y microbiológica de las aguas residuales, medición de caudales, con estos datos se procede los análisis correspondientes, luego se realizan los cálculos.

El rediseño de esta planta de tratamiento es una solución para evitar la contaminación del Río Blanco y una solución al impacto ambiental, así cumpliendo con los límites permisibles definidos por la Normativa Ambiental vigente para descarga a un cuerpo de agua dulce.

## **ANTECEDENTES**

En el cantón la Concordia ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, una de las principales actividades de esta zona a que se dedica sus habitantes es el cultivo de la palma africana, porque su clima favorece a los cultivos, por tal razón podemos encontrar por esta zona varias extractoras de aceite de palma africana. Es así que en el Km 34 vía Santo Domingo-Esmeraldas, la hacienda el “Bambú” donde se encuentra ubicada las instalaciones de la Extractora “Teobroma”. Es una empresa agroindustrial fundada en el año 1971.

En 1999, la empresa decidió construir una planta piloto para el proceso de palmiste dentro de la planta de aceite rojo, obteniendo de esta manera el aceite y la torta de palmiste. En el año 2005

se construyó una moderna planta de extracción de aceite de palmiste independiente de la planta de aceite rojo y que procesa la nuez de otras extractoras cercanas.

En la extracción del aceite de palma se utilizan grandes cantidades de agua, alrededor de 1 a 1,5 toneladas de agua se requieren para procesar una tonelada de RFF. Se utilizan alrededor de 0,5 toneladas de agua para alimentar la caldera (para diluir y lavar). Aproximadamente la mitad del agua utilizada termina como efluente; la otra mitad se pierde principalmente por el tubo de escape del esterilizador, derrame y agua para lavar.

Los efluentes de la planta extractora incluyen descargas de las siguientes operaciones:

- Esterilización (36%)
- Clarificación de aceite crudo (60%)
- Separación de la mezcla triturada (palmiste y cascara) (4%)

El componente principal de estos efluentes residuales son los sólidos suspendidos, materia orgánica, grasas y aceites, esto sólidos básicamente de carácter orgánico son los responsables de un alto DBO.

## **JUSTIFICACIÓN**

La realización de este proyecto beneficia a la empresa, la planta Extractora “Teobroma” dispone de un sistema de tratamiento convencional de agua residual, pero por falta de operadores técnico y descuido del departamento administrativo, presentan inconvenientes en el manejo de residuos líquidos y baja calidad en el efluente generado.

Por tal razón la empresa requiere de un rediseño del sistema tratamiento de agua residual, para lograr disminuir los contaminantes presente en el efluente y de esta manera aportar con estrategias en la disminución del impacto ambiental, cumpliendo los parámetros de las normas exigidas y citadas en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), libro VI, Anexo XII, Recurso: Agua.

La empresa se ha interesado en el proyecto de rediseño del sistema de tratamiento para disminuir las altas concentraciones de contaminantes con el que sale el agua después de su uso en todo el proceso, además mejora el nivel de calidad y minimiza los posibles impactos que se podrían generar.

Esto a la vez y de forma directa beneficia al medio ambiente. La prioridad del proyecto es aportar una solución a las aguas residuales, aplicando los conocimientos adquiridos en toda mi carrera, para dar el mejor tratamiento y así cumplir con el reglamento impuesto en la ley de gestión ambiental

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Rediseñar la planta de tratamientos de agua residual, aplicando un sistema de humedal con flujo superficial en la Extractora “Teobroma” del cantón la Concordia.

### **Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el estado actual del sistema de tratamientos con el que cuenta la extractora “Teobroma”.
- Realizar la caracterización física, química y microbiológica antes y después de tratamiento.
- Identificar las variables de proceso para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamientos.
- Determinar la efectividad que presenta el sistema de humedal artificial en la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEORICO

#### 1.1. Palma africana de aceite

##### 1.1.1. Historia

La palma africana es nativa del golfo de guinea en África occidental, por tal razón su nombre científico es *Elaeis guineensis*, el nombre *elaeis* deriva de griego que significa olivo esto se debe a que contiene frutos rico en aceites y de *guineensis* por la procedencia de su origen, crece en climas cálidos y a una altitud menor a los 500 msnm.

**Tabla 1-1.** Superficie de palma africana por región y por provincia

PROVINCIA	SUPERFICIE (ha)	%
COSTA	58.830	55.6
SIERRA	34.218	32.1
ORIENTE	12.807	12.1
TOTAL	105.855	100

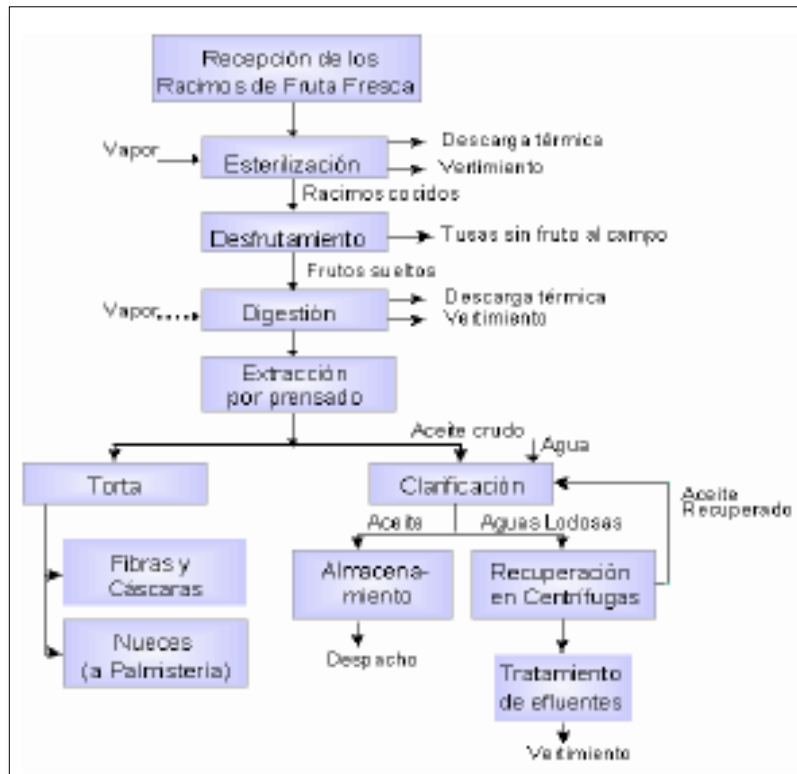
Fuente: Censo Nacional Ancupa 1995., Ministerio del Ambiente, 1999

##### 1.1.2. Proceso agroindustrial

Se la considera a la palma de aceite como un cultivo perenne y tiene un periodo tardío para su cosecha pero luego de su cosecha es de largo rendimiento, porque su vida productiva puede durar más de 50 años, tiene una desventaja con su altura que llega a tener el tallo luego de los 25 años.

##### 1.1.3. Descripción general del proceso de extracción de aceite de palma

La fruta primeramente llega a recepción para ser inspeccionada y pasar el control de calidad requisito para obtener un producto final en buena calidad. La clarificación es primordial para obtener un producto de calidad esto se debe a que el aceite crudo contiene residuos como son lodos y agua. (Cenipalma, 1996, p. 60)



**Figura 1-1.** Diagrama de proceso de Extracción de Aceite de Palma  
Fuente: Vega Turizo Alberto. (2004)

- **Vertimiento.** La generación de efluentes durante la fase del proceso de extracción, como se mencionó anteriormente donde se genera mayor descarga de efluentes es en la operación de clarificación y esterilización.

**Tabla 1-2.** Contaminantes generados en el Proceso

Efluentes líquidos	m <sup>3</sup> //ton RFF
Aguas lodosas de clarificación	0.65
Condensados de esterilización	0.10
Agua de palmistería	0.05
Aguas de limpieza de pisos y purgas	0.10
Efluentes total (sin fugas y purgas)	0.90

Elaborado por: Lalangui, D., 2015

El total de efluentes que se producen en la extractora teobroma, oscila entre 0.60 y 1.20 m<sup>3</sup> de agua / ton RFF, con un promedio de 0.90 m<sup>3</sup> / ton RFF, el rango de capacidad de procesamiento de la extractora teobroma es de 10 a 45 ton FRR/h. para un total de 8 horas de trabajo, los efluentes generados al día oscilarían entre 19,2 y 192 m<sup>3</sup>.

## 1.2. Características de las aguas residuales

Existe una gran variedad de componentes que se encuentra presente en las aguas residuales industriales que se los clasifica en tres categorías, físicos, químicos y biológicos, es primordial la caracterización de las aguas residuales.

**Tabla 1-3.** Caracterización de Aguas Residuales en Extractoras De Palma

PARAMETRO	UNIDAD	RANGO	PROMEDIO
Ph	Unidad	3,87-5,25	4,55
Temperatura	C	53-77	67,4
DBO5	mg/L	18.700-175.521	48.873
DQO	mg/L	45.256-232.000	79.729
Solidos totales (ST)	mg/L	32.482-111.029	45.669
Solidos suspendidos(SS)	mg/L	19.129-88.258	35.105
Solidos disueltos	mg/L	5.150-13.074	9.112
Sólidos sedimentables(S. Sed)	mg/L	0-1.000	564,2
Solidos totales volátiles(STV)	mg/L	26.530-98.445	48.988
Fosforo total(P total)	mg/L	15,7-113,6	66,1
Nitrógeno total(N total)	mg/L	67,5-695	284,1
Nitrógeno amoniacal	mg/L	11-25,5	18,3
Grasas y aceites	mg/L	5.400-19.420	9.611
Acidez total	mg/L	750-2.548	1.611
Alcalinidad total	mg/L	0-807,3	161,5

Fuente: CENIPALMA, 1997

### 1.2.1. Características físicas

Las principales características físicas que presenta un agua residual son, el contenido total de sólidos, temperatura, turbiedad, olor, color y densidad.

- **Sólidos totales.** Se considera a los sólidos totales como la materia que queda como residuo después de ser sometida el agua a un proceso de evaporación a una temperatura entre 103-105 0C.
- **Temperatura.** La temperatura de las aguas residuales se encuentra a mayor temperatura que las de agua para abastecimientos, esto se debe a que se le incorpora agua caliente procedente de la industria.
- **Turbiedad.** Es la medida de la reducción de la intensidad de la luz que atraviesa una muestra.
- **Olor.** Es el resultado de la descomposición de la materia orgánica los cuales son los microorganismos que generan los males olores después de degradar la materia.
- **Color.** El color que tienen las aguas residuales son generadas por la gran cantidad de sólidos, material coloidal e incluso sustancia en solución.



- **Densidad.** Es una medida que determina la cantidad de materia que contiene un determinado volumen de sustancia.

### *1.2.2. Características químicas*

Este tipo de característica se refiere principalmente a la contaminación que presenta las industrias con materiales orgánicos e inorgánicos y la generación de gases por la digestión de la materia orgánica.

#### *1.2.2.1. Materia orgánica*

De las sustancias que están presentes en las aguas residuales, los compuestos orgánicos son los de mayor importancia. Para medir de forma general el contenido de materia orgánica presente en un agua residual se utilizan los siguientes parámetros habitualmente:

- **La Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5).** Nos indica la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual (vía biológica).
- **La Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Representa la cantidad de oxígeno consumido al oxidar químicamente las sustancias orgánicas y algunas inorgánicas (biodegradables y no biodegradables) que están presentes en el agua residual, sin intervención de los microorganismos (vía química).

#### *1.2.2.2. Materia inorgánica*

Los parámetros de mayor importancia a tener en cuenta en depuración de aguas residuales son: Ph, nutrientes (nitrógeno y fósforo), y gases.

- **Ph.** Los valores recomendables del Ph para no interferir en los procesos biológicos de depuración son entre 6,5 y 8,5
- **Nitrógeno.** La Directiva 91/271/CEE distingue en las aguas residuales el nitrógeno presente en varias formas: como ión amonio ( $\text{NH}_4$ ) mayoritariamente.
- **Fósforo.** Representa el nutriente principal de la eutrofización en los embalses, lagos, y en general en las masas de agua.
- **Oxígeno disuelto.** El oxígeno disuelto en el agua es imprescindible para la vida, por ello la concentración de oxígeno disuelto es un parámetro muy importante en el control de los vertidos.

### 1.2.2.3. Características biológicas

Las aguas residuales tiene un rasgo muy importante en lo que se refiere a lo biológicos, como contiene una gran cantidad de materia orgánica es muy fácil encontrar microorganismo encargado en la digestión de dicho contaminante, por eso los tratamientos microbiológicos son importante para la disminución de materia orgánica pero al mismo tiempo se encuentra agentes patógenos causante de enfermedades. Es un requisito analizar los siguientes parámetros:

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Virus

### 1.3. Tratamientos de las aguas residuales

Un tratamiento de aguas residuales es una serie de operaciones por el cual tiene que pasar estas aguas contaminada para disminuir la cantidad de contaminante y el agua que se tenga al final cumpla con las normas. Las etapas del tratamiento son: preliminar o pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario y tratamiento terciario o avanzado. (RAMALHO, R. 1993, p.75).



**Figura 1-2.** Esquema de un EDAR

Fuente. [www.Constatina.org](http://www.Constatina.org)

Se acondiciona el agua para las demás serie de operaciones por la cual va a pasar así evitamos taponamientos por los equipos que tenga que pasar. Se utiliza para la eliminación de las siguientes sustancias:

- **Grasas flotantes y espumas.** Materia que puede perjudicar el proceso del tratamiento disminuye considerablemente la aireación de la masa de agua y afecta a que se lleve a cabo el proceso biológico anaeróbico
- **Residuos sólidos.** Son resto de basura que se genera en el proceso industrial, esta materia solida puede perjudicar estancamientos en los procesos posteriores de tratamiento.

### ***1.3.1. Tratamiento primario o físico-químico***

En esta etapa lo que se pretende es reducir la materia suspendida por medio de operaciones unitarias como precipitación y sedimentación, después tiene que pasar a una oxidación química para disminuir los sólidos. (RAMALHO, R. 1993, p. 89)

### ***1.3.2. Tratamiento secundario o biológico***

En esta etapa lo que se pretende es reducir la cantidad de materia orgánica presente el agua residual. consiste en oxidación aerobia, anaerobia y facultativa.

### ***1.3.3. Tratamiento terciario***

Es un tratamiento adicional que sirve para la reducción de sustancias suspendidas y disueltas, después de un tratamiento secundario, que tiene una eficiencia en la disminución de un 85-95% del DBO y SST.

### ***1.3.4. Sistemas naturales de depuración***

Los sistemas naturales son procesos en el que sin utilizar mucha ingeniería el agua sola se logra depurar con acción de los microorganismos presente en el ambiente.

Los métodos naturales demandan tiempos mayores para degradar la carga orgánica, exigen pues mayores tiempos de permanencia de las aguas y son mayores los volúmenes en contacto con la biomasa.

#### ***1.3.4.1. Humedales artificiales***

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

Los humedales como sistemas naturales tienen tres funciones básicas que les conceden un interesante potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y alcanzan niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento. (LARA, J. A., 1998, p. 68)

La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un ecosistema en el que los principales factores son:

- El sustrato: sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.
- La vegetación (macrofitas): contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que su parte subterránea también se desarrolla la comunidad microbiana.
- El agua a tratar: circula a través del sustrato y de la vegetación.

#### 1.3.4.1.1. Vegetación

Nuestra planta utilizada para esta investigación fue la herbácea perenne *Scirpus Californicus* comúnmente conocida como “Totora”, es una planta macrofitas que crece, tanto de manera silvestre como cultivada, en lagunas, zonas pantanosas y balsares de la costa y sierra del Ecuador, desde el nivel del mar hasta los 4,000 m de altitud.

**Tabla 1-4.** Categoría Taxonómica

Detalle	Nombre
Reino	Plantae
Filo	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Cyperales
Familia	Cyperaceae
Genero	Scirpus
Especie	S. Californicus

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015

El papel de las helófitas en los humedales artificiales se resume en los siguientes aspectos:

- Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas.
- Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal.
- Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación.

- Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos.

#### *1.3.4.1.1.1. Capacidad depuradora de la totora*

Se tiene referencia de algunos estudios sobre la capacidad depuradora de los humedales con totora. El funcionamiento de los humedales no es totalmente comprendido. Existen muchas discrepancias en diferentes aspectos: dimensionamiento, operación, etc., incluyendo la capacidad depuradora de las especies implantadas. Los contenidos en N y P de parte aérea y parte subterránea son, respectivamente del orden de 1,6% N y 0,12% P, y 1,2% N y 0,18% P.

Finalmente, es necesario mencionar que los humedales artificiales, independientemente de la especie helófitas utilizada, tiene una alta eficiencia de remoción de DBO y DQO, así como en la fijación de metales pesados y moderada a alta eficiencia en la eliminación de coliformes fecales.

#### *1.3.4.1.1.2. Adaptación de la totora*

Las especies dominantes en lugares donde las condiciones restringen las posibilidades de desarrollo de otras especies. Son plantas de climas templados que prosperan en posiciones soleadas, tolerando un amplio rango de Ph (4–9). Se utilizan principalmente en humedales artificiales de flujo subsuperficial (lecho de grava/arena), ya que su tolerancia a la inundación permanente es poca cuando la capa de agua es profunda.

El manejo en los humedales se puede centrar en tres aspectos centrales: implantación, operación y control de plagas y enfermedades.

- **Implantación:** La implantación en los humedales artificiales se efectúa usualmente por división de mata. Es recomendable que las plantas madres procedan de poblaciones naturales de la zona, a fin de asegurar su adaptación al lugar.
- **Operación:** La operación básicamente consiste en la cosecha y el deshierbe y varía según el tipo de humedal. En humedales de flujo superficial la cosecha o corte se realiza para evitar la incorporación de materia orgánica adicional al agua.
- **Plagas y enfermedades:** Son plantas muy rústicas de las que no se tiene referencias de plagas y enfermedades en su aplicación en humedales artificiales.

#### 1.3.4.2. Clasificación de los humedales artificiales

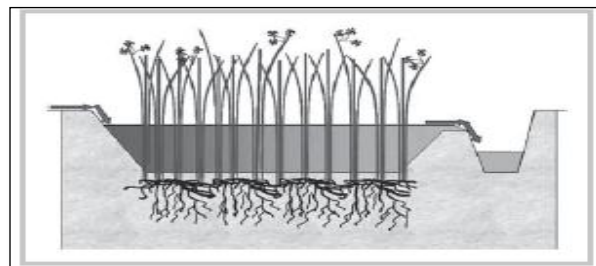
Los humedales artificiales se clasifican según el tipo de planta acuática o también conocidas como macrofitas que utilicen en el humedal, existen dos tipos de macrofitas conocidas: macrofitas fijas al sustrato (enraizada) y macrofitas flotantes libre.



**Figura 1-3.** Clasificación de los humedales según el flujo  
*Fuente:* DELGADILLO, O., 2008,p. 80.

##### 1.3.4.2.1. Humedales artificiales de flujo superficial

Son humedales semejantes a los naturales pero donde el hombre manipula el flujo del agua, el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. A diferencia de éstas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m).



**Figura 1-4.** Humedal de Flujo Superficial

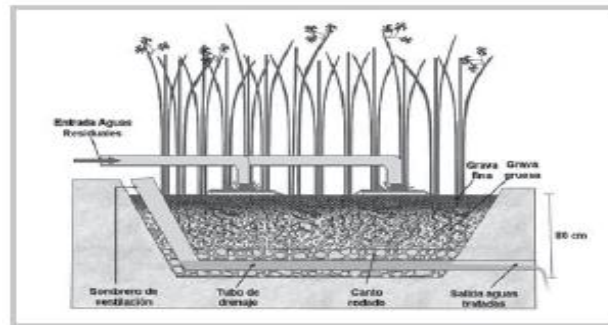
*Fuente:* DELGADILLO, O., Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

##### 1.3.4.2.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Este tipo de sistema de humedal, se identifican por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular, con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican en dos grupos de acuerdo a la aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y humedales de flujo subsuperficial vertical. (LARA, J. A., 1998, p. 90)

#### 1.3.4.2.2.1. Humedales subsuperficial de flujo vertical

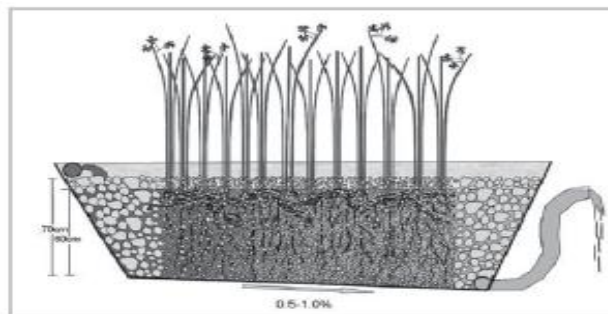
También se lo identifican como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo. Las aguas que llegan como afluente se infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas). (LARA, J. A., 1998, p. 93)



**Figura 1-5.** Humedal Subsuperficial con flujo vertical  
*Fuente:* DELGADILLO, O., 2008, p.81

#### 1.3.4.2.2.2. Humedales subsuperficial de flujo horizontal

El dimensionamiento de estos sistemas por lo habitual consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrofitas. Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo.



**Figura 1-6.** Humedal Subsuperficial con flujo horizontal  
*Fuente:* DELGADILLO, O., 2008, p.82

#### 1.3.4.3. Fitorremediación

La fitorremediación se puede definir entonces como un “conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas.

Existen seis métodos diferentes de fitorremediación que se agrupan en dos conjuntos, los que se utilizan como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) y los que se utilizan como medio de eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización).

- **Fitoestabilización.** Este método permite inmovilizar en el suelo los contaminantes a través de su absorción y acumulación en las raíces de las plantas utilizadas o por precipitación en la zona de la rizosfera.
- **Fitoextracción.** Este método de fitorremediación, también conocido como fitoacumulación, consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas.
- **Rizofiltración.** Se utiliza para la eliminación de contaminantes del medio hídrico a través de las raíces de las plantas.
- **Fitovolatilización.** A medida que las plantas y árboles van creciendo, absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos y algunos de ellos pueden llegar a las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera.
- **Fitodegradación.** Las plantas y los microorganismos que se encuentran asociados a ellas degradan los contaminantes en productos inofensivos.
- **Fitoestimulación.** Las raíces de las plantas estimulan que los microorganismos presentes en la zona de la rizosfera degraden los contaminantes.

### ***1.3.5. Lagunas de estabilización***

Son métodos de tratamiento simple de aguas residuales. Está conformada por excavaciones a pocas profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen formas rectangulares o cuadradas. Las lagunas de estabilización también conocidas como piscina de oxidación operan con concentraciones reducidas de biomasa, las cuales actúan en periodos prolongados para reducir la carga orgánica. (YANEZ, F., 1984, p. 140)

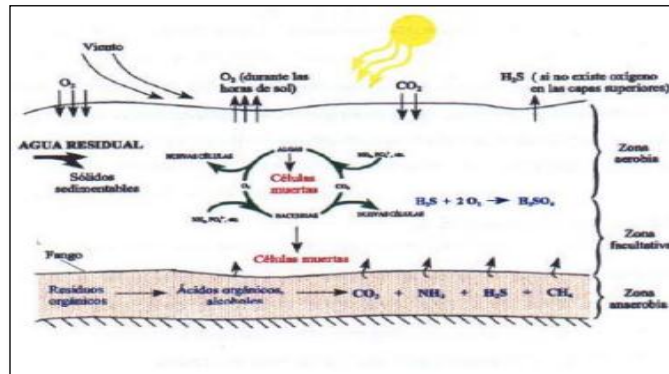
#### ***1.3.5.1. Tipos de lagunas de oxidación***

Las laguna de estabilización u oxidación pueden clasificarse por diferentes criterios. Pero suelen clasificarla según su actividad biológica que en ellas interactúan diferentes microorganismo.

- **Aerobias.** Son aquellas en que las bacterias aerobias descomponen los residuos mientras que las algas, por proceso de fotosíntesis, proveen de oxígeno suficiente para mantener un ambiente aerobio.



- **Anaerobias.** Actúan de forma similar a un digestor, donde las bacterias anaerobias descomponen la materia orgánica. Suelen tener una profundidad entre 2-5m y un tiempo de residencia entre 3 a 5 días.
- **Facultativas.** Son aquellas en las que pueden encontrarse organismos aerobios, anaerobios y facultativos. La función principal que tiene este tipo de laguna es estabilizar la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas.

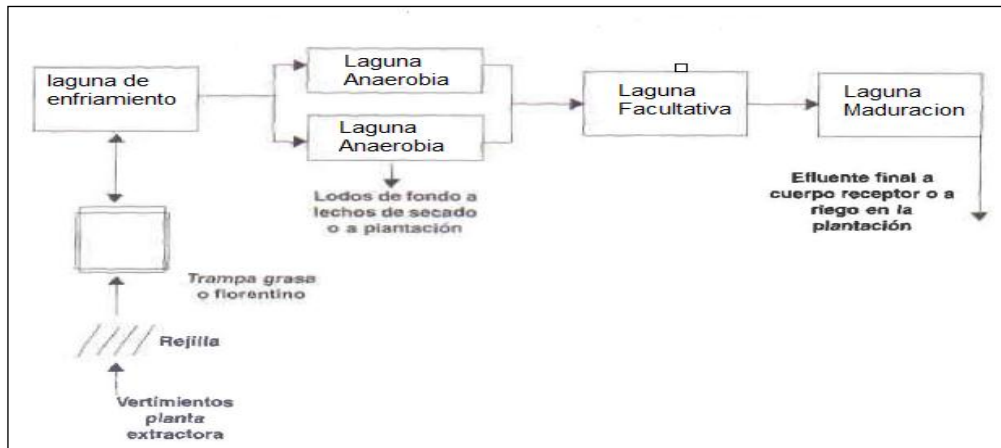


**Figura 1-7. Zona de la Laguna Facultativa**  
 Fuente: <http://www.iconsersa.com/>

#### 1.4. Planta de tratamiento de la Extractora “Teobroma”

El agua residual que se genera en la extractora es de carácter orgánico, por tal razón el mejor tratamiento para el efluente son las lagunas de estabilización, por tanto el sistema que se implementa en toda extractora siguiendo los lineamientos de Cenipalma para el manejo de efluentes es el siguiente; el agua residual generada en el proceso de extracción del aceite de palma, pasa por procesos preliminares como son las rejillas, seguidos de los tanque florentinos, se disminuye la temperatura en las piscina de enfriamiento posteriormente pasan por las diferentes lagunas de estabilización, de tipo anaeróbica, facultativa y por ultimo a las laguna de maduración, para su posterior vertimiento a un cuerpo receptor o se lo utiliza para riego.

El esquema general del sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuenta la planta Extractora “Teobroma” se muestra en la figura 1-8.



**Figura 1-8.** Diagrama del EDAR de la Extractora “Teobroma”  
Fuente: Lalangui, D., 2015

#### **1.4.1. Sistema de tratamiento utilizado para el manejo y disposición final de las aguas residuales de la Empresa Extractora “Teobroma”**

El sistema con el que cuenta actualmente la extractora fue diseñada, partiendo de criterio impuesto por técnico de cenipalma, la cual determinar que el sistema que tiene mayor eficiencia en remoción de la materia orgánica son las lagunas de estabilización. Formada de los siguientes procesos:

##### **1.4.1.1. Pretratamiento**

Los efluentes generados en el proceso de extracción de aceite de palma, antes de que lleguen a las lagunas de estabilización pasan por un proceso preliminar, donde básicamente se pretende es retener los residuos sólidos (raquis, fibras etc.) y residuos de aceite.

##### **1.4.1.1.1. Rejillas**

Su función principal es retener partículas de gran tamaño como son los residuos de fibras, palos los cuales pueden perjudicar a las demás.

##### **1.4.1.1.2. Florentinos**

Conocidos también como trampa de grasa, debido a que cuenta con un diseño hidráulico que permite que los aceite con densidad menor que el agua.

#### 1.4.1.1.3. Piscinas de enfriamiento

Lo que se trata es disminuir la temperatura con la que llegan los efluentes que provienen de los procesos de clarificación, esterilización, prensado y del lavado y mantenimientos de los equipos.

#### 1.4.1.2. Lagunas de estabilización

La empresa extractora teobroma cuenta con dos piscina anaerobias metanogénicas, una facultativa y una laguna de maduración que es donde se vierten los efluentes tratados, una piscina de enfriamiento que se encarga de reducir la temperatura para pasar al siguiente proceso, su tiempo de retención en la piscina de maduración es de dos a tres horas, se muestran las dimensiones de las piscina de la empresa en la tabla 1-5.

