



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

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN MATEO DEL
CANTÓN ESMERALDAS”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: SHIRLEY PAOLA DELGADO MENDOZA

TUTOR: ING. HUGO SEGUNDO CALDERÓN

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: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN MATEO DEL CANTÓN ESMERALDAS”**, de responsabilidad de la señorita Shirley Paola Delgado Mendoza, ha sido prolijamente revisado por los Miembros de Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Hugo Calderón DIRECTOR DE TESIS	_____	_____
Ing. Mónica Andrade COLABORADORA DE TESIS	_____	_____
DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH	_____	_____
NOTA DE TESIS	_____	

Yo, **SHIRLEY PAOLA DELGADO MENDOZA**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos, y el patrimonio intelectual del trabajo de investigación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Shirley Paola Delgado Mendoza

AGRADECIMIENTO

Quiero iniciar agradeciendo a Dios por darme la fuerza y valor día a día y no dejarme vencer de las caídas que se presentan en mi vida

A mis padres y hermanos, Quienes son un pilar fundamental en mi vida que con su inmenso amor me han inculcado valores para ser una persona de bien, por apoyarme incondicionalmente, por darme fortaleza para no caer nunca.

A la Escuela de Ingeniería Química, especialmente a mi director de tesis Ing. Hugo Calderón y al miembro del tribunal Ing. Mónica Andrade quienes con su experiencia y conocimientos han sabido guiar en este tema de investigación.

Un agradecimiento especial al Ingeniero José Muñoz por su comprensión, paciencia, y colaboración.

A la Junta Parroquia San Mateo por auspiciarme con el tema de mi investigación

Shirley

DEDICATORIA

Con infinita gratitud y felicidad dedico este trabajo de investigación a toda mi familia, en especial a mi Padres: Amado y Beatriz quienes me brindan su amor y apoyo incondicional, a mis hermanos Paul y Nohelia por estar siempre a mi lado. Estoy inmensamente agradecida a Dios por darme esta hermosa familia

Shirley

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

%	Porcentaje
°C	Grados Centígrados
As	Área Superficial
b	base/ancho
BAF	Filtros Aireados Biológicos
Ch_v	Carga hidráulica sobre el vertedero
COT	Carbono Orgánico Total
Cs	Carga Superficial
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPMAPS	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
fc_r	Factor de capacidad relativa
h	Altura
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico
HgCl₂	Cloruro de Mercurio
HNO₃	Ácido Nítrico
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
L	Longitud
m	Pendiente
MBB	Reactor Biológico de Cama Móvil
MBR	Reactores biológicos de Membrana
Msd	Masa de sólidos que conforman los lodos
N/No	Número de unidades por muestra
OMS	Organización Mundial de la salud
Pa	Población Actual
Pcl	Peso de cloro para la dosificación
PETAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
Pf	Población futura
Ph	Potencial Hidrógeno
Plodo	Densidad del lodo
PRFV	Poliéster reforzado con fibra de vidrio

PVC	Cloruro de polivinilo
Q	Caudal medio de diseño
Qi	Caudal de infiltración
Q_M	Caudal máximo de diseño
Q_{max}	Caudal máximo teórico
Q_{med}	Caudal medio teórico
R	Periodo de retención hidráulica
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
RH	Radio Hidráulico
SS	Sólidos en Suspensión
SST	Sólidos Suspendidos Totales
ST	Sólidos Totales
T	Temperatura
TRH	Tiempo de retención Hidráulica
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente
V	Velocidad
W	Ancho del humedal

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACION DE RESPONSABILIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	xiv
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
INDICE DE GRAFICO.....	xvii
INDICE DE ECUACIONES.....	xviii
INDICE DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY	xxii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	5
1. MARCO TEORICO	5
1.1. Aguas residuales.....	5
1.2. Tipos de aguas residuales	5
1.2.1. Aguas residuales domésticas	5
1.2.2. Aguas residuales industriales.....	6
1.2.3. Aguas residuales urbanas.....	6
1.2.4. Pluviales	6
1.3. Características de aguas residuales	6
1.3.1. Características físicas	6
1.3.1.1. Sólidos totales.....	6
1.3.1.2. Color.....	8
1.3.1.3. Turbiedad.....	8
1.3.1.4. Temperatura	8
1.3.1.5. Olor.....	8
1.3.1.6. Conductividad.....	8
1.3.2. Características químicas.....	8
1.3.2.1. pH (Potencial hidrógeno).....	8
1.3.2.2. Materia orgánica.....	9
1.3.2.3. DBO.....	9

1.3.2.4.	<i>DQO</i>	9
1.3.2.5.	<i>Relación DBO/DQO</i>	9
1.3.2.6.	<i>COT (Carbono Orgánico Total)</i>	9
1.3.2.7.	<i>Nitrógeno</i>	10
1.3.2.8.	<i>Fósforo</i>	10
1.3.2.9.	<i>Alcalinidad</i>	10
1.3.2.10.	<i>Aceites y grasas</i>	10
1.3.3.	<i>Biológicas</i>	10
1.3.3.1.	<i>Coliformes fecales</i>	10
1.3.3.2.	<i>Coliformes totales</i>	11
1.3.3.3.	<i>Bacterias</i>	11
1.4.	<i>Tratamiento en aguas residuales</i>	11
1.4.1.	<i>Tratamiento preliminar</i>	11
1.4.1.1.	<i>Rejillas</i>	12
1.4.1.2.	<i>Trituradores</i>	12
1.4.1.3.	<i>Desarenadores</i>	12
1.4.1.4.	<i>Desengrasadores</i>	13
1.4.1.5.	<i>Pre-aireación</i>	13
1.4.2.	<i>Tratamiento primario</i>	13
1.4.2.1.	<i>Sedimentación primaria</i>	13
1.4.2.2.	<i>Flotación</i>	14
1.4.2.3.	<i>Remoción de sólidos suspendidos</i>	14
1.4.2.4.	<i>Coagulación, floculación, sedimentación</i>	14
1.4.2.5.	<i>Tamices</i>	14
1.4.3.	<i>Tratamiento secundario</i>	15
1.4.3.1.	<i>Desbaste</i>	15
1.4.3.2.	<i>Fangos Activados o Lodos Activados</i>	15
1.4.3.3.	<i>Lechos bacterianos</i>	16
1.4.3.4.	<i>Placas rotativas y espirales</i>	16
1.4.3.5.	<i>Reactor biológico de cama móvil (MBBR)</i>	16
1.4.3.6.	<i>Filtros aireados biológicos (BAF)</i>	16
1.4.3.7.	<i>Reactores biológicos de membrana (MBR)</i>	16
1.4.3.8.	<i>Sedimentación secundaria</i>	16
1.4.4.	<i>Tratamiento terciario</i>	16
1.4.4.1.	<i>Filtración</i>	16
1.4.4.2.	<i>Lagunaje</i>	17
1.4.4.3.	<i>Remoción de nutrientes</i>	17

1.4.4.4.	<i>Desinfección</i>	17
1.4.5.	<i>Humedales artificiales</i>	18
1.4.5.1.	<i>Tipos de humedales</i>	19
1.4.5.2.	<i>Componentes de un humedal tipo</i>	20
1.4.5.3.	<i>Principios de depuración</i>	21
1.4.6.	<i>Tratamiento y disposición de lodos</i>	21
1.4.6.1.	<i>Procesos de digestión</i>	21
1.4.6.2.	<i>Digestión anaeróbica</i>	21
1.4.6.3.	<i>Digestión aeróbica</i>	21
1.4.6.4.	<i>Compostaje</i>	22
1.4.6.5.	<i>Procesos químicos</i>	22
1.4.6.6.	<i>Espesamiento</i>	22
1.4.6.7.	<i>Deshidratación</i>	22
1.5.	<i>Muestreo</i>	22
1.5.1.	<i>Tipos de muestreo</i>	22
1.5.1.1.	<i>Muestreo puntual</i>	22
1.5.1.2.	<i>Muestra compuesta</i>	23
1.5.1.3.	<i>Muestra continua</i>	23
1.6.	<i>Caudal</i>	24
1.7.	<i>Transporte de aguas residuales</i>	25
1.7.1.	<i>Concreto reforzado</i>	25
1.7.2.	<i>Asbesto-Cemento</i>	25
1.7.3.	<i>Hierro dúctil</i>	25
1.7.4.	<i>Acero</i>	26
1.7.5.	<i>PVC (Cloruro de Vinilo)</i>	26
1.8.	<i>Normativa ambiental</i>	26
1.8.1.	<i>Normas generales para descarga a efluentes de cuerpo dulce</i>	26
1.9.	<i>Fitorremediación</i>	28
1.9.1.	<i>Criterios de selección de plantas para la fitorremediación</i>	28
1.9.2.	<i>Tipos de plantas depuradoras</i>	28
1.9.3.	<i>Eichornia crassipes (Jacinto de Agua)</i>	30
1.9.3.1.	<i>Taxonomía</i>	31
1.9.3.2.	<i>Hábitat</i>	32
1.9.3.3.	<i>Composición química</i>	32
1.9.3.4.	<i>Reproducción</i>	32
1.9.3.5.	<i>Cultivo</i>	32
1.9.3.6.	<i>Parámetros de crecimiento</i>	33

1.10. Parámetros de Diseño	33
1.10.1. Población.....	33
1.10.1.1. Población actual.....	33
1.10.1.2. Población futura.....	34
1.10.2. Caudal.....	34
1.10.2.1. Coeficiente de retorno	34
1.10.2.2. Caudal máximo teórico	34
1.10.2.3. Coeficiente de Mayorización	34
1.10.2.4. Caudal de diseño	34
1.10.3. Vertederos	35
1.10.3.1. Tipos de vertederos.....	35
1.10.4. Rejillas.....	39
1.10.4.1. Número de barras.....	40
1.10.4.2. Longitud de barras	40
1.10.4.3. Área libre entre barra.....	40
1.10.4.4. Pérdida de carga en rejillas	40
1.10.5. Tanque Imhoff.....	41
1.10.5.1. Sedimentador.....	42
1.10.5.2. Digestor	43
1.10.5.3. Extracción de lodos	45
1.10.5.4. Área de ventilador y cámara de natas	45
1.10.5.5. Lechos de secado de lodos.....	46
1.10.5.6. Área del lecho de secado	46
1.10.6. Humedal de flujo subsuperficial.....	47
1.10.6.1. Área superficial del humedal.....	48
1.10.6.2. Área vertical del humedal.....	48
1.10.6.3. Ancho del humedal	48
1.10.6.4. Largo de humedal.....	48
1.10.6.5. Tiempo de retención hidráulica.....	48
1.10.7. Filtración.....	48
1.10.7.1. Velocidad de filtración	50
1.10.7.2. Área superficial	50
1.10.7.3. Coeficiente mínimo de costo.....	50
1.10.7.4. Longitud del filtro.....	50
CAPITULO II	51
2. MARCO METODOLÓGICO	51

2.1.	Situación actual	51
2.1.1.	<i>Clima</i>	51
2.1.2.	<i>Suelo.....</i>	51
2.1.3.	<i>Relieve</i>	52
2.1.4.	<i>Hidrografía</i>	52
2.1.5.	<i>Precipitación</i>	52
2.1.6.	<i>Densidad poblacional</i>	52
2.2.	Muestreo	53
2.3.	Metodología	54
2.3.1.	<i>Métodos</i>	54
2.3.1.1.	<i>Método inductivo</i>	54
2.3.1.2.	<i>Deductivo.....</i>	54
2.3.1.3.	<i>Experimental.....</i>	54
2.3.2.	<i>Técnicas.....</i>	54
2.3.2.1.	<i>Potencial Hidrogeno.....</i>	54
2.3.2.2.	<i>Conductividad.....</i>	55
2.3.2.3.	<i>Turbiedad.....</i>	55
2.3.2.4.	<i>Aceites y Grasas</i>	55
2.3.2.5.	<i>Demanda Química de Oxigena.....</i>	55
2.3.2.6.	<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	55
2.3.2.7.	<i>Nitratos.....</i>	55
2.3.2.8.	<i>Sulfatos</i>	55
2.3.2.9.	<i>Fosfatos</i>	56
2.3.2.10.	<i>Sólidos en suspensión</i>	56
2.3.2.11.	<i>Sólidos sedimentables.....</i>	56
2.3.2.12.	<i>Coliformes fecales</i>	56
2.4.	Datos.....	56
2.4.1.	<i>Caracterización inicial del agua residual</i>	56
2.4.2.	<i>Parámetros que no cumplen con la Normativa Ambiental Tulsma.....</i>	57
2.4.3.	<i>Consideraciones de tratamiento de aguas residuales</i>	58
CAPITULO III.....		60
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.	60
3.1.	<i>Cálculos.....</i>	60
3.2.	<i>Resultados.....</i>	81
3.2.1.	<i>Resultados de la medición de caudal</i>	81
3.2.2.	<i>Resultados del tratamiento</i>	82

3.2.3. Resultados del dimensionamiento planteado.....	84
3.2.3.1. Población.....	84
3.2.3.2. Caudal	84
3.2.3.3. Vertedero rectangular	85
3.2.3.4. Rejillas.....	85
3.2.3.5. Tanque Imhoff.....	86
3.2.3.6. Humedal.....	89
3.2.3.7. Filtración.....	90
3.2.3.8. Porcentaje de remoción de parámetros que no cumplen con la Normativa Ambiental (TULSMA).....	91
3.2.3.9. Análisis de costos.....	96
3.3. Propuesta	98
3.4. Análisis y discusión de resultados.....	99
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	104
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Estimación de los Componentes de Sólidos Totales en Agua Residual.....	6
Tabla 2-1:	Objetivos de los Procesos de Tratamiento Preliminar.....	13
Tabla 3-1:	Objetivos de los Procesos del Tratamiento Primario.....	14
Tabla 4-1:	Características de un Desinfectante Ideal.....	18
Tabla 5-1:	Funciones de los Humedales Artificiales.....	19
Tabla 6-2:	Tipos de Humedales Artificiales.....	20
Tabla 7-1:	Preservación de Muestras.....	23
Tabla 8-1:	Métodos para medir el Caudal de Agua de Arroyos o Canales.....	24
Tabla 9-1:	Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.....	27
Tabla 10-1:	Ejemplos de Plantas Acuáticas Depuradoras.....	29
Tabla 11-2:	Clasificación Taxonómica del Jacinto de Agua.....	31
Tabla 12-1:	Composición Química del Jacinto de Agua.....	32
Tabla 13-1:	Parámetros para la Población Actual.....	34
Tabla 14-1:	Tasa de Infiltración según área.....	35
Tabla 15-1:	Forma del vertedero en función al caudal.....	37
Tabla 16-1:	Dimensiones Recomendadas para diseño de un canal.....	38
Tabla 17-1:	Dimensiones Recomendadas para el ancho del canal.....	38
Tabla 18-1:	Coefficiente de Manning para Cunetas y Canales Revestidos.....	38
Tabla 19-1:	Medidas Típicas del Canal de Rejas de un Sistema Manual.....	39
Tabla 20- 1:	Dimensiones Recomendadas para Diseño de Rejillas.....	39
Tabla 21-1:	Coefficiente de pérdida para Rejillas.	40
Tabla 22-1:	Dimensiones Recomendadas para diseño de un Tanque Imhoff.....	41
Tabla 23-1:	Información Típica para Diseño de Tanques de Sedimentación.....	43
Tabla 24-1:	Información para diseño del Volumen de Digestor.....	44
Tabla 25-1:	Información para retiro de Lodos.....	45
Tabla 26-1.	Dimensiones Recomendadas para el Diseño de un Humedal Subsuperficial.....	47
Tabla 27-1:	Dimensiones Recomendadas para Diseño de Zanjias de Infiltración.....	49
Tabla 28-1:	Tabla de Materiales empleados para Filtración.....	49
Tabla 1-2:	Análisis Físico-químicos Preliminares del Agua Residual.....	56
Tabla 2-2:	Análisis Microbiológico Preliminar del Agua Residual.....	57
Tabla 3-2:	Parámetros Físico-Químico y Microbiológico que no cumplen con la Normativa ambiental.....	57
Tabla 1-3:	Datos para Cálculo de Población Futura.....	60
Tabla 2-3:	Datos para Cálculo de Caudal.....	61

Tabla 3-3:	Datos para el Cálculo del Vertedero Rectangular.....	63
Tabla 4-3:	Datos para el Cálculo de Rejillas.....	65
Tabla 5-3:	Datos para el Cálculo del Tanque Imhoff.....	68
Tabla 6-3:	Datos para el Cálculo del Humedal.....	72
Tabla 7-3:	Datos para el Cálculo de Filtración.....	76
Tabla 8-3:	Datos para Cálculo de cantidad de Eichornia necesaria para el Humedal.....	77
Tabla 9-3:	Datos para Cálculo de Porcentaje de Remoción.....	78
Tabla 10-3:	Resultados de la Medición de Caudal.....	81
Tabla 11-3:	Resultados Físico-Químico después del Humedal.....	83
Tabla 12-3:	Resultado Físico-Químico después del Tratamiento.....	83
Tabla 13-3:	Resultado Microbiológico después del Tratamiento.....	83
Tabla 14-3:	Cumplimiento de Parámetros de Análisis con La Normativa ambiental.....	84
Tabla 15-3:	Comparación de Agua Inicial y Agua Tratada.....	84
Tabla 16-3:	Resultados de Población.....	84
Tabla 17-3:	Resultados de Caudales.....	85
Tabla 18-3:	Resultados del Vertedero Rectangular.....	85
Tabla 19-3:	Resultados de Rejillas.....	86
Tabla 20-3:	Resultados del Tanque Imhoff.....	87
Tabla 21-3:	Resultados del Humedal.....	89
Tabla 22-3:	Resultados de Filtración.....	90
Tabla 23-3:	Porcentaje de Remoción.....	91
Tabla 24-3:	Costo civil de la obra (Vertedero).....	96
Tabla 25-3:	Costo civil de la obra (rejillas).....	96
Tabla 26-3:	Costo civil de la obra (Imhoff).....	96
Tabla 27-3:	Costo civil de la obra (humedales).....	97
Tabla 28-3:	Costo civil de la obra (Filtro).....	97
Tabla 29-3:	Costo civil de la obra (Cámaras).....	98
Tabla 30-3:	Costo civil de la obra (TOTAL).....	98
Tabla 31-3:	Costos Operativos de la obra.....	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Composición de Agua Residual Típica.....	5
Figura 2-1:	Clasificación de los Sólidos Presentes en el Agua Residual de Intensidad Media.....	7
Figura 3-1:	Disposición de las Rejillas de Limpieza Manual.....	12
Figura 4-1:	Sistema de Tratamiento Primario Típico.....	15
Figura 5-1:	Instalación Típica de Hipo Cloración.....	17
Figura 6-1:	Proceso de Depuración de los Humedales Artificiales.....	19
Figura 7-1:	Plantas Acuáticas.....	30
Figura 8-1:	Morfología de Eichornia Crassipes.....	31
Figura 9-1:	Partes de la Eichornia Crassipes.....	31
Figura 10-1:	Vertedero con cresta delgada.....	35
Figura 11-1:	Vertedero con cresta ancha.....	36
Figura 12-1:	Vertedero Triangular.....	36
Figura 13-1:	Vertedero Trapezoidal.....	36
Figura 14-1:	Vertedero Circular.....	37
Figura 15-1:	Vertedero rectangular.....	37
Figura 16-1:	Diferentes formas de Rejillas.....	40
Figura 17-1:	Tanque Imhoff.....	41
Figura 18-1:	Cámara de Sedimentación.....	42
Figura 19-1:	Cámara de Digestión.....	44
Figura 20-1:	Área de Ventilación.....	45
Figura 21-1:	Lecho de Secado.....	46
Figura 22-1:	Área de Drenaje.....	47
Figura 23-1:	Filtro con Drenaje Inferior Común.....	49
Figura 1-2:	Descargas de Aguas Residuales a un Cuerpo de Agua Dulce.....	51
Figura 2-2:	Ubicación San Mateo- Mapa de Esmeraldas.....	52
Figura 3-2:	Ubicación San Mateo.....	53

INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-2:	Ubicación de San Mateo.....	53
Gráfico 2-2:	Agua residual cruda vs Límites permisibles.....	58
Grafico 1-3:	Propuesta para tratamiento de Agua residual para la Parroquia San Mateo.....	60
Gráfico 2-3:	Resultados de la Variación de Caudal en la Semana.....	82
Gráfico 3-3:	Vertedero de llegada.....	85
Gráfico 4-3:	Rejillas.....	86
Gráfico 5-3:	Tanque Imhoff.....	88
Gráfico 6-3:	Humedales.....	89
Gráfico 7-3:	Filtración.....	90
Grafico 8-3:	Porcentaje de Remoción de DBO.....	91
Grafico 9-3:	Porcentaje de Remoción de DQO.....	92
Grafico 10-3:	Porcentaje de Remoción de Fosfatos.....	93
Grafico 11-3:	Porcentaje de Remoción de Sólidos en Suspensión.....	93
Grafico 12-3:	Porcentaje de Remoción de Sólidos Sedimentables.....	94
Grafico 13-3:	Porcentaje de Remoción de Sólidos Totales.....	94
Grafico 14-3:	Porcentaje de Remoción de Aceites y Grasas.....	95
Grafico 15-3:	Porcentaje de Remoción de Coliformes Fecales.....	95
Grafico 16-3:	Porcentaje de Remoción de Turbidez.....	95
Grafico 17-3:	Propuesta para Diseño de Planta de Tratamiento.....	99
Grafico 18-3:	Crecimiento Poblacional de la Parroquia San Mateo.....	100

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:	Población futura.....	61
Ecuación 2:	Coefficiente de retorno.....	61
Ecuación 3:	Caudal máximo teórico.....	62
Ecuación 4:	Coefficiente de Mayorización.....	62
Ecuación 5:	Caudal de diseño.....	62
Ecuación 6:	Caudal de diseño medio.....	63
Ecuación 7:	Caudal máximo de diseño.....	63
Ecuación 8:	Coefficiente de Manning.....	64
Ecuación 9:	Altura del canal.....	64
Ecuación 10:	Altura total del canal.....	64
Ecuación 11:	Radio hidráulico.....	65
Ecuación 12:	Velocidad.....	65
Ecuación 13:	Número de barras.....	66
Ecuación 14:	Longitud de barras.....	66
Ecuación 15:	Área libre entre barra.....	67
Ecuación 16:	Pérdida de carga en rejillas.....	67
Ecuación 17:	Área de sección transversal del flujo.....	68
Ecuación 18:	Área de sedimentador.....	69
Ecuación 19:	Volumen del sedimentador del Imhoff.....	69
Ecuación 20:	Longitud mínima del vertedero de salida del Imhoff.....	69
Ecuación 21:	Área del digestor.....	70
Ecuación 22:	Lechos de Secado.....	70
Ecuación 23:	Masa de sólidos que conforman los lodos en el Imhoff.....	71
Ecuación 24:	Volumen diario de lodos digeridos en el Imhoff.....	71
Ecuación 25:	Volumen de lodos a extraerse del tanque Imhoff.....	71
Ecuación 26:	Área del lecho de secado.....	72
Ecuación 27:	Área superficial del humedal.....	72
Ecuación 28:	Constante de reacción.....	73
Ecuación 29:	Área vertical del humedal.....	73
Ecuación 30:	Ancho del humedal.....	74
Ecuación 31:	Largo de humedal.....	74
Ecuación 32:	Tiempo de retención hidráulica.....	74
Ecuación 33:	Velocidad de filtración.....	75
Ecuación 34:	Área superficial.....	75

Ecuación 35:	Coeficiente mínimo de costo.....	77
Ecuación 36:	Longitud del filtro.....	77
Ecuación 37:	Porcentaje de remoción.....	78
Ecuación 38:	Porcentaje removido.....	78

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Tulsma

Anexo B: Análisis en el laboratorio

Anexo C: Análisis Físico-Químico inicial

Anexo D: Análisis Microbiológico Inicial

Anexo E: Tratamiento con humedal

Anexo F: Análisis Físico-Químico después del Humedal

Anexo G: Filtración

Anexo H: Análisis Físico-Químico Agua Tratada

Anexo I: Análisis Microbiológico Agua Tratada

Anexo J: Análisis Físico-Químico Agua Tratada (Certificado)

Anexo K: Propuesta del Tratamiento

Anexo L: Manual de Operación y Mantenimiento de Rejillas

Anexo M: Manual de Operación y Mantenimiento de Imhoff

Anexo N: Manual de Operación y Mantenimiento de Humedal

Anexo O: Manual de Operación y Mantenimiento de Zanjas de Infiltración

RESUMEN

Con el propósito de evitar que el río Esmeraldas sea contaminado, se diseñó una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la parroquia San Mateo del cantón Esmeraldas. Como primer paso se realizó el reconocimiento del lugar, observando cómo es descargada el agua residual al río Esmeraldas. Luego se procedió a las mediciones de caudales por siete días consecutivos a partir de las 06h30 hasta las 18h00, obteniendo un caudal de aforo de 2,76 L/s. Para ejecutar esta investigación se aplicó un muestreo compuesto en tres horarios diferentes: 07h00, 12h00 y 18h00, obteniendo una muestra compuesta para el análisis físico-químico y microbiológico, teniendo como resultados del análisis los siguientes valores: Aceites y Grasas 225 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 200 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 408 mg/L, Fosfatos 11 mg/L, Sólidos en Suspensión 192 mg/L, Sólidos Sedimentables 1,6 mg/L, Sólidos Totales 1682 mg/L, Tensoactivos 1,7 mg/L, Coliformes Fecales 56000 UFC/100ml. Los parámetros mencionados 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 de la Parroquia San Mateo, constando con los siguientes componentes: un canal de llegada, rejillas, un tanque Imhoff, dos humedales subsuperficiales utilizando la planta *Eichornia Crassipes* y finalmente filtración. Con el diseño de la planta de tratamiento se obtuvieron porcentajes de remoción: DBO₅ 90,5%, DQO 94,1%, Fosfatos 89,7 %, Sólidos en suspensión 96,3%, Sólidos sedimentables 93,7%, Sólidos totales 80,3%, Aceites y grasas 95,9%, Coliformes fecales 100%, Turbidez 96,4%, Detergentes 76,5 % , demostrando que el tratamiento utilizado es fiable. Se recomienda a la Junta Parroquial de San Mateo la implementación de esta Planta de Tratamiento, para evitar la contaminación del río Esmeraldas por los efluentes descargados sin tratamiento previo.

PALABRAS CLAVES: <RÍO ESMERALDAS> <ESMERALDAS [CANTÓN]> <AGUAS RESIDUALES> <PLANTA DE TRATAMIENTO> <CARACTERIZACIÓN DEL AGUA> <DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO> <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE [TULSMA]> <HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL> <CALIDAD DEL AGUA>

SUMMARY

In order to prevent the Esmeraldas River to be contaminated we designed a Treatment Plant for sewage in San Mateo parish of Esmeraldas canton. As a first step the site survey was performed by observing how the waste water is discharged into the Esmeraldas River. Then we proceeded to perform flow rate measurements for seven days from 06h30 to 18h00, obtaining a flow capacity of 2.76 l / s. To perform this research work a composite sample was applied at three different times: 07h00, 12h00 and 18h00, obtaining a composite sample for physical-chemical and microbiological analysis, with the following results: Oils and fats 225 mg / L, Biochemical Oxygen Demand (BOD 5) 200 mg / L, Chemical Oxygen Demand 408 mg / 7, Phosphate 11 mg / L, suspended solids 192 mg / L, settling solids 1.6 mg / L, total solids 1682 mg / L Surfactants 1.7 mg7L, 56000 Fecal Coliform CFU / 100ml. These parameters exceed the permissible limits of environmental regulations of Unified Text of Secondary Environmental Legislation (UTSEL). With these parameters an appropriate treatment for sewage in San Mateo Parish was determined with the following components: a penstock, grids, an Imhoff tank, two subsurface wetlands using Eichornia Crassipes plant and finally filtration. With the design of the treatment plant these removal percentages were obtained: 90.5% BOD5, COD 94.1%, 89.7% phosphates, suspended solids 96,3%, 93.7% settleable solids, total solids 80.3 %, oils and fats 95.9%, 100% fecal coliform, turbidity 96.4%, and 76.5% Detergents, showing that the treatment used is reliable. The implementation of this treatment plant is recommended to the Parish Board of San Mateo, to avoid contamination of the river Esmeraldas by effluents discharged without treatment.

KEY WORDS: <ESMERALDAS RIVER> <ESMERALDAS CANTON> <SEWAGE> <TREATMENT PLANT> <WATER CHARACTERIZATION> <TREATMENT PLANT DESIGN> <UNIFIED TEXT OF SECONDARY LEGISLATION OF MINISTRY OF THE ENVIRONMENT [UTSLME]> <SUBSURFACE FLOW WETLAND> <WATER QUALITY>

INTRODUCCIÓN

La carrera de Ingeniería Química proporciona conocimiento acerca de los procesos unitarios dentro del tratamiento de aguas residuales, siendo su objetivo principal cuidar la calidad de vida de los seres humanos. De esta manera se proporciona un diseño para tratar agua residual tomando en cuenta la situación económica de los habitantes del sector.

Las aguas residuales que son descargadas directamente a un cuerpo de agua dulce sin tratamiento previo consiste en un problema muy grave para un sector, no solo afecta a los seres humanos, si no, también a animales y plantas, ya que la alta concentración de residuos sólidos, su valores de DBO y DQO, carga bacteriana, elementos tóxicos, entre otras, presentan una gran amenaza para el ecosistema.