**Tabla 1-5.** Lagunas y sus dimensiones

LAGUNAS DE ESTABILIZACION	DIMENSIONES			
	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PROFUNDIDAD (m)	ANCHO (m)	LARGO (m)
Laguna anaeróbica #1	499,69	3,5	8,45	16,9
Laguna anaeróbica #2	499,69	3,5	8,45	16,9
Laguna facultativa	290,92	1,2	11,01	22,02
Laguna de maduración	952,5	0,8	19,92	59,76
Laguna de enfriamiento	50,46	3	2,9	5,8

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015

#### 1.4.1.2.1. Lagunas anaeróbicas

En este tipo de lagunas, se desdobra la mayor cantidad de la materia orgánica que entra al sistema a través de procesos que trabajan sin oxígeno, donde se forman los inóculos adaptados a este tipo de desechos. El efluente de esta laguna entra a las lagunas facultativas llevando consigo el inóculo para el resto del sistema.

#### 1.4.1.2.2. *Laguna facultativa*

La función principal de estas es la remoción de la carga orgánica que escapó al tratamiento en la laguna anaerobia. Esta laguna es un sistema de tratamiento biológico natural con una diversidad de procesos involucrados, que involucran oxidación, sedimentación, hidrólisis, fotosíntesis nitrificación, digestión anaerobia, transferencia de oxígeno, etc.

#### 1.4.1.2.3. *Laguna de maduración*

Tienen como objetivo principal la de reducir la concentración de bacterias nocivas. Estas lagunas generalmente son el último paso del tratamiento antes del vertimiento de las aguas tratadas en los receptores finales o de ser reutilizadas en la agricultura.

### 1.5. Normativa ambiental

#### 1.5.1. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.*

La presente norma técnica ambiental revisada y actualizada es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Para la caracterización del agua residual y calidad del efluente que se descarga al Río Blanco, se regirá la presente investigación a la normativa emitida por el TULSMA. La razón de la aplicación de ésta norma se justifica en que en la Empresa Extractora “Teobroma”, no cumple con la normativa, ordenanza o ley que regule la descarga de agua residual.

“NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA”. Calidad de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua Dulce, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente “TULSMA”, Recurso Agua, Libro VI, Tabla 10, Anexo 1.

**Tabla 1-6.** Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceite y grasas	Sust, solubles en hexano	mg/l	30,0
Alicil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0

Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	Cn	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl-	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	Remoción al 99,9%
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr-6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno(5días)	DBO5	mg/l	50,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	100,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fosforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno total Kjeldall	N	mg/l	50,0
Compuestos organolépticos	Órganos organolépticos	mg/l	0,05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Potencial	Ph		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
solidos suspendidos totales	SST	mg/l	80,0
Sulfatos	SO4-2	mg/l	1000
Sulfuros	S-2	mg/l	0,5
Temperatura	0C	mg/l	35
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruros de carbono	Tetracloruros de carbono	mg/l	1,0
La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			

Fuente: Tulsma.tabla 12.

## 1.6. Rediseño o Reingeniería

El rediseño se refiere a una evaluación total con el objetivo de mejorar el proceso actual, para darle un mayor rendimiento, analizando de manera adecuada se lleva a cabo el redimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, que constará de las siguientes etapas:

### 1.6.1. Pretratamiento

#### 1.6.1.1. Cribado o rejillas

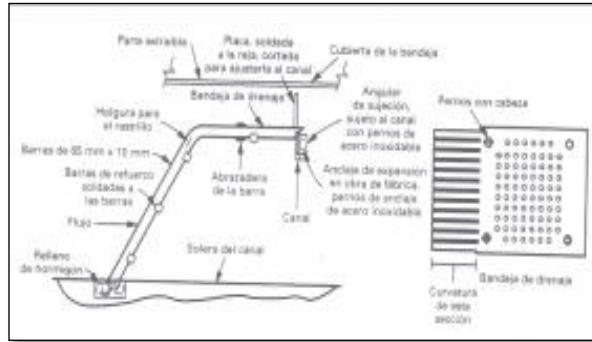
Esta operación conocida como cribado se utiliza para eliminar los sólidos suspendidos de gran tamaño. Las características de ambos tipos ver en la Tabla 1-7.

**Tabla 1-7.** Características según el tipo de limpieza

Característica		Limpieza manual	Limpieza automática
Tamaño de 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 (grado)		30-45	0-30
Velocidad de aproximación(m/s)		0,3-0,6	0,6-1,1
Pérdida de carga admisible		150	150

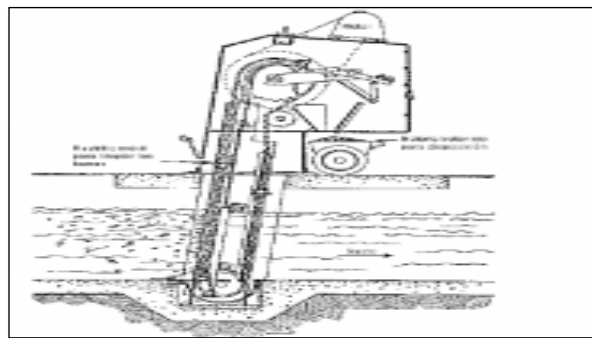
*Fuente:* METCALF, Y EDDY., 1995, p.209

- **Rejilla de limpieza manual:** Se utilizaban comúnmente en instalaciones de pequeño tamaño. En los casos en los que se utilicen, su longitud no deberá exceder de la que permita su correcta limpieza, es decir, unos 3 metros.



**Figura 1-9.** Características de rejilla manual  
*Fuente:* METCALF, Y EDDY.,1995, p. 207

- **Rejillas de limpieza mecánica:** Su principal función es la de reducir los problemas que se presenta en el mantenimiento y aumentar las posibilidades de separación de residuos, tienen inclinaciones de 60 a 90° la activación de limpieza puede ser programada o por un electro nivel antes de la rejilla.



**Figura 1-10.** Rejilla de tipo mecánico  
*Fuente:* METCALF, Y EDDY.,1995, p.208

*1.6.1.1.1. Consideraciones de rediseño del canal de la rejilla de limpieza tipo manual.*

Al efectuar el diseño de una reja de desbaste se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: tipo de equipo a utilizar, dimensiones del canal, intervalo de variación de caudal, separación entre barras y el tipo de limpieza.

*1.6.1.1.1.1. Área del canal*

$$A = b \times h \quad \text{Ecuacion.1}$$

**Dónde:**

A = Área del canal (m<sup>2</sup>)

b= Base del canal (m)

h = Altura del canal hasta el nivel del agua (m)

#### 1.6.1.1.1.2. Radio hidráulico

$$R = \frac{b \times h}{b + 2 \times h} \quad \text{Ecuacion.2}$$

#### 1.6.1.1.2. Consideraciones de rediseño para la rejilla fina

Se toman en cuenta las siguientes consideraciones para un diseño óptimo:

##### 1.6.1.1.2.1. Área entre barras

Se emplea la siguiente ecuación.

$$A_L = \frac{Q}{v_{RL}} \quad \text{Ecuacion.3}$$

#### **Dónde:**

$A_L$  = Área libre entre barras (m<sup>2</sup>)

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

$v_{RL}$  = Velocidad de aproximación (m/s)

##### 1.6.1.1.2.2. Área de sección transversal del flujo

Se utiliza la siguiente ecuación.

$$A_f = \frac{A_L(a+t)}{a} \quad \text{Ecuación.4}$$

#### **Dónde:**

$A_f$  = Área del flujo (m<sup>2</sup>)

$A_L$  = Área entre barras (m<sup>2</sup>)

a = Separaciones entre barra (m)

t = Espesor máximo de las barras (m)



#### 1.6.1.1.2.3. Suma de separaciones entre barras

Para determinar cuál es la suma de las separaciones entre barras (m), tanto para rejillas gruesas como rejillas finas se conoce mediante la siguiente ecuación:

$$bg = \left( \frac{b-a}{t+a} + 1 \right) a \quad \text{Ecuacion.5}$$

**Dónde:**

bg = Suma de separación entre barras (m)

b = Ancho del canal (m)

a= Separaciones entre barra (m)

t= Espesor máximo de las barras (m)

#### 1.6.1.1.2.4. Numero de barras

Para determinar cuántas barras se requiere se usa la siguiente ecuación.

$$N^0 = \frac{b}{a+t} \quad \text{Eccuacion.6}$$

**Dónde:**

$N^0$  = Número de barras (adimensional)

a= Separación entre barras (m)

b= Ancho del canal (m)

t= Espesor máximo de las barras (m)

#### 1.6.1.1.2.5. Longitud sumergida de la rejilla

Se pretende hallar el nivel máximo de agua, utilizando la siguiente ecuación.

$$d_{max} = \frac{Q}{v_{RL} \times b} \quad \text{Ecuacion.7}$$

Para determinar la longitud se aplica la siguiente ecuación.

$$L_s = \frac{d_{max}}{\sin \alpha} \quad \text{Ecuacion.8}$$

**Dónde:**

$d_{max}$  = Nivel máximo de agua (m)

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

$v_{RL}$  = Velocidad de aproximación(m/s)

b= Ancho del canal (m)

$\alpha$ = Grado de inclinación de las barras

#### 1.6.1.1.2.6. Pérdida de carga

El cálculo de la pérdida de carga para una rejilla se efectúa con la siguiente expresión de Kirschmer.

$$h_c = \beta \left(\frac{t}{a}\right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \quad \text{Ecuacion.9}$$

#### Dónde:

$h_c$  = Pérdida de la carga,(m)

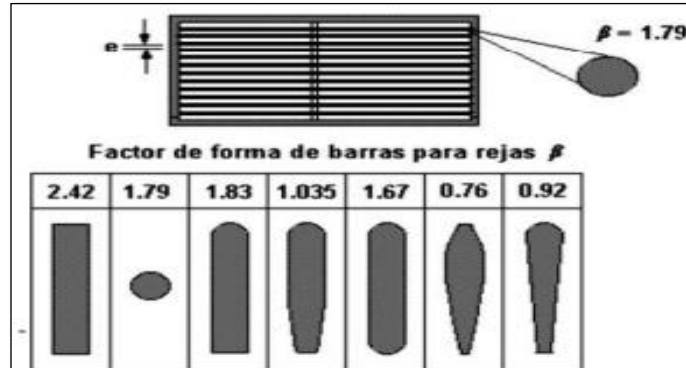
a = Separación entre las barras (m)

t= Espesor máximo entre las barras (m)

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad antes de la reja (m)

$\alpha$  = Angulo de inclinación de las barras

$\beta$  = Factor dependiente de la forma de la barra



**Figura 1-11.** Factor de forma de barras para rejillas

Fuente: METCALF, Y EDDY. Tratamiento y depuración de las aguas residuales

#### 1.6.1.2. Trampa de grasa

Las trampas de grasa son pequeños tanques de flotación natural, en donde los aceites y las grasas, con una densidad inferior a la del agua, se mantienen en la superficie del tanque para ser fácilmente retenidos y retirados.

1.6.1.2.1. Consideraciones para el rediseño de la trampa de grasa

La trampa de grasa se dimensiona de acuerdo al caudal de ingreso y al tiempo de retención, para caudales menores a 10 L/s se recomienda un tiempo de retención de 4 minutos.

$$Q_D = 0,3\sqrt{U} \quad \text{Ecuacion.10}$$

**Dónde:**

$Q_D$  = Caudal máximo de la trampa de grasa (L/s)

U = Cantidad de grifos necesarios para ser conectados a la trampa de grasa

Este diseño de trampa de grasa solo se debe llevar acabo cuando exista un volumen mayor a 120 Litros, mas criterio se muestra en la tabla 1-8.

**Tabla 1-8.** Criterios de Diseño de una Trampa de Grasa

Características	Valor o rango
Tiempo de retención hidráulico	3 min
Relación Largo-Ancho	Entre 2:1 y 3:2
Profundidad útil	Mínima: 0,8 m Máxima: 2,0 m
Dispositivos de ingreso y salida	Te de 900 y mínimo de 3 pulgada de diámetro
Sumergencia de codo de entrada	Mínimo 0,15 m respecto del nivel de salida
Borde libre	0,30 m (mínimo)

*Fuente;* Lozano-Rivas, Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales.

1.6.1.2.1.1. Volumen

El volumen de la trampa de grasa se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{TG} = Q_D * TRH \quad \text{Ecuación.11}$$

**Dónde:**

$V_{TG}$  = Volumen de la trampa de grasa (m3)

En la tabla 1- 9 se encuentra dimensiones recomendadas (Lozanos-Rivas., 2012, p.135) para el diseño de trampas de grasa.

**Tabla 1-9.** Dimensiones recomendadas para las trampa grasa, según el caudal de diseño

Rango de Caudales (L/s)	Volumen trampa de grasa (m <sup>3</sup> )	Dimensiones estimadas (m)		
		Profundidad	Largo	Ancho
<1	1,80	1,50	1,00	1,20
		1,00	1,00	1,80
1 – 2	3,60	1,50	1,10	2,20
2 – 3	5,40	2,0	1,13	2,40
3 – 4	7,20	2,00	1,45	2,50
4 – 5	8,10	2,00	1,50	2,70
5	9,12	2,00	1,60	2,85

*Fuente:* Lozano-Rivas, Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales.

### 1.6.1.3. Laguna de enfriamiento

En esta etapa se pretende es disminuir la temperatura del afluente antes de ser enviado al otro proceso, porque los microorganismo trabajan a temperaturas comprendidas entre 35 a 40 0C.

#### 1.6.1.3.1. Consideraciones para el rediseño de la laguna de enfriamiento

Para poder redimensionar la laguna lo familiarizo con un sedimentador debido a que para llegar a la siguiente fase del tratamiento necesita reducir la temperatura y a la vez los sólidos suspendidos llamados comúnmente lodos pesados.

##### 1.6.1.3.1.1. Calculo del área superficial de la laguna de enfriamiento.

$$A_{SL} = \frac{Q}{C_S} \quad \text{Ecuación. 12}$$

**Dónde:**

$A_{SL}$  = Área superficial de laguna de enfriamiento (m<sup>2</sup>)

$Q_{max}$  = Caudal máximo en la laguna (m<sup>3</sup>/s)

$CS$  = Carga superficial típica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x día)

La información de la carga superficial se muestra en la siguiente tabla 1-10.

**Tabla 1-10.** Información para el diseño de tanques de sedimentación primaria.

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
<b>Sedimentación primaria</b>		
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
<b>Carga de superficie, Cs (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*día)</b>		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
<b>Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso:</b>		
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
<b>Carga de superficie, Cs (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*día)</b>		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60

*Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales*

#### 1.6.1.3.1.2. Ancho de la laguna de enfriamiento

Para calcular que ancho tendrá se utiliza la siguiente ecuación.

$$a_{LE} = \sqrt{\frac{A_{SL}}{3}} \quad \text{Ecuacion.13}$$

**Dónde:**

$a_{LE}$  = Ancho de laguna de enfriamiento (m)

#### 1.6.1.3.1.3. Largo de la laguna de enfriamiento

Para calcular el largo se utiliza la siguiente ecuación.

$$L_{le} = a_{LE} * 3 \quad \text{Ecuacion.14}$$

**Dónde:**

$L_{le}$  = Largo de la laguna de enfriamiento (m)

*1.6.1.3.1.4. Volumen de la laguna de enfriamiento*

Para calcular el volumen de la laguna se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{LE} = a_{LE} * L_{le} * h_{LE} \quad \text{Ecuacion.15}$$

**Dónde:**

$V_{LE}$  = Volumen de la laguna de enfriamiento (m<sup>3</sup>)

$h_{LE}$  = Profundidad de la laguna de enfriamiento (m)

La profundidad se muestra en la tabla 1-11.

**Tabla 1-11.** Información para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario y secundario.

PARÁMETRO	UNIDAD	INTERVALO	VALOR USUAL
<b>Rectangular</b>			
Profundidad	m	3 – 4,5	3,6
Longitud	m	15 – 90	25 -40
Ancho*	m	3 -25	5 – 10
Velocidad del barredor	m/s	0,6 – 1,2	0,9
<b>Circular</b>			
Profundidad	m	3 – 4,5	3,6
Longitud	m	3 – 60	12 – 45
Pendiente de la solera	mm/m	6,25 -16	8
Velocidad de los rascadores	(r/min)	0,02 – 0,05	0,03

*Fuente:* METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales

#### 1.6.1.3.1.5. Tiempo de retención hidráulico

Para calcular el tiempo que debe permanecer el agua residual en la laguna de enfriamiento se utiliza la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{V_{LE}}{Q} \quad \text{Ecuacion.16}$$

**Dónde:**

THR= tiempo de retención hidráulico (s)

#### 1.6.1.3.1.6. Porcentaje de remoción de DBO y solidos totales suspendidos

Para el cálculo del porcentaje de DBO y solidos que se remueven se utiliza la siguiente ecuación.

$$R_x = \frac{TRH}{a+b*TRH} \quad \text{Ecuacion.17}$$

**Dónde:**

$R_x$ = porcentaje de remoción esperado de DBO o Solidos suspendidos (%)

a y b = valores empíricos

**Tabla 1-12.** Valores de constante empíricas, a y b a 20 °C

Variable	A	B
DBO	0,018	0,02
SST	0,0075	0,014

Fuente: CRITES, R., 1998., p. 304

#### 1.6.1.3.1.7. Transferencia de calor

La transferencia de calor de un cuerpo caliente en este caso la laguna transfiere calor a un cuerpo de menor temperatura como es el ambiente por convección, la corriente de aire del lugar es de mucha importancia para este propósito para realizar el cálculo de transferencia de calor por convección utilizamos la siguiente ecuación

$$H = h * A(T_A - T) \quad \text{Ecuacion.18}$$

**Dónde:**

$T_A$  = Temperatura a la que se encuentra el fluido ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T$  = Temperatura del medio ( $^{\circ}\text{K}$ )

$h_c$  = Coeficiente de convección ( $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{K}$ )

$A_q$  = Superficie que entrega calor. ( $\text{m}^2$ )

La ley que rige ese comportamiento se le conoce como Ley de enfriamiento de Newton y está dada por:

$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_a) \quad \text{Ecuacion.19}$$

**Dónde:**

$\frac{dT}{dt}$  = Rapidez de enfriamiento

$T$  = Temperatura instantánea del cuerpo

$T_a$  = Temperatura ambiente

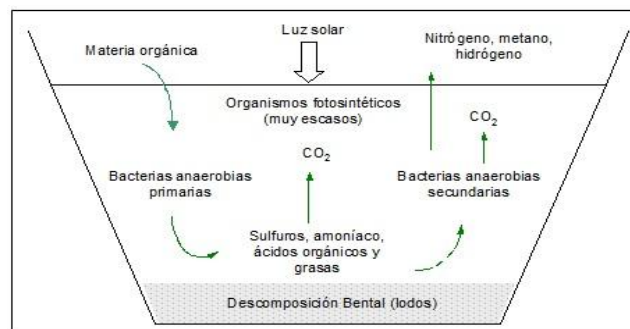
$k$  = Constante de ritmo de enfriamiento

Realizando la integración correspondiente obtenemos la siguiente ecuación.

$$T = T_a + C e^{-kt} \quad \text{Ecuacion.20}$$

**1.6.2. Lagunas anaeróbicas**

Son aquellas que el material orgánico es descompuesto por microorganismos anaeróbicos.



**Figura 1-12. Laguna anaerobia**

Fuente: <http://www.iconsersa.com/>

**1.6.2.1. Consideraciones del rediseño de la laguna anaeróbica**



El diseño de una laguna anaeróbica es basado en la carga volumétrica usando la siguiente ecuación (Arthur, 1983; Mara et al., 1992)

$$V_A = \frac{DBO_0 \times Q_{med}}{CV_A} \quad \text{Ecuacion.21}$$

**Dónde:**

$V_A$  = volumen de la laguna anaerobia (m<sup>3</sup>)

$DBO_0$  = concentración inicial de DBO en el afluente (mg/L)

$Q_{max}$  = caudal máximo (m<sup>3</sup>/día)

$CV_A$  = carga volumétrica de DBO (gr/m<sup>3</sup>. día)

El volumen de la laguna es determinado de la ecuación anterior; se recomienda que la profundidad debe estar entre 3.0 y 5.0 m, la más común es de 4 m. (YANEZ, F, 1984, p.150)

El tiempo de residencia hidráulico se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{V_A}{Q_{med}} \quad \text{Ecuacion.22}$$

**Dónde:**

TRH =Tiempo de retención hidráulica (días)

VA = Volumen de la laguna anaerobia (m<sup>3</sup>)

$Q_{max}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

Los factores que afecta en la remoción de la carga orgánica son sin duda la temperatura y el tiempo en que se encuentre el agua residual en esta laguna anaeróbica.

**Tabla 1-13.** Eficiencia de remoción según los factores

TEMPERATURA (°C)	THR (días)	REMOCION DBO (%)
10-15	4-5	30-40
15-20	2-3	40-50
20-25	1-2	50-60
25-30	1-2	60-80

Fuente: MOPT, 1991, p.120

La remoción de sólidos suspendidos en el proceso de tratamiento anaeróbico es del orden de 80 por ciento (MOPT, 1991, p.120).La acumulación estimada de lodos en el proyecto de monitoreo varía entre 0.224 a 0.548 m<sup>3</sup> de lodos por 1,000 m<sup>3</sup> de aguas residuales tratadas.

El cálculo de la frecuencia de la limpieza se halla con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{1,000 \times FLV \times V_A}{TAL \times Q_{med} \times 365}$$

Ecuacion.23

**Dónde:**

$n_a$  = Número de años de operación para la limpieza

FLV= Fracción de volumen de la laguna ocupada con lodos (se utiliza 0,25-0,5)

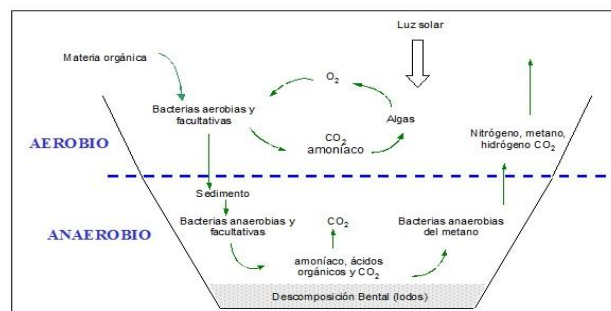
$V_A$  = Volumen de la laguna anaeróbica

TAL= Tasa de acumulación de lodos (m<sup>3</sup>/1,000m<sup>3</sup>) (se utiliza 0,6 con factor de seguridad)

$Q_{max}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/día)

**1.6.3. Lagunas facultativas**

La acción principal que ejerce este tipo de laguna es la remoción de la carga orgánica que escapó al tratamiento en la laguna anaerobia.



**Figura 1-13.** Laguna Facultativa

Fuente: <http://www.iconsersa.com/>

**1.6.3.1. Consideraciones para el rediseño de la laguna facultativa**

Se utiliza como referencia el método de Yáñez (1991, p. 142) considerándolo como un flujo disperso a la laguna facultativa.

**1.6.3.1.1. Caudal de diseño**

El caudal de diseño para nuestra laguna facultativa se determina mediante la siguiente ecuación.

$$Q_p = \frac{Poblacion \times Dotacion}{1000} \times \%contribucion$$

Ecuacion.24

**Dónde:**

$Q_p$  = Caudal de la laguna facultativa (m<sup>3</sup>/día)

**1.6.3.1.2. Carga orgánica**

Para calcular cuánto es total de carga orgánica que ingresa en la laguna facultativa el efluente se utiliza la siguiente expresión

$$C.O = Q_p \times DBO_5 \times 0,0864 \quad \text{Ecuacion.25}$$

**Dónde:**

C.O.= Carga orgánica (Kg DBO/día)

*1.6.3.1.3. Condición temperatura vs temperatura del agua*

Es necesario conocer a que temperatura llega el agua residual a la laguna facultativa se determina con el siguiente criterio:

$$T^0_{agua} = T^0_{amb} \pm 1^\circ\text{C} \quad \text{Ecuacion.26}$$

Si  $T^0 < 25^\circ\text{C}$

$$T^0_{agua} = T^0_{amb} + 1^\circ\text{C} \quad \text{Ecuacion.27}$$

Si  $T^0 > 25^\circ\text{C}$

$$T^0_{agua} = T^0_{amb} - 1^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación.28}$$

*1.6.3.1.4. Carga superficial*

La carga superficial de la laguna se la va a determinar con la siguiente expresión considerada por el autor CEPIS- Yáñez.

$$CS = 375,4 \times 1,085^{(T-20)} \quad \text{Ecuacion.29}$$

**Dónde:**

CS= Carga superficial (Kg DBO/Ha × dia)

T = temperatura del mes más frío (°C)

*1.6.3.1.5. Área de la laguna*

El área que se necesita para nuestro rediseño de la laguna facultativa se la determina con la siguiente ecuación:

$$A_{LF} = \frac{C.O}{CS} \quad \text{Ecuacion.30}$$

**Dónde:**

$A_{LF}$  = Área de la laguna facultativa (m<sup>2</sup>)

C.O= Carga orgánica (Kg DBO/ día)

CS= Carga superficial (Kg DBO/Ha x día)

*1.6.3.1.6. Ancho de la laguna*

Para determinar que dimensión del ancho de la laguna se obtiene con la siguiente ecuación:

$$W = \sqrt{\frac{A_{LF}}{X}} \quad \text{Ecuacion.31}$$

**Dónde:**

W= Ancho de la laguna facultativa (m)

$A_{LF}$  = Área de la laguna facultativa (m<sup>2</sup>)

X = Relación largo-ancho

*1.6.3.1.7. Relación largo/ancho*

La relación de largo y ancho de la laguna se la considera con la siguiente expresión

$$\frac{L}{W} = 2 \text{ a } 3 \quad \text{Ecuacion.32}$$

**Dónde:**

$L_F$  = Largo (m)

W= Ancho (m)

*1.6.3.1.8. Profundidad de la laguna*

La profundidad con la que debe ser rediseñada la laguna, me guio sobre la siguiente recomendaciones del autor Yáñez (1991, p. 141) que debe estar entre ese rango su dimensión.

$$Z = 1,5 \text{ a } 2,5 \quad \text{Ecuacion.33}$$

**Dónde:**

Z= Profundidad (m)

*1.6.3.1.9. Volumen de la laguna facultativa*

El volumen de la laguna se halla utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{LF} = W * L * Z$$

Ecuacion.34

**Dónde:**

$V_{LF}$  = Volumen de la laguna (m<sup>3</sup>)

L = Largo de la laguna (m)

W= Ancho (m)

Z = Profundidad (m)

#### 1.6.3.1.10. Talud

El talud con la que debe ser diseñada debe estar en el siguiente rango:

$$Zp = 1,5 - 2,5 \text{ metros}$$

Ecuacion.35

**Dónde:**

Zp= Talud (m)

#### 1.6.3.1.11. Borde libre

El borde libre con el que debe contar la laguna según criterio de Yáñez (1991, p. 141) es la siguiente.

$$BL = 0,5$$

Ecuacion.36

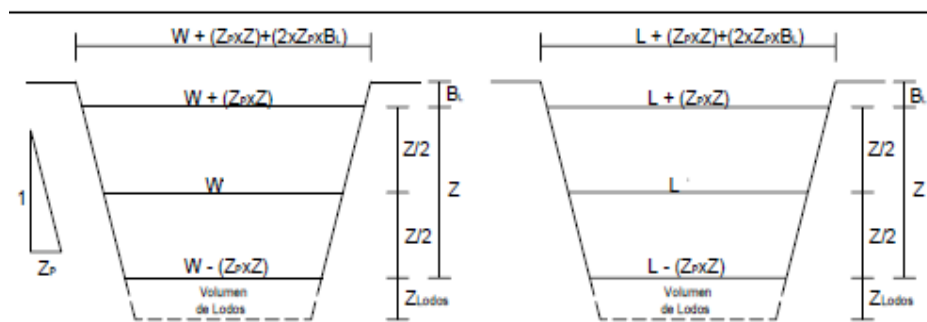
O si no se puede calcular con la siguiente ecuación

$$BL = [\log A_{LF}]^{\frac{1}{2}} - 1$$

Ecuación.37

**Dónde:**

BL = Borde Libre (m)



**Figura 1-14.** Dimensionamiento de una Laguna Facultativa

Fuente: Yáñez (1991, p. 141)

#### 1.6.3.1.12. Volumen de lodos

Para determinar cuál será el volumen del lodo acumulado se obtiene con la siguiente ecuación.

$$V_L = 0,00156 * Q_P * SS_E \quad \text{Ecuacion.38}$$

**Dónde:**

$V_L$  = Volumen de lodos producidos anualmente (m<sup>3</sup>/año)

$Q_{max}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/día)

$SS_E$  = Sólidos suspendidos en el afluente (mg/L)

#### 1.6.3.1.13. Altura de lodos

La altura que tendrá los lodos acumulados se determinan con la siguiente ecuación.

$$Z_L = \frac{V_L}{A_f} \quad \text{Ecuacion.39}$$

**Dónde:**

$Z_L$  = Altura de lodos (m)

$V_L$  = Volumen de lodos (m<sup>3</sup>)

$A_f$  = Área del fondo de la laguna (m<sup>2</sup>)

El área del fondo de la laguna se encuentra con la siguiente ecuación

$$A_f = (W - (Z_p \times Z)) \times (L - (Z_p \times Z)) \quad \text{Ecuacion.40}$$

#### 1.6.3.1.14. Periodo de retención

Para conocer que tiempo debe permanecer el efluente dentro de la laguna facultativa se aplica la siguiente ecuación

$$PR_{real} = PR_{teorico} \times F_{ch} \quad \text{Ecuacion.41}$$

**Dónde:**

$PR_{real}$  = Periodo de retención real (días)

$PR_{teorico}$  = Periodo de retención teórico (días)

$F_{ch}$  = Factor de corrección hidráulico (está en un rango de 0,2-0,8)

Para encontrar el periodo de retención teórica que nos pide, se lo determina de la siguiente manera.

$$PR_{teorico} = \frac{V_{LF}}{Q_e} \quad \text{Ecuacion.42}$$

**Dónde:**

$Q_e$  = Caudal de diseño ( $m^3/día$ )

$V_{LF}$  = Volumen de la laguna facultativa ( $m^3$ )

#### **1.6.4. Humedal artificial de flujo libre**

Es un área que se encuentra saturada por agua superficial, con una frecuencia de efluente que mantenga la saturación.