La parroquia San Mateo, en conjunto con la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo, tienen como objetivo el cuidado de la salud de los habitantes del sector y del medio ambiente, por ello consideran necesario realizar un Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, con esto estudio se podrá realizar en lo posterior la implementación de dicho tratamiento

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

El diseño de la Planta de Tratamiento, considera la población que tendrá la parroquia después de 20 años, 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 diseño de esta planta de tratamiento es una solución para evitar la contaminación del Río Esmeraldas y del medio ambiente, así cumpliendo con los límites permisibles definidos por la Normativa Ambiental para descarga a un cuerpo de agua dulce.

ANTECEDENTES

La parroquia San Mateo fue creada el 11 de Junio de 1937, está situada a pocos minutos de la ciudad de Esmeraldas, en la provincia del mismo nombre. La parroquia San Mateo se encuentra ubicado dentro de la cuenca del Río Esmeraldas.

Según Instituto Nacional de Estadística y Censos, la parroquia San mateo tiene 5739 habitantes, el 45,06% mujeres y el 54,94% hombres; sus habitantes se desempeñan en trabajos de agricultura y extracción de madera. La tasa de crecimiento anual de la población es de 3,7% basándose en el censo del 2001.

La parroquia San Mateo no cuenta con medios de comunicación que permitan la interrelación entre sus recintos y el traslado del producto de sus actividades económicas. Con respecto a los servicios básicos, gran parte de la población no cuenta con telefonía fija. La energía eléctrica abarca el 70% de la población de San Mateo.

Actualmente la parroquia San Mateo, no cuenta con un sistema de alcantarillado por lo tanto el 60% de casas consta con su respectivo pozo séptico, sin embargo, el 40% de viviendas desecha sus aguas residuales al rio Esmeraldas sin tratamiento previo alguno, mediante una tubería que solo es para la transportación de aguas pluviales, esto ocasiona peligros a la salud pública, contaminación al suelo y vegetales, daño en el hábitat para la vida acuática por la acumulación de sólidos.

Es por ello que debe realizarse una previa investigación, para evaluar el grado de contaminación que tiene el agua residual de la Parroquia San Mateo comparando con el TULSMA libro VI anexo I. Para la investigación es necesario aplicar muestreo del agua residual para poder brindar una solución y mejorar la calidad vida de todos los habitantes de la parroquia San Mateo

JUSTIFICACIÓN

El agua es un elemento vital que directamente tiene que ver con la posibilidad del desarrollo de distintas formas de vida como: el ser humano, los vegetales y animales. El Ministerio del ambiente exige el cuidado y tratamiento estricto de aguas utilizadas en hogares por lo que se debe contar con plantas de tratamientos de aguas residuales que ayuden a reducir la contaminación al ecosistema.

La parroquia San Mateo no cuenta con este tratamiento, esto disminuye la calidad de vida de los habitantes y pone en riesgo la salud de los mismos, ya que el río Esmeraldas también es utilizado para recreación de las personas que viven en el sector.

Con el presente proyecto se busca realizar un estudio acorde con las necesidades que presenta la parroquia, en donde se realizaran las respectivas pruebas en donde se identifique el tipo de agua que se está generando, proponiendo un sistema de tratamiento adecuado con la mayor factibilidad económica, en donde la disminución del impacto generado al medio ambiente es nuestra primera opción, y dejando los usos finales que se pueden disponer del agua residual que va a ser tratada.

La Parroquia San Mateo necesita de manera inmediata este sistema de tratamiento de aguas residuales para mejorar la contaminación al ecosistema y en especial al Río Esmeraldas

Por los motivos mostrados anteriormente justifica proponer un **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN MATEO DEL CANTÓN ESMERALDAS”**, para cumplir con las expectativas que requiere la parroquia, y estar a la altura con las exigencias que hacen los organismos de regulación, ajustando los parámetros a las normas exigidas por el TULSMA (texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente), Libro VI, Anexo I. Recurso agua.

Este proyecto ayudará a disminuir el impacto ambiental debido a la descarga de aguas residuales domésticas al río Esmeraldas. La realización de este proyecto favorecerá de manera exclusiva a toda la población de San Mateo, al medio ambiente y en especial a mi formación académica, ampliando mis conocimientos obtenidos en la carrera, de manera teórica y práctica en tratamiento de aguas, y me ayudará a tener experiencia para tomar decisiones en resolver problemas de ese tipo, favoreciendo a cientos de personas para mejorar hábitat.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales en la parroquia San Mateo del cantón Esmeraldas

Específicos

- ✓ Realizar la caracterización físico – química y microbiológica de las aguas residuales de la Parroquia San Mateo del cantón Esmeraldas, basadas en los límites de descarga de la norma de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA Libro VI Anexo I. Tabla 10
- ✓ Efectuar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento
- ✓ Validar el diseño propuesto mediante la caracterización físico – química y microbiológica del agua tratada, en base a los límites de descarga del TULSMA libro VI Anexo I Tabla 10
- ✓ Estimar los costos que demanda la construcción e implementación del diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1. Aguas residuales

Agua contaminada originada por actividades domésticas o de procesos industriales, las cuales sus características físico-químicas y microbiológicas están alteradas por el uso que se les ha dado, obteniendo agua que es peligrosa para la salud del ser vivo y alterando el ecosistema debido a la mezcla de líquidos y sólidos. El agua residual puede ser la combinación de aguas superficiales, subterráneas o pluviales.

1.2. Tipos de aguas residuales

1.2.1. Aguas residuales domésticas

Son aguas generadas por actividades humanas vinculadas con el consumo de agua potable: llevado de platos, servicios higiénicos, duchas. Su composición varía según el nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones. La composición de las aguas residuales es de 99,9% por agua y solo el 0,1% en sólidos. Apenas esta pequeña cantidad de sólidos representa problema para poder darle tratamiento.

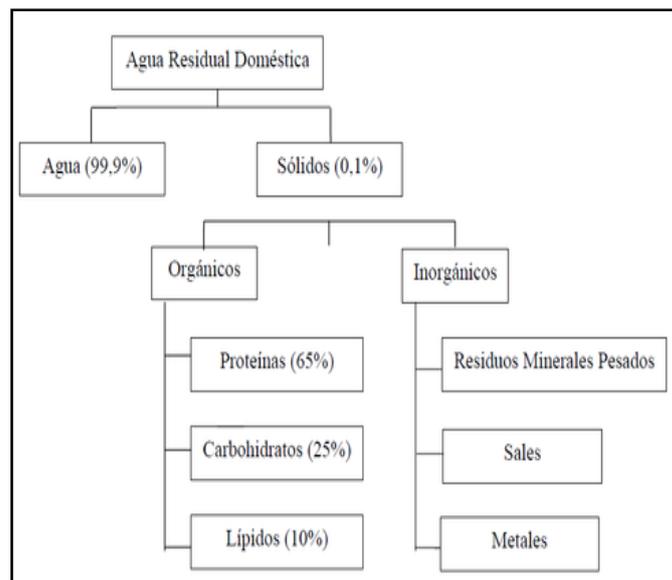


Figura 1-1: Composición de Agua Residual Típica
Fuente: Metcalf & Eddy, 2006

1.2.2. Aguas residuales industriales

Es el líquido residual proveniente de industrias teniendo características puntuales, dependiendo el tipo de industria

1.2.3. Aguas residuales urbanas

Es la combinación de agua residual doméstica e industrial, recogida a través del sistema de alcantarillado para poder tratarlas, pero sin olvidar que las aguas residuales industriales son tratadas antes de su recolección.

1.2.4. Pluviales

Son aguas de lluvia, se considera parte de las aguas residuales ya que cierta cantidad escurre por la superficie del suelo arrastrando con ella tierra, hojas, arena y otros residuos encontrados en la superficie. (ARELLANO A., 2009, p. 2)

1.3. Características de aguas residuales

1.3.1. Características físicas

1.3.1.1. Sólidos totales

Es toda materia que queda como residuo. Se conoce como sólidos totales a la materia que se obtiene luego de que el agua ha sido sometida a evaporación (103°C – 105°C), descartando a la materia perdida durante este proceso.

Tabla 1-1: Estimación De Los Componentes De Sólidos Totales En Agua Residual

COMPONENTE	PESO SECO GRAMOS/HABITANTE Y DÍA
Agua de suministro y agua subterránea, que tiene poca dureza	12,7
Heces (sólidos 23%)	20,5
Orina (sólidos 3,7%)	43,3
Inodoros (incluyendo papel)	20,0

Pilas, baños, lavaderos y otras fuentes de aguas domesticas de lavado	86,5
Basura del suelo	30
Ablandadores de agua	*
Aguas pluviales	25,0 ***
Residuos industriales	200**
Total para aguas residuales industriales y domesticas de un sistema de alcantarillado separativo	413,0
Total para aguas residuales industriales y domesticas de un sistema de alcantarillado unitario	438,0

* Variable, ** Variará según el tipo y tamaño de las industrias, *** Variar según la estación
Fuente: Metcalf-Eddy 2006

Los residuos sólidos se clasifican como: sólidos suspendidos o sólidos filtrables, según su volatilidad a 600°C. Los sólidos suspendidos se hace pasar por un filtro con un diámetro mínimo de una micra y Los sólidos sedimentables a su vez se divide en sólidos coloidales y disueltos. Los sólidos volátiles es el contenido orgánico e inorgánico (mineral).

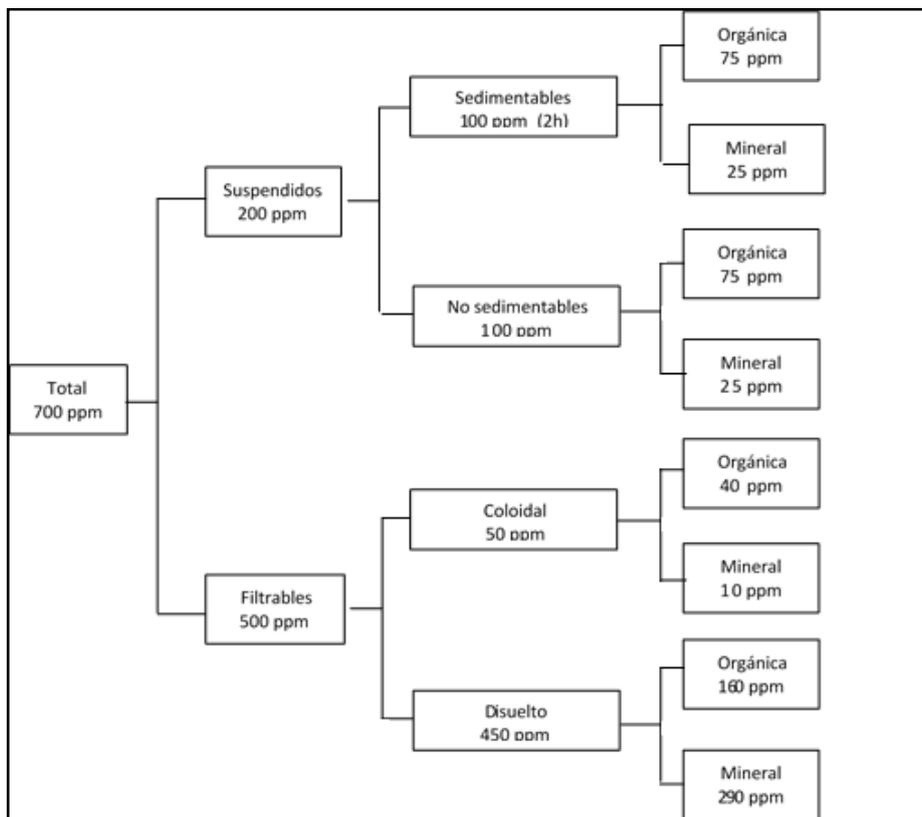


Figura 2-1: Clasificación de los Sólidos Presentes en el Agua Residual de Intensidad Media

Fuente: Metcalf-Eddy 2006

1.3.1.2. Color

El agua residual usada en los hogares generalmente es color gris, pero cuando las sustancias orgánicas son descompuestas por microorganismos, el oxígeno disuelto baja a cero, y el agua residual se torna color negro.

1.3.1.3. Turbiedad

La turbidez, es la capacidad de transmisión de la luz por medio de rayos luminosos que pasan a través del agua.

1.3.1.4. Temperatura

La temperatura del agua residual por lo general es más alta que la del suministro, debido al uso por actividades de las industrias o del hogar. Éste es un parámetro de mucha importancia para la vida acuática.

1.3.1.5. Olor

Los olores de las aguas residuales son generados por la descomposición de materia orgánica. El olor típico del agua residual es sulfuro de hidrógeno ocasionado por microorganismos anaeróbicos que reducen los sulfatos a sulfitos.

1.3.1.6. Conductividad

Es la capacidad que tiene una solución para poder conducir la corriente eléctrica, este parámetro depende de la temperatura que se haga la determinación y la concentración de sustancias ionizadas.

1.3.2. Características químicas

1.3.2.1. pH (Potencial hidrógeno)

Es la concentración del ion hidrógeno en una solución. Éste parámetro debe de ser controlado ya que puede causar problemas biológicos.

1.3.2.2. Materia orgánica

Como lo indica la Figura 2-1, el 75% y 40% de sólidos suspendidos y sólidos volátiles respectivamente son de naturaleza orgánica, generadas por animales, vegetales y actividades humanas. Generalmente las aguas residuales están formadas por: Oxígeno, Carbono, hidrogeno y en algunos casos el fósforo, nitrógeno, hierro y azufre. Los principales grupos que se encuentra en el agua residual son las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%) y aceites y grasas (10%)

1.3.2.3. DBO

El DBO_5 es el parámetro más utilizado el parámetro de polución orgánica. Es la cantidad de oxígeno disuelto usado por microorganismos la oxidación bioquímica y especifica la cantidad que se necesita para estabilizar la materia orgánica que está presente

1.3.2.4. DQO

Determina el contenido de materia orgánica susceptible a ser oxidada por sustancias químicas que existe en una muestra de aguas residuales y aguas naturales.

1.3.2.5. Relación DBO/DQO

En procesos de depuración de agua residual, es importante la relación que existe entre la DBO/DQO. El cociente de estos factores nos dará una idea de la capacidad del agua para ser degradada biológicamente. Si tenemos un factor DBO/DQO superior a 0,6 implica un agua muy biodegradable, siendo totalmente biodegradable con una relación de 1, cuando la DQO es igual que la DBO.

También puede darse el caso de aguas residuales muy poco biodegradables con relaciones de DBO/DQO menores de 0,2. En este caso tenemos un problema ya que el efecto de las depuradoras biológicas convencionales utilizadas habitualmente para aguas residuales urbanas no producirá el efecto deseado ya que las bacterias no podrán digerir la materia presente en el agua.

1.3.2.6. COT (Carbono Orgánico Total)

Es la cantidad de carbono que se encuentra enlazado a un compuesto orgánico y se utiliza repetidamente como indicador no específico de calidad de agua.

1.3.2.7. Nitrógeno

El nitrógeno se encuentra en el agua residual de manera inorgánica y orgánica y de forma reducida y oxidada. En aguas residuales está presente como amoníaco o como nitrógeno orgánico (nitritos, nitratos, amoniacal)

1.3.2.8. Fósforo

Se la encuentra en forma de fosfatos- las sales de ácido fosfórico. En aguas residuales.

1.3.2.9. Alcalinidad

La alcalinidad se da por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, por lo general el agua residual es alcalina. Es importante porque es un amortiguador contra ácidos que son generados por bacterias. La alcalinidad se determina mediante titulación

1.3.2.10. Aceites y grasas

Los aceites y grasas es toda sustancia procedente de naturaleza lipídica, que por densidad y por ser inmiscibles en el agua hay la aparición de nata y espumas, obstruyendo el paso del oxígeno hacia el agua y la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera. El contenido de grasas y aceites en el agua residual se determina por extracción con hexano.

Las grasas son compuestos orgánicos que las bacterias no pueden descomponer fácilmente, pero en presencia de ácidos minerales se transforman en glicerina y ácido graso y en casos extremos el agua se acidifica. Los aceites y grasas representan un gran problema tanto en alcantarillas como plantas de tratamiento

1.3.3. Biológicas

1.3.3.1. Coliformes fecales

Las Coliformes fecales está formada principalmente por la *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*.

1.3.3.2. *Coliformes totales*

Son bacterias aerobias y anaerobias facultativas, que tras la incubación de 24 h a una temperatura de 35°C genera una colonia de color rojo. Se la realiza en un medio que contenga lactosa.

1.3.3.3. *Bacterias*

Los organismos patógenos más frecuentes en el agua residual municipal son los pertenecientes al género *Salmonella*. Este grupo de microorganismos comprende un gran número de especies capaces de producir enfermedades en las personas y en los animales. En el agua residual pueden detectarse numerosos tipos distintos de bacterias, entre las que pueden nombrarse las especies *Vibrio*, *Mycobacterium*, *Clostridium*, *Leptospirasp* y *Yersinia*. Aunque estos microorganismos patógenos pueden encontrarse en el agua residual, sus concentraciones son normalmente muy bajas para iniciar un brote epidémico. (SALGOT M., 1994, p. 34)

1.4. Tratamiento en aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es la serie de operaciones y procesos que se hace en el agua sin tratamiento con la finalidad de reducir y en el mejor de los casos eliminar contaminantes mejorando sus características físicas, químicas y microbiológicas satisfaciendo las normas reguladas por el Ministerio del ambiente. Existen algunas operaciones y procesos para tratamiento de aguas residuales, los cuales son:

- ✓ Tratamiento preliminar o pre-tratamiento
- ✓ Tratamiento primario
- ✓ Tratamiento secundario
- ✓ Tratamiento terciario
- ✓ Tratamiento con humedales
- ✓ Tratamiento y disposición de lodos

1.4.1. *Tratamiento preliminar*

El tratamiento primario tiene como objetivo la remoción de sólidos flotantes grandes, arena, grasas. La calidad del agua residual no es mejorada en tratamientos primarios, sino por operaciones siguientes.

1.4.1.1. Rejillas

Son destinados para eliminar sólidos suspendidos de gran tamaño. Por lo general la abertura de las rejas es de 1 pulgada. El volumen de las rejillas está entre 1.3×10^{-6} y $3.7 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ por metro cúbico de flujo. El objetivo principal de este dispositivo es proteger a las bombas y otros equipos evitando el atascamiento por materiales de gran tamaño. Es por esta razón que las rejillas deberá ser la primera operación para el tratamiento de aguas residuales.

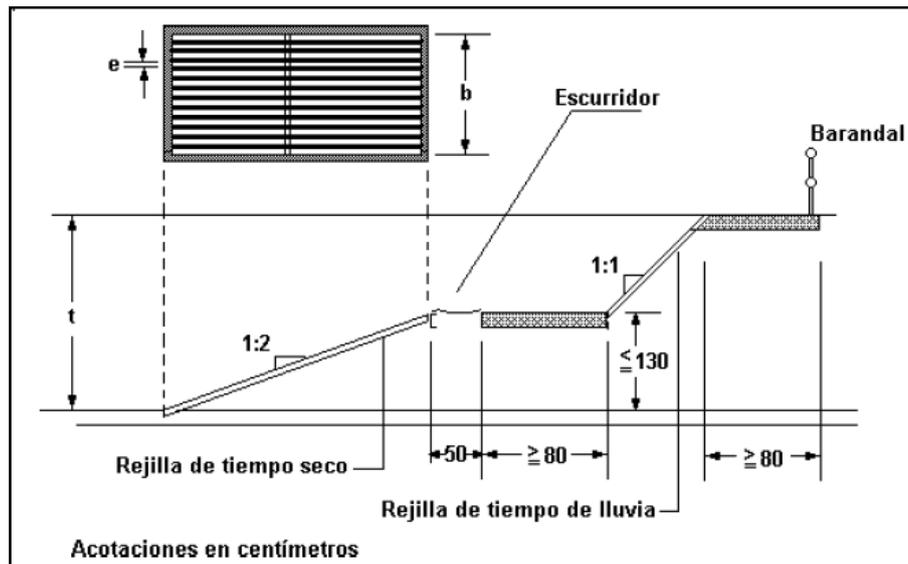


Figura 3-1: Disposición de las Rejillas de Limpieza Manual

Fuente: VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual, 2003

1.4.1.2. Trituradores

Los trituradores también reducen sólidos suspendidos grandes, disminuyendo su tamaño de manera que no afecte con los demás sistemas.

1.4.1.3. Desarenadores

Tiene como función eliminar arena y gravilla, ya que la arena es uno de los principales componentes de las aguas residuales municipales. Tiene como función eliminar arena y gravilla.

Existen dos tipos de remoción de arena:

- ✓ **Desarenadores aireados:** Mediante la introducción de aire por un lado del tanque, separa sólidos orgánicos e inorgánicos por movimiento helicoidal

- ✓ **Desarenadores a nivel constante:** Por medio de un mecanismo de raspado rotatorio, separa la arena y sólidos orgánicos almacenándolos en un tanque de sedimentación.

1.4.1.4. Desengrasadores

La grasa es eliminada en tanques desnatadores, los cuales usan entradas superficiales con deflectores y estructura de manera que flote el material que se va a retener. El exceso de grasa obstruye filtros y recubre flóculos en tratamiento de lodos.

1.4.1.5. Pre-aireación

La pre-aireación es una operación de gran ventaja, ya que elimina compuestos volátiles y aumenta el oxígeno disuelto reduciendo la producción de mal olor. La aireación también ayuda a remover en parte la grasa

Tabla 2-1: Objetivos de los Procesos de Tratamiento Preliminar

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arena y gravillas
Desengrasadores	Eliminación de Aceites y grasas
Pre-aireación	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS/OMS.

1.4.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario se emplea para remover sólidos suspendidos y materiales flotantes mediante procesos físicos o mecánicos. También elimina gran parte de carga orgánica. Los métodos realizados en un tratamiento primario son:

1.4.2.1. Sedimentación primaria

Generalmente los tanques de sedimentación son rectangulares o cilíndricos, es donde se remueve aproximadamente el 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos en suspensión en aguas residuales

1.4.2.2. Flotación

Es la separación de grasas y aceites, materias floculadas en la clarificación, espesamiento de fangos activos procedentes del tratamiento de aguas residuales urbanas, separación de hidróxidos metálicos o de pigmentos en las aguas residuales industriales por diferencia de densidades.

1.4.2.3. Remoción de sólidos suspendidos

Para pequeñas comunidades el tanque Imhoff es una opción factible para la remoción de sólidos en suspensión eliminándolos en un 40-50.

Componentes

- ✓ **Cámara de sedimentación:** Aquí se remueve gran parte de sólidos en suspensión.
- ✓ **Cámara de digestión de lodos:** Es donde se almacenan y se digieren los lodos. Los lodos acumulados son enviados a un lecho de secado
- ✓ **Cámara de ventilación y acumulación de natas:** Los gases que son producidos en el proceso, son enviados a ésta cámara

1.4.2.4. Coagulación, floculación, sedimentación

La adición de coagulantes poliméricos o metálicos provocan la formación de partículas más pesadas, las cuales se separarán por diferencia de densidad. Ésta acción remueve los sólidos en suspensión.

1.4.2.5. Tamices

Los tamices son para eliminación de sólidos que pueden crear molestias en procesos biológicos. Utilizar tamices en lugar de clarificadores permitirá disminuir el costo.

Tabla 3-1: Objetivos de los Procesos del Tratamiento Primario

PROCESO	OBJETIVO
Sedimentación primaria	Remoción de sólidos sedimentables y en suspensión
Flotación	Separación de aceites y grasas, materia floculada, espesamiento de fangos activos
Tanque Imhoff	Eliminación de sólidos en suspensión

Coagulación química, floculación, sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión
Tamices finos	Eliminación de sólidos

Fuente: ingeniería Ambiental, Abastecimiento de Agua y Alcantarillado

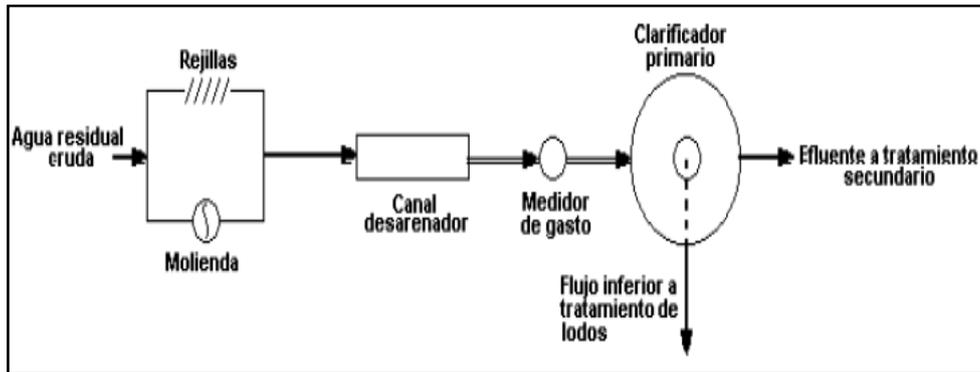


Figura 4-1: Sistema de Tratamiento Primario Típico

Fuente: VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual, 2003

1.4.3. Tratamiento secundario

Los tratamientos secundarios son procesos biológicos que son destinados para reducir o eliminar la materia orgánica soluble y coloidal que queda luego del tratamiento primario.

1.4.3.1. Desbaste

Es la retención de sólidos gruesos por medio de una reja, ya sea manual o automática.

1.4.3.2. Fangos Activados o Lodos Activados

Evita el crecimiento de microorganismos y bajo condiciones ideales convierte amoníaco en nitrito y nitrato. Antes de diseñar una planta de tratamiento de fangos activos, es importante determinar la cantidad de materia orgánica que se encuentra en el agua residual, por lo que es necesario determinar el DBO_5 y el DQO, con la relación de estos parámetros se encuentra si existe biodegradabilidad en los compuestos presentes en el efluente, y también se utilizará para controlar la planta de tratamiento Así teniendo:

Cuando $DQO/DBO_5 < 2,5$, es un agua biodegradable, teniendo como opción utilizar sistemas biológicos como los fangos activados o también pueden utilizarse sistemas fitorremediadores.

Cuando $2,5 < DQO/DBO_5 < 5$, es recomendable utilizar lechos bacterianos

1.4.3.3. Lechos bacterianos

Las películas biológicas situadas en la superficie de las camas proporcionan tener un medio aerobio en el cual las bacterias, protozoos y hongos se comen o reducen el contenido orgánico.

1.4.3.4. Placas rotativas y espirales

Son usadas en pequeñas plantas, crea un flóculo biótico

1.4.3.5. Reactor biológico de cama móvil (MBBR)

Este proceso elimina costos de operación de retorno de fangos activos, incrementando la eficiencia el sistema por mantener una densidad alta de biomasa

1.4.3.6. Filtros aireados biológicos (BAF)

Combina filtración y reducción de carbono, soportando la biomasa y solidos suspendidos.

1.4.3.7. Reactores biológicos de membrana (MBR)

Remueve completamente los sólidos suspendidos y algunos disueltos por medio de una membrana semipermeable

1.4.3.8. Sedimentación secundaria

Es el último proceso del tratamiento secundario y su objetivo es eliminar flóculos biológicos obteniendo agua tratada con poco contenido de materia orgánica y en suspensión.

1.4.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario mejora la calidad del agua para poder ser descargada a un cuerpo receptor (río, mar, lago, etc.). Es necesario este tratamiento porque elimina en su mayoría compuestos tóxicos, exceso de materia orgánica sólidos disueltos y microorganismos

1.4.4.1. Filtración

Retiene residuos de materia suspendida, eliminando toxinas residuales.

1.4.4.2. Lagunaje

Es un sistema aerobio y se da por la colonización de macrófitos sobre lagunas, río o charcos. Su función es la sedimentación y mejora biológica del agua.

1.4.4.3. Remoción de nutrientes

En este proceso se elimina el fósforo, nitrógeno que son un gran problema para la vegetación y la vida acuática. La eliminación de nitrógeno se da por medio de oxidación biológica (nitrificación) y la reducción de fósforo por coagulación química

1.4.4.4. Desinfección

El objetivo de la desinfección de aguas residuales es eliminar un gran número de microorganismos vivos en el agua. Las formas más comunes para desinfección del agua residual son: el ozono, cloro y luz UV. Un inconveniente de la desinfección con cloro es que produce compuestos clorados que son cancerígenos y negativos para el ambiente

La UV (luz ultravioleta) es el método más usado para desinfección porque genera menos contaminación. El ozono (O_3) tras ser inestable, es considerado más seguro que el cloro porque puede ser almacenado en cualquier sitio, mientras que el cloro o clorina tiene que ser guardado en un lugar altamente venenoso.