##### *1.6.4.1. Consideraciones para el diseño del humedal de flujo libre*

Está regida por la ecuación de Manning porque el diseño del humedal es de flujo libre.

##### *1.6.4.1.1. Velocidad de flujo*

La velocidad de flujo e determina con la siguiente ecuación

$$V_h = \frac{1}{n} y^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuacion.43}$$

**Dónde:**

$V_h$  = Velocidad de flujo del humedal (m/s)

$n$  = Coeficiente de Manning ( $s/m^{1/3}$ )

$y$  = Profundidad del agua en el humedal (m)

$S$  = Gradiente hidráulico (m/m)

##### *1.6.4.1.2. Área superficial*

Para un diseño preliminar se admite que el caudal de entrada y salida son igual, entonces el área superficial se encuentra con la siguiente ecuación

$$A_s = \frac{Q_h \ln\left(\frac{C_o}{C_f}\right)}{k_t * y * n} \quad \text{Ecuacion.44}$$

**Dónde:**

$A_s$  = Área superficial (m<sup>2</sup>)

$Q_h$  = Caudal de diseño del humedal (m<sup>3</sup>/día)

$C_o$  = Concentración del afluente (mg/L)

$C_f$  = Concentración del efluente (mg/L)

$K_1$  = Constante de primer orden dependiendo la temperatura

En la tabla 1-14 se muestra las tipos principales de substratos usados en el humedal libre.

**Tabla 1-14.** Valores de porosidad total

Tipo de material	Tamaño efectivo D10(mm)	Conductividad Hidráulica Ks(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)	Porosidad n(%)
Arena gruesa	2	100-1.000	28-32
Arena gravosa	8	500-5.000	30-35
Grava fina	16	1.000-10.000	35-38
Grava gruesa	32	10.000-50.000	36-40
Roca gruesa	128	50.000-250.000	38-45

Fuente: Sanders, 1998, p.140

#### 1.6.4.1.3. Longitud de la celda del humedal

Para determinar que longitud tendrá la celda del humedal se aplica la siguiente ecuación

$$L_H = 3 * W_h \quad \text{Ecuacion.45}$$

**Dónde:**

$L_H$  = Longitud de la celda del humedal (m)

#### 1.6.4.1.4. Ancho de la celda del humedal

Para calcular que extensión contara la celda del humedal consideramos una relación de largo/ ancho de 3:1 y utilizamos la siguiente ecuación

$$W_h = \frac{A_s}{L} \quad \text{Ecuación.46}$$

**Dónde:**

$W_h$  = Ancho de la celda del humedal (m)

$A_s$  = Área superficial



#### 1.6.4.1.5. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de periodo de retención hidráulico puede ser calculado con la siguiente ecuación.

$$TRH_h = \frac{L*W*y*n}{Q} \quad \text{Ecuacion.47}$$

#### Dónde:

TRH<sub>h</sub> =Tiempo de retención hidráulico

n<sub>h</sub> = `Porosidad disponible para el flujo del agua a través del humedal (%)

#### 1.6.5. Filtración

La filtración es un proceso físico, químico y (en algunos casos) biológico para separar del agua las impurezas suspendidas mediante el paso a través de un medio poroso.

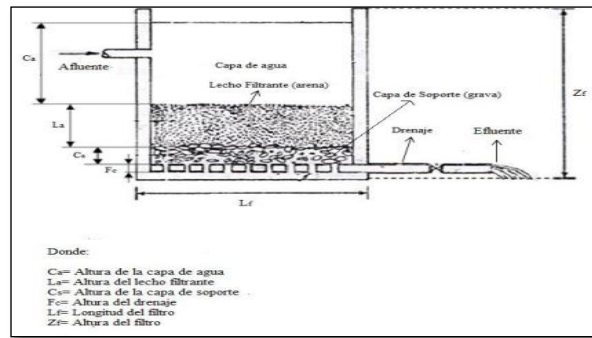
**Tabla 1-15.** Tipos de Filtros

Velocidad de filtración	Medio filtrante	Sentido de flujo	Carga sobre el lecho
Rápidos 120-360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día	Arena H= 60-75 cm	Ascendente	Por gravedad
	Antracita H= 60-75 cm	Descendente	
	Mixto Arena H= 20-35 cm Antracita H= 35-50 cm	Flujo mixto	Por presión
Lentos 7-14 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día	Arena H= 60-100 cm	Descendente	Por gravedad
		Ascendente	
		Horizontal	

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

##### 1.6.5.1. Consideraciones para el diseño de un filtro rápido en arena

Se ha propuesto diseñar un filtro rápido de arena para eliminar las partículas suspendidas, un filtro rápido de arena está dividida en las siguientes secciones como se muestra en la figura 1-15.



**Figura 1-15.** Secciones de un Filtro Rápido  
*Fuente:* ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

Las ecuaciones y procedimiento para realizar cálculos del diseño de un equipo de filtración rápida en arena dentro del sistema de tratamiento son las siguientes.

#### 1.6.5.1.1. Numero de filtro

Se puede considerar como mínimo 2 unidades para casos de mantenimiento o falla de uno de los filtros.

$$n_f = 0,044\sqrt{Q} \quad \text{Ecuacion.48}$$

**Dónde:**

$n_f$  = Número de filtros(adimensional)

$Q$  = Caudal total ( $m^3/día$ )

#### 1.6.5.1.2. Área del filtro

El área total del filtro se puede determinar a través del caudal de agua y de la tasa de filtración, expresado de la siguiente manera

$$A_f = \frac{Q}{t_f} \quad \text{Ecuacion.49}$$

**Dónde:**

$A_f$  = Área del filtro ( $m^2$ )

$t_f$  = Tasa de filtración ( $m^3/m^2$  día)

#### 1.6.5.1.3. *Coeficiente de mínimo costo*

Es la relación que existe entre el largo y ancho del filtro, se determina por la siguiente ecuación:

$$K_c = \frac{L_f}{A_f} \quad \text{Ecuacion.50}$$

O también se puede determinar con esta ecuación.

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f+1} \quad \text{Ecuacion.51}$$

**Dónde:**

$K_c$  = Coeficiente del mínimo costo (adimensional)

$L_f$  = Longitud del filtro (m)

#### 1.6.5.1.4. *Longitud del filtro*

La longitud con la que dispondrá nuestro filtro se la determina con la siguiente ecuación:

$$L_f = \sqrt{A_f * K_c} \quad \text{Ecuacion.52}$$

**Dónde:**

$L_f$  = Longitud del filtro (m)

$K_c$  = Coeficiente del mínimo costo (adimensional)

#### 1.6.5.1.5. *Ancho del filtro*

El ancho del filtro se halla con la siguiente ecuación:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}} \quad \text{Ecuacion.53}$$

**Dónde:**

$a_f$  = Ancho del filtro (m)

$K_c$  = Coeficiente del mínimo costo (adimensional)

#### 1.6.5.1.6. *Composición del lecho filtrante*

El lecho filtrante está compuesto de partículas con granulometría graduada. Estas partículas por lo general son la arena, grava u otros materiales granulados. El tipo de lecho filtrante de un filtro rápido se evalúa en función de los parámetros de diseño que se muestra en la tabla 1-16.

#### 1.6.5.1.6.1. Altura del filtro

Para calcular que altura tendrá nuestro filtro se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + F_c) \quad \text{Ecuacion.54}$$

**Dónde:**

$Z_f$  = Altura del filtro (m)

$f_s$  = Factor de seguridad(%)

$C_a$  = Altura del agua sobre el lecho (m)

$L_a$  = Altura del lecho filtrante (m)

$C_s$  = Altura de capa de soporte de grava (m)

#### 1.6.5.1.7. Sistema de drenaje

La función más significativa del drenaje del filtro se basa en proporcionar una distribución uniforme del agua de lavado y también sirve para recoger el agua filtrada.

#### 1.6.5.1.7.1. Área de los orificios laterales

El área de los orificios laterales se puede encontrar con la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4} \quad \text{Ecuacion.55}$$

**Dónde:**

$A$  = Área del orificio (m<sup>2</sup>)

$D_o$  = Diámetro del orificio (m)

#### 1.6.5.1.7.2. Caudal de ingreso a cada orificio

El caudal con el que ingresa el agua a cada orificio se encuentra con la siguiente ecuación:

$$Q_o = A_o * v_o \quad \text{Ecuacion.56}$$

**Dónde:**

$Q_o$  = Caudal con el que ingresa a cada orificio (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = Área del orificio (m<sup>2</sup>)

$v_o$  = Velocidad en orificio (m/s)

#### 1.6.5.1.7.3. Numero de laterales

El número de laterales se determina con la siguiente ecuación

$$N_L = 2 \frac{a_f}{e_L} \quad \text{Ecuacion.57}$$

**Dónde:**

$N_L$  = Numero de laterales (adimensional)

$e_L$  = Separación entre laterales (m)

#### 1.6.5.1.8. Diámetros de la tubería del filtro

##### 1.6.5.1.8.1. Diámetro de la tubería de entrada al filtro

La tubería de entrada al filtro se dimensiona de acuerdo al criterio basado en la velocidad y se encuentra con la siguiente ecuación.

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}} \quad \text{Ecuacion.58}$$

**Dónde:**

$\phi_e$  = Diámetro de la tubería de entrada del agua al filtro (m)

$v_e$  = Velocidad de agua a través de la tubería de entrada (m/s)

##### 1.6.5.1.8.2. Diámetro de la tubería de salida del filtro

La tubería de filtro en la salida se dimensiona de acuerdo al criterio basado en la velocidad y se encuentra con la siguiente ecuación:

$$\phi_s = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}} \quad \text{Ecuacion.59}$$

**Dónde:**

$\phi_s$  = Diámetro de la tubería en la salida del agua al filtro (m)

$v_e$  = Velocidad de agua a través de la tubería de salida (m/s)

#### 1.6.5.1.9. Sistema de lavado del filtro

Los filtros se limpian para que su capacidad se restablezca, esto se debe a que los lechos filtrantes acumulan sólidos, su eficiencia se reduce y por lo tanto localidad del efluente se baja.

#### 1.6.5.1.9.1. Velocidad optima del lavado del filtro

La velocidad optima del lavado, se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$v_{lav} = D_{60} = CU * TE \quad \text{Ecuacion.60}$$

**Dónde:**

$v_{lav}$  = Velocidad optima de lavado del filtro,(m/min)

CU = Coeficiente de la uniformidad de la arena (adimensional)

TE = Tamaño efectivo de la arena (mm)

#### 1.6.5.1.9.2. Cantidad de agua para el lavado del filtro

El volumen del agua necesario para lavar el filtro se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{lf} = v_{lav} * A_f * t_l \quad \text{Ecuacion.61}$$

**Dónde:**

$V_{lf}$  = Cantidad de agua para el lavado del filtro (m3)

$v_{lav}$  = Velocidad optima de lavado del filtro (m/min)

$A_f$  = Área del filtro (m2)

**Tabla 1-16.** Parámetros de Diseño de Filtro rápidos de Arena

Parámetro	Valor
Tasa de filtración (tf)	120 - 300 m3/m2 .día
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho (CA)	1 - 1,5 m
Profundidad del medio o altura del lecho filtrante (La)	0,60 - 0,80 m
Profundidad de grava o altura de la capa de soporte, grava (Cs)	0,30 - 0,45
Tamaño efectivo del medio (TE)	0,35 - 0,70 mm (valor típico 0,5)
Coeficiente de uniformidad (CU)	1,3 - 1,7 mm (valor típico 1,5)
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje (FC)	0,10 - 0,25 m

Tiempo optimo del lavado del filtro ( $t_l$ )	10 min
Factor de seguridad	10%

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

**Tabla 1-17.** Parámetros de Diseño Laterales

Parámetro	Valor
Separación de los laterales (eL)	1 – 2,0 m
Diámetro de los orificios laterales ( $\emptyset$ )	6,5 – 15,8 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	7,5 – 25 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad en cada orificio ( $v_0$ )	3 – 5 m/s

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

**Tabla 1-18.** Velocidades de Diseño para tuberías del filtro

Parámetro	Velocidad (m/s)
Afluente ( $v_i$ )	0,3 – 12
Efluente ( $v_f$ )	0,9 – 1,8

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

### 1.6.6. Laguna de maduración

Son utilizados este tipo de sistema después de un tratamiento que siga el orden de lagunaje anaerobio-facultativo, con el fin de mejorar un agua que cumpla con los criterios de calidad y remover la concentración de patógenos.

#### 1.6.6.1. Consideraciones para el rediseño de la laguna de maduración

Se considera un régimen hidráulico de flujo disperso por tal motivo se utiliza los datos recomendados por Yáñez (1991, p.85).

##### 1.6.6.1.1. Volumen de la laguna de maduración

$$V_{LM} = TRH_{LM} * Q \quad \text{Ecuacion.62}$$

**Dónde:**

$V_{LM}$  = Volumen de la laguna de maduración ( $m^3$ )

$TRH_{LM}$  = Tiempo de retención hidráulico (días)

Q = caudal ( $m^3/día$ )

#### 1.6.6.1.2. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico (WHO/EMRO, 1987. p.90) debe estar un rango de 5-10 días, pero considero el siguiente tiempo para el rediseño.

$$TRH_{LM} = 5 \text{ días} \quad \text{Ecuacion.63}$$

#### 1.6.6.1.3. Ancho de la laguna de maduración

Para poder calcular que ancho tendrá la laguna considero una relación de largo/ancho de 5:1 y se utiliza la siguiente ecuación

$$B = \sqrt{\frac{V_{LM}}{5 \cdot h}} \quad \text{Ecuacion.64}$$

**Dónde:**

$V_{LM}$  = Volumen de la laguna de maduración ( $m^3$ )

h = Profundidad de la laguna de maduración (m)

#### 1.6.6.1.4. Largo de la laguna de maduración

Para determinar qué largo tendrá la laguna se utiliza la siguiente ecuación.

$$L = 5 * B \quad \text{Ecuacion.65}$$

**Dónde:**

B = Ancho de la laguna de maduración (m)

#### 1.6.6.1.5. Numero de dispersión

El número de dispersión se estima adoptando una relación largo ancho (L/W) por medio de la ecuación propuesta por Yáñez. (1991, p. 141)

$$d = \frac{\frac{L}{B}}{-0,26118 + 0,25392 * \left(\frac{L}{B}\right) + 1,01368 * \left(\frac{L}{B}\right)^2} \quad \text{Ecuacion.66}$$



**Dónde:**

d = Número de dispersión (adimensional)

*1.6.6.1.6. Coeficiente de reducción bacteriana*

El coeficiente de reducción bacteriana, puede estimarse por medio de la ecuación siguiente:

$$K_b = 1,1 * 1,07^{(T-20)} \quad \text{Ecuacion.67}$$

**Dónde:**

$K_b$  = Coeficiente de reducción bacteriana (adimensional)

*1.6.6.1.7. Coeficiente a*

El coeficiente a después de haber establecido el tiempo de retención, t, se estima por medio de la expresión siguiente

$$a = \sqrt{1 + 4K_b * TRH_{LM} * d} \quad \text{Ecuacion.68}$$

**Dónde:**

a = Coeficiente (adimensional)

$K_b$  = Coeficiente de reducción bacteriana (adimensional)

$TRH_{LM}$  = Tiempo de retención hidráulico (días)

d = Número de dispersión (adimensional)

*1.6.6.1.8. Reducción de coliformes fecales*

La ecuación para estimar la cantidad de coliformes fecales puede simplificarse si  $d < 0.25$ , por la expresión siguiente:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4a * e^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} \quad \text{Ecuacion.69}$$

**Dónde:**

N = Número de coliformes fecales en el efluente (CF/100ml)

$N_0$  = Número de coliformes fecales en el afluente (CF/100ml)

a = Coeficiente (adimensional)

d = Número de dispersión (adimensional)

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

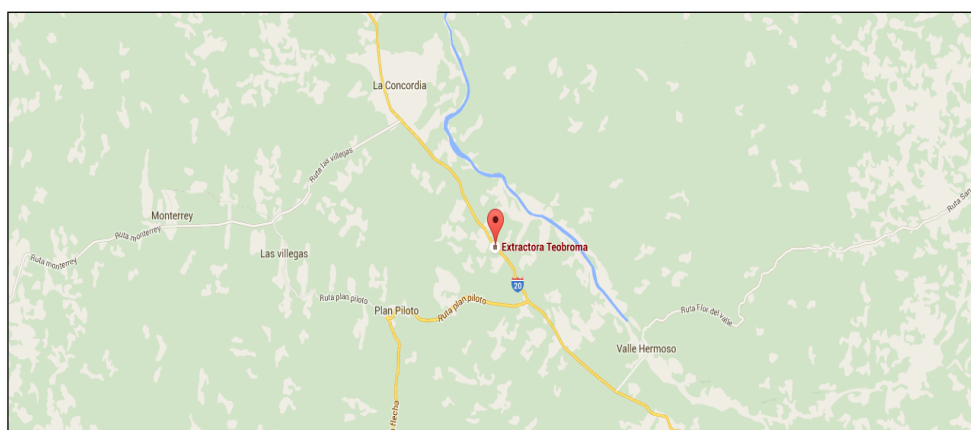
#### 2.1. Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en la planta de tratamientos de agua residual de la Extractora de Palma de Aceite “Teobroma”.

**Tabla 2-1.** Descripción del Área de Investigación

Datos Generales	
Ubicación de la provincia	Noroccidental del Ecuador
Lugar de estudio	Km 34 vía Santo Domingo – Esmeraldas
Provincia	Santo Domingo de los Tsáchilas
Cantón	La Concordia
Parroquia	Plan Piloto
Coordenadas WGS84	Latitud: -0.049271  Longitud: -79.348655  Altitud media: 217 msnm

*Elaborado por: Lalangui, D, .2015*



**Figura 2-1.** Ubicación Geográfica de la Extractora "Teobroma"

*Fuente: Google maps2015*

## 2.2. Métodos de recolección de información

Cada uno de los datos logrados durante la ejecución de la investigación se los efectuó mediante el método cualitativo (interpreta y analiza al objeto de estudio) y cuantitativo (mide valores cuantificables), esto conlleva es a que se faciliten los análisis comparativo de los mismos, y de tal manera determinamos en qué condiciones se encuentra actualmente la planta así como el dimensionamiento y el rediseño del Sistema de Tratamiento.

## 2.3. Plan de muestreo

Para el desarrollo de esta investigación se basó en un muestreo compuesto, porque este método de muestreo nos ofrece una representación más significativa de la muestra a analizar.

### 2.3.1. Selección de la muestra

Para la selección de la muestra se utilizara las Norma NTE INEN 2176 Referente Agua. Calidad de agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.

Se utilizara el siguiente procedimiento para recolección de muestra:

- Selección de los puntos de monitoreo.
- Preparación de los materiales, equipos, reactivos y formatos para la realización de la toma de muestras.
- Etiquete las botellas antes del llenado, diligenciada con la información general.
- Desplazamiento al sitio de muestreo.
- Inspección de la zona a monitorear.
- Etiquete con letra legible y con esfero imborrable las etiquetas de los frascos.

### 2.3.2. Número de muestra

Las muestras fueron tomadas en la mañana y por la tarde, esto debido a que el equipo trincater tiene un retrolavado por 20 minutos al mediodía, y para evitar cualquier error en la muestra, se toma otra muestra a partir de la 2:00 pm.

$$V_i = \frac{Q_i * V}{Q_p * n} \quad \text{Ecuacion.70}$$

**Dónde:**

$V_i$  = Volumen de cada alícuota.

V= Volumen total a componer

Qp= Caudal promedio durante la jornada de aforo.

Qi= Caudal instantáneo de cada muestra original.

n = Número de muestra tomada

Se realizó el muestreo en la jornada normal de trabajo de la planta, que inicia desde las 7:00 am, hasta las 5:00 pm. Se recolectaron alícuotas de 200 ml de cada uno de los sub-procesos, obteniendo un volumen final de la etapa de producción de 1000 ml cada hora.

$$V_i = \frac{0,004 \text{ m}^3 * 13,61 \frac{\text{m}^3}{\text{H}}}{13,625 \frac{\text{m}^3}{\text{H}} * 4}$$

$$V_i = 9,99 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_i = 1 \text{ L}$$

Para realizar los análisis de laboratorios como son los físico químico, se agrega al frasco de polietileno las 4 muestra tomadas en las distintas horas se homogeniza bien y tenemos una muestra compuesta que contiene 4 litros.

Y para los análisis microbiológicos de los 4 litros se toma una muestra de 200 ml y se agrega en un recipiente de plástico esterilizado.

**Tabla 2-2.** Recolección de muestra

Fecha	Hora/alícuota				Total
	9:00 am	10:00 am	2:00 pm	3:00 pm	
<b>Muestra tomada a la entrada del proceso de tratamiento</b>					
05/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros
12/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros
19/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros
26/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros
<b>Muestra tomada a la salida del proceso de tratamiento</b>					
05/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros
12/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros
19/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros
26/02/2015	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	4 Litros

*Elaborado por:* Lalangui, D.,2015

### **2.3.3. Tratamiento de las muestra**

Los análisis respectivos de la caracterización físicos y químicos del agua residual, se los realizó en su totalidad en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, la Dra. Gina Álvarez, responsable del laboratorio, fue la que me guio en todo momento en cómo realizar cada tipo de análisis, Mientras que los Análisis Microbiológicos se mandó a realizar en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

La caracterización inicial del agua residual nos da la información suficiente para determinar en qué situación nos encontramos y que tratamiento es el adecuado para dar solución a los problemas que presenta este tipo de agua al mismo tiempo cumplir con las normas vigentes.

## **2.4. Métodos y técnicas**

### **2.4.1. Métodos**

En el avance de esta investigación, se utiliza tres tipos de métodos: inductivo, deductivo y experimental, las cuales proporcionara la comprensión de los hechos regidos en un tratamiento de aguas residuales, y gracias a estos métodos se disminuirá la dificultad de la investigación facilitara y desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas residuales ideal para este tipo de industria.

#### **2.4.1.1. Inductivo**

Para las investigaciones se utilizó el método inductivo tiene como referencia el caudal medido mediante el método volumétrico manual, esto nos permitió conocer la cantidad de agua contaminada descargada en la empresa Extractora “Teobroma”. Luego se procedió a recoger muestras en los frascos de plástico polietileno esterilizado para sus posteriores caracterizaciones desarrolladas en el laboratorio Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias. Los resultados obtenidos fueron tabulados y sirve como guía para el desarrollo de nuestro rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

#### **2.4.1.2. Deductivo**

Para entender de como quedara el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, por no cumplir con las normas vigente expuesta por el ministerio del ambiente. Para dar una solución se incluyó etapas de tratamientos preliminares, primarios, secundarios, los mismos que

serán seleccionados de acuerdo a las características que presenta dicha agua, y nuestra finalidad es dar solución a la empresa para que cumpla con las normas del TULSMA.

#### *2.4.1.3. Experimental*

Se fundamenta su estudio a nivel de laboratorio, en donde se mide los parámetros para agua residual proveniente de Extractoras de Palma de Aceite como son pH, temperatura, aceites y grasas, DBO, DQO, sólidos sedimentales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos y turbiedad, para así encontrar las condiciones óptimas para el rediseño de la planta de tratamiento para aguas residuales de la Extractora “Teobroma”.

#### *2.4.2. Técnicas*

Los análisis que se realizaron siguen los protocolos analíticos que corresponden a las técnicas indicadas en los Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Aguas Residuales: “STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER”; 20 TH EDITION DE LA AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), además del Manual de Análisis de Agua, métodos HACH. Proporcionados por el mismo equipo.

Las técnicas empleadas para los análisis realizados son:

2.4.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno

**Tabla 2-3.** Técnica para determinar DBO

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTOS	CALCULOS
Esta prueba mide el oxígeno utilizado, durante un periodo de incubación específica. Puede medir el oxígeno utilizado para oxidar los compuestos reducidos del nitrógeno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de DBO</li> <li>• Botella de incubación</li> <li>• Tampones de copa</li> <li>• Cápsula magnética</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Embudo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluciones Tampón Fosfato</li> <li>• Solución de sulfato de magnesio</li> <li>• Solución de cloruro férrico</li> <li>• Grasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar las diluciones en un frasco ámbar, así como un blanco con dilución</li> <li>• Determinar mediante electrodo selectivo el oxígeno disuelto</li> <li>• Incubar durante 5 días en oscuridad a <math>20^{\circ}\text{C}\pm 1</math></li> <li>• Medir el resultado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{DBO}_5 = (\text{To} - \text{T5}) - (\text{Do} - \text{D5})</math> (F-1)</li> </ul> <p>Dónde:</p> <p>To = oxígeno disuelto inicial en la muestra.</p> <p>T5 = oxígeno disuelto inicial a los 5 días en la muestra</p> <p>Do = oxígeno disuelto inicial en el blanco</p> <p>D5 = oxígeno disuelto a los 5 días en el blanco</p> <p>F = factor de dilución.</p>

*Fuente:* Método 5220 – C Métodos Normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.4.2.2. Demanda química de oxígeno

**Tabla 2-4.** Técnica para determinar DQO

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTOS	CALCULOS
<p>La demanda química de oxígeno (DQO) se define como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta volumétrica</li> <li>• Viales con reactivos</li> <li>• Gradilla</li> <li>• Tubos de digestión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua destilada</li> <li>• Agua problema</li> <li>• Ftalato Ácido de Potasio (KHP).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogeneizar 100 ml de muestra durante 30 segundos en una mezcladora. Conectar el reactor de DQO y precalentar a 150°C.</li> <li>• Preparar el reactivo para la curva patrón y luego se realizar diluciones del patrón (KHP).</li> <li>• Sostener el tubo en un ángulo de 45 grados y adicionar 2 ml de cada dilución a los tubos. Para el punto cero de la curva se utiliza 2 ml de agua destilada. Se tapan los tubos y se los invierte cuidadosamente para mezclarlos completamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa utilizando agua destilada como solución de referencia.</li> </ul>

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



2.4.2.3. Sólidos sedimentables

**Tabla 2-5.** Técnica para determinar Solidos Sedimentables

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTOS	CALCULOS
<p>Porción de sólidos suspendidos que puede sedimentar en un periodo determinado, que generalmente son eliminados en los primeros procesos de un tratamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cono Imhoff</li> <li>• Vaso 250 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua destilada</li> <li>• Agua problema</li> <li>• Hexano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agitar la muestra y llenar un cono Imhoff hasta la marca de 1 litro con la muestra.</li> <li>• Dejar sedimentar durante 50 minutos, luego rotar el cono por su eje vertical para que sedimenten también partículas adheridas a la pared, esperar 10 minutos más y realizar la lectura (ml/1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa de mililitros de solido por litro de agua.</li> </ul>

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

2.4.2.4. *Sólidos totales*

**Tabla 2-6:** Técnica para determinar Sólidos Totales

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTOS	CALCULOS
<p>Los sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a una temperatura definida de 103 a 105.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitación de 250 mL.</li> <li>• Caja Petri</li> <li>• Estufa</li> <li>• Baño María</li> <li>• Desecador</li> <li>• Balanza Analítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coger una caja petri y colocarla en el desecador por 30 minutos.</li> <li>• Pesar la caja petri en la balanza analítica. Se tiene el valor de P1. Colocar 25 mL. de muestra de agua en la caja petri. Se tiene el V muestra. Someterla a baño María hasta que se evapore.</li> <li>• Introducir en la estufa hasta que se evapore, luego ponerla en el desecador por unos 15 minutos. Se tiene el valor de P2.</li> <li>• Pesar y registrar el valor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

*Fuente:* STANDARD METHODS \*2540

2.4.2.5. Grasas y aceites

**Tabla 2-7.** Técnica para determinar Grasas y Aceites

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTOS	CALCULOS
Este método se basa en la adsorción de grasas y aceites en tierras de diatomeas, los cuales son extraídos en un soxhlet empleando hexano como disolvente. Una vez terminada la extracción se evapora el hexano y se pesa el residuo; siendo este valor de contenido de grasas y aceites.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de extracción Soxhlet</li> <li>• Estufa eléctrica</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Equipo de filtración a vacío.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido Clorhídrico concentrado (HCl)</li> <li>• Hexano (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>)</li> <li>• Ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>• Suspensión de tierra de diatomeas-sílice</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25 mL de muestra en un erlenmeyer de 1000 mL.</li> <li>• Agregar 4 gotas de naranja de metilo.</li> <li>• Titular con Ácido Sulfúrico 0,02 hasta que se dé el</li> <li>• Cambio de color. Adicionar hexano al matraz de extracción.</li> <li>• Controlar la temperatura del reflujo y extraer a una velocidad de 20ciclos/hora durante un periodo de 4h.</li> <li>• El matraz de extracción libre de disolvente, la temperatura ambiente.</li> </ul>	<p><math>G/A = (A-B)/V</math></p> <p>Dónde:</p> <p><math>G/A =</math> grasas y aceites (mg/L)</p> <p>A= peso final del matraz de extracción (mg)</p> <p>B= peso inicial del matraz de extracción (mg)</p> <p>V= volumen de la muestra, en litros.</p>

*Fuente:* FERNANDEZ J. y CURT M. Métodos analíticos para aguas residuales

## **2.5. Datos experimentales**

### ***2.5.1. Caracterización Física, Química y Microbiológica***

La caracterización del agua residual captada y tratada del sistema de tratamiento de la Extractora de Palma de Aceite fueron enviados al laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias ubicada en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, esto se debe a que la planta no cuenta con los equipos y reactivos necesario para realizar los análisis del agua residual generada en el proceso de extracción del aceite de la palma, este análisis nos brinda la información necesaria para conocer si el actual tratamiento que tiene un rendimiento alto pero los resultados obtenido demuestra lo contrario.

**Tabla 2-8.** Datos de los análisis Fisicos-Quimicos del agua residual cruda (entrada)

Parámetros	Expresados como	Unidad	Resultados				Resultado promedio	Valor límite permisible
			5/02/2015	12/02/2015	19/02/2015	26/02/2015		
			m1	m2	m3	m4	Mp	
Potencial de hidrogeno	pH	unidad Ph	6,9	6,85	6,91	6,92	6,90	5- 9 9
Temperatura	T		69	70	70	70	69,75	<35
Conductividad	-	µsiems/cm	1110	1110	1120	1120	1115,00	-
Turbiedad	-	UNT	385	386	386	387	386,00	-
Alcalinidad	-	mg/L	160	160	160	160	160,00	-
Grasas-Aceites	Soluble en Hexano	mg/L	256	257	257	257	256,75	30
Demanda Bioquímica de Oxigeno	<i>DBO<sub>5</sub></i>	mg/L	19250	19260	19250	19250	19252,50	50
Demanda Química de O <sub>2</sub>	DQO	mg/L	38450	38500	38500	38500	38487,50	100
Nitrógeno Amoniacal	-	mg/L	46,5	47	47,5	47,5	47,13	30

Hierro	Fe	mg/L	6	7	7	7	6,75	10
Sólidos Totales	ST	mg/L	33400	33450	33400	33400	33412,50	1600
Sólidos Sedimentables	Ssed	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	-
Sólidos en Suspensión	SS	mg/L	20100	20110	20100	20100	20102,50	80
Fosfatos	-	mg/L	93	95	95	95	94,50	-
Nitratos	-	mg/L	1	1	1	1	1,00	-

*Elaborado por:* Lalangui, D, .2015

**Tabla 2-9.** Datos de los análisis microbiológicos del agua residual cruda (entrada)

Parámetros	Expresados como	Unidad	Resultados				Resultado promedio	Valor límite permisible
			5/02/2015	12/02/2015	19/02/2015	26/02/2015		
			m1	m2	m3	m4	Mp	
Coliformes fecales	UFC	UFC/100ml	7850	7900	7900	7900	7887,50	remoción > al 99%
Temperatura	T		69	70	70	70	69,75	<35

*Elaborado por:* Lalangui, D, .2015

**Tabla 2-10:** Datos de los análisis Fisicos-Quimicos del agua tratada (Laguna de Maduración)

Parámetros	Expresados como	Unidad	Resultados				Resultado promedio	Valor límite permisible
			5/02/2015	12/02/2015	19/02/2015	26/02/2015		
			m1	m2	m3	m4	Mp	
potencial de hidrogeno	pH	unidad pH	6,4	6,42	6,43	6,43	6,42	5- 9 9
Temperatura	T		22	23	23	24	23,00	<35
Conductividad	-	µsiems/cm	7350	7350	7400	7400	7375,00	-
Turbiedad	-	UNT	210	210	220	220	215,00	-
Alcalinidad	-	mg/L	100	100	100	100	100,00	-
grasas y aceites	Soluble en Hexano	mg/L	186	188	188	188	187,50	30
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	2650	2700	2700	2700	2687,50	50
Demanda Química O <sub>2</sub>	DQO	mg/L	4400	4500	4500	4500	4475	100
Nitrógeno Amoniacal	-	mg/L	124	124	125	125	124,50	30
Solidos Totales	ST	mg/L	6180	6180	6184	6184	6182,00	1600

Sólidos Sedimentables	Ssed	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-
Sólidos en Suspensión	SS	mg/L	493	495	495	495	494,50	80
Nitratos	-	mg/L	1	1	1	1	1,00	-

*Elaborado por:* Lalangui, D, .2015

**Tabla 2-11.** Datos de los análisis microbiológicos del agua tratada (Laguna de Maduración)

Parámetros	Expresados como	Unidad	Resultados				Resultado promedio	Valor límite permisible
			5/02/2015	12/02/2015	19/02/2015	26/02/2015		
			m1	m2	m3	m4	Mp	
Coliformes fecales	UFC	UFC/100ml	4150	4200	4200	4200	4187,50	remoción > al 99%
Temperatura	<sup>0</sup> T	<sup>0</sup> C	22	23	23	24	23,00	<35

*Elaborado por:* Lalangui, D, .2015



### 2.5.2. Evaluación de la caracterización del agua residual

El primer paso para nuestra investigación fue realizar un análisis preliminar de las aguas residuales de la planta Extractora para caracterizar el fluido, cuyos resultados se exponen en las tablas anteriores, determinando que los parámetros analizados no están dentro de los límites que se dispone en el libro VI, tabla 10, Anexo I del TULSMA.

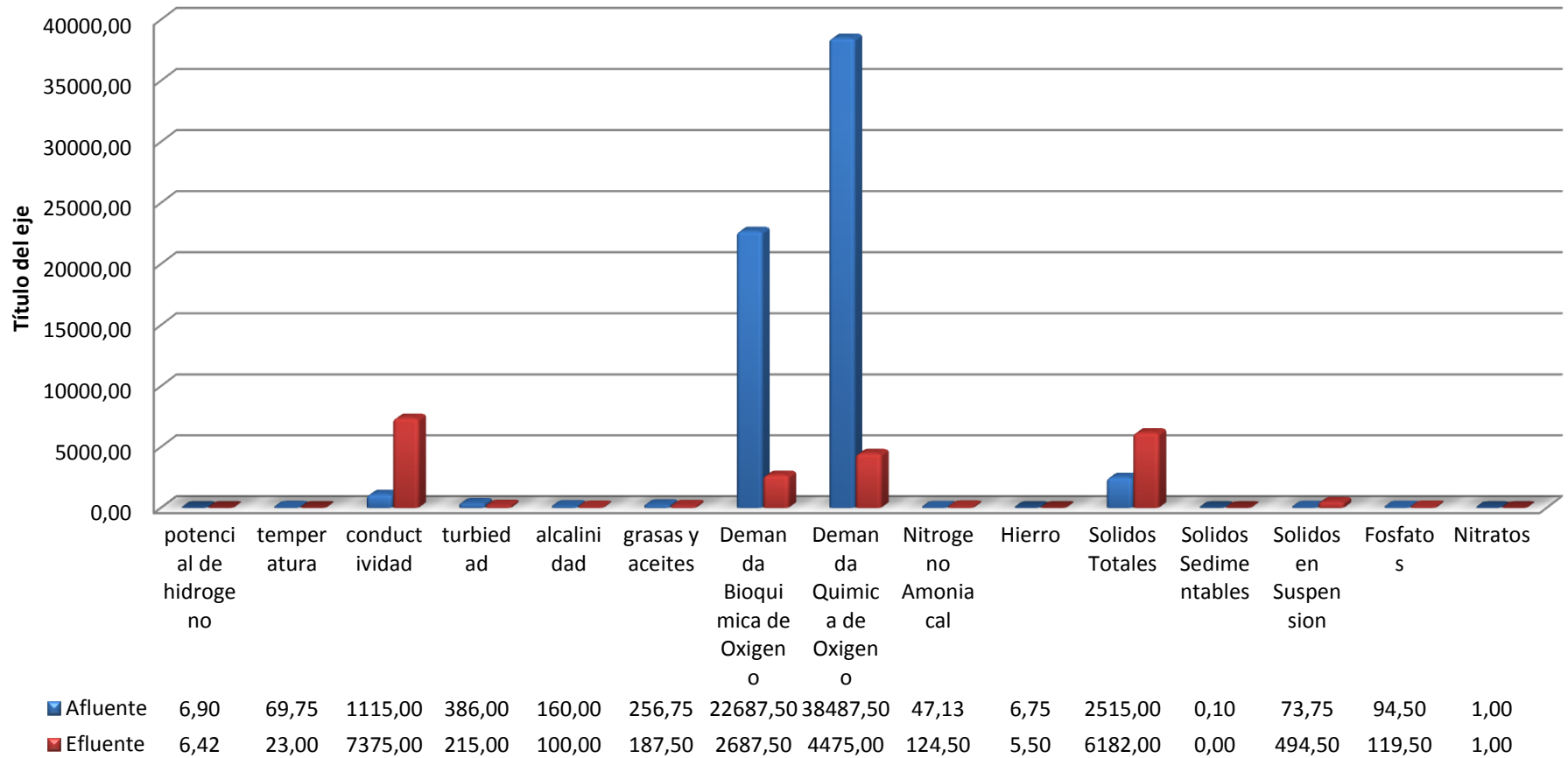
Con los resultados de la caracterización del agua tratada que es tomada de la laguna de maduración y el diagnóstico respectivo de la planta de tratamiento, se verifica que el sistema de tratamiento con el cual dispone la planta no cumple con los objetivos de remoción, en base a los parámetros que permiten evaluar la eficiencia de la planta, entre las cuales se puede mencionar: DBO, DQO, grasas y aceites, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos, sólidos totales y coliformes fecales, se muestra en la tabla 2-20 los parámetros fuera de norma.

**Tabla 2-12:** Comparación de los resultados del agua tratada vs límites permisible

Parámetros	Unidad	Resultado promedio	Límites permisible	Condición
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	2687,50	50	No cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	4475,0	100	No cumple
Sólidos Totales	mg/L	6182,0	1600	No cumple
Sólidos en Suspensión	mg/L	494,50	80	No cumple
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	124,50	30	No cumple
Grasas y Aceites	mg/L	187,50	30	No cumple
Coliformes Fecales	UFC/100ml	4187,50	Remoción > 99%	No cumple

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015

## Variación de la concentración contaminantes antes y después del tratamiento



**Grafica 2-1.** Variación de la concentración de contaminantes antes y después del tratamiento (Actual de la empresa)

Elaborado por: Lalangui, D.,2015

Como se puede observar en la figura en la que comparamos los resultados de concentraciones que tienen el afluente y el efluente, el tratamiento con el que cuenta la planta que es un tratamiento biológico por lo expuesto anteriormente, reduce la carga orgánica, pero no cumple con los valores permisibles, en cambio los sólidos en vez de disminuir se concentran al final del proceso de tratamiento, quiere decir que tenemos que dar solución a este problema que presenta la Extractora "Teobroma", con su diseño actual de tratamientos de aguas residuales.

## 2.6. Parámetro de no cumplimiento con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua".

### 2.6.1. Calidad de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua Dulce, del TULSMA".

#### 2.6.1.1. Parámetros Físicos y Químicos

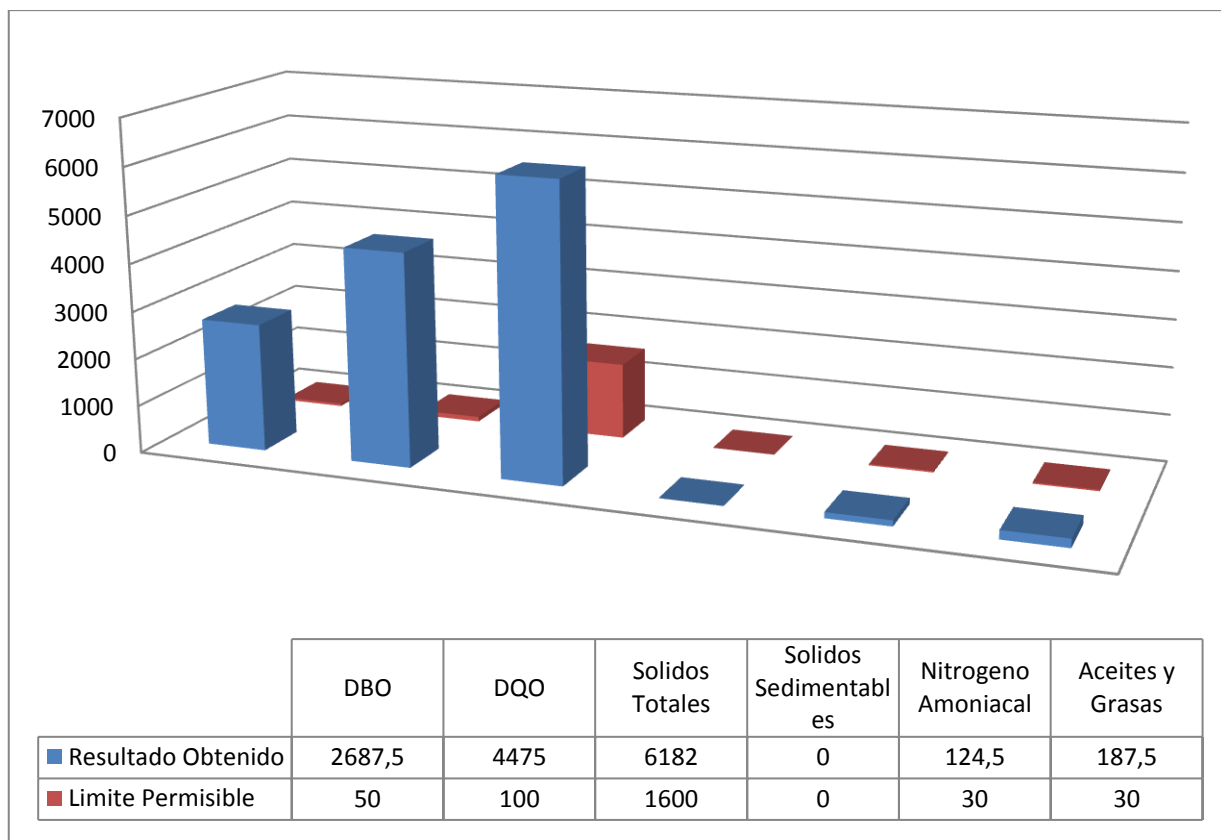
Se determinaron un total de 6 parámetros físico y químicos que se encuentra fuera de norma esto son los siguientes: DQO, DBO, Aceites y Grasas Sólidos Totales, Sólidos en Suspensión y Nitrógeno Amoniacal.

**Tabla 2-13.** Parámetros Físicos-Químicos fuera de Norma

Parámetros	Unidad	Resultado	Valor Limite Permissible
DBO	mg/L	2687,5	50
DQO	mg/L	4475	100
Sólidos Totales	mg/L	6812	1600
Sólidos Suspensión	mg/L	494,50	80
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	124,50	30
Aceites y Grasas	mg/L	187,5	30

*Fuente:* Lalangui, D.,2015

Se puede visualizar de manera más clara en la gráfica 2-2.



**Grafica 2-2.** Parámetros Físicos y Químicos fuera de Norma

Fuente: Lalangui, D., 2015

### 2.6.1.2. Parámetros Microbiológicos

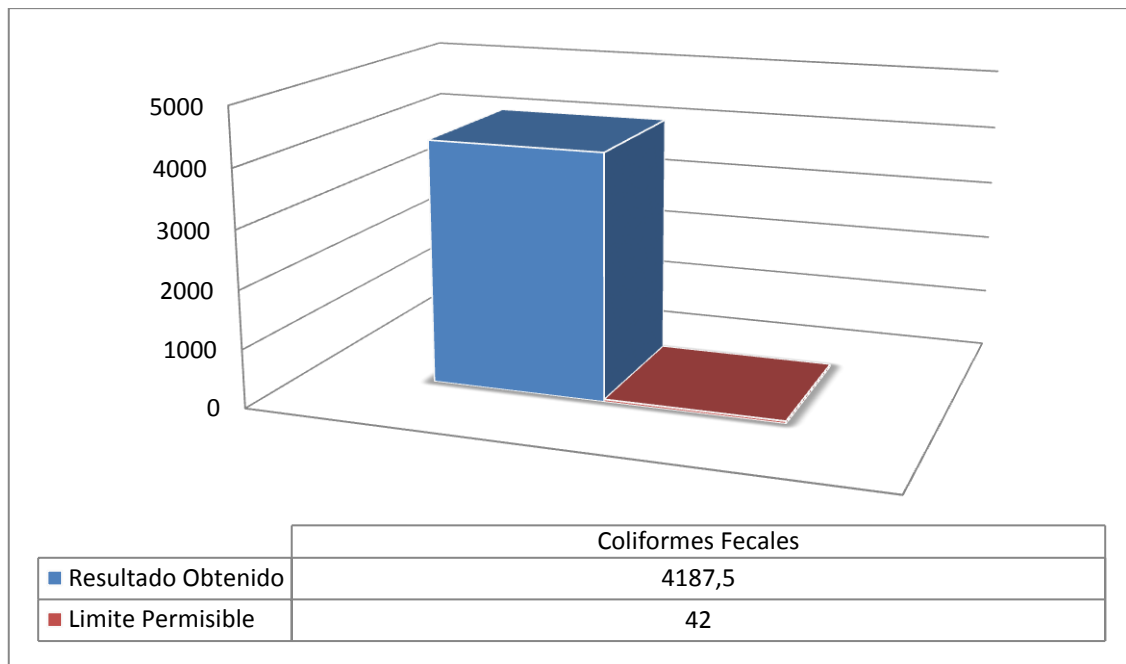
Se determinó que el parámetro coliformes fecales se encuentra fuera de norma y se detalla en la tabla 2-22.

**Tabla 2-14.** Parámetro Microbiológico fuera de Norma

Parámetros	Unidad	Resultado	Valor Limite Permissible
Coliformes Fecales	mg/L	4187,5	remoción > al 99%

Elaborado por: Lalangui, D., 2015

Se puede observar de manera más clara en el gráfico 2-3.



**Grafica 2-3.** Parámetro Microbiológico fuera de Norma  
*Elaborado por:* Lalangui,D.,2015

## CAPITULO III

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

Para el rediseñar e implementar procesos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Extractora de Palma de Aceites “Teobroma”, nuestra pauta para el estudio fue la en la caracterización preliminar del agua en el sitio captador (entrada del afluente antes del proceso) como en la salida de dicho efluente tratado; donde los resultados de los parámetros nos llevan al desarrollo de los siguientes cálculos.

#### 3.1. Calculo del Caudal de diseño

Datos para el Cálculo del caudal máximo

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Capacidad de procesamiento de fruta	FP	42	Ton RFF/H
Efluente generado	EG	0,90	m <sup>3</sup> /Ton RFF
Total de horas trabajada	Ht	20	Horas/día

##### 3.1.1. Caudal máximo

$$Q_{max} = FP * EG * Ht$$

$$Q_{max} = 42 \frac{\text{Ton RFF}}{H} \times 0,90 \frac{\text{m}^3}{\text{Ton RFF}} \times 20 \frac{H}{\text{dia}}$$

$$Q_{max} = 756 \text{ m}^3/\text{dia}$$

#### 3.2. Sistema de tratamiento

##### 3.2.1. Pretratamiento

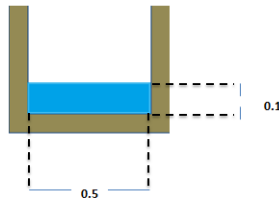
###### 3.2.1.1. Rediseño del cribado o rejilla

Las rejillas con la que cuenta actualmente la planta son de tipo manual, son limpiadas regularmente, tiene una inclinación de 45° con respecto al plano horizontal, para rediseñar la rejilla se debe ampliar el canal que lleva el agua residual al sistema de tratamiento.

### 3.2.1.1.1. Rediseño del canal

El área total transversal se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$A = b \times h$$



#### **Datos:**

b = Ancho del canal: 0,7 m

h = Altura del canal: 0,3 m

Al conocer los datos especificados se calcula mediante la ecuación

$$A = 0,7 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$$

$$A = 0,21 \text{ m}^2$$

### 3.2.1.1.2. Cálculo del radio hidráulico del fluido

Se calcula aplicando la ecuación

$$R = \frac{b \times h}{b + 2 \times h}$$

$$R = \frac{0,7 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}}{0,7 \text{ m} + (2 \times 0,3 \text{ m})}$$

$$R = 0,16 \text{ m}$$

### 3.2.1.1.3. Cálculo de la velocidad de fluido de aproximación hacia la reja

#### **Datos:**

n = Coeficiente de Manning: 0,014

R: Radio hidráulico: 0,16 m

S: Gradiente hidráulico (m/m) 0,0005

Al conocer los datos especificados se calcula la velocidad mediante la ecuación.

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

$$v = \frac{1}{0,014} \times 0,16^{2/3} \times 0,0005^{1/2}$$

$$v = 0,47 \text{ m/s}$$

### 3.2.1.2. Rediseño de rejillas finas

#### 3.2.1.2.1. Cálculo del área libre entre barras

**Datos:**

Qm = caudal:  $7560 \text{ m}^3/\text{día} = 0,00875 \text{ m}^3/\text{s}$

v = velocidad de aproximación: 0,47 m/s

$$A_L = \frac{Qm}{v_{RL}}$$

$$A_L = \frac{0,00875 \text{ m}^3/\text{s}}{0,47 \text{ m/s}}$$

$$A_L = 0,018 \text{ m}^2$$

#### 3.2.1.2.2. Cálculo del Área de sección transversal del flujo

**Datos:**

$A_L = \text{Área libre entre barras: } 0,018 \text{ m}^2$

a = Separaciones entre barra:  $19 \text{ mm} = 0,019 \text{ m}$

t = Espesor máximo de las barras:  $14 \text{ mm} = 0,014 \text{ m}$

$$A_f = \frac{A_L(a + t)}{a}$$

$$A_f = \frac{0,018 \text{ m}^2(0,019 + 0,014) \text{ m}}{0,014 \text{ m}}$$

$$A_f = 0,042 \text{ m}^2$$

#### 3.2.1.2.3. Cálculo de la suma de separación entre barras para rejillas Finas

**Datos:**

b = Ancho del canal:  $0,7 \text{ m} = 700 \text{ mm}$



a= Separaciones entre barra: 19 mm

t= Espesor máximo de las barras: 14 mm

$$bg = \left( \frac{b - a}{t + a} + 1 \right) a$$

$$bg = \left( \frac{700 \text{ mm} - 19 \text{ mm}}{14 \text{ mm} + 19 \text{ mm}} + 1 \right) 19 \text{ mm}$$

$$bg = 411,09 \text{ mm}$$

$$bg = 0,41 \text{ m}$$

#### 3.2.1.2.4. *Calculo del número de barra*

**Datos:**

a= Separación entre barras: 0,019 m

b= Ancho del canal: 0,5 m

t= Espesor máximo de las barras: 0,014 m

$$N^0 = \frac{b}{a + t}$$

$$N^0 = \frac{0,7 \text{ m}}{0,019 \text{ m} + 0,014 \text{ m}}$$

$$N^0 = 21,21 = 21 \text{ barras}$$

#### 3.2.1.2.5. *Calculo de la longitud sumergida de la rejilla*

Para poder calcular que longitud estará sumergida la rejilla necesitamos conocer el nivel máximo de agua que se encuentra con la siguiente ecuación

$$d_{max} = \frac{Q}{v_{RL} \times b}$$

**Datos:**

Q= Caudal: 0,00875 m<sup>3</sup>/s

v<sub>RL</sub>= Velocidad de aproximación: 0,47 m/s

b= Ancho del canal: 0,7 m

$$d_{max} = \frac{0,00875 \text{ m}^3/\text{s}}{0,47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,7 \text{ m}}$$

$$d_{max} = 0,027 \text{ m}$$

Una vez encontrado el valor se procede a encontrar la longitud con la ecuación.

**Datos:**

$d_{max}$  = Nivel máximo de agua: 0,027 m

$\alpha$  = Grado de inclinación de las barras: 45

$$L_s = \frac{d_{max}}{\sin \alpha}$$

$$L_s = \frac{0,027 \text{ m}}{\sin 45}$$

$$L_s = 0,038 \text{ m}$$

3.2.1.2.6. *Calculo de la perdida de carga*

**Datos:**

a = Separación entre las barras: 0,019 m

t = Espesor máximo entre las barras: 0,014 m

$\frac{v^2}{2g}$  = Carga de velocidad antes de la reja: 0,0037 m

g = Gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

$\alpha$  = Angulo de inclinación de las barras: 45

$\beta$  = Factor dependiente de la forma de la barra: 1,79

$$h_c = \beta \left( \frac{t}{a} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha$$

$$h_c = 1,79 \left( \frac{0,014}{0,019} \right)^{4/3} \frac{0,47^2}{2 \times 9,8} \sin 45$$

$$h_c = 0,00932 \text{ m}$$

3.2.1.3. *Rediseño de la trampa de grasa*

Para el rediseño de la trampa de grasa tenemos que calcular cual es el caudal de ingreso a nuestra trampa de grasa.

3.2.1.3.1. *Calculo del caudal a la trampa de grasa*

$$Q_{TG} = 0,3\sqrt{U}$$

$$Q_{TG} = Q_{max}$$

$$Q_{TG} = 5,5 \frac{L}{s}$$

En la tabla 3-1 encontramos dimensiones recomendadas por Lozanos-Rivas(2012, p.135) para nuestro rediseño de la trampa de grasa de acuerdo al caudal.