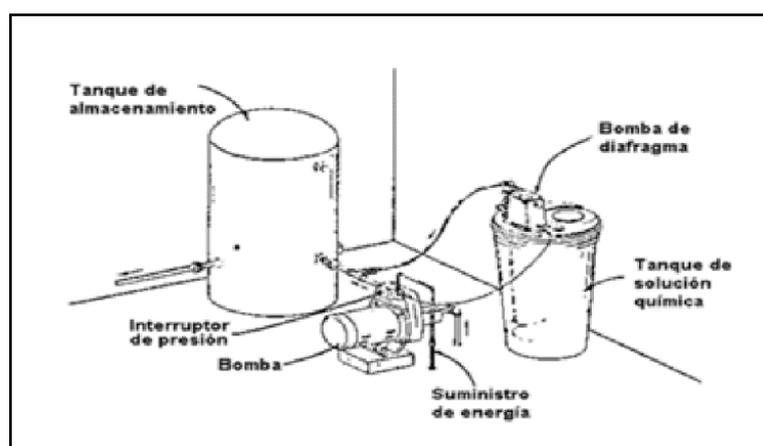


Figura 5-1: Instalación Típica de Hipo Cloración

Fuente: VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual, 2003

La desinfección es más utilizada para tratamientos de potabilización reutilización del agua para riego. La reutilización de aguas residuales es común cuando los municipios tienen altas demandas

de agua, teniendo en cuenta el crecimiento de la población y la cantidad de agua utilizada para riego agrícola. El requisito más importante para poder reutilizar el agua residual tratada es que sea de calidad higiénica y sanitaria

Tabla 4-1: Características de un Desinfectante Ideal

CARACTERÍSTICA	OBSERVACIONES
Toxicidad a las microorganismo	Deberán poseer un amplio espectro de actividad de altas diluciones
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o tejido celular
Estabilidad	La pérdida de acción germicida al estar en reposo debe ser pequeña
No toxico a formas superiores de vida	Deberá ser toxico a los organismo y no toxico al hombre y otros animales
Homogeneidad	La solución debe tener una composición uniforme
Interacción con materias extrañas	No deberá ser absorbido por materia orgánica
Toxicidad a temperatura ambiente	Deberá ser eficaz a temperatura ambiente
Penetración	Deberá tener capacidad de penetrar a través de las superficies
No corrosivo y que no manche	No deberá atacar los metales o manchar la ropa
Aptitud desodorizante	Deberá desodorizar mientras desinfecta
Capacidad detergente	Deberá poseer acción limpiadora para mejorar la efectividad del desinfectante.
Disponibilidad	Deberá estar disponible en grandes cantidades y a precios razonables

Fuente: Metalf- Eddy 2006

1.4.5. Humedales artificiales

Unos de los tratamientos de mayor beneficio económico lugares de pocos habitantes son los humedales, que utilizan camas de caña para mejora biológica, generalmente son utilizadas como tratamiento secundario para poblaciones pequeñas. Los humedales artificiales son aquellos en los que se usan plantas y organismos acuáticos para tratamiento de aguas residuales. Son lagunas con macrófitos cuya función es mejorar la calidad del agua, recalando que estas plantas no se usan para tratar desechos crudos.

Tabla 5-1: Funciones de los Humedales Artificiales

PROCESOS	DESCRIPCIÓN
Remoción física	Remoción de material particulado
Remoción biológica	Remoción de contaminantes por captación de las plantas
Remoción química	Remoción por absorción

Fuente: Delgadillo, O 2010

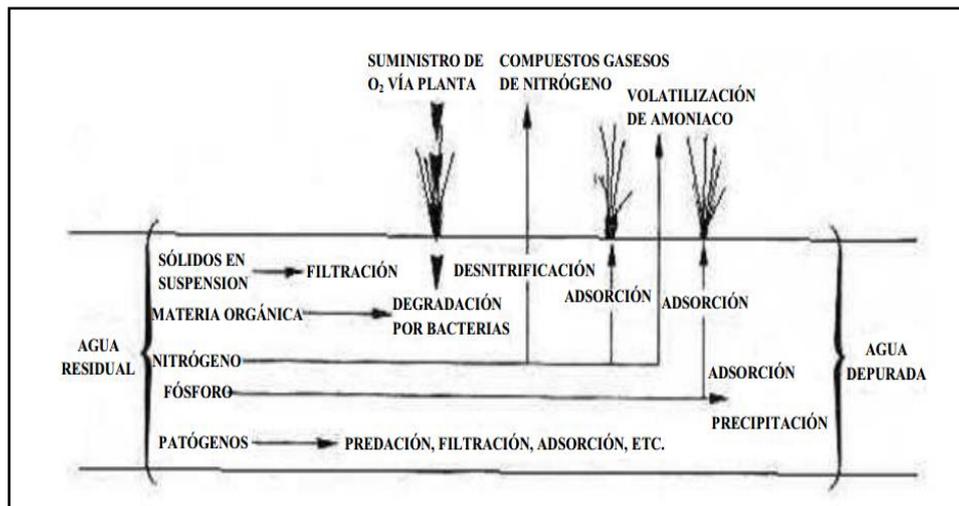


Figura 6-1: Proceso de Depuración de los Humedales Artificiales

Fuente: Lara Jaime 1999

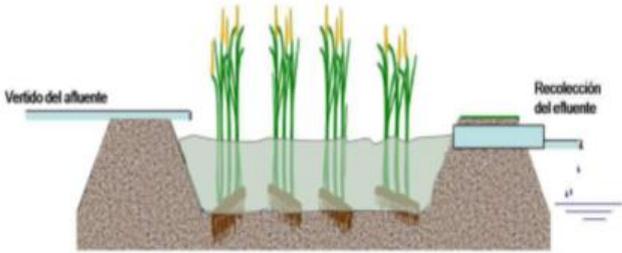
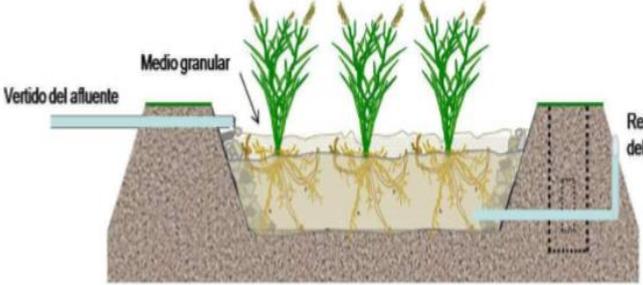
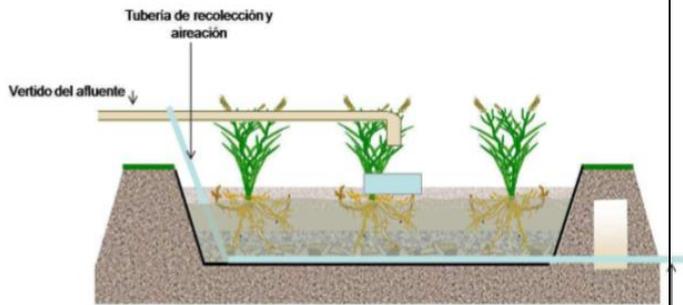
1.4.5.1. Tipos de humedales

Existen dos tipos de humedales artificiales para depuración de aguas residuales, los cuales son:

- ✓ Superficial
- ✓ Subsuperficial

En la siguiente tabla se especifica la información de cada tipo de humedal.

Tabla 6-2: Tipos De Humedales Artificiales

Humedales	Descripción	
SUPERFICIAL HFS	Las plantas están enraizadas en el fondo del humedal	
SUBSUPERFICIAL- HFFS	Solo las raíces de las plantas están en contacto con el agua	<div style="text-align: center;">  <p>Horizontal</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vertical</p> </div>

Fuente: Estrada Islema, Humedales artificiales para remoción de metales pesados, 2010

1.4.5.2. Componentes de un humedal tipo

Generalmente los humedales artificiales están compuestos por:

- ✓ **Sustrato o material granular:** permite que la vegetación sea más estable permitiendo una biopelícula de microorganismos que actúa como depurador de contaminantes del agua a tratar.

- ✓ **La vegetación:** Son macrófitos cuya función es la oxigenación del sustrato, y eliminación de nutrientes por medio de la absorción.
- ✓ **El agua a tratar:** se encuentra circulando a través del sustrato y la vegetación.

1.4.5.3. Principios de depuración

El humedal tiene mecanismo para depurar aguas residuales, basándose en los siguientes principios

- ✓ Gracias al sustrato y las raíces se elimina sólidos en suspensión por filtración
- ✓ Por acción de microorganismos (aerobios o anaerobios) se elimina la materia orgánica.
- ✓ El nitrógeno es eliminado por acción directa de las plantas, llamándose procesos de nitrificación-desnitrificación.
- ✓ Por medio de la adsorción es eliminado el fosforo y los microorganismos patógenos.

1.4.6. Tratamiento y disposición de lodos

Los sólidos obtenidos en los tratamientos anteriores se deben tratar de una manera fiable y eficiente. Las maneras más comunes para tratar los lodos son digestión anaerobia, la digestión aerobia, y el abonamiento. El tratamiento de lodos son procesos biológicos y físicos que se aplican para la deshidratación del lodo

1.4.6.1. Procesos de digestión

Los procesos de digestión deben ser modelados como procesos de crecimiento suspendido sin retorno de sólidos. La digestión suministra alguna reducción en poblaciones de organismos patógenos que pueden estar presentes en lodos, reduce la masa total de sólidos y también mejora la deshidratación.

1.4.6.2. Digestión anaeróbica

No requiere la presencia de oxígeno. El proceso anaerobio se obtiene metano que puede ser utilizado como fuente de energía para el funcionamiento de la planta de tratamiento

1.4.6.3. Digestión aeróbica

Reduce sólidos volátiles, baja la carga de DBO y representan bajo su costo al momento de operación y mantenimiento

1.4.6.4. Compostaje

Se da por descomposición termofónica aeróbica reduciendo el número de microorganismos patógenos y se considera como un proceso de disposición, porque es posible vender el lodo del agua residual en gran parte para rellenos sanitarios

1.4.6.5. Procesos químicos

La aplicación de procesos químicos en el tratamiento de lodos es para acondicionar y estabilizar el lodo. Para acondicionar se considera la aplicación de emulsificantes, coagulantes, tratamientos térmicos, cloración, las dosis requeridas se dan en función del pH, concentración de fosfatos, alcalinidad, sólidos. La cal y el cloro se consideran como agentes estabilizantes y acondicionante

1.4.6.6. Espesamiento

Es el aumento del tamaño de sólidos de lodos que son delgados con el motivo de reducir el volumen total, mediante una serie de técnicas de concentración.

1.4.6.7. Deshidratación

La deshidratación se da por: secado con aire y mecánicos. Es la eliminación completa del agua que tiene el lodo.

1.5. Muestreo

El muestreo se da con el fin de tomar muestras representativas donde los datos que se obtengan servirán para determinar el tratamiento necesario

1.5.1. Tipos de muestreo

1.5.1.1. Muestreo puntual

Es simplemente una porción del flujo removido de una manera tal que aumentara la probabilidad de que sea representativo del flujo en el instante que es tomado. Es posible tomar muestras puntuales de la descarga de una bomba, sacarlas manualmente del flujo sacarlas o sinfonearlas automáticamente de la corriente. Para establecer la viabilidad del residuo con respecto al tiempo se requieren mezclas puntuales.

1.5.1.2. Muestra compuesta

Es una mezcla de muestras puntuales tomadas sobre un periodo de tiempo; en este caso, el volumen de las muestras individuales son casi siempre proporcionales al caudal en el tiempo en que la muestra es tomada. Las muestras compuestas pueden ser obtenidas manual o automáticamente sobre una base de tiempo o cuando se alcance un caudal total especificado. Las muestras compuestas son más útiles para analizar características promedio, tales como las cargas diarias de residuo.

1.5.1.3. Muestra continua

Representa la desviación de una fracción pequeña del caudal total sobre algún periodo de tiempo. En general, los muestreadores continuos no son proporcional al caudal sino que más bien extrae la muestra a una tasa constante. (TERENCE J., 1999, p. 430)

Tabla 7-1: Preservación de Muestras

PARÁMETRO	MEDIO DE PRESERVACIÓN	PERIODO MÁXIMO DE RETENCIÓN
Alcalinidad-acidez	Refrigeración a 4°C	24 horas
DBO	Refrigeración a 4°C	6 horas
Calcio	No se requiere	----
DQO	2ml/l H ₂ SO ₄	7 días
Cloruros	No se requiere	----
Color	Refrigeración a 4°C	24 horas
Cianuros	NaOH a pH 10	24 horas
Oxígeno disuelto	A determinar in situ	No hay retención
Fluoruros	No se requiere	----
Dureza	No se requiere	----
Metales totales	5 ml/l HNO ₃	6 meses
Metales disueltos	Filtrado: 3 ml/l 1:1 HNO ₃	6 meses
Nitrógeno amoniacal	40 mg/l HgCl ₂ . 4°C	7 días
Nitrógeno Kjeldahl	40 mg/l HgCl ₂ . 4°C	Inestable
Nitrógeno, nitrito-nitrato	40 mg/l HgCl ₂ . 4°C	7 días
Aceites y Grasas	2ml/l H ₂ SO ₄ . 4°C	24 horas
Anhídrido carbónico	2ml/l H ₂ SO ₄ (Ph=2)	7 días

Ph	Ninguno útil	----
Fenoles	1,0 g CuSO ₄ + H ₃ PO ₄ a pH 4,0 y 4 °C	24 horas
Fósforo	40 mg/l HgCl ₂ . 4°C	7 días
Sólidos	Ninguno útil	----
Conductancia específica	No se requiere	----
Sulfato	Refrigeración a 4°C	7 días
Sulfuros	2 ml/l acetato de Zn	7 días
Umbral de olor	Refrigeración a 4°C	24 horas
Turbidez	Ninguno útil	

Fuente: Metcalf-Eddy 2006

1.6. Caudal

Es la cantidad de líquido que pasa a través de un ducto (tubería, cañería, río, canal, etc.) por unidad de tiempo. La siguiente tabla nos indica los métodos más utilizados para la medición de caudal en arroyos o canales.

Tabla 8-1: Métodos para medir el Caudal de Agua de Arroyos o Canales

MÉTODO	CAUDAL DE AGUA	EXACTITUD	OBSERVACIONES	EQUIPO
Rápido y aproximado	Pequeño	Una aproximación	Para una estimación rápida	Ninguno
Cubo	Muy pequeño	Muy grande	El más exacto de todos los métodos	Presa, tubo, cubos, botella de 1 l, reloj
Flotador	De pequeño a grande	Pequeña a mediana	Más conveniente para arroyos de agua tranquila	Flotador, estacas, línea, vara de medir, reloj
Flotador y sección transversal		Mediana		Flotador, estacas, línea, vara de medir, hoja de registrar, reloj
Mancha de colorante y				Colorante, estacas, línea vara de

sección transversal				medir, hoja de registrar, reloj
Presa, triangular	No varía mucho, 114 l/s o menos, o varía mucho de pequeño a grande	Grande	Para registrar el caudal durante un período de tiempo	Madera, planchas de metal o láminas acanaladas de tejado; m herramientas para trabajar la madera o el metal, pala, pico, línea, nivel, vara de medir
Presa, rectangular	No varía mucho y es de más de 1 14 l/s			

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

1.7. Transporte de aguas residuales

El transporte de aguas residuales se debe realizar por medio de tuberías o cañerías cerradas.

Las tuberías para transportar aguas residuales generalmente son construidas de: concreto reforzado, asbesto cemento, hierro dúctil, acero o plásticos (PVC)

1.7.1. Concreto reforzado

Es fabricada envolviendo un alambre de alta resistencia a la tensión alrededor de un cilindro, la ventaja de este material es que no puede corroerse ni sufre de pérdida de capacidad hidráulica con el tiempo.

1.7.2. Asbesto-Cemento

Son tuberías en las que su parte interna es muy lisa y sus características hidráulicas son excelentes.