**Tabla 3-1.** Dimensiones Estimadas según el Caudal

Rango de Caudales (L/s)	Volumen trampa de grasa (m <sup>3</sup> )	Dimensiones estimadas (m)		
		Profundidad	Largo	Ancho
<1	1,80	1,50	1,00	1,20
		1,00	1,00	1,80
1 – 2	3,60	1,50	1,10	2,20
2 – 3	5,40	2,0	1,13	2,40
3 – 4	7,20	2,00	1,45	2,50
4 – 5	8,10	2,00	1,50	2,70
>5	9,12	2,00	1,60	2,85

Fuente: Lozanos-Rivas.,Pp 135

### 3.2.1.3.2. Cálculo del tiempo de retención hidráulico

$$V_{TG} = Q_D * TRH$$

$$TRH = \frac{V_{TG}}{Q_{TG}}$$

$$TRH = \frac{9,12 \text{ m}^3}{0,00875 \text{ m}^3/s}$$

$$TRH = 17,37 \text{ min}$$

### 3.2.2. Tratamiento primario

#### 3.2.2.1. Rediseño de la laguna de enfriamiento-sedimentación

Para rediseñar la laguna de enfriamiento se deberá realizar los siguientes cálculos:

##### 3.2.2.1.1. Cálculo del área superficial de la laguna de enfriamiento

**Datos:**

Q = Caudal en la laguna: 756 m<sup>3</sup>/día

C<sub>s</sub> = carga superficial típica: se utiliza la carga superficial a caudal punta 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x día.

$$A_{SL} = \frac{Q}{C_s}$$

$$A_{SL} = \frac{756 \text{ m}^3/\text{día}}{\frac{24 \text{ m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}}}$$

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

Corregimos la carga superficial a ver si existe algún error.

$$C_s = \frac{Q}{A_{SL}}$$

$$C_s = \frac{756 \text{ m}^3/\text{día}}{31,5 \text{ m}^2}$$

$$C_s = \frac{24 \text{ m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}}$$

##### 3.2.2.1.2. Cálculo del ancho de la laguna de enfriamiento

Planteando una relación ancho/largo de 3 a 1, se calcula entonces el largo y el ancho del tanque, se utiliza la ecuación.

**Datos:**

A<sub>SL</sub> = Área superficial: 31,5 m<sup>2</sup>

$$a_{LE} = \sqrt{\frac{31,5 \text{ m}^2}{3}}$$

$$a_{LE} = 3,24 \text{ m}$$

### 3.2.2.1.3. Cálculo del largo de la laguna de enfriamiento

**Datos:**

$a_{LE}$  = Ancho de la laguna: 3,24 m

$$L_{le} = 3,3 \text{ m} * 3$$

$$L_{le} = 10 \text{ m}$$

### 3.2.2.1.4. Cálculo del volumen de la laguna de enfriamiento

**Datos:**

$a_{LE}$  = Ancho de la laguna de enfriamiento: 3,24 m

$L_{le}$  = Largo de la laguna de enfriamiento: 10 m

$h_{LE}$  = Profundidad de la laguna de enfriamiento: 3,6 m

$$V_{LE} = a_{LE} * L_{le} * h_{LE}$$

$$V_{LE} = 3,24 \text{ m} * 10 \text{ m} * 3,6 \text{ m}$$

$$V_{LE} = 116,64 \text{ m}^3$$

### 3.2.2.1.5. Cálculo del tiempo de retención hidráulico

**Datos:**

$V_{LE}$  = Volumen de la laguna: 116,64

$Q$  = Caudal de diseño: 756 m<sup>3</sup>/ día = 32 m<sup>3</sup>/ h

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

$$TRH = \frac{116,64 \text{ m}^3}{32 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$TRH = 3,7 \text{ h}$$

### 3.2.2.1.6. Cálculo del porcentaje de remoción del DBO Y SST

#### 3.2.2.1.6.1. Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub>

**Datos:**

a = constante empíricas: 0,018

b = constante empíricas: 0,02

TRH = tiempo de retención hidráulico: 3,7 horas

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

$$R_{DBO} = \frac{3,7 h}{0,018 + (0,02 * 3,7 h)}$$

$$R_{DBO} = 40,2\%$$

Entonces la cantidad de materia orgánica removida es la siguiente:

**Datos:**

$DBO_i$  = cantidad de materia organica inicial: 19250 mg/L

$R_{DBO}$  = porcentaje de remoción en la laguna de enfriamiento: 0,402

$$DBO_{REM} = DBO_i \times R_{DBO}$$

$$DBO_{REM} = 19250 \text{ mg/L} \times 0,402$$

$$DBO_{REM} = 7738.5 \text{ mg/L}$$

$$DBO_A = DBO_i - DBO_{REM}$$

$$DBO_A = 19250 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 7738.5 \text{ mg/L}$$

$$DBO_A = 11511.6 \text{ mg/L}$$

#### 3.2.2.1.6.2. Porcentaje de Remoción de SST

**Datos:**

a = constante empíricas: 0,0075

b = constante empíricas: 0,014

TRH = tiempo de retención hidráulico: 3,7 horas

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

$$R_{SST} = \frac{3,7 h}{0,0075 + (0,014 * 3,7 h)}$$

$$R_{SST} = 62,39 \%$$

Entonces la cantidad de solidos suspendidos removido es la siguiente:

**Datos:**

$SS_i$  = cantidad de solidos suspendidos inicial: 20,100 mg/L

$R_{SST}$  = porcentaje de remoción en la laguna de enfriamiento: 0,6239

$$SS_{REM} = SS_i \times R_{SST}$$

$$SS_{REM} = 20100 \text{ mg/L} \times 0,6239$$

$$SS_{REM} = 12540.39$$

$$SS_A = SS_i - SS_{REM}$$

$$SS_A = 20,100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \frac{12540.39 \text{mg}}{\text{L}}$$

$$SS_A = 7559.61 \text{ mg/L}$$

3.2.2.2. Cálculo de la transferencia de calor por convección

Para determinar cuánto calor pierde la laguna de enfriamiento cada segundo se utiliza la siguiente ecuación basada en la transferencia de calor por convección:

**Datos:**

$T_A$  = Temperatura a la que se encuentra el fluido: 70 0C =343 0K

T = Temperatura del medio: 24 0C =297 0K

h = Coeficiente de convección: 100 W /m2 0K

A = Superficie que entrega calor: 32,4 m<sup>2</sup>

$$H = h * A(T_A - T)$$

$$H = 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} * 32,4 \text{m}^2 (343 - 297)^\circ \text{K}$$

$$H = 149040 \text{ W}$$

### 3.2.2.2.1. Cálculo del tiempo que tarda en enfriarse el fluido

Se puede determinar de acuerdo a la ley de enfriamiento de newton que describe lo siguiente:

La temperatura de un cuerpo cambia a una velocidad que es proporcional a la diferencia de las temperaturas entre el medio externo y el cuerpo.

Con la ecuación integrada realizamos el respectivo cálculo.

$$T = T_a + C e^{-kt}$$

#### **Datos:**

Condiciones iniciales

$t_0$  = tiempo inicial: 0

T = Temperatura del fluido inicial: 70

$T_a$  = Temperatura ambiente: 24 C

Calculamos nuestra constante de integración

$$T = T_a + C e^{-kt}$$

$$70 \text{ °C} = 24 \text{ °C} + C e^{-k \cdot 0}$$

$$70 \text{ °C} - 24 \text{ °C} = C \times 1$$

$$C = 46 \text{ °C}$$

Dejamos transcurrir un tiempo a ver a cuanto desciende la temperatura.

#### **Datos:**

$t_1$  = tiempo transcurrido : 20 minutos

$T_1$  = Temperatura después del tiempo transcurrido: 65 °C

$$T_1 = T_a + C e^{-kt}$$

$$65 \text{ °C} = 24 \text{ °C} + 46 \text{ °C} e^{-k \cdot 20 \text{ min}}$$

$$41 \text{ °C} = 46 \text{ °C} e^{-k \cdot 20 \text{ min}}$$

$$\ln 0,89 = \ln e^{-k \cdot 20 \text{ min}}$$



$$-0,12 = -k \ 20 \ min$$

$$k = 0,006$$

Determinamos que tiempo se tarda en descender hasta nuestra temperatura deseada.

**Datos:**

$t_D$  = tiempo que tarda en enfriarse hasta la temperatura deseada : minutos

$T_D$  = temperatura a la que tiene que estar el fluido para su posterior tratamiento: 35 °C

$$T_D = T_a + C e^{-kt}$$

$$35^\circ\text{C} = 24^\circ\text{C} + 46^\circ\text{C} e^{-0,006t}$$

$$11^\circ\text{C} = 46^\circ\text{C} e^{-0,006t}$$

$$\text{Ln } 0,239 = \text{Ln } e^{-0,006t}$$

$$-1,43 = -0,006 t$$

$$t_D = 238,55 \ min$$

$$t_D = 4 \ horas$$

### 3.2.3. Tratamiento secundario

#### 3.2.3.1. Rediseño de la laguna anaeróbica

##### 3.2.3.1.1. Cálculo del volumen de la laguna

**Datos:**

$DBO_0$  = Concentración del afluente en la laguna: 11,51 Kg/m<sup>3</sup>

Q = Caudal: 756 m<sup>3</sup>/día

$CV_A$  = Carga volumétrica de DBO: 9 Kg/m<sup>3</sup> día

$$V_A = \frac{DBO_0 \times Q_{med}}{CV_A}$$

$$V_A = \frac{11,51 \frac{Kg}{m^3} \times 756 \ m^3/dia}{9 \frac{Kg}{m^3 \ dia}}$$

$$V_A = 966.8 \text{ m}^3$$

### 3.2.3.1.2. Cálculo del tiempo de retención hidráulico

**Datos:**

$V_A$  = volumen de la laguna:  $966,8 \text{ m}^3$

$Q_{med}$  = caudal:  $756 \text{ m}^3/\text{dia}$

$$TRH = \frac{966,8 \text{ m}^3}{756 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$TRH = 1,32 \text{ dia}$$

$$TRH = 31,68 \text{ horas}$$

### 3.2.3.1.3. Cálculo de ancho de la laguna

Se conoce que la relación de largo ancho es 2:1 entonces aplicamos la siguiente ecuación:

**Datos:**

$V_A$  = Volumen de la laguna anaeróbica:  $966.8 \text{ m}^3$

$h$  = Profundidad de la laguna anaeróbica:  $4 \text{ m}$

$l$  = Largo de la laguna anaeróbica =  $2 \text{ b}$

$$V_a = b * l * h$$

$$b = \sqrt{\frac{966,8 \text{ m}^3}{2 * 4 \text{ m}}}$$

$$b = \sqrt{\frac{V_a}{2 * h}}$$

$$b = 10,99 \text{ m}$$

Como la relación era 2:1 calculamos el largo de la laguna

**Datos:**

$b$  = Ancho de la laguna anaeróbica:  $10,32 \text{ m}$

$$l = 2 * b$$

$$l = 2 * 10,99 \text{ m}$$

$$l = 21,98 \text{ m}$$

#### 3.2.3.1.4. Cálculo de la frecuencia de limpieza de la laguna anaeróbica

**Datos:**

FLV= Fracción de volumen de la laguna ocupada con lodos: 0,4

VA = Volumen de la laguna anaeróbica:  $853,4 \text{ m}^3$

TAL= Tasa de acumulación de lodos: (se utiliza 0,6 con factor de seguridad)

$Q_{\max}$  = Caudal máximo ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$$n = \frac{1,000 \times FLV \times V_A}{TAL \times Q_{med} \times 365}$$

$$n = \frac{1,000 \times 0,4 \times 853,4}{0,6 \times 756 \times 365}$$

$$n = 2,06 = 2 \text{ años}$$

#### 3.2.3.1.5. Cálculo de la eficiencia de remoción

La eficiencia de remoción depende del tiempo de retención hidráulica y de la temperatura como podemos observar en la tabla 1-15 entonces se tiene:

**Datos:**

DBOA = Carga orgánica inicial en la laguna anaeróbica

E = Eficiencia de remoción: 0,70

$$DBO_R = DBO_A \times E$$

$$DBO_R = 11511,6 \text{ mg/L} \times 0,7$$

$$DBO_R = 8058.12 \text{ mg/l}$$

Entonces calculamos el nuevo DBO con el que sale de la laguna anaerobia

**Datos:**

DBOR = Carga orgánica removida por acción de los microorganismos: 8058,12 mg/l

$$DBO_E = DBO_A - DBO_R$$

$$DBO_E = \frac{11511.6 \text{ mg}}{L} - \frac{8058.12 \text{ mg}}{L}$$

$$DBO_E = 3453.48 \text{ mg/L}$$

**Datos:**

SSA = Sólidos suspendidos inicial en la laguna anaeróbica

E= Eficiencia de remoción: 0,80

$$SS_R = SS_A \times E$$

$$SS_R = 7559.61 \frac{mg}{L} \times 0,80$$

$$SS_R = 6207.69 \text{ mg/L}$$

Entonces calculamos la cantidad de sólidos suspendidos que sale de la laguna anaerobia.

**Datos:**

SS<sub>R</sub> = sólidos suspendidos removido en el tratamiento anaeróbico: 6207.69 mg/L

$$SS_E = SS_A - SS_R$$

$$SS_E = 7559.61 \frac{mg}{L} - 6207,69 \frac{mg}{L}$$

$$SS_E = 1351.92 \text{ mg/L}$$

### 3.2.3.2. Rediseño de la Laguna Facultativa

#### 3.2.3.2.1. Cálculo del caudal de diseño

$$Q_p = \frac{\text{Poblacion} \times \text{Dotacion}}{1000} \times \% \text{contribucion}$$

$$Q_p = 756 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

#### 3.2.3.2.2. Cálculo de la carga orgánica

**Datos:**

Q<sub>p</sub> = Caudal de diseño: 756 m<sup>3</sup> / día

DBOE = Concentración de la carga orgánica después de la salida de la laguna anaerobia:

3453.48 mg/L = 3,45 Kg / m<sup>3</sup>

$$C.O = Q_p \times DBO_E \times 0,0864$$

$$C.O = \frac{756m^3}{\text{dia}} \times \frac{3,45Kg}{m^3} \times 0,0864$$

$$C.O = 225,34 \frac{Kg\ DBO}{dia}$$

### 3.2.3.2.3. Cálculo de la temperatura de diseño

Se toma la temperatura del mes más frío

**Datos:**

$$T^0_{amb} = 22\ ^\circ C$$

$$T^0_{diseño} = T^0_{amb} + 1\ ^\circ C$$

$$T^0_{diseño} = 22\ ^\circ C + 1\ ^\circ C$$

$$T^0_{diseño} = 23\ ^\circ C$$

### 3.2.3.2.4. Cálculo de la carga superficial

**Datos:**

T = Temperatura de diseño del mes más frío: 23°C

$$CS = 375,4 \times 1,085^{(T-20)}$$

$$CS = 375,4 \times 1,085^{(23-20)}$$

$$CS = 479,49\ \text{gr DBO}/m^2 \times \text{dia}$$

### 3.2.3.2.5. Cálculo del área de la laguna facultativa

**Datos:**

$$C.O = \text{carga orgánica: } 225,34 \frac{Kg\ DBO}{dia}$$

$$CS = \text{carga superficial: } 479,49 \frac{gr\ DBO}{m^2 \times dia} = 0,48 \frac{Kg\ DBO}{m^2 \times dia}$$

$$A_{LF} = \frac{C.O}{CS}$$

$$A_{LF} = \frac{225,34 \frac{Kg\ DBO}{dia}}{0,48 \frac{Kg\ DBO}{m^2 \times dia}}$$

$$A_{LF} = 469,5 \text{ m}^2$$

### 3.2.3.2.6. Cálculo del ancho de la laguna

Se asume que la relación largo/ ancho de la laguna es de 2:1 entonces calculamos con la siguiente ecuación.

**Datos:**

$A_{LF}$  = área superficial de la laguna facultativa:  $469,5 \text{ m}^2$

X = relación del largo/ ancho de la laguna: 2

$$W = \sqrt{\frac{A_{LF}}{X}}$$

$$W = \sqrt{\frac{469,5 \text{ m}^2}{2}}$$

$$W = 15,32 \text{ m}$$

### 3.2.3.2.7. Cálculo del largo de la laguna facultativa

**Datos:**

W= ancho de la laguna facultativa

$$L = 2 * W$$

$$L = 2 * 15,32 \text{ m}$$

$$L = 30,64 \text{ m}$$

### 3.2.3.2.8. Profundidad de la laguna

Según criterio de Yáñez (1991, p.142) la laguna debe tener una profundidad entre 1,5-2,5, considero apropiado la siguiente profundidad

$$Z = 1,5 \text{ m}$$

### 3.2.3.2.9. Cálculo del volumen de la laguna facultativa

**Datos:**

L = largo de la laguna: 30,64 m

W= ancho de la laguna: 15,32m

Z = profundidad: 1,5 m

$$V_{LF} = W * L * Z$$

$$V_{LF} = 15,32 \text{ m} * 30,64 \text{ m} * 1,5 \text{ m}$$

$$V_{LF} = 704,11 \text{ m}^3$$

#### 3.2.3.2.10. Talud de la laguna facultativa

El talud con la que debe ser diseñada la laguna según Yáñez (1991, p.142) su rango debe estar entre las siguientes dimensiones. 1,5 -2,5, considero apropiado el siguiente talud.

$$Zp = 2 \text{ m}$$

#### 3.2.3.2.11. Cálculo del borde libre

**Datos:**

$A_{LF}$  = área superficial de la laguna facultativa:  $469,5 \text{ m}^2$

$$BL = [\log A_{LF}]^{\frac{1}{2}} - 1$$

$$BL = [\log 469,5]^{\frac{1}{2}} - 1$$

$$BL = 0,6$$

#### 3.2.3.2.12. Cálculos del volumen de lodos.

**Datos:**

$Q_P$  = caudal de diseño: 756  $\text{m}^3/\text{día}$ )

$SS_E$  = solidos suspendidos en el afluente: 1351.92 mg/L

$$V_L = 0,000156 * Q_P * SS_E$$

$$V_L = 0,000156 * 756 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 1351.92 \text{ mg/L}$$

$$V_L = 159.44 \text{ m}^3/\text{años}$$

Calculamos para un periodo de 5 años

$$V_L = 159.44 \frac{m^3}{años} * 5 años$$

$$V_L = 797.2 m^3$$

### 3.2.3.2.13. Cálculo de la altura de lodos

El área del fondo de la laguna se obtiene con la siguiente ecuación.

**Datos:**

W= ancho de la laguna facultativa: 15,32 m

L = largo de la laguna facultativa: 30,64 m

Zp = talud: 2 m

Z = profundidad de la laguna facultativa: 1,5 m

$$A_f = (W - (Z_p \times Z)) \times (L - (Z_p \times Z))$$

$$A_f = (15,32 m - (2 \times 1,5)m) \times (30,64 m - (2 \times 1,5)m)$$

$$A_f = 340,52 m^2$$

**Datos:**

Af = Área de fondo de la laguna: 340,52 m<sup>2</sup>

VL = volumen de lodos: 159,4 m<sup>3</sup>

$$Z_L = \frac{V_L}{A_f}$$

$$Z_L = \frac{159,4 m^3}{340,52 m^2}$$

$$Z_L = 0,47 m = 0,5 m$$

### 3.2.3.2.14. Cálculo del periodo de retención real

Primero lo que vamos a calcular es el tiempo de retención teórico con la ecuación

**Datos:**

$Q_d$  = caudal máximo – (caudal de evaporación + caudal de infiltración)



### 3.2.3.2.14.1. Caudal de evaporación

**Datos:**

$A_{LF}$  = área de la laguna facultativa: 469,5 m<sup>2</sup>

$\Delta hi$  = cambio del nivel de superficie del líquido: 0,3 m

$\Delta t$  = tiempo que dura la prueba de evaporación: 1 día

$$Q_e = \frac{A_{LF} * \Delta hi}{\Delta t}$$

$$Q_e = \frac{469,5m^2 * 0,3 m}{1 dia}$$

$$Q_e = \frac{140.9m^3}{dia}$$

### 3.2.3.2.14.2. Cálculo de infiltración

**Datos:**

$A_{LF}$  = área de la laguna facultativa: 469,5 m<sup>2</sup> = 0,047 ha

K = constante de infiltración: 0,2Lt/ ha. S

$$Q_{inf} = 0,2 \times A_{LF}$$

$$Q_{inf} = \frac{0,2L}{ha.s} \times 0,047 ha$$

$$Q_{inf} = 0,0094 L/s$$

$$Q_{inf} = 0,81 m^3 / dia$$

Encontrado los valores, determinamos el caudal de diseño

$$Q_d = Q_p - (Q_e + Q_{inf})$$

$$Q_d = 756 \frac{m^3}{dia} - \left( 140.9 \frac{m^3}{dia} + 0,81 \frac{m^3}{dia} \right)$$

$$Q_d = 614,34 \frac{m^3}{dia}$$

Calculamos el periodo de retención teórico con la ecuación.

**Datos:**

$V_{LF}$  = Volumen de la laguna facultativa:  $704,11 \text{ m}^3$

$Q_d$  = Caudal de diseño para la laguna facultativa:  $614,34 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

$$PR_{teorico} = \frac{V_{LF}}{Q_d}$$

$$PR_{teorico} = \frac{704,11 \text{ m}^3}{614,34 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$PR_{teorico} = 1,2 \text{ días}$$

Encontrado el periodo de retención teórico encontramos el tiempo de retención real con la ecuación.

**Datos:**

$PR_{teorico}$  = Periodo de retención teórico: 1,2 días

$F_{ch}$  = Factor de corrección hidráulico: 0,8

$$PR_{real} = PR_{teorico} \times F_{ch}$$

$$PR_{real} = 1,2 \text{ días} \times 0,8$$

$$PR_{real} = 0,96$$

**3.2.3.2.15. Cálculo de la eficiencia de remoción**

Las lagunas facultativas remueven alrededor del 75 % de materia orgánica

**Datos:**

DBOA = Carga orgánica inicial en la laguna facultativa:  $3453,48 \text{ mg/L}$

E = Eficiencia de remoción: 0,75

$$DBO_R = DBO_A \times E$$

$$DBO_R = 3453,48 \text{ mg/L} \times 0,75$$

$$DBO_R = 2590,11 \text{ mg/l}$$

Entonces calculamos el nuevo DBO con el que sale de la laguna facultativa

**Datos:**

DBOR = Carga orgánica removida por acción de los microorganismos:  $2590,11 \text{ mg/l}$

$$DBO_E = DBO_A - DBO_R$$

$$DBO_E = \frac{3453.48 \text{ mg}}{L} - \frac{2590.11 \text{ mg}}{L}$$

$$DBO_E = 863.37 \text{ mg/L}$$

### 3.2.3.3. Diseño de Humedal Artificial de Flujo Libre

Para el dimensionamiento del humedal vamos a estimar los siguientes parámetros:

#### 3.2.3.3.1. Cálculo del área superficial de la laguna en función de la remoción del DBO

##### **Datos:**

$Q_h$  = Caudal de diseño del humedal: 614,34 m<sup>3</sup>/día

$C_o$  = Concentración de DBO del afluente: 3453,48mg/L

$C_f$  = Concentración de DBO del efluente: 863,37 mg/L

$K_t$  = Constante de primer orden dependiendo la temperatura

$y$  = Profundidad del humedal: 0,6 m

$n$  = Porosidad del medio: 0,75

$$A_s = \frac{Q_h \ln\left(\frac{C_o}{C_f}\right)}{k_t * y * n}$$

Para efectuar el cálculo nos hace falta la constante y la determinamos con la ecuación.

##### **Datos:**

$K_{20}$  = valor de la reacción de primer orden a un plazo de 20 días: 0,678

$T_A$  = temperatura ambiente: 24 °C

$$k_T = k_{20} * 1,06^{(T_A - 20)^\circ\text{C}}$$

$$k_T = 0,678 * 1,06^{(24 - 20)^\circ\text{C}}$$

$$k_T = 0,86$$

Reemplazamos valores en la ecuación de área superficial

$$A_s = \frac{614,34 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \ln\left(\frac{3453,48}{863,37}\right)}{0,86 * 0,6 \text{ m} * 0,75}$$

$$A_s = 2200.66 \text{ m}^2$$

### 3.2.3.3.2. Cálculo del ancho del humedal

Consideramos que la relación largo/ancho para el humedal sea de 3:1 entonces calculamos el ancho con la ecuación.

#### Datos:

$L_H$  = Largo del humedal: L/3 del ancho

$A_s$  = Area superficial del humedal: 2200.66  $m^2$

$$W_h = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

$$W_h = \sqrt{\frac{2200.66 \text{ m}^2}{3}}$$

$$W_h = 27,08 \text{ m}$$

### 3.2.3.3.3. Cálculo del largo del humedal

#### Datos:

$W_h$  = Ancho del humedal: 27,08 m

$$L_H = 3 * W_h$$

$$L_H = 3 * 27,08 \text{ m}$$

$$L_H = 81,24 \text{ m}$$

### 3.2.3.3.4. Cálculo del volumen del humedal

#### Datos:

$W_h$  = ancho del humedal de flujo libre : 27,08 m

$L_H$  = largo del humedal de flujo libre : 81,24 m

y = profundidad del humedal de flujo libre: 0,6 m

$$V_{HFL} = L_H * W_h * y$$

$$V_{HFL} = 81,24 \text{ m} * 27,08 \text{ m} * 0,6 \text{ m}$$

$$V_{HFL} = 1319.99 \text{ m}^3$$

### 3.2.3.3.5. Cálculo del tiempo de retención hidráulica en el humedal

**Datos:**

$W_h$  = Ancho del humedal: 27,08 m

$L_H$  = Largo del humedal: 81,24 m

y = profundidad del humedal de flujo libre: 0,6 m

n = porosidad del medio: 0,75

$$TRH_h = \frac{L * W * y * n}{Q}$$

$$TRH_h = \frac{81,24 \text{ m} * 27,08 \text{ m} * 0,6 \text{ m} * 0,75}{614,34 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$TRH_h = 1.61 \text{ dias}$$

### 3.2.3.4. Diseño de filtro rápido de arena

Para el dimensionamiento del filtro rápido de arena vamos a estimar los siguientes parámetros:

#### 3.2.3.4.1. Cálculo del número de filtro

El número de filtro se calcula con la ecuación

$$Q_H = \text{Caudal: } 614,34 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$n_f = 0,044 \sqrt{Q_H}$$

$$n_f = 0,044 \sqrt{614,34 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$n_f = 1,09 = 1$$

#### 3.2.3.4.2. Cálculo del área del filtro

El área del filtro se obtiene a partir de la ecuación.

**Datos:**

Q = Caudal del filtro: 614,34 m<sup>3</sup>/día

t<sub>f</sub> = Tasa de filtración : 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día

$$A_f = \frac{Q}{t_f}$$

$$A_f = \frac{614,34 \text{ m}^3/\text{día}}{120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$A_f = 5,12 \text{ m}^2$$

#### 3.2.3.4.3. Cálculo del coeficiente del mínimo costo

El coeficiente de mínimo costo se halla con la ecuación.

**Datos:**

$n_f$  = Número de filtro: 1

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f + 1}$$

$$K_c = \frac{2 \times 1}{1 + 1}$$

$$K_c = 1$$

#### 3.2.3.4.4. Cálculo de la longitud del filtro

Para determinar cuál será la longitud del filtro se utiliza la ecuación

**Datos:**

$A_f$  = Área del filtro:  $5,12 \text{ m}^2$

$K_c$  = Coeficiente del mínimo costo: 1

$$L_f = \sqrt{A_f * K_c}$$

$$L_f = \sqrt{5,12 \text{ m}^2 * 1}$$

$$L_f = 2,26 \text{ m}$$

#### 3.2.3.4.5. Cálculo del ancho del filtro

Para determinar cuál será el ancho del filtro se utiliza la ecuación.

**Datos:**

$A_f$  = Area del filtro:  $5,12 \text{ m}^2$

$K_c$  = Coeficiente del minino costo: 1

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}}$$

$$a_f = \sqrt{\frac{5,12 \text{ m}^2}{1}}$$

$$a_f = 2,26 \text{ m}$$

### 3.2.3.4.6. Composición del lecho filtrante

#### 3.2.3.4.6.1. Cálculo de la altura del filtro

Para calcular la altura del filtro se utiliza la ecuación.