1.7.3. Hierro dúctil

Generalmente son usados para alcantarillado con o sin presión, sistemas de riego e instalaciones industriales. Son extremadamente durables siendo su tiempo de vida más de 100 años, pero está sujeta a la corrosión, por lo cual al interior de la tubería pueden existir incrustaciones de óxido, disminuyendo el diámetro de la tubería e incrementando su rugosidad relativa

1.7.4. Acero

Son utilizadas particularmente cuando las dimensiones son largas y las presiones son altas, es un material muy resistente y muy liviano. Esta tubería puede tener algunos escapes de agua por uniones lo cual se obtiene un deterioro y corrosión de la misma

1.7.5. PVC (Cloruro de Vinilo)

Es un plástico rígido, resistente a los químicos de color blanco usado para desechos sanitarios, trampas de desagüe domésticas y comerciales, es mucho más fácil de manejar e instalar y son económica.

1.8. Normativa ambiental

Esta norma está establecida por la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento para Control de la Contaminación Ambiental con el objetivo de prevenir y controlar la contaminación ambiental.

1.8.1. Normas generales para descarga a efluentes de cuerpo dulce

- ✓ Las normas locales para descargas serán fijadas considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas, en condiciones de caudal ambiental y cargas contaminantes futuras.
- ✓ El Plan Maestro de Control de la Contaminación del Agua tiene como carácter obligatorio tener un criterio de modelación de la concentración de los microorganismos como parte de un Plan de Cumplimiento
- ✓ Las normas de descargas deberán ser consideradas con los valores limitantes de cada uno de los parámetros fijados.
- ✓ En situaciones específicas de ausencia de estudios del cuerpo receptor, falta de definición de utilización del agua (como son en municipalidades) se utilizarán los valores de la **TABLA 9-1** de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Nacional de Control Ambiental.

- ✓ En condiciones especiales de adopción de sistemas de tratamiento de la más alta eficiencia y bajo costo se podrán adoptar directamente estos sistemas, para lo cual se requiere la aprobación de la Autoridad Nacional de Control Ambiental.

- ✓ Los lixiviados formados en los rellenos sanitarios deben cumplir con los rangos y los límites establecidos en las normas de descargas fijadas.

Tabla 9-1: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30 , 0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5 , 0
Arsénico total	As	mg/l	0 , 1
Bario	Ba	mg/l	2 , 0
Boro Total	B	mg/l	2 , 0
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	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1 , 0
Cobalto	Co	mg/l	0 , 5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	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 (5 días)	DBO ₅	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
Fósforo Total	P	mg/l	10 , 0
Hierro total	Fe	mg/l	10 , 0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20 , 0
Manganeso total	Mn	mg/l	2 , 0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005

Níquel	Ni	mg/l	2 , 0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30 , 0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50 , 0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0 , 05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0 , 1
Plata	Ag	mg/l	0 , 1
Plomo	Pb	mg/l	0 , 2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0 , 1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	80 , 0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ - 2	mg/l	1000
Sulfuros	S- 2	mg/l	0 , 5
Temperatura	°C		< 35
Tenso activos	Activas al azul de metileno	mg/l	0 , 5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1, 0

Fuente: Tulsma. Libro VI. Anexo 1

1.9. Fitorremediación

La fitorremediación es una técnica de bajo costo usada para eliminar contaminantes en el entorno, siendo un sistema sustentable utilizando plantas in situ para limpieza de contaminantes orgánicas e inorgánicas.

1.9.1. Criterios de selección de plantas para la fitorremediación

La eficiencia para eliminación de contaminantes durante la fitorremediación depende de la especie de planta usada, teniendo como características:

- ✓ Tolerar elevadas concentraciones de metales
- ✓ Capacidad de acumular metales
- ✓ Crecer de manera rápida y alta productividad
- ✓ Poder cosecharlas fácilmente

1.9.2. Tipos de plantas depuradoras

Las plantas más comunes utilizadas para la depuración de aguas residuales en el Ecuador son las siguientes:

- ✓ **Azolla filiculoides (Helecho acuático):** Son plantas flotantes, siendo sus hojas pequeñas raíces cortas. Su color varía de rojo a púrpura por el contacto del sol y verde en la sombra, su reproducción es rápida. Se seca al perder el contacto con el agua.
- ✓ **Bacopa monnieri (Bacopa):** Pequeña hierba, consta con numerosas ramas y nudos en las raíces, generalmente habita en zonas pantanosas. Pudiendo crecer en zonas ligeramente salobre
- ✓ **Eichornia crassipes (Jacinto de agua):** Es una planta de agua dulce que flota por rizomas esponjosas, y tiene una tasa de crecimiento elevada, duplicando su número en una semana
- ✓ **Hydrilla verticillata (Maleza acuática):** Tiene un tallo largo con numerosas hojas de color verde, habita en climas cálidos
- ✓ **Lemna minor (Lenteja de agua):** Es una planta de pequeño tamaño, sus hojas tienen forma elíptica con nervios notorios, crece con rapidez. Absorbe los fertilizantes residuales presentes en aguas negras
- ✓ **Pistia stratiote (Lechuga de agua):** Sus hojas son color verde, gruesas pudiendo llegar hasta 14 centímetros de largo formando rosetas. La planta madre y las hijas están conectadas por el tallo
- ✓ **Salvina molesta (Salvina):** Planta de pequeño tamaño, se reproduce rápidamente pudiendo doblar su población en tan solo pocos días, se las encuentran en estanques, lagos, reservorios.
- ✓ **Spirodela polyrrhiza (Flores de agua):** Helechos de forma ovalada, de tamaño muy pequeño, flotan en superficies de agua dulce siendo 19° C su temperatura apropiada de crecimiento.
- ✓ **Valisneria americana (Valisneria lisa):** Originaria de climas tropicales, sus hojas son bastantes largas, su reproducción es rápida y es de fácil mantenimiento.

Tabla 10-1: Ejemplos de Plantas Acuáticas Depuradoras

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Azolla filiculoides	Helecho acuático

Bacopa monnieri	Bacopa
Eichornia crassipes	Jacinto de agua
Hydrilla verticillata	Maleza acuática
Lemna minor	Lenteja de agua
Pistia stratiotes	Lechuga de agua
Salvina molesta	Salvina
Spirodela polyrrhiza	Flores de agua
Valisneria americana	Valisneria lisa

Fuente: Delgadillo O 2010

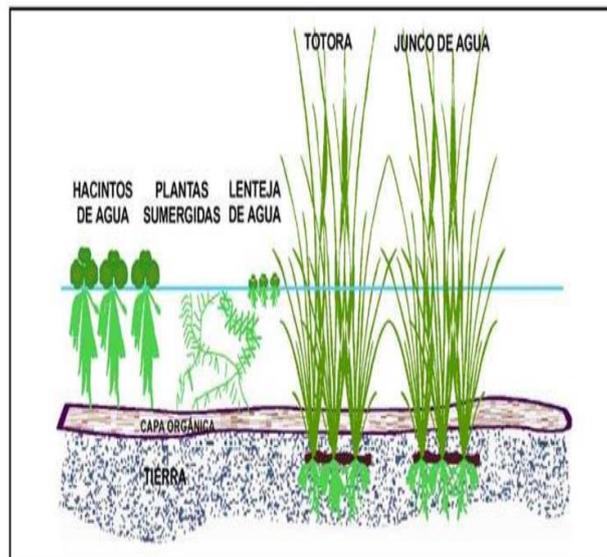


Figura 7-1: Plantas Acuáticas

Fuente: Delgadillo O 2010

1.9.3. *Eichornia crassipes* (Jacinto de Agua)

Es una macrófita flotante de origen Sudamericano, también conocido como Jacinto de agua o lechugin. Es una planta de agua dulce que flota por rizomas esponjosos, y tiene una tasa de crecimiento elevada, duplicado su número en una semana. En verano brota flores de color blanco con amarillo y lilas, las cuales evitan la propagación del mal olor producido por las aguas negras.

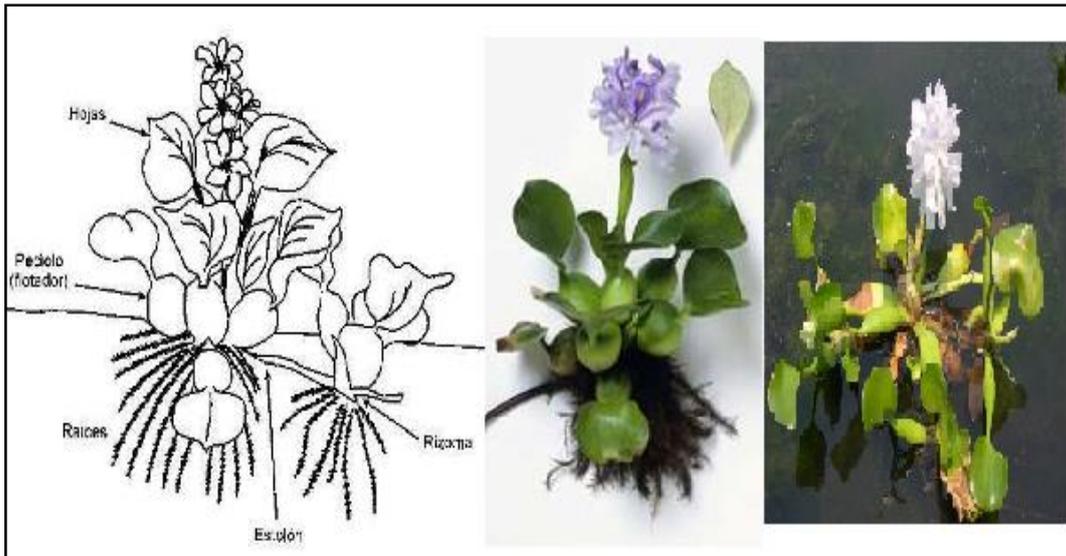


Figura 8-1: Morfología de *Eichornia Crassipes*
Fuente: Romero Jairo, tratamiento de aguas residuales, 2002

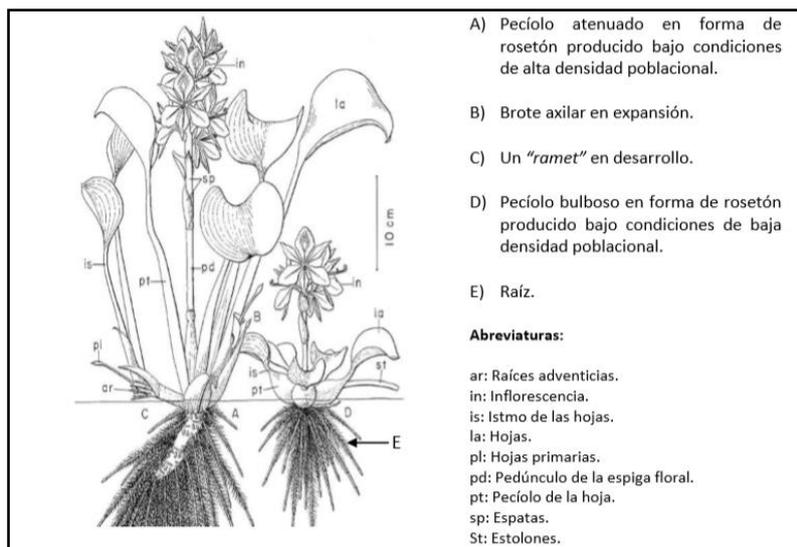


Figura 9-1: Partes de la *Eichornia Crassipes*
Fuente: Romero Jairo, tratamiento de aguas residuales, 2002

1.9.3.1. Taxonomía

La *Eichornia crassipes* está dentro de la siguiente clasificación:

Tabla 11-2: Clasificación Taxonómica del Jacinto de Agua

REINO	<i>PLANTAE</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>

Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Commelinales</i>
Familia	<i>Pontederiaceae</i>
Género	<i>Eichhornia</i>
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Especie	<i>Eichhornia crassipes</i>

Fuente: García J., 2008

1.9.3.2. Hábitat

Es una planta que vive en aguas dulces tranquila como: ríos, lagunas, estanques, pantanos, presas, etc. Su temperatura óptima de crecimiento es de 25-30°C. Actualmente se encuentran en regiones con climas tropicales

1.9.3.3. Composición química

Tabla 12-1: Composición Química del Jacinto de Agua

CONSTITUYENTE	% de masa seca	
	Promedio	intervalo
Proteína cruda	18,1	9,7-23,4
Grasa	1,9	1,6-2,2
Fibra	18,6	17,1-19,5
Ceniza	16,6	11,1-20,4
Carbohidrato	44,8	36,9-51,6
Fósforo	0,6	0,3-0,9

Fuente: García J., 2008

1.9.3.4. Reproducción

El Jacinto de agua se reproduce de manera sexual y asexual por propagación vegetativa.

1.9.3.5. Cultivo

Se puede cultivar de dos maneras

- ✓ Por la cantidad de agua ocupada en un tiempo determinado

- ✓ Por la densidad de la planta

La densidad con la que cubre una superficie la *E. crassipes* es de 10 Kg/m² en peso húmedo y puede alcanzar hasta 80 Kg/m²

1.9.3.6. Parámetros de crecimiento

El crecimiento de esta planta depende del medio donde se desarrolle, cuando no hay fertilizantes impide el crecimiento del Jacinto de agua, en el caso que exista concentración alta de nutrientes la planta llega a su límite máximo tomando un color azul-verdoso. Los parámetros de crecimiento son los siguientes:

- ✓ Iluminación intensa
- ✓ Debe estar a un temperatura entre 25-30°C, si la temperatura llega a 10°C produce la muerte de la planta
- ✓ El pH debe estar entre 6,0-7,5
- ✓ La dureza deberá estar alrededor de 12-18
- ✓ El agua rica en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio favorece al crecimiento de la *E. crassipes*

1.10. Parámetros de Diseño

En los últimos años las poblaciones pequeñas y grandes tienen diferente sistema de agua residual, debido a que requiere un tratamiento adecuado cada una. Los sistemas de tratamiento para poblaciones pequeñas deben ser diseñados de acuerdo al costo y disposición de los recursos físicos y económicos de sus habitantes con la finalidad de cuidar la salud de las personas y de proteger el ambiente de la contaminación.

Teniendo en cuenta todos los aspectos antes mencionados, para diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales en poblaciones pequeñas se necesita de la información siguiente:

1.10.1. Población

1.10.1.1. Población actual

Según el último CENSO realizado en la Parroquia San Mateo del cantón Esmeraldas en el año 2010 por INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), revela una población de 5739

1.10.1.2. Población futura

Para calcular la población futura se lo realiza mediante el método geométrico que es más aconsejable para poblaciones pequeñas, tomando en cuenta una tasa de crecimiento de 3,7% tomando como referencia la población parroquial del 2001

Tabla 13-1: Parámetros para la Población Actual

PARÁMETROS	UNIDAD	DATOS
Pa	Hab	5739
R	%	3,7
N	Años	20

Fuente: INEC, CENSO 2010 de Parroquia San Mateo

1.10.2. Caudal

El caudal de las aguas residuales está en función a las aportaciones generadas por los habitantes.

1.10.2.1. Coeficiente de retorno

Indica que el agua consumida por los habitantes no es enviada completamente al alcantarillado, por esto se establece un coeficiente de retorno, que según las normas EX IEOS de 1993 tiene un valor entre el 70 y 80%, y está dada por la siguiente ecuación.