**Datos:**

$f_s$  = Factor de seguridad: 10%

$C_a$  = Altura del agua sobre el lecho: 1,25 m

$L_a$  = Altura del lecho filtrante: 0,7 m

$C_s$  = Altura de capa de soporte de grava: 0,38 m

$F_c$  = Altura de drenaje: 0,18 m

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + F_c)$$

$$Z_f = 1,10(1,25 \text{ m} + 0,7 \text{ m} + 0,38 \text{ m} + 0,18 \text{ m})$$

$$Z_f = 2,8 \text{ m}$$

### 3.2.3.4.7. Sistema de drenaje

#### 3.2.3.4.7.1. Cálculo del área de los orificios laterales

**Datos:**

$D_o$  = Diámetro del orificio: 11,15 mm = 0,01115 m

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi(0,01115\text{m})^2}{4}$$

$$A_o = 0,000098 \text{ m}^2$$

$$A_o = 0,98 \text{ cm}^2$$

#### 3.2.3.4.7.2. Cálculo del caudal de ingreso a cada orificio

**Datos:**

$A_o$  = Area de los orificios laterales:  $0,98 \text{ cm}^2$

$v_o$  = Velocidad en el orificio: 4 m/s

$$Q_o = A_o * v_o$$

$$Q_o = 0,000098 \text{ m}^2 * 4 \text{ m/s}$$

$$Q_o = 0,00039 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 3.2.3.4.7.3. Cálculo del número de laterales

**Datos:**

$a_f$  = Ancho del filtro: 2,26 m

$e_L$  = Separación entre laterales: 1,5 m

$$N_L = 2 \frac{a_f}{e_L}$$

$$N_L = 2 \frac{2,26 \text{ m}}{1,5 \text{ m}}$$

$$N_L = 3,01$$

$$N_L = 3$$

#### 3.2.3.4.8. Diámetros de la tubería del filtro

##### 3.2.3.4.8.1. Cálculo del diámetro a la entrada del filtro

**Datos:**

$Q$  = Caudal de diseño:  $614,34 \text{ m}^3/\text{día} = 0,0071 \text{ m}^3/\text{s}$



$V_e$  = Velocidad de agua a través de la tubería de entrada: 7 m/s

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4 * 0,0071 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 7 \text{ m/s}}}$$

$$\phi_e = 0,036 \text{ m}$$

#### 3.2.3.4.8.2. Cálculo del diámetro a la salida del filtro

**Datos:**

$Q$  = Caudal de diseño: 614,34 m<sup>3</sup>/día = 0,0071 m<sup>3</sup>/s

$V_s$  = Velocidad de agua a través de la tubería de entrada: 7 m/s

$$\phi_s = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}}$$

$$\phi_s = \sqrt{\frac{4 * 0,0071 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1,5 \text{ m/s}}}$$

$$\phi_s = 0,078 \text{ m}$$

#### 3.2.3.4.9. Sistema de lavado del filtro

##### 3.2.3.4.9.1. Cálculo de la velocidad óptima del lavado del filtro

**Datos:**

$D_{60}$  = Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad, o percentil 60 del análisis granulométrico, (mm)

$CU$  = Coeficiente de la uniformidad de la arena: 1,5 mm

$TE$  = Tamaño efectivo de la arena: 0,5 mm

$$v_{lav} = D_{60} = CU * TE$$

$$v_{lav} = CU * TE$$

$$v_{lav} = 1,5 * 0,5$$

$$v_{lav} = 0,75 \text{ m/min}$$

### 3.2.3.4.9.2. Cálculo de la cantidad requerida de agua para el lavado del filtro

#### **Datos:**

$v_{lav}$  = Velocidad optima de lavado del filtro: 0,75 m/min

$A_f$  = Área del filtro: 5,12 m<sup>2</sup>

$t_l$  = Tiempo óptimo de lavado: 10 min

$$V_{lf} = v_{lav} * A_f * t_l$$

$$V_{lf} = 0,75 \text{ m/min} * 5,12 \text{ m}^2 * 5 \text{ min}$$

$$V_{lf} = 0,75 \text{ m/min} * 5,12 \text{ m}^2 * 10 \text{ min}$$

$$V_{lf} = 38,4 \text{ m}^3$$

### 3.2.4. Tratamiento Terciario

#### 3.2.4.1. Rediseño de la laguna de maduración

##### 3.2.4.1.1. Cálculo del volumen de la laguna de maduración

Para calcular cual es la capacidad de la laguna se utiliza la siguiente ecuación:

#### **Datos:**

$TRH_{LM}$  = Tiempo de retención hidráulico: 5 días

$Q_p$  = Caudal: 614,34 m<sup>3</sup>/ día

$$V_{LM} = TRH_{LM} * Q_p$$

$$V_{LM} = 5 \text{ dias} * 614,34 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$V_{LM} = 3071,7 \text{ m}^3$$

##### 3.2.4.1.2. Cálculo del ancho de la laguna de maduración

Para determinar que ancho va a tener la laguna consideramos una relación de L/B de 5:1 y utilizamos la ecuación:

**Datos:**

$V_{LM}$  = Volumen de la laguna de maduración:  $3071,7 \text{ m}^3$

L = Largo de la laguna de maduración:  $L/5 = B$

h = Profundidad de la laguna de maduración: 1,2 m

$$B = \frac{V_{LM}}{L * h}$$

$$B = \sqrt{\frac{3071,7 \text{ m}^3}{5 * 1,2 \text{ m}}}$$

$$B = 22,63 \text{ m}$$

**3.2.4.1.3. Cálculo del largo de la laguna de maduración**

Se utiliza la ecuación:

**Datos:**

B = Ancho de la laguna de maduración: 22,63 m

$$L = 5 * B$$

$$L = 5 * 22,63 \text{ m}$$

$$L = 113,15 \text{ m}$$

**3.2.4.1.4. Cálculo del número de dispersión**

Para determinar cuál es el número de dispersión se utiliza la ecuación.

**Datos:**

L = Largo de la laguna de maduración: 113,15 m

B = Ancho de la laguna de maduración: 22,63 m

$$d = \frac{\frac{L}{B}}{-0,26118 + 0,25392 * \left(\frac{L}{B}\right) + 1,01368 * \left(\frac{L}{B}\right)^2}$$

$$d = \frac{\frac{113,15 \text{ m}}{22,63 \text{ m}}}{-0,26118 + 0,25392 * \left(\frac{113,15 \text{ m}}{22,63 \text{ m}}\right) + 1,01368 * \left(\frac{113,15 \text{ m}}{22,63 \text{ m}}\right)^2}$$

$$d = 0,19$$

#### 3.2.4.1.5. Cálculo del coeficiente de la reducción bacteriana

Para determinar el coeficiente de la reducción bacteriana se utiliza la ecuación.

##### **Datos:**

T = Temperatura: 24 0C

$$K_b = 1,1 * 1,07^{(T-20)}$$

$$K_b = 1,1 * 1,07^{(24-20)}$$

$$K_b = 1,44$$

#### 3.2.4.1.6. Cálculo del coeficiente a

Para determinar este coeficiente se utiliza a ecuación:

##### **Datos:**

$K_b$  = Coeficiente de la reducción bacteriana: 1,44

$TRH_{LM}$  = Tiempo de retención hidráulico: 5 días

d = Número de dispersión: 0,19

$$a = \sqrt{1 + 4K_b * TRH_{LM} * d}$$

$$a = \sqrt{1 + 4(1,44) * 5 \text{ días} * 0,19}$$

$$a = 2,54$$

#### 3.2.4.1.7. Cálculo de la cantidad de coliformes fecales

Para determinar a qué cantidad queda reducido los coliformes fecales se utiliza la ecuación.

##### **Datos:**

a = Coeficiente: 2,54

d = Número de dispersión: 0,19

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4a * e^{(1-a)/2d}}{(1 + a)^2}$$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4(2,54) * e^{(1-2,54)/2(0,19)}}{(1 + 2,54)^2}$$

$$\frac{N}{N_0} = 0,014$$

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.3.1. *Análisis, interpretación y discusión de resultados*

El agua residual fue recogida en las instalaciones de la empresa para un análisis preliminar se tomó dos muestras compuestas, tanto a la entrada como a la salida del tratamiento. El agua residual posee sólidos en suspensión, un olor desagradable y un color amarillento, dándonos a entender que su sistema actual tiene un bajo rendimiento; sin embargo se ha procurado que por medio de una serie de tratamientos biológicos el agua mejore, disminuyendo en un 97% su grado de contaminación orgánica como microbiológica.

Se realizó la toma de muestras en la mañana y en la tarde para obtener una muestra compuesta y sea más representativa; luego fue llevada al Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias en la ESPOCH donde se efectuó los primeros análisis físico-químicos y se mandó a realizar al laboratorio de la UNACH los parámetros microbiológicos.

Los valores obtenidos fueron comparados con los límites permisibles de la Norma TULSMA, Recurso Agua, Libro VI cuyos parámetros que no están dentro de la Norma son: DBO5 2700 mg/L (Limite:50 mg/L) DQO 4500 mg/L (Limite:100 mg/L), Aceites y Grasas 188 mg/L (Limite:30 mg/L), Sólidos Totales 6184 mg/L (Limite: 1600 mg/L), Sólidos Suspendedos 495 mg/L (Limite:80 mg/L), Nitrógeno Amoniacal 125 mg/L (Limite:30 mg/L), y Coliformes Fecales 4187,5 mg/L (Limite: Remoción 99%) resultados que presenta la laguna de maduración.

Los parámetros físicos como son los sólidos totales y conductividad, en vez de presentar una reducción con el tratamiento, se están concentrando en la laguna de maduración, debido a que la eficiencia de remoción de la planta de tratamiento ha disminuido a través de los años y fueron dimensionadas para un caudal menor.

La razón por la cual existe coliformes fecales en el agua residual obtenida en el proceso de extracción de palma africana, se debe a la infiltración de aguas provenientes de fosas sépticas situadas cerca de lugar de captación de la misma.

Al realizar el tratamiento con la planta totora en un tiempo de dos días, se comprobó que los tratamientos que se deberían implementar son: humedal artificial de flujo libre y filtración.

El humedal actúa por medio de fitodepuración un sistema económico y sustentable:

- La planta “Totora” remueve la carga orgánica por rizofiltración que por medio de las raíces eliminan estos contaminantes.
- El filtro rápido de arena con una capa de grava de 0,38 m y un lecho filtrante de 0,7 m, ayuda a retener los sólidos en suspensión que se escapan del humedal, mejorando su color y reduciendo la turbiedad a 210 UNT.

Por acción de los tratamientos seleccionados, los parámetros que se encontraban fuera de la Norma ahora se hallan dentro de los límites establecidos por el TULSMA en la tabla de descarga de efluentes a un cuerpo receptor: Agua dulce. Teniendo de esta manera: DBO 21 mg/L (Limite:50 mg/L) DQO 41 mg/L (Limite:100 mg/L), Aceites y Grasas <2 mg/L (Limite:30 mg/L), Sólidos Totales 176 mg/L (Limite: 1600 mg/L), Sólidos Suspendidos 13,33 mg/L (Limite:80 mg/L), Nitrógeno Amónico 20 mg/L (Limite:30 mg/L), y Coliformes Fecales 50 mg/L (Limite: Remoción 99%).

Con los tratamientos descritos logramos el objetivo, en garantizar la disminución de la materia orgánica y agentes patógenos para su disposición final en el “Río Blanco” o puede servir también para riego de las palmas africanas.

### 3.3.2. Presentación de resultados

#### 3.3.2.1. Resultado del tratamiento

**Tabla 3-2:** Resultados Físicos-Químicos después del tratamiento con Humedal Flujo Libre

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
pH	-	6,85	5-9
Turbiedad	NTU	85	-
DBO	mg/L	25,90	50
DQO	mg/L	53,80	100
Sólidos Suspendidos	mg/L	337,98	100

*Fuente:* Laboratorios de análisis técnicos-ESPOCH

**Tabla 3-3.** Resultados Fisicos-Quimicos después del tratamiento con filtro rápido de arena

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
Ph	-	6,85	5-9
Turbiedad	NTU	85	-
Conductividad	μSiems/cm	156	-
DBO	mg/L	25,90	50
DQO	mg/L	53,80	100
Solidos Suspendidos	mg/L	337,98	100
Solidos Totales	mg/L	176	1600
Fosfatos	mg/L	0,31	10
Solidos sedimentables	mg/L	<0,1	1,6
Solidos totales disueltos	mg/L	182	--
Nitrógeno amoniacal	mg/L	20	30

*Fuente:* Laboratorio de análisis técnicos –ESPOCH

**Tabla 3-4.** Resultados Microbiológicos después del tratamiento con el filtro de arena

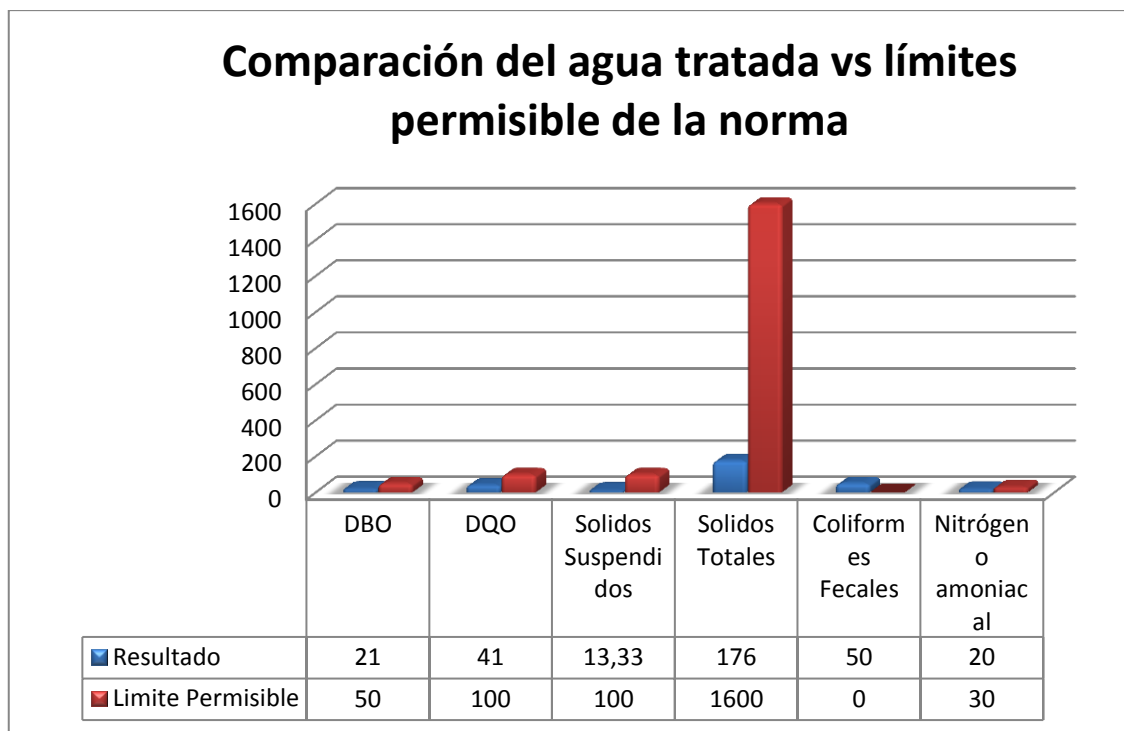
Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
Coliformes Fecales	UCF/100 ml	50	Remoción del 99%

*Fuente:* Laboratorios de servicios ambientales-UNACH

**Tabla 3-5:** Cumplimientos de Parámetros de Análisis

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
DBO	mg/L	21	50
DQO	mg/L	41	100
Solidos Suspendidos	mg/L	13,33	100
Solidos Totales	mg/L	176	1600
Coliformes Fecales	UCF/100 ml	50	Remoción del 99%
Nitrógeno amoniacal	mg/L	20	30

*Fuente:* Lalangui, D., 2015



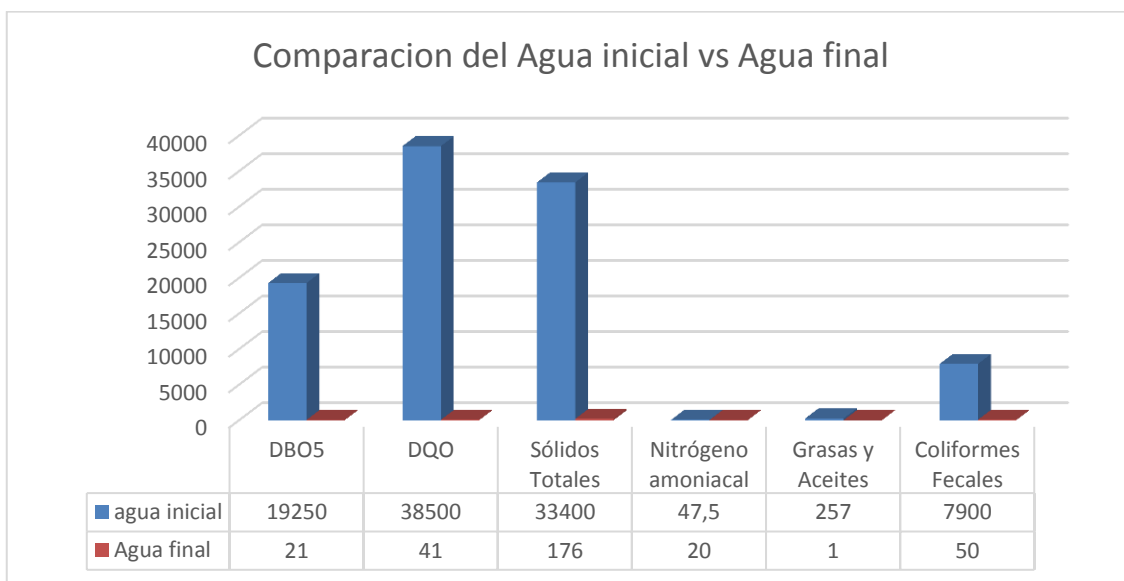
**Grafica 3-1.** Comparación del agua tratada vs limites permisible de la norma  
*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015

**Tabla 3-6:** Comparación de Agua Inicial y Agua Tratada

PARAMETRO	RESULTADO INICIAL (Agua Cruda)	RESULTADO FINAL (Agua Tratada)
DBO <sub>5</sub>	19250	21
DQO	38500	41
Sólidos suspendidos	20100	13,33
Sólidos Totales	33400	176
Nitrógeno amoniacal	47,5	20
Grasas y Aceites	257	<2
Coliformes Fecales	7900	50

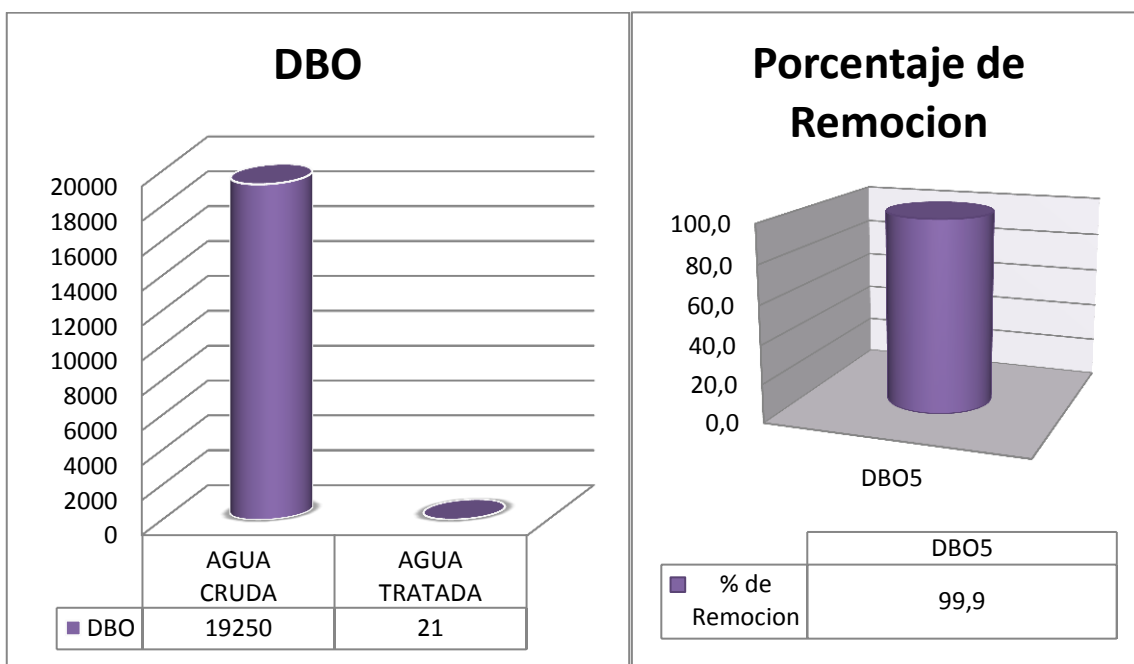
*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015





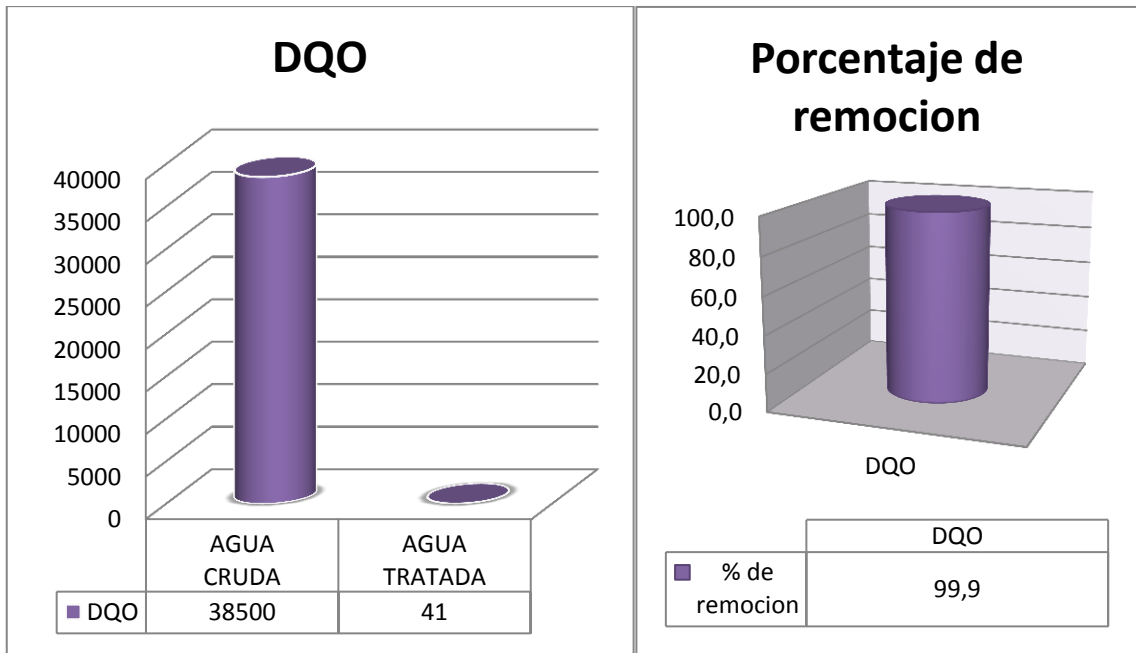
**Grafica 3-2.** Comparación del Agua inicial vs Agua final

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015



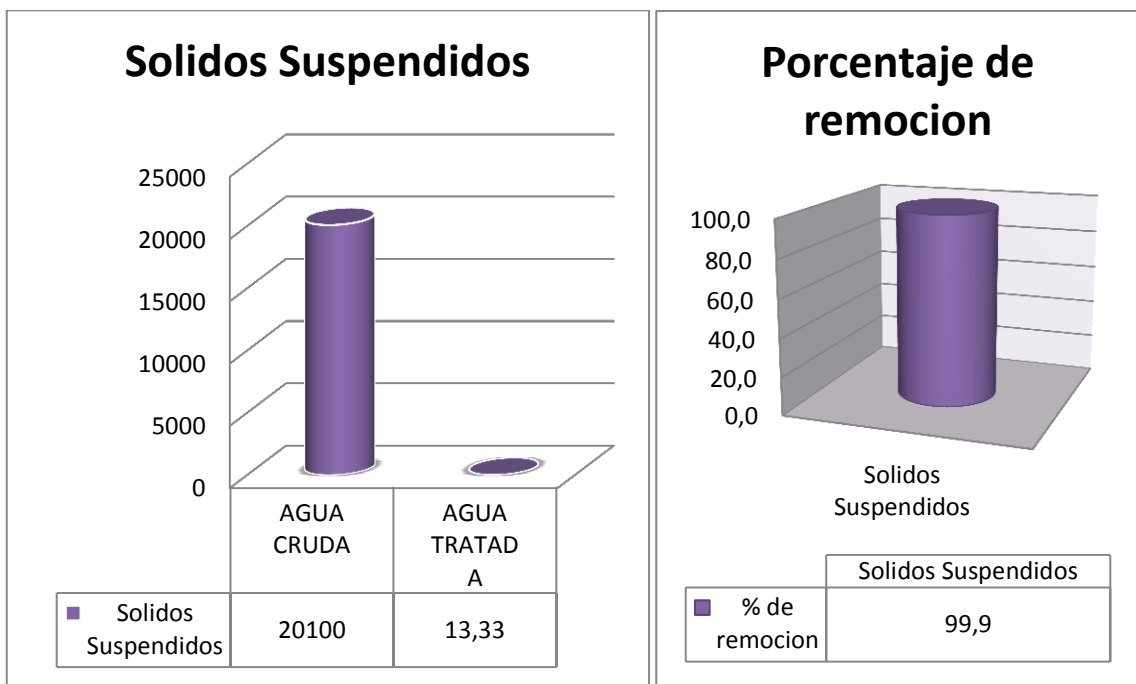
**Grafica 3-3.** Porcentaje de remoción de DBO5

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015



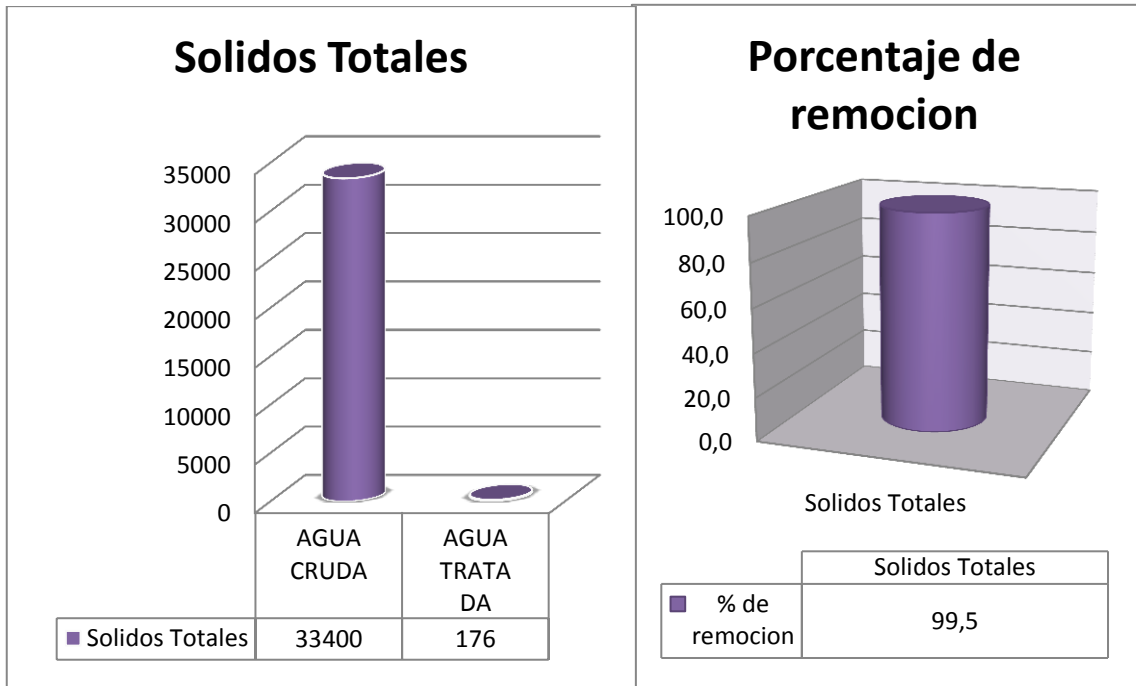
**Grafica 3-4.** Porcentaje de remoción de DQO

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015



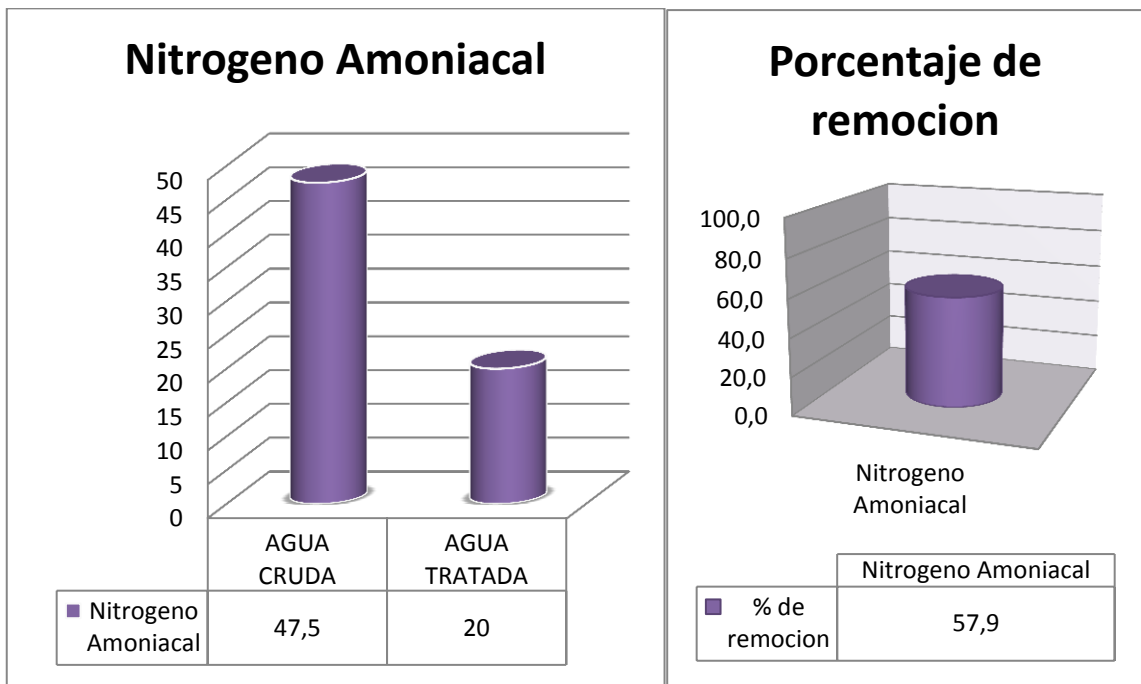
**Grafica 3-5.** Porcentaje de remoción de Solidos Suspendidos

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015



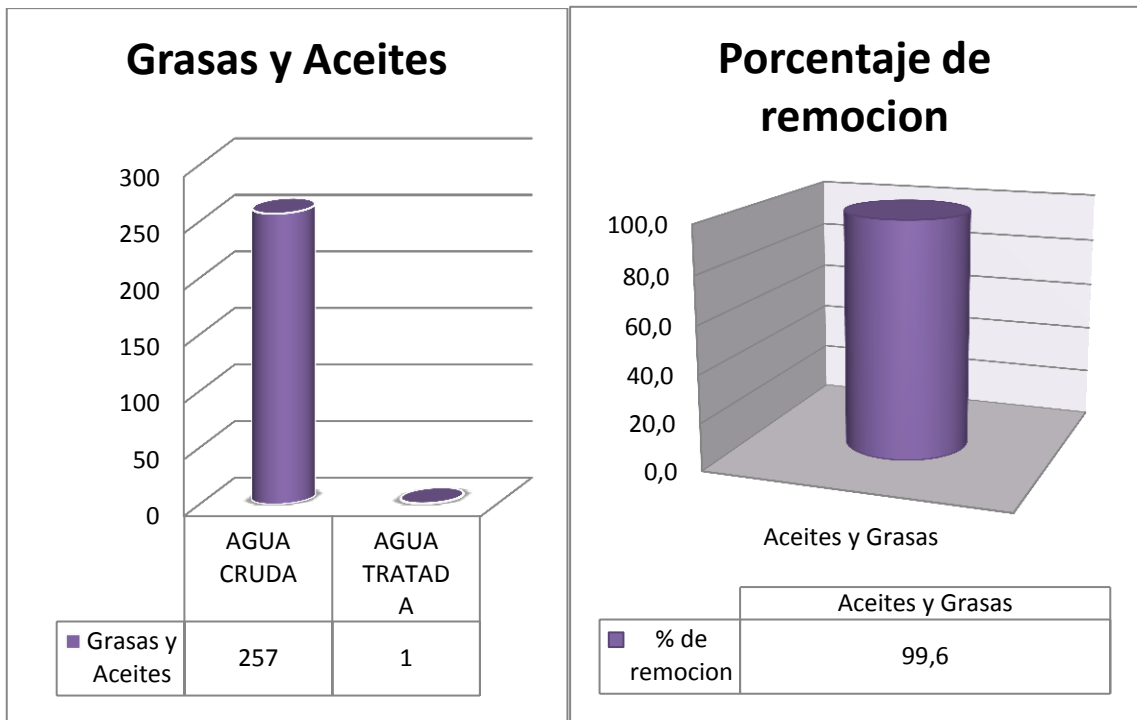
**Grafica 3-6.** Porcentaje de remoción de Solidos Totales

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015



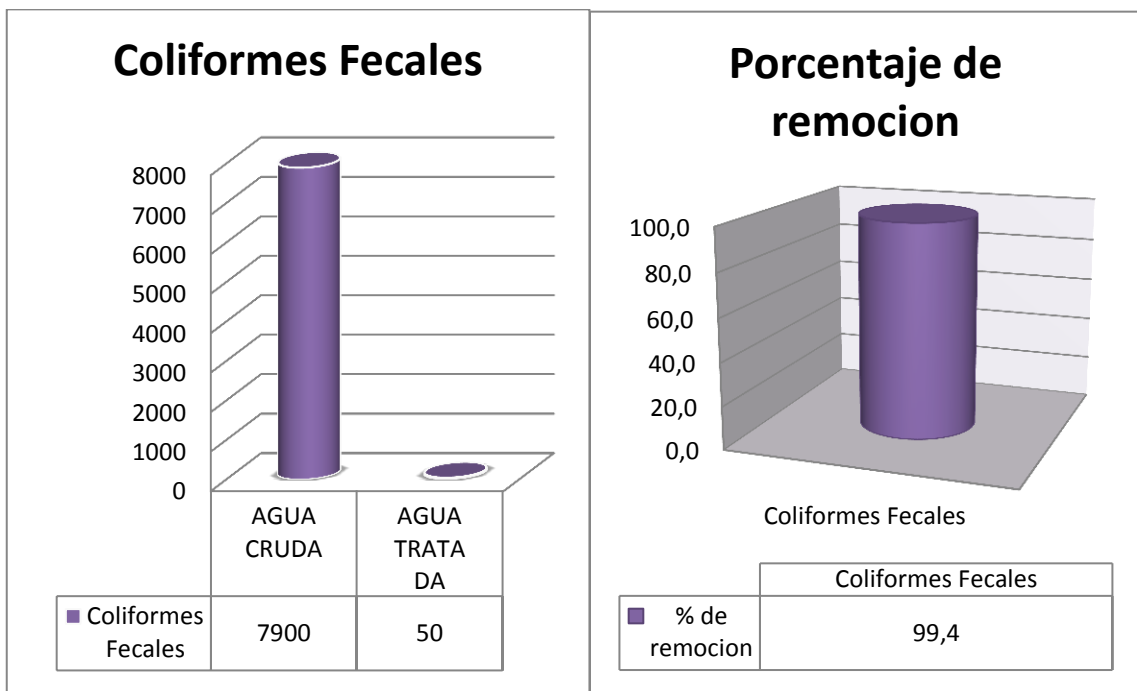
**Grafica 3-7.** Porcentaje de remoción de Nitrógeno Amoniacal

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015



**Grafica 3-8.** Porcentaje de remoción de Grasas y Aceites

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015



**Grafica 3-9.** Porcentaje de remoción de Coliformes Fecales

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015

### 3.3.3. Resultados del rediseño

**Tabla 3-7.** Resultado de Caudal Máximo

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Capacidad de procesamiento de fruta	FP	42	Ton RFF/H
Efluente generado en el proceso de extracción	EG	0,9	$m^3$
Caudal máximo	Qmax	756	$m^3/dia$

*Elaborado por:* Lalangui, D., 2015

#### 3.3.3.1. Comparación del rediseño del canal de entrada y del sistema de rejilla

**Tabla 3-8.** Comparación del rediseño del canal de entrada y del sistema de rejillas.

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
<b>CANAL DE ENTRADA</b>					
Caudal máximo	$Q_{max}$	$m^3/dia$	390.72	756	365,28
Velocidad de flujo	V	m/s	0,47		
Longitud del canal	$L_i$	m	40		
Área transversal	$A_L$	$m^2$	0,05	0,21	0,16
Altura total	H	m	0,2	0,5	0,2
Ancho	B	m	0,5	0,7	0,2
Borde libre	$h_0$	m	0,1	0,2	0,1
<b>REJILLAS FINA</b>					
Área libre entre barra	AL	$m^2$	0,0095	0,018	0,0085
Área sección transversal del flujo	$A_f$	$m^2$	0,024	0,042	0,018
Separación entre barrotes	A	m	0,018	0,019	0,001
Espesor de los barrotes	T	m	0,012	0,014	0,002
Suma separación entre barra	Bg	m	0,30	0,41	0,11
Numero de barrote	$N^0$	adimensional	17	21	4
Longitud sumergida	$L_s$	m	0,027	0,038	0,011
% de remoción	R	%	50	90	40

Perdida de carga	$h_c$	m	0,018	0,00932	0,0087
Ángulo de inclinación con respecto a la horizontal	A	Grado	45		

*Elaborado por:* Lalangui, D.,2015

### 3.3.3.2. Comparación del rediseño de la trampa de grasa

**Tabla 3-9.** Comparación del rediseño de la trampa de grasa

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
<b>DIMENSIONES</b>					
Caudal máximo	$Q_{TG}$	$m^3/dia$	390.72	756	365,28
Volumen de la trampa de grasa	$V_{TG}$	$m^2$	8,10	9,12	1,02
Largo	L	m	1,5	1,6	0,1
ancho	B	M	2,7	2,85	0,15
profundidad	$h_0$	M	2	2	0
Tiempo	TRH	min	30	17,37	12,63
% de remoción	Rg	%	60	95	35

*Elaborado por:* Lalangui, D.,2015

### 3.3.3.3. Comparación del rediseño de la laguna de enfriamiento-sedimentación

**Tabla 3-10:** Comparación del rediseño de la laguna de enfriamiento-sedimentación

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
<b>LAGUNA DE ENFRIAMIENTO-SEDIMENTACION</b>					
Caudal máximo	$Q_{max}$	$m^3/dia$	390.72	756	365,28
Área superficial	$A_S$	$m^2$	16,28	31,4	15,12
Profundidad	$h_{LE}$	M	3	3,6	0,6
Largo	$L_{le}$	M	5,8	10	4,2
Ancho	$a_{LE}$	m	2,9	3,24	0,34

volumen	$V_{LE}$	$m^3$	50,46	116,64	66,18
Tiempo de retención hidráulica	$TRH$	H	3,1	3,7	0,6
<b>TASA DE REMOCIÓN</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5	%	35,75	40,2	4,45
Sólidos suspendidos	SST	%	55,2	70	14,9
<b>BALANCE DE ENERGÍA</b>					
Transferencia de calor por convección	$H$	W	74888	149040	74152
Tiempo de enfriamiento	TD	H	8	4	4

Elaborado por: Lalangui, D., 2015

### 3.3.3.4. Comparación del rediseño de la laguna anaerobia

**Tabla 3-11.** Comparación del rediseño de la laguna anaerobia

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
<b>LAGUNA ANAEROBIA</b>					
Caudal máximo	$Q_{max}$	$m^3/dia$	390,72	756	365,28
Volumen	$V_A$	$m^3$	499,69	966,8	467,11
profundidad	$h_{LE}$	M	3,5	4	0,5
Largo	$L_{le}$	M	16,9	21,98	5,08
Ancho	$a_{LE}$	M	8,45	10,99	2,54
Tiempo de retención hidráulica	TRH	H	28,48	31,68	3,2
<b>TASA DE REMOCIÓN</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5	%	50	70	4,45
Sólidos suspendidos	SST	%	50	80	7,19

LIMPIEZA					
Frecuencia de limpieza de la laguna	$n$	Años	2	2	0

Elaborado por: Lalangui, D., 2015

### 3.3.3.5. Comparación del rediseño de la laguna facultativa

**Tabla 3-12.** Comparación del rediseño de la laguna facultativa

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
<b>LAGUNA FACULTATIVA</b>					
Caudal diseño	$Q_{max}$	$m^3/dia$	390,72	756	365,28
Volumen	$V_A$	$m^3$	290,92	704,11	413,19
profundidad	$h_{LE}$	m	1,2	1,5	0,3
Largo	$L_{le}$	m	22,02	30,64	8,62
Ancho	$a_{LE}$	m	11,01	15,32	4,31
Carga orgánica	C.O	$\frac{Kg\ DBO}{dia}$	116,47	225,34	108,87
Temperatura de diseño de la laguna	$T^0\ diseño$	°C	23	23	0
Carga superficial	CS	$\frac{Kg\ DBO}{m^2 \times dia}$	0,48	0,48	0
Área superficial de la laguna	$A_{LF}$	$m^2$	242,65	469,5	226,85
Talud	$Zp$	m	1,5	2	0,5
Borde libre	$BL$	m	0,54	0,6	0,06
Volumen de lodos(anual)	$V_L$	$m^3$	82,40	159,44	77,04
Área del fondo de la laguna	$A_f$	$m^2$	186,23	340,52	154,29
Altura de lodos	$Z_L$	m	0,4	0,5	0,1
Periodo de retención teórico	$PR_{teorico}$	día	0,91	1,2	0,29
Periodo de retención real	$PR_{real}$	día	0,72	0,96	0,24
<b>CAUDALES</b>					



Caudal de diseño	$Q_d$	$\frac{m^3}{dia}$	317,5	614,34	296,84
Caudal de evaporación	$Q_e$	$\frac{m^3}{dia}$	72,80	140,9	68,1
Caudal de infiltración	$Q_{inf}$	$\frac{m^3}{dia}$	0,42	0,81	0,39
<b>TASA DE REMOCIÓN</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno	$DBO_5$	%	60	80	15

*Elaborado por:* Lalangui,D.,2015

### 3.3.3.6. Implementación del humedal artificial

**Tabla 3-13.** Implementación del humedal artificial

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	VALOR
<b>HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE</b>			
Caudal de diseño	$Q_d$	$\frac{m^3}{dia}$	614,34
Área superficial	$A_s$	$m^2$	2200,66
Constante de reacción de flujo pistón	$k_T$	adimensional	0,86
Ancho	$W_h$	M	27,08
Largo	$L_H$	M	81,24
Profundidad	Y	M	0,6
Volumen	$V_{HFL}$	$m^3$	1319,99
Tiempo de retención hidráulica	$TRH_h$	Días	1,61
Porosidad del humedal	N	%	75
Pendiente	S	Adimensional	0,0005
% de remoción	Rh	%	99

*Elaborado por:* Lalangui,D.,2015

### 3.3.3.7. Implementación del filtro rápido de arena

**Tabla 3-14.** Implementación del filtro rápido de arena

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	VALOR
<b>FILTRO RÁPIDO DE ARENA</b>			
Caudal de diseño	$Q_d$	$\frac{m^3}{dia}$	614,34
Numero de filtro	$n_f$	Adimensional	1
Área del filtro	$A_f$	$m^2$	5,12
Coefficiente mínimo	$K_c$	Adimensional	1
Longitud	$L_f$	m	2,26
Ancho	$a_f$	m	2,26
% de remoción	Rf	%	98
<b>COMPOSICIÓN DEL LECHO FILTRANTE</b>			
Factor de seguridad	Fs	%	10
Altura del agua sobre el lecho	Ca	Adimensional	1,25
Altura del lecho filtrante	La	m	0,7
Altura de capa de soporte de grava	Cs	m	0,38
Altura de drenaje	Fc	m	0,18
Altura del filtro	$Z_f$	m	2,8
<b>SISTEMA DE DRENAJE</b>			
Área de los orificios laterales	$A_o$	$cm^2$	0,98
Caudal Inicio en orificio	$Q_o$	$\frac{m^3}{dia}$	0,00039
Numero de laterales	$N_L$	Adimensional	3
<b>DIÁMETROS DE LA TUBERÍA</b>			
Diámetro a la entrada	$\emptyset_e$	m	0,036
Diámetro a la salida	$\emptyset_s$	m	0,078
<b>SISTEMA DE LAVADO DEL FILTRO</b>			
Velocidad de lavado	$v_{lav}$	m/min	0,75
Cantidad requerida de agua para el lavado	$V_{lf}$	$m^3$	38,4

Elaborado por: Lalangui, D., 2015

3.3.3.8. Comparación del rediseño de la laguna de maduración

**Tabla 3-15.** Comparación del rediseño de la laguna de maduración

DETALLE	ABREVIATURA	UNIDAD	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
<b>LAGUNA DE MADURACION</b>					
Caudal diseño	$Q_d$	$m^3/dia$	317,5	614,34	365,28
Área superficial	$A_S$	$m^2$	114,73	2560,58	2445,85
Profundidad	$h_{LE}$	m	0,8	1,2	0,4
Largo	$L_{le}$	m	59,76	113,15	53,39
Ancho	$a_{LE}$	m	19,92	22,63	2,71
Volumen	$V_{LM}$	$m^3$	952,5	3071,7	2119,2
Tiempo de retención hidráulica	$TRH_{LM}$	días	3	5	2
<b>TASA DE REDUCCIÓN BACTERIANA</b>					
Coefficiente de la reducción bacteriana	$K_b$	adimensional	1,44	1,44	0
Coefficiente a	A	adimensional	2,52	2,54	0,02
Número de dispersión	$d$	adimensional	0,31	0,19	0,12
Cantidad de coliformes fecales	$\frac{N}{N_0}$	adimensional	0,070	0,014	0,056
% de remoción	Rm	%	50	98	48

Elaborado por: Lalangui, D., 2015

**Tabla 3-16.** Comparación del % de eficiencia de remoción del diseño con el rediseño.

<b>PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCION</b>		
Detalle	Diseño	Rediseño
Canal y Rejilla	50	90
Trampa de grasa	60	95
Laguna de enfriamiento-sedimentación	55,2	70

Laguna anaeróbica	50	80
Laguna facultativa	60	85
Humedal de flujo libre	No implementado	99
Filtro rápido de arena	No implementado	98
Laguna de maduración	50	98
Total % de remoción	54	89,4

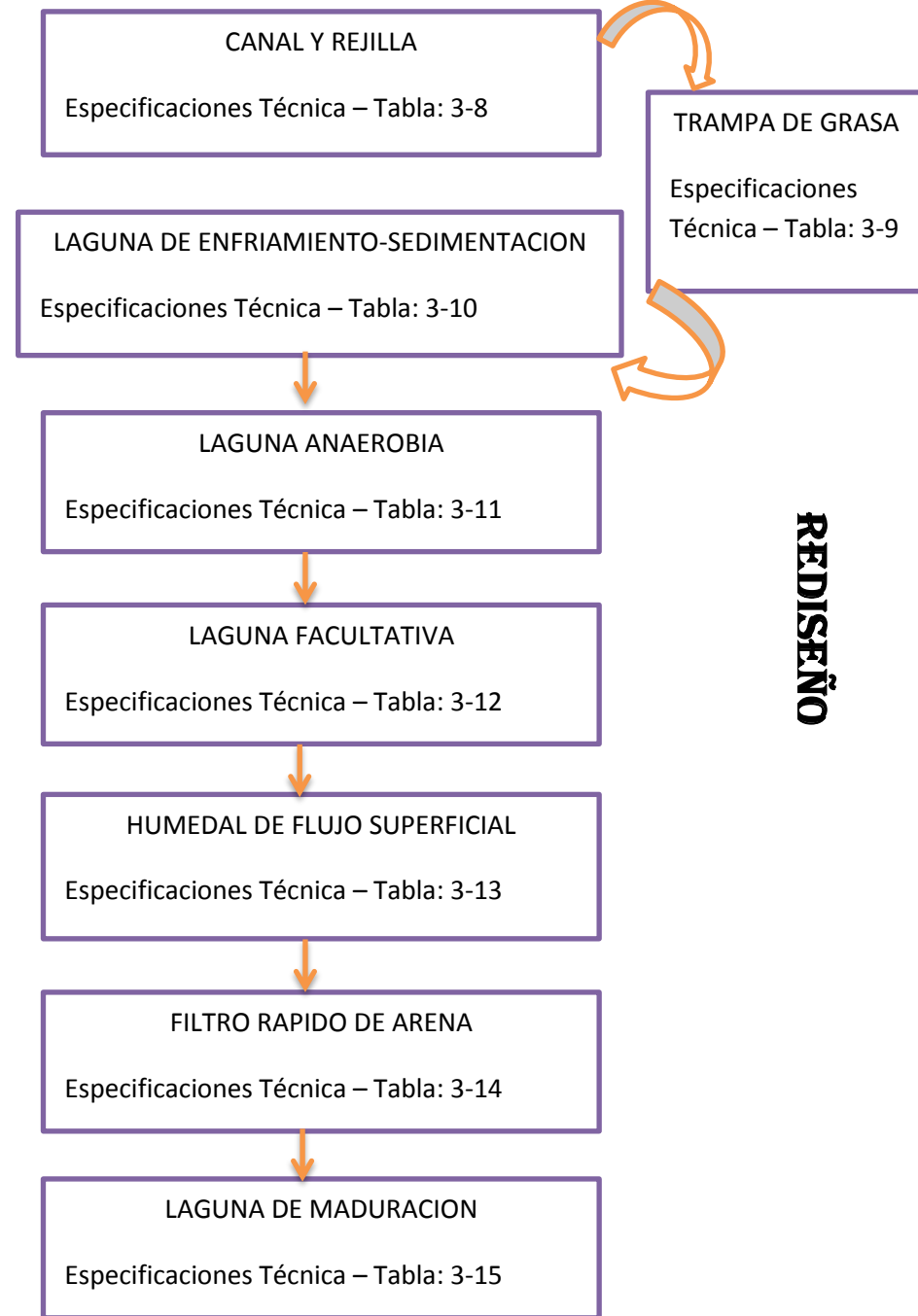
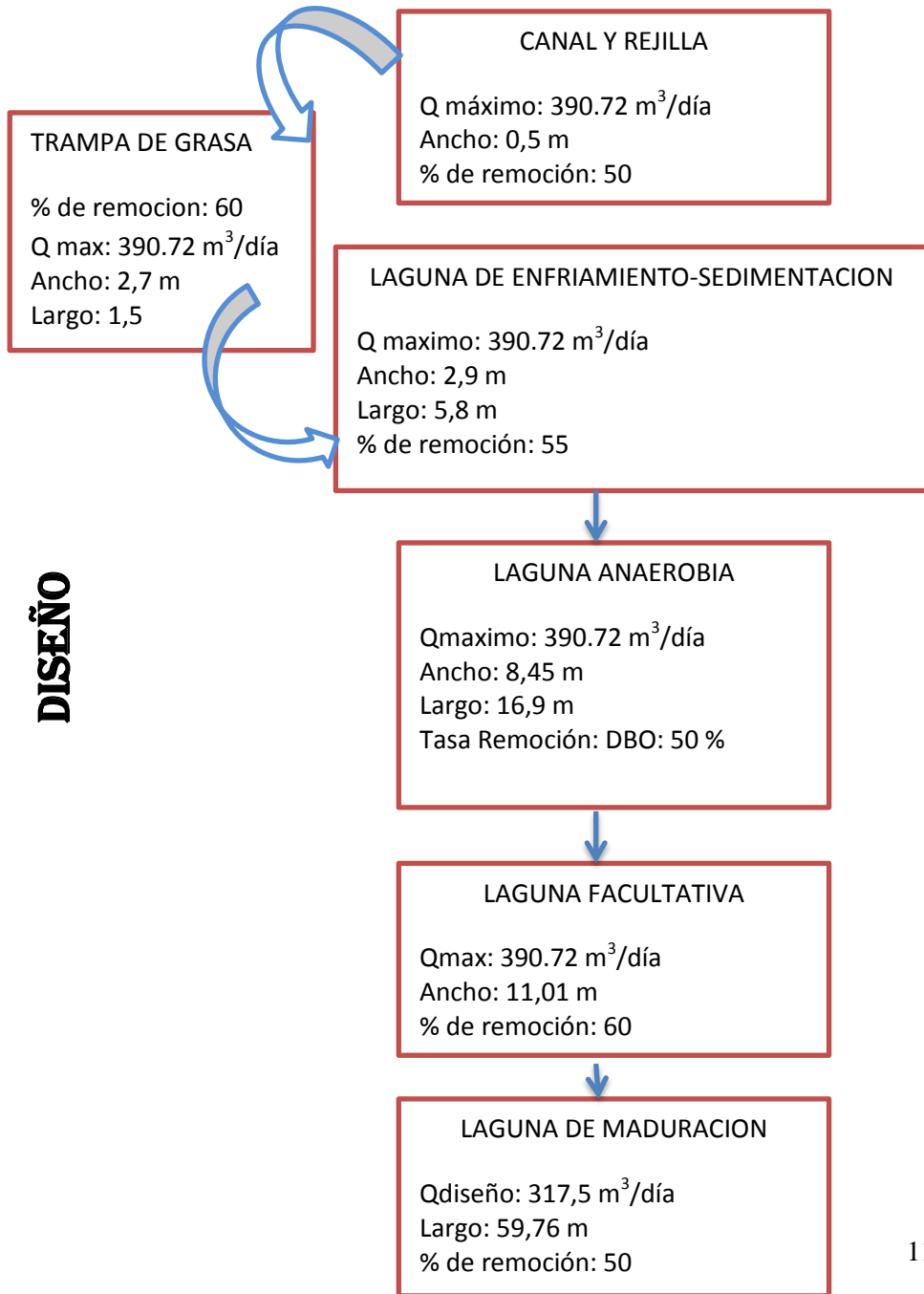
*Elaborado por:* Lalangui,D.,2015

### **3.4. Propuesta del Rediseño**

Para poder tratar el tipo de efluente generado en el proceso de extracción de aceite de la palma africana, que tiene una elevada carga orgánica, que perjudica un ambiente receptor como es el río blanco, si son vertidas directamente después de dar el tratamiento que dispone actualmente la empresa, demostrado que su eficiencia de tratamiento es muy bajo, esto se debe por descuido del área administrativa en dar la orden un mantenimiento del sistema de tratamiento periódicamente.

Se propone el rediseño del sistema de tratamiento actual y la implementación de dos procesos como: son: el humedal artificial de flujo superficial y un filtro rápido de arena, para tratar de manera eficaz el agua residual generado en la empresa con la finalidad de disminuir la gran cantidad de carga orgánica que supera los límites permisibles establecido por el TULSMA, los parámetros como la DBO5 que es de 19250 ml/L, DQO de 38500 ml/L, los Sólidos Suspendedos 20100 mg/L, Sólidos Totales 33400mg/L, nitrógeno amoniacal 47,5 mg/L y otros parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles (Ver Tabla 3-6).