1.10.2.2. Caudal máximo teórico

Para realizar este cálculo se utiliza el caudal medio, donde se necesitara determinar un coeficiente de simultaneidad o mayorización que indicará las variaciones que tendrá el caudal de las aguas residuales.

1.10.2.3. Coeficiente de Mayorización

También conocido como coeficiente de punta, relacionando el gasto máximo diario y el gasto medio diario. Se selecciona de acuerdo a las características de la población.

1.10.2.4. Caudal de diseño

En el caudal de diseño esta englobado el caudal máximo teórico y el caudal de infiltración:

- ✓ **Caudal de infiltración:** Es la cantidad de agua filtrada a través del suelo.

Tabla 14-1: Tasa de Infiltración según área

ÁREA (ha)	TASA DE INFILTRACIÓN (L/s-ha)
0,5	0,05
1	0,1
1,5	0,15
2	0,2
2,5	0,25

Fuente: ROMERO, J., 2002

1.10.3. Vertederos

Los vertederos son una estructura hidráulica cuyo objetivo es el pase libre y controlado del agua hacia escurrimientos superficiales, generalmente son utilizados para la medición de caudales

1.10.3.1. Tipos de vertederos

Los vertederos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales son los siguientes:

- ✓ **Según el ancho de la cresta**

- Cresta delgada: Es más usado como aforador por ser una estructura de fácil construcción e instalación, son utilizados para determinar caudales en corrientes pequeñas

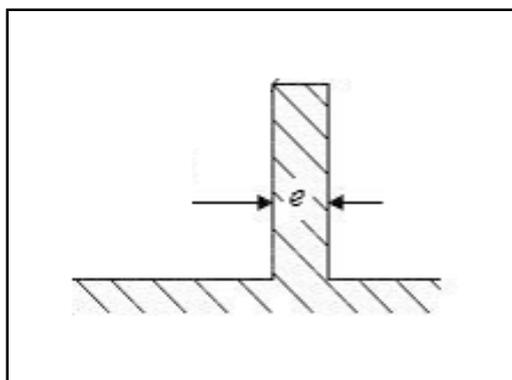


Figura 10-1: Vertedero con cresta delgada

Fuente: Norma Ecuatoriana- INEN

- Cresta ancha: Poseen menor capacidad de descarga, su uso más frecuente es como estructuras de control de nivel.

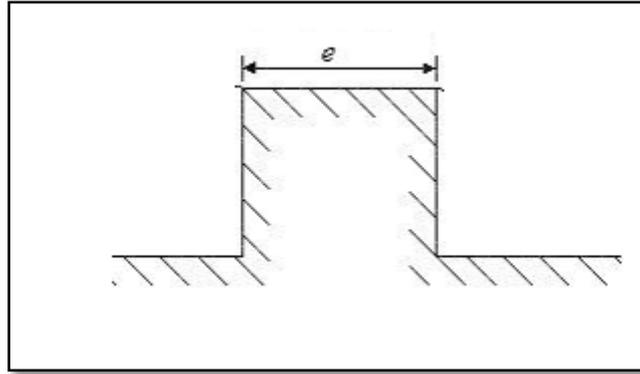


Figura 11-1: Vertedero con cresta ancha
Fuente: Norma Ecuatoriana- INEN

✓ **Según su forma**

- Triangulares: Eficiente para caudales medianos, realizando una medición exacta de caudal.

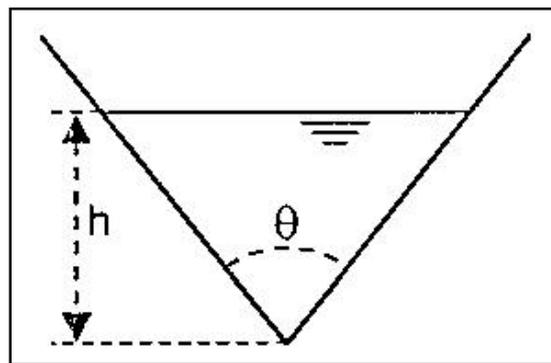


Figura 12-1: Vertedero Triangular
Fuente: Norma Ecuatoriana- INEN

- Trapezoidales: Este vertedero ha sido planteado con el objetivo de reducir el efecto de las contorsiones que existen en un vertedero rectangular contraído

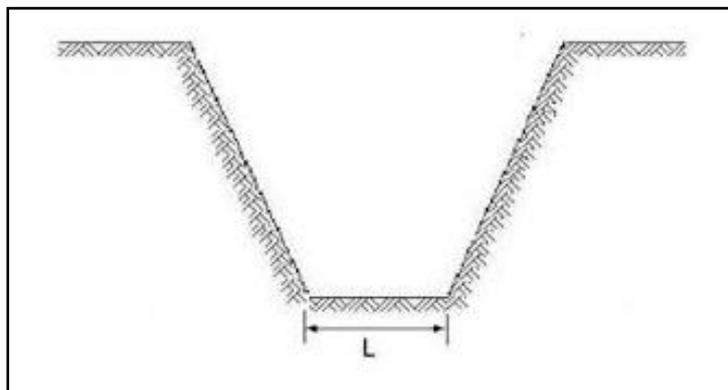


Figura 13-1: Vertedero Trapezoidal
Fuente: Norma Ecuatoriana- INEN

- Circular: Es el vertedero menos usado a pesar de ser de fácil construcción y que no necesitan el nivelamiento de la cresta, son apropiados para caudales medianamente grande.

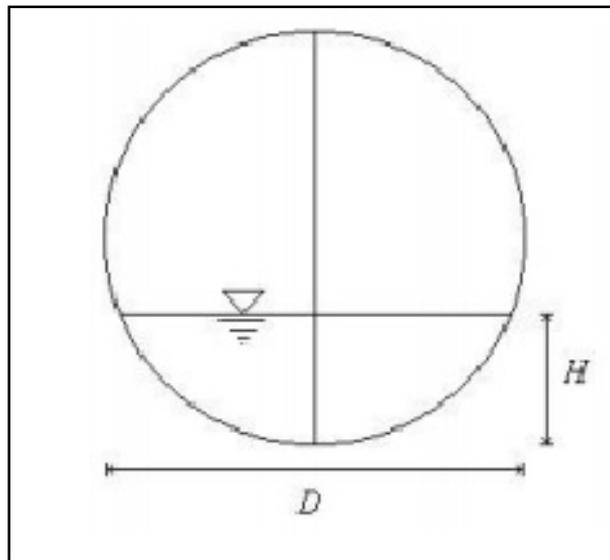


Figura 14-1: Vertedero Circular

Fuente: Norma Ecuatoriana- INEN

- Rectangular: Los vertederos rectangulares se utilizan generalmente para caudales pequeños, no mayores a 20 L/s

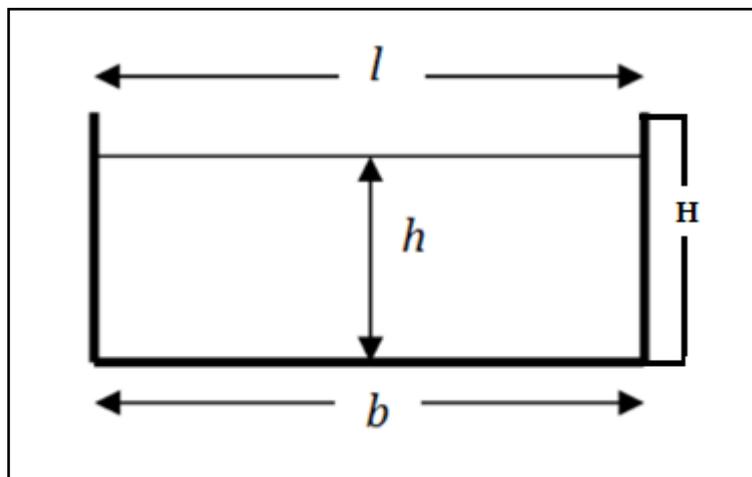


Figura 15-1: Vertedero rectangular

Fuente: Norma Ecuatoriana- INEN

Tabla 15-1: Forma del Vertedero en función al caudal

VERTEDERO	CAUDAL
Rectangular	< 20 L/s
Trapezoidal	> 110 L/s

Circular	50- 110 L/s
Triangular	20 L/s -50 L/s

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras-2000

Tabla 16-1: Dimensiones Recomendadas para Diseño de un Canal

CRITERIO DE DISEÑO		
Parámetro	Valor	Unidad
Base	0,5	m
Pendiente	0,0005	m/m

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras-2000

Tabla 17-1: Dimensiones Recomendadas para el ancho del Canal

CRITERIO DE DISEÑO		
Caudal	Base	Unidad
Pequeños	0,5	m
Medios	1	m
Grandes	1,5	m

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras-2000

Tabla 18-1: Coeficiente de Manning para Cunetas y Canales Revestidos

CUNETAS Y CANALES REVESTIDOS	
Material de revestimiento	Coeficiente de Manning
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016

Fuente: SOTELO, G., Hidráulica de canales, México, 2002

Coeficiente de Manning: Verifica la velocidad con la que el agua debe recorrer el canal.

Altura del canal: Indica la altura que llegará el agua en el canal.

Altura total del canal: Generalmente la altura del canal deberá doblar a la altura a la que recorrerá en agua en el mismo

Radio hidráulico: Considerando una sección rectangular el radio hidráulico tiene relación con el ancho y la altura del canal.

Velocidad: Es la velocidad con la que recorrerá el agua en el vertedero

1.10.4. Rejillas

Las rejillas son utilizadas para evitar daños o atascamiento en posteriores tratamiento por basura de gran tamaño. Las rejillas serán de limpieza manual para evitar gastos de automatización.

Tabla 19-1: Medidas Típicas del Canal de Rejas de un Sistema Manual

PÁRAMETRO	MEDIDAS
Ancho del canal VERTEDERO (cm)	50
Separación entre barras (cm)	2

Fuente: VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual.

Tabla 20-1: Dimensiones Recomendadas para Diseño de Rejillas

PARÁMETRO	ABREVIATURA	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR ESCOGIDO
Caudal de diseño	Q	m ³ /s	0,0266	-
Velocidad de aproximación*	V _a	m/s	0,3 – 0,6	0,45
Velocidad mínima*	V	m/s	0,3 – 0,6	0,6
Aceleración de la gravedad	G	m/s ²	9,8	-
Altura de seguridad**	H _s	m	0,50	0,50
Espesor de la barra**	e	mm	5 – 15	10
Ancho del canal (propuesto)	b	m	0,5	-
Separación entre barras*	s	mm	15 – 50	20
Angulo de inclinación**	∅	°	44 – 60	45

Perdida máxima de carga admisible+	H_f	m	0,015	0,015
------------------------------------	-------	---	-------	-------

Fuente: *RAS 2000, **Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 10000 habitantes

1.10.4.1. Número de barras

Es la cantidad de barras que deberá tener la rejilla.

1.10.4.2. Longitud de barras

Para determinar la longitud que deberán detener cada barra.

1.10.4.3. Área libre entre barra

Es el área que deberá estar separada cada barra.

1.10.4.4. Pérdida de carga en rejillas

Es la pérdida de energía que sufre el agua al pasar por las rejillas. Según la bibliografía de Rojas no deberá ser mayor a 75 m.

Tabla 21-1: Coeficiente de pérdida para Rejillas.

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: RAS 2000

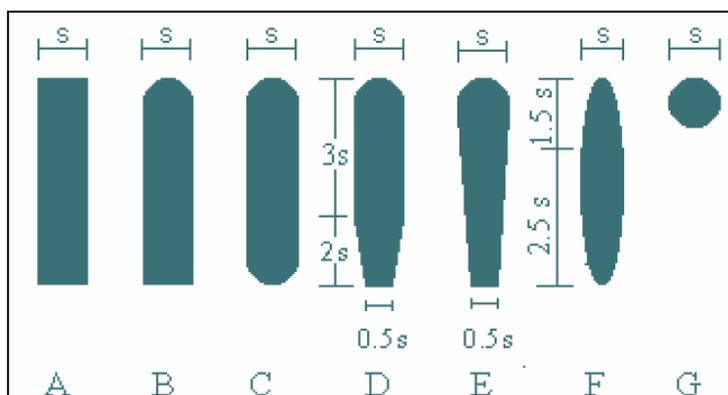


Figura 16-1: Diferentes formas de Rejillas.

Fuente: RAS 2000

1.10.5. Tanque Imhoff

El tanque Imhoff se diseña para poblaciones pequeñas con la función de eliminar en gran parte los sólidos en suspensión. El tanque Imhoff es colocado para conservar el tiempo de vida útil del siguiente proceso, eliminando en gran cantidad la carga de lodos antes de ser enviada al humedal, evitando hacerle una limpieza seguida. El tanque Imhoff consta de los siguientes compartimientos:

- ✓ Sedimentador
- ✓ Digestor
- ✓ Área de ventilación y cámara de natas
- ✓ Lechos de secado
- ✓ Medio de drenaje

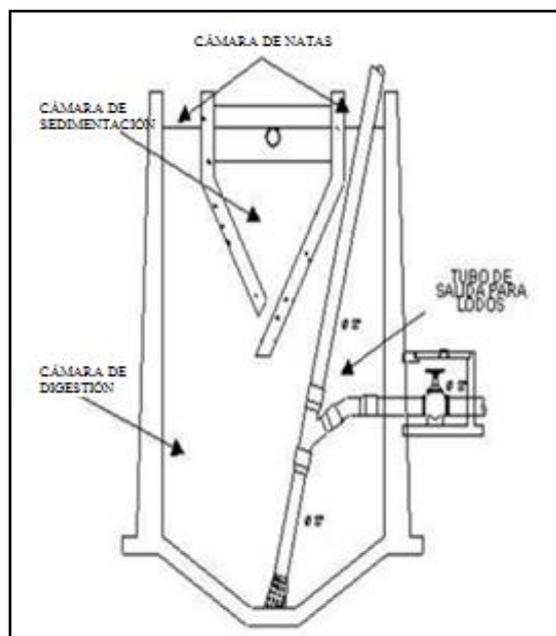


Figura 17-1: Tanque Imhoff

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

Tabla 22-1: Dimensiones Recomendadas para diseño de un Tanque Imhoff

CRITEROS DE DISEÑO		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Compartimiento de sedimentación		
Relación longitud a ancho	2:1 a 5:1	
Pendiente	0,0005	m/m
Abertura de las ranuras	15-30	cm

Proyección de las ranuras	15-30	cm
Bafle de espumas:		
Encima de la superficie		cm
Debajo de la superficie		cm
Carga de desbordamiento superficial	25 a 40	m ³ /m ² *d
Tiempo de retención	1	horas
Área de ventilación del gas		
Área superficial	15-30	% del total
Ancho de la abertura	45-75	mm
Cámara de digestión del gas		
Volumen	55 a 100	Litros/ cápita
Tubería de recolección de lodos	200 a 300	mm
Profundidad debajo de la ranura hasta la superficie superior del lecho	30-90	mm
Profundidad del tanque(desde la superficie del agua hasta el fondo del tanque)	7-10	m
LECHOS DE SECADO		
Densidad de lodos	1,04	Kg/L
Profundidad de aplicación	0,40	cm
Porcentaje de sólidos	10	%

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras-2000

1.10.5.1. Sedimentador

Ésta cámara se encarga de sedimentar los sólidos se diseñará de la misma forma que el digestor, la parte inferior tendrá forma de V.

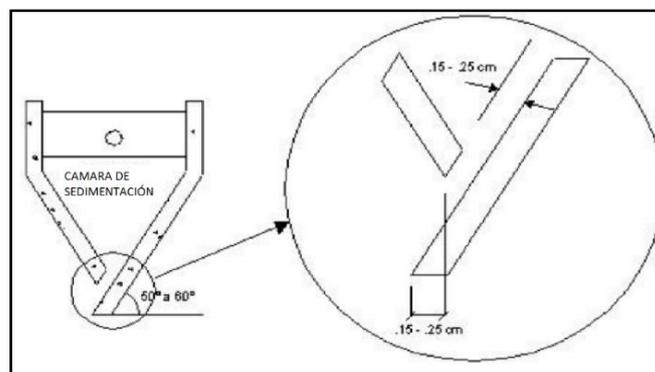


Figura 18-1: Cámara de Sedimentación

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

Tabla 23-1: Información Típica para Diseño de Tanques de Sedimentación

Sedimentación primaria		
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, m³/m²*día		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
Carga sobre vertedero, m ³ /m ² *día	125-500	250
Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso		
Tiempo de retención, h	1	1
Carga de superficie, m³ /m²*día		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
Carga sobre vertedero, m ³ /m ² *día	125-500	250

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

- ✓ **Área del sedimentador del Imhoff:** El área de sedimentación es donde los sólidos en suspensión se sedimentan y está en función con el caudal máximo de diseño y la carga superficial.
- ✓ **Volumen del sedimentador del Imhoff:** Es la relación del caudal máximo de diseño con el tiempo en que el agua estará retenida para que ocurra el proceso de sedimentación.

El fondo del tanque es de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal es de 50° a 60°

1.10.5.2. *Digestor*

Es el lugar donde los lodos son digeridos luego de ser sedimentados

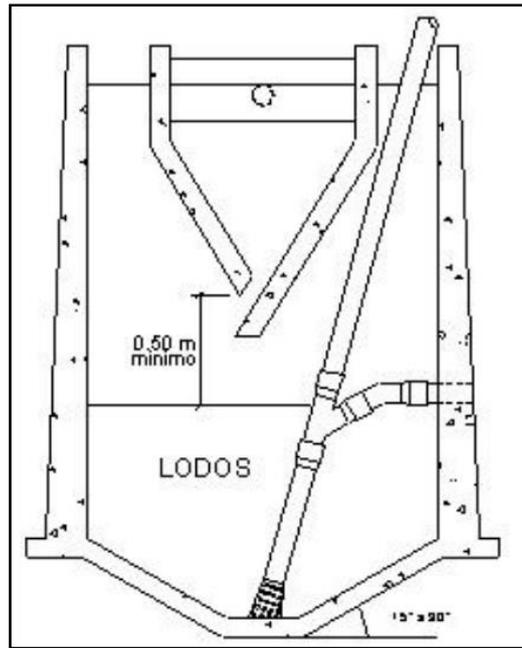


Figura 19-1: Cámara de Digestión
Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

- ✓ **Volumen de almacenamiento y digestión:** La altura máxima que deberá estar los lodos es de 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador. Para el compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (cámara inferior) se tendrá en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 24-1: Información para diseño del Volumen de Digestor

Temperatura °C	Factor de capacidad relativa (fcr)
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
>25	0,5

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

El fondo de la cámara de digestión será como una pirámide invertida, para permitir el retiro de los lodos digeridos. Las paredes laterales deberán tener una inclinación de 15° a 30° con la horizontal y los lodos estarán máximo a 0,50 m por debajo del sedimentador.

- ✓ **Tiempo requerido para digestión de lodos:** El tiempo varía con la temperatura, para ello se usará la siguiente tabla.

Tabla 25-1: Información para retiro de Lodos

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

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

- ✓ **Frecuencia del retiro de lodos:** Para determinar la frecuencia de retiro de los lodos se usará la tabla 23-1.

1.10.5.3. Extracción de lodos

- ✓ La tubería debe estar a 15 cm por encima del fondo del tanque
- ✓ Diámetro de la tubería es de 200 mm mínimo y la carga hidráulica mínima es de 1,80 m

Estos datos son establecido por la Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005 (OPS-CEPIS)

1.10.5.4. Área de ventilador y cámara de natas

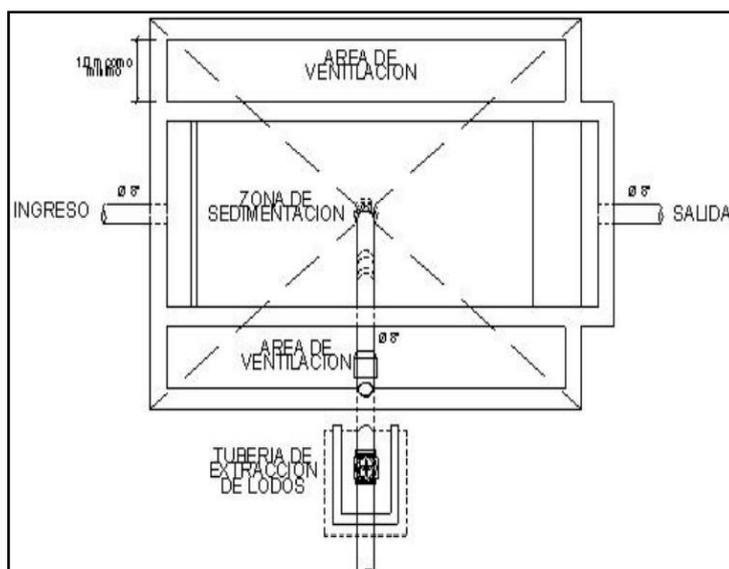


Figura 20-1: Área de Ventilación

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización

- ✓ El espaciamiento será de 1 metro
- ✓ La superficie libre deberá tener el 30% con respecto a la superficie total del tanque
- ✓ El borde libre tendrá 0,30 cm como mínimo

1.10.5.5. *Lechos de secado de lodos*

Los lechos de secado de lodo es la manera más fácil y económica de deshidratar los lodos digeridos

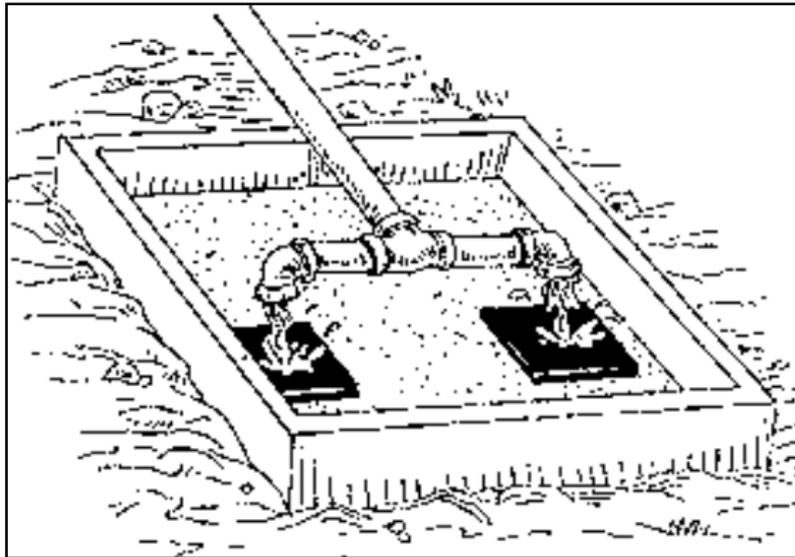


Figura 21-1: Lecho de Secado

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

- ✓ **Carga de sólidos que ingresa al sedimentador del Imhoff:** Para el cálculo de carga de sólidos que va a ingresar al sedimentador se necesita el valor de sólidos en suspensión del agua cruda.
- ✓ **Volumen diario de lodos digeridos en el Imhoff:** Está en función con la masa de los lodos que van a ser digeridos por día.
- ✓ **Volumen de lodos a extraerse del tanque Imhoff:** El lodo que es almacenado debe de ser extraído en un período de 30 días máximo.

1.10.5.6. *Área del lecho de secado*

Está en función del volumen de lodos a extraerse cada 30 días

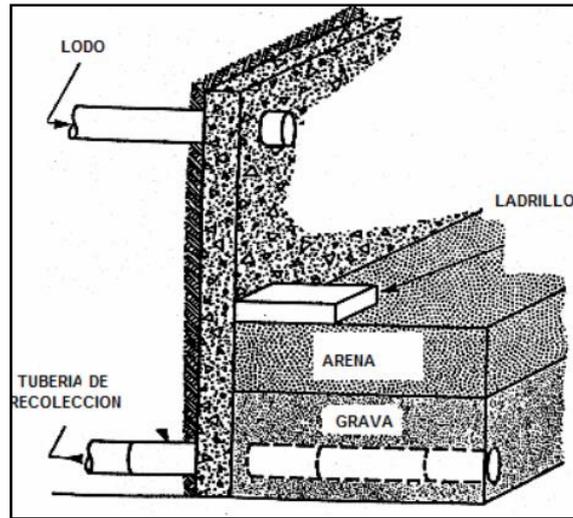


Figura 22-1: Área de Drenaje

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

- ✓ Es de 0,30 m de espesor
- ✓ Tiene una capa de 15 cm formada por ladrillos, colocadas sobre el filtro, separadas a 2 o 3 cm
- ✓ El arena debe tener 0,3 a ,3 mm, y un coeficiente de uniformidad de 2 y 5
- ✓ Debajo de la arena se debe colocar grava de 0,20 m de espesor

1.10.6. Humedal de flujo subsuperficial

El tipo de planta a utilizar en el humedal es el Jacinto de agua. Este tratamiento es utilizado para poblaciones pequeñas y una de las ventajas del humedal es su bajo costo de implementación y operación. Los humedales de flujo subsuperficial son utilizados generalmente cuando el DBO y DQO se encuentren en valores de 200 a 1000.

Tabla 26-1. Dimensiones Recomendadas para el Diseño de un Humedal Subsuperficial

CRITERIO DE DISEÑO		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Pendiente	0,0005	m/m
Altura	0,6-1	m

Fuente: Delgadillo, O., 2010

1.10.6.1. Área superficial del humedal

Está en función al parámetro contaminante que se quiere disminuir, generalmente los diseños son realizados en función al DBO₅.

1.10.6.2. Área vertical del humedal

Tiene relación con el material utilizado en el fondo del humedal, para ello es utilizada la tabla con conductividades hidráulicas de diferentes materiales.

1.10.6.3. Ancho del humedal

El ancho está en función del área vertical del humedal.

1.10.6.4. Largo de humedal

El largo del humedal debe ser por lo general 2 o 3 veces más grande en relación al ancho.

1.10.6.5. Tiempo de retención hidráulica

Es el tiempo que el agua va a permanecer en el humedal para que sea depurada por acción de las plantas.

1.10.7. Filtración

La filtración es una operación cuya función es retener los sólidos suspendidos y sedimentables mejorando la turbiedad del agua y eliminando en poca cantidad organismos patógenos. Las zanjas de infiltración también llamadas campos de infiltración o absorción son sistemas conformado por una serie de zanjas de poca profundidad, llenas de arena y grava, con una tubería por la que el agua filtrada drena teniendo mejor calidad y aspecto el agua residual.

La capa de arena es el soporte de la grava durante la operación, permitiendo que los sólidos más grades se queden en la capa superior de modo que los sólidos más pequeños bajan y son retenidos por la arena

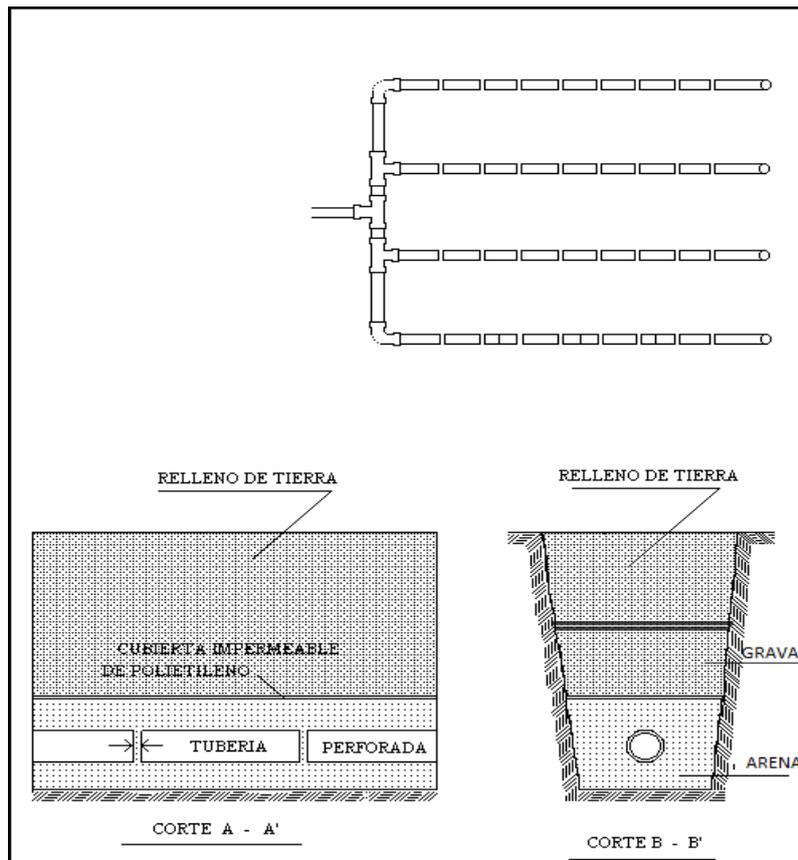


Figura 23-1: Filtro con Drenaje Inferior Común

Fuente: Terence J. McGhee, 1999

Tabla 27-1: Dimensiones Recomendadas para Diseño de Zanjas de Infiltración

CRITERIO DE DISEÑO		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Área superficial teórico	100	m ²
Número de filtros	5	.
Ancho del filtro	0,45-0,60	m
Profundidad del filtro	0,60	m
Distancia entre zanjas	1	m
Limpieza	6	meses

Fuente: Terence J. McGhee, 1999

Tabla 28-1: Tabla de Materiales Empleados para Filtración

Tipo de material	Tamaño efectivo (mm)	Conductividad hidráulica (m ³ /m ² /d)	Porosidad, n (%)
Arena Gruesa	2	100-1000	38-32
Arena Gravosa	8	500-5000	30-35
Grava Fina	16	1000-10000	35-38

Grava Media	32	10000-50000	36-40
Grava Gruesa	128	50000-250000	38-35

Fuente