Por lo que, se presenta el rediseño del sistema de tratamiento, misma que va a quedar distribuida de la siguiente manera:



### 3.4.1. Costos de implementación de la propuesta

#### 3.4.1.1. Análisis de costo de Laguna de Enfriamiento

<b>REFERENCIA:AMPLIACION DE LA LAGUNA DE ENFRIAMIENTO</b>				
<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
<b>PRELIMINARES</b>				
DESAGÜE DE LA LAGUNA	m <sup>3</sup>	50,46	3,00	151,38
LIMPIEZA DE LODOS	m <sup>2</sup>	31	15,00	465
<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
EXCAVACION	m <sup>3</sup>	9,07	5,50	49,97
RETIRO Y DISPOSICION DEL MATERIAL	m <sup>3</sup>	11,00	3,00	33
<b>OBRA CIVIL</b>				
INPERMIABILIZACION CON ARCILLA	m <sup>2</sup>	30	25	750
<b>TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>				
TUBERIAS, VALVULAS Y ACCESORIOS	Global	1	1000	1000
TOTAL=				<b>2449,35</b>

#### 3.4.1.2. Análisis de costo de la Laguna Anaeróbica

<b>REFERENCIA:AMPLIACION DE LA LAGUNA ANAEROBIA</b>				
<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
<b>PRELIMINARES</b>				
DESAGÜE DE LA LAGUNA	m <sup>3</sup>	500	3,00	1500
LIMPIEZA DE LODOS	m <sup>2</sup>	241	15,00	3615
<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
EXCAVACION	m <sup>3</sup>	49,38	5,50	271,59

RETIRO Y DISPOSICION DEL MATERIAL	m <sup>3</sup>	52,00	3,00	156
<b>OBRA CIVIL</b>				
INPERMIABILIZACION CON GEOMEMBRANA	m <sup>2</sup>	240	6	1440
<b>TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>				
TUBERIAS, VALVULAS Y ACCESORIOS	Global	1	1200	1200
			TOTAL=	<b>8182,59</b>

3.4.1.3. Análisis de costo de la Laguna Facultativa

<b>REFERENCIA: AMPLIACION DE LA LAGUNA FACULTATIVA</b>				
<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
<b>PRELIMINARES</b>				
DESAGÜE DE LA LAGUNA	m <sup>3</sup>	292	3,00	876
LIMPIEZA DE LODOS	m <sup>2</sup>	340	15,00	5100
<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
EXCAVACION	m <sup>3</sup>	68,05	5,50	374,28
RETIRO Y DISPOSICION DEL MATERIAL	m <sup>3</sup>	70	3,00	210
<b>OBRA CIVIL</b>				
INPERMIABILIZACION CON GEOMEMBRANA	m <sup>2</sup>	340	6	2040
TALUD DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	91,92	3,50	321,72
<b>TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>				
TUBERIAS, VALVULAS Y ACCESORIOS	Global	1	1200	1200
			TOTAL=	<b>10122</b>

3.4.1.4. Análisis de costo del Humedal Artificial de flujo libre

<b>REFERENCIA:CONSTRUCCION DEL HUMEDAL DE FLUJO LIBRE</b>				
<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
<b>PRELIMINARES</b>				
LIMPIEZA DEL TERRENO	m <sup>2</sup>	2300	0,50	1150
TRAZADO Y REPLANTEO	m <sup>2</sup>	2200	0,70	1540
<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
EXCAVACION	m <sup>3</sup>	1320,4	5,50	7262,2
RECONFORMACION DEL TERRENO	m <sup>2</sup>	1000,4	6,00	6002,4
RETIRO Y DISPOSICION DEL MATERIAL	m <sup>3</sup>	1400	3,00	4200
<b>OBRA CIVIL</b>				
INPERMIABILIZACION CON GEOMEMBRANA	m <sup>2</sup>	2200	6	13200
TALUD DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	98,5	3,50	340,75
CONSTRUCCION DEL CANAL DE DISTRIBUCION	m <sup>3</sup>	22,00	380,25	8365,5
CAJA DE REVISION DEL HORMIGON SIMPLE	m <sup>3</sup>	1,40	200,50	280,7
TAPA DE HORMIGON CAJA DE REVISION DE 1,00 X 1,00 m e= 0,20	Unidad	2	70	140
<b>TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>				
TUBERIAS,VALVULAS Y ACCESORIOS	Global	1	1500	1500
<b>VEGETACION</b>				
<i>Scirpus Californicus "TOTORA"</i>	Unidad	1500	0,25	375
			TOTAL=	<b>44356,5</b>



3.4.1.5. Análisis de costo del Filtro rápido de arena

<b>REFERENCIA:CONSTRUCCION DEL FILTRO RAPIDO DE ARENA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
LIMPIEZA Y DESBROCE	m <sup>2</sup>	6	0,50	3
REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	6	1	6
EXCAVACION	m <sup>3</sup>	17	5.50	93,50
REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2	m <sup>2</sup>	100	85,10	8510
HORMIGON SIMPLE F'C=210 Kg/CM2	m <sup>3</sup>	5	180,10	900,5
ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m <sup>2</sup>	25	9,50	237,5
ENCOFRADO CON MADERA	m <sup>2</sup>	20	8,50	170
MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm	m <sup>2</sup>	30	5,50	165
TUBERIA PVC 50mm	m	10	6,00	60
CODO PVC 50mm	U	4	2,00	8,00
TEE 50mm	U	2	2,00	4,00
VALVULA DE COMPUERTA 50mm	U	4	13,00	52,00
ARENA	m <sup>2</sup>	100	5,00	500,00
GRAVA PARA FILTRO	m <sup>3</sup>	20	4,50	90,00
		TOTAL=		<b>10799,5</b>

3.4.1.6. Análisis de costo de la Laguna de Maduración

<b>REFERENCIA:AMPLIACION DE LA LAGUNA DE MADURACION</b>				
<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
<b>PRELIMINARES</b>				
DESAGÜE DE LA LAGUNA	m <sup>3</sup>	952	3,00	2856
LIMPIEZA DE LODOS	m <sup>2</sup>	25	15,00	375
<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
EXCAVACION	m <sup>3</sup>	978,34	5,50	5380,87
RETIRO Y DISPOSICION DEL MATERIAL	m <sup>3</sup>	980	3,00	2940

<b>OBRA CIVIL</b>				
INPERMIABILIZACION CON GEOMEMBRANA	m <sup>2</sup>	2560	6	15360
<b>TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>				
TUBERIAS, VALVULAS Y ACCESORIOS	Global	1	1300	1300
			TOTAL=	<b>28211,37</b>

*3.4.1.7. Análisis del costo total*

<b>OPERACIÓN</b>	<b>COSTO \$</b>
Laguna de Enfriamiento	2449,35
Laguna de Anaeróbica	8182,59
Laguna de Facultativa	10122
Humedal de flujo libre	44356,56
Filtro Rápido de arena	10799,50
Laguna de Maduración	28211,37
<b>Total</b>	<b>104121,36</b>

## CONCLUSIONES

- El estado actual de la planta de tratamientos de agua residuales de la empresa opera con una eficiencia 50% y un porcentaje de remoción 54% del que es considerado bajo, esto se debe a la falta mantenimiento periódico por parte de la empresa, lo cual no satisface los resultados de cumplimiento de los límites permisibles del TULSMA, Libro VI, Tabla 10, Anexo I, para descarga en agua dulce.
- Se realiza la caracterización físico-química y microbiológica, para determinar los parámetros que se encuentran fuera de norma después del tratamiento con el que dispone la empresa, los cuales no logran cumplir con los límites permisibles del TULSMA, los parámetros que no cumplen son los siguientes: DBO5 2700 mg/L, DQO 4500 mg/L, aceites y grasa 188 mg/L, solidos totales 6184 mg/L, solidos suspendidos 495 mg/L, nitrógeno amoniacal 125 mg/L y coliformes fecales 4187,5 UFC/100ml. Finalmente la caracterización luego del tratamiento propuesto en los análisis físico-químicos y microbiológicas nos da los siguientes resultados: DBO5 21 mg/L, DQO 41 mg/L, aceites y grasas <2 mg/L, solidos totales 176 mg/L, solidos suspendidos 13,33 mg/L, nitrógeno amoniacal mg/L y coliformes fecales 50 UFC/100ml, estos resultados demuestra que la eficiencia de remoción es 90%
- Se identifica que las variables de proceso para el rediseño de ingeniería de una planta de tratamientos son: el caudal máximo de agua residual generada en la empresa que abarca cada tratamiento, las dimensiones de largo y ancho de cada laguna, la carga superficial y el tiempo de retención hidráulico. Las variables más importantes de caracterización del agua son: pH, la temperatura, DBO5, DQO, solidos totales, conductividad eléctrica, coliformes totales, entre otras.
- Con los cálculos de ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se propone el redimensionamiento total de la planta debido al nuevo caudal que dispone que es de 390,72 a 756,0, la propuesta de rediseño se enfoca al canal de vertimiento, rejillas finas, trampa de grasa, laguna de enfriamiento-sedimentación, laguna anaerobia, laguna facultativa, e implementación de un humedal artificial de flujo superficial en base a su carga superficial para la remoción del DBO5, y un filtro rápido de arena con un área que depende de la tasa de filtración, con la finalidad de reutilizar la fuente hidrográfica tanto en el riego de cultivos de palma que dispone la empresa en sus instalaciones y para la descarga al rio blanco.

- Con el redimensionamiento de la planta y la implementación del humedal se presenta una alta eficiencia en la remoción de  $\text{DBO}_5$  un 99,9 %, al igual que sólidos suspendidos en un 99,8%, el humedal dispondrá de una doble capa de grava una fina y una gruesa, el cual sirve como filtro para que retenga los sólidos, la vegetación usada es la macrofitas herbácea perenne *Scirpus Californicus* mejor conocida como “Totorá”, que se encarga de remover la carga orgánica, esto demuestra que el rediseño de la planta tiene una eficiencia del 90%, con un porcentaje de remoción del 98%, para mejorar la descarga del agua a un cuerpo de agua dulce se debería dosificar cloro en un tanque de desinfección para la remoción de coliformes fecales en un 100%.

## RECOMENDACIONES

- Para un buen funcionamiento es necesario el rediseño y la implementación de dos procesos (humedal artificial de flujo superficial y filtro rápido de arena) en la planta de tratamientos de aguas residuales de la Extractora “Teobroma”, cuyos contaminantes orgánicos pueden causar un impacto al ambiente receptor, también por el diseño de las lagunas que no es el adecuado está entrando una gran cantidad de carga orgánica, encima de los rango permitido generando malos olores.
- El mantenimiento periódico de las distintas etapas de tratamientos, tales como las rejillas, las mismas que serán taponadas por sólidos como son el raquis, la fibra.
- El sistema de tratamiento es básicamente biológico, los cuales después de la degradación por parte de los microorganismos generan lodos, estos lodos deben ser retirados en un periodo de dos años para que no perjudique el trabajo de los microorganismos, y así se evita la disminución de la eficiencia de remoción de las lagunas.
- Los residuos sólidos generados por acción de los microorganismos, con un buen tratamiento para inactivar patógenos que se encuentren presentes, pueden servir como abono para mejorar la fertilidad de los suelos y tener cultivos de palma de calidad.
- La capacitación periódica del personal que esté a cargo del tratamiento de las aguas residuales, para instruirlo de manera más técnica y aumentar sus capacidades para dar solución a problemas que se presenten, asumir mayor control y evitar que el rendimiento de cada uno de los procesos a utilizar disminuya por un descuido del personal encargado.

## **BIBLIOGRAFIA**

**AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.,** *Agua su Calidad y Tratamiento. México D.F. México Limusa., 1968, p.p. 40-48, 178-182.*

**APHA, AWWA, WPCF.** *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater., 17ª ed., Madrid., España., Díaz de Santos.1992, p.p. 205 – 240*

**BUCAI, R. N.,** *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), Ingeniero Químico/ESPOCH/Faculta de Ciencias., Riobamba-Ecuador., 2014*

**CENIPALMA.,** *Manejo de Afluentes de plantas extractoras. Boletín Técnico No. 11, Bogotá Colombia. 1997*

**DELGADILLO, O.,** *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochamba-Bolivia 2010. Pp 8-18*

**MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR.** *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA): límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Vol. 6, tabla 10.*

**LARA, J. A.,** *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales, (Tesis Doctoral), Master en Ingeniería y Gestión Ambiental/Universidad Politécnica de Cataluña., Barcelona-España., 1998. Pp. 68, 90-93*

**LEAL M, T.,** *Medios filtrantes.[En línea] ). No. 1., Vol. XXXII., pp 86-87. [fecha de consulta: 2015/07/05] Disponible en:  
[https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/curso/dia\\_14/3.%20Teresa%20Leal.pdf](https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/curso/dia_14/3.%20Teresa%20Leal.pdf)*

**LOZANO-RIVAS.,** *Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012*

**METCALF, Y EDDY.** *Tratamiento y depuración de las aguas residuales. 3A ed . España, McGraw Hill, 1995. Pp. 237 – 387, 507-705*

**NUÑEZ, A. R** *Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable, en las comunidades pichán central, chocaví chico y chocaví central de la parroquia San Isidro de patulú (Tesis de Grado).*, Ingeniero Químico/ESPOCH/Facultad de Ciencias., Riobamba-Ecuador., 2014. pp. 80-100

**RAMALHO, R.** *Tratamiento de Aguas Residuales. 2ª ed.*, Barcelona – España. Reverté: 1993, pp.75– 89.

**YANEZ, F.**, *Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización en Países Desarrollo.* CEPIS/OPS., 1984

# ANEXOS

## ANEXO A

### CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR A LA ENTRADA DEL TRATAMIENTO

#### ESPOCH

##### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Darwin Lalangui

Fecha de Análisis: 4 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 9 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual Cruda. Industria Extractora e Palma

Localidad: Cantón La Concordia Prov. Santo Domingo de los Tsachilas

T

Código LAT/031-15

##### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	6.85
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1120
Turbiedad	UNT	2130-B		387
Alcalinidad	mg/L	2320-C		160
Grasas y Aceites	mg/L	5520-B		257
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	38500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	19250
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C		1
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		95
Hierro	mg/L	3500-Fe-D		7
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	220	20100
Sólidos Totales	mg/L	2540-A		33400
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B		< 0.1

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

\*\*TULAS TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Observaciones:

Atentamente.



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

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



## ANEXO B

### CARACTERIZACION PRELIMINAR A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO

## ESPOCH

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Darwin Lalangui

Fecha de Análisis: 27 de mayo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 5 de junio del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada. Industria Extractora de Palma

Localidad: Cantón La Concordia Prov. Santo Domingo de los Tsáchilas

Código LAT/074-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	6.85
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		156
Turbiedad	UNT	2130-B		9.50
Grasas y Aceites	mg/L	5520-B	30	< 2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	41
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	21
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	10	0.31
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	13.33
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	176
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	1.6	< 0.1
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		182

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

\*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

## ANEXO C

### ANÁLISIS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN LA LAGUNA ENFRIAMIENTO

## ESPOCH

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Darwin Lalangui

Fecha de Análisis: 10 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 17 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua Tratada en Laguna de Enfriamiento. Industria Extractora de Palma

Localidad: Cantón La Concordia Prov. Santo Domingo de los Tsachilas

### TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/031-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Limites	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	23023
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	11511.6
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	7559.61
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	13360

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

\*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



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

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

Los análisis fueron realizados por el sr. Estudiante bajo la supervisión del técnico responsable

## ANEXO D

### ANÁLISIS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN LA LAGUNA ANAEROBICA

## ESPOCH

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Darwin Lalangui

Fecha de Análisis: 10 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 17 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua Tratada en Laguna Anaeróbica. Industria Extractora de Palma

Localidad: Cantón La Concordia Prov. Santo Domingo de los Tsachilas

### TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/031-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	11550
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	3453.48
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	1351.92
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	2672

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

\*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



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

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

Los análisis fueron realizados por el sr. Estudiante bajo la supervisión del técnico responsable



## ANEXO E

### ANÁLISIS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN LA LAGUNA FACULTATIVA

## ESPOCH

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Darwin Lalangui

Fecha de Análisis: 10 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 17 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua Tratada en Laguna Facultativa. Industria Extractora de Palma

Localidad: Cantón La Concordia Prov. Santo Domingo de los Tsachilas

### TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/031-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	2887.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	863.37
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	405.5
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	801.6

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

\*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

Los análisis fueron realizados por el sr. Estudiante bajo la supervisión del técnico responsable

## ANEXO F

### ANÁLISIS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN EL HUMEDAL DE FLUJO LIBRE

## ESPOCH

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Darwin Lalangui

Fecha de Análisis: 17 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 24 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua Tratada en Humedal de flujo libre. Industria Extractora de Palma

Localidad: Cantón La Concordia Prov. Santo Domingo de los Tsachilas

### TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/031-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	115.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	86.34
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	162.2
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	320.64

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

\*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



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

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

Los análisis fueron realizados por el sr. Estudiante bajo la supervisión del técnico responsable

## ANEXO G

### CARACTERIZACION FINAL FISICO-QUIMICA

## ESPOCH

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Darwin Lalangui

Fecha de Análisis: 27 de mayo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 5 de junio del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada. Industria Extractora de Palma

Localidad: Cantón La Concordia Prov. Santo Domingo de los Tsáchilas

Código LAT/074-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	6.85
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		156
Turbiedad	UNT	2130-B		9.50
Grasas y Aceites	mg/L	5520-B	30	< 2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	41
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	21
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	10	0.31
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	13.33
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	176
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	1.6	< 0.1
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		182

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

\*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

## ANEXO H

### CARACTERIZACION FINAL MICROBIOLOGICA



#### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



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

Nº SE: 026 - 15

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Sr. Darwin Lalangui **INFORME Nº:** 026- 15  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 026-15  
**DIRECCIÓN:** Los Álamos **FECHA DE RECEPCIÓN:** 14-05-15  
**TELÉFONO:** 0981577057 **FECHA DE INFORME:** 18-05-15

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua Residual, Planta extractora de aceite **TIPO DE MUESTRA:**

**IDENTIFICACIÓN:** MA-060-15 Agua

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

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -060-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C - mod	20	N/A	14-05-15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	50	N/A	14-05-15

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

#### RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.

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

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

**ANEXO I**

**TOMA DE MUESTRA**



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado</p>	<p style="text-align: center;">REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</p>		
<p>a) Toma de muestra b) Punto de muestreo</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar    <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar    <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar    <input type="checkbox"/> Certificado</p>				Lámina
				A4	21/7/2015



## ANEXO J

### TRATAMIENTO CON HUMEDAL DE FLUJO LIBRE



(a)



(b)



(c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado	REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
a) Humedal b) Totora c) Lecho filtrante	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámina	Escala A4	Fecha 22/7/2015

## ANEXO K

### TRATAMIENTO CON FILTRO



(a)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado	REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
a) filtro	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámina	Escala	Fecha
			A4	22/7/2015	

## ANALISIS EN EL LABORATORIO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado	REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
a) Análisis conductividad b) Análisis turbidez c) Análisis DBO	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámina	Escala
				Fecha
				22/7/2015
				A4

## ANEXO M

### MUESTRAS EN LOS DISTINTO PROCESOS



(a)



(b)



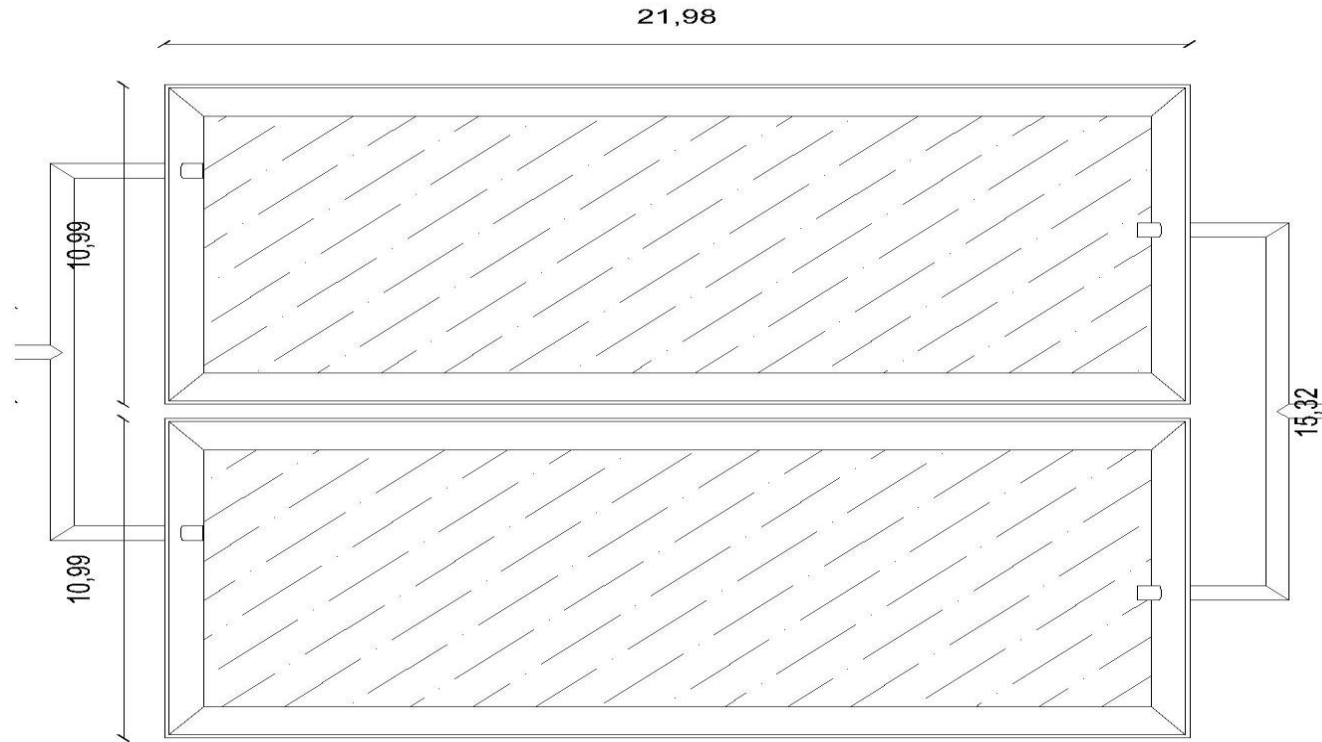
(c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado	REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
a) Facultativo b) Humedal c) filtro	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámina	Escala
				Fecha
			A4	22/7/2015

# **PLANOS PROPUESTO**

**ANEXO N**

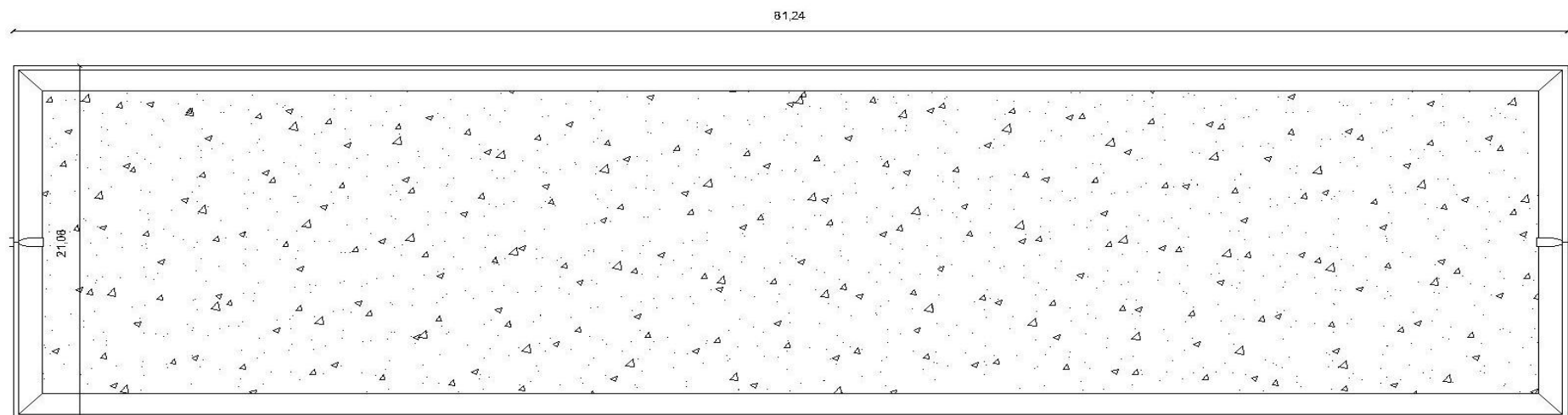
**CORTE SUPERIOR DE LA LAGUNA ANAEROBICA**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado</p>	LAGUNA ANAEROBICA EN SERIE		
a) Vista superior	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámina	Escala	Fecha
		<p style="text-align: right;">A4    22/7/2015</p>			

## ANEXO O

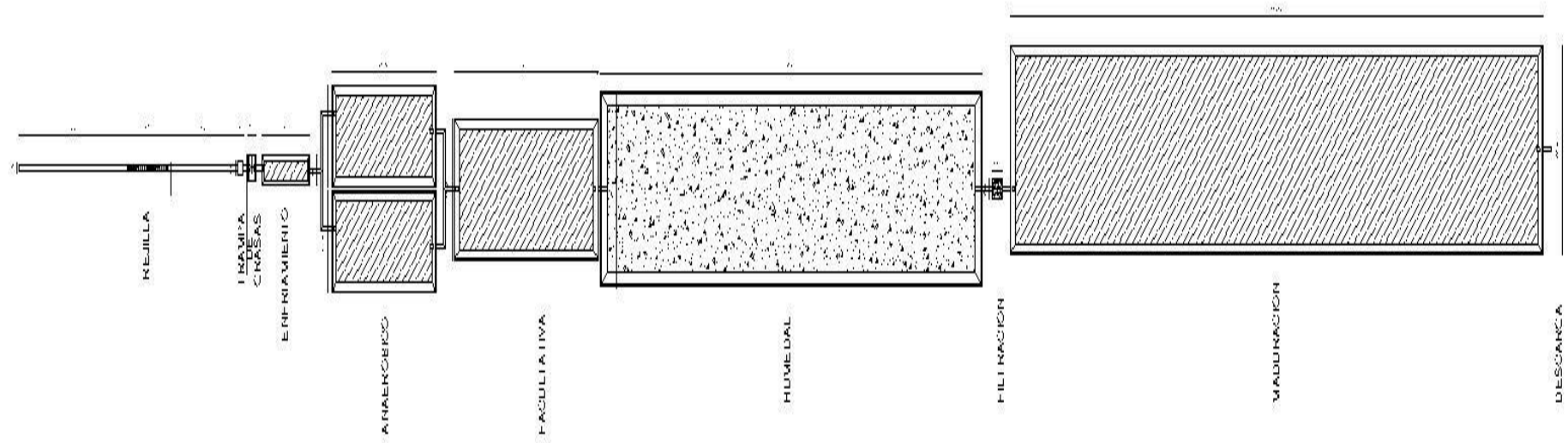
### CORTE SUPERIOR DEL HUMEDAL DE FLUJO LIBRE



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL		
a.) Vista superior	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámina	Escala	Fecha
				A4	22/7/2015

ANEXO P

DISEÑO DE LA PLANTA

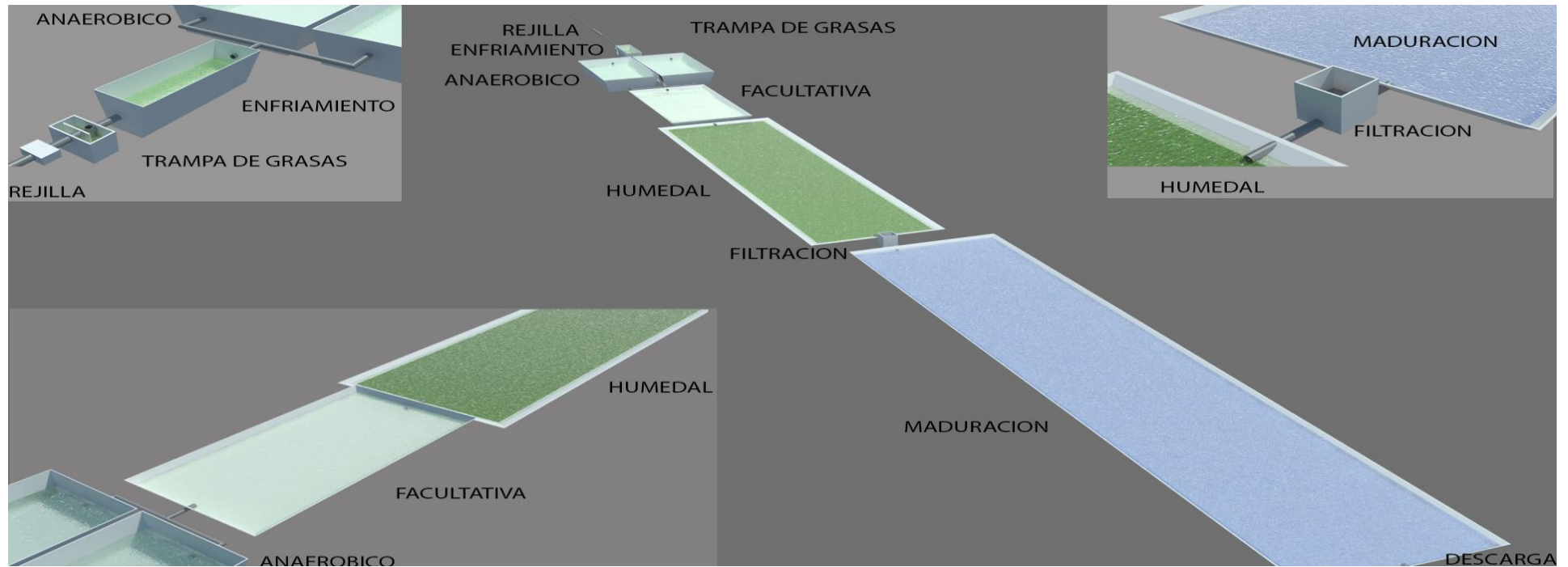


PLANTA

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL		
	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámina	Escala	Fecha
				A4	22/7/2015	



**ANEXO Q**  
**DISEÑO DEL SISTEMA**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por:  Darwin Lalangui Delgado	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL		
			Lámina	Escala A4	Fecha 22/7/2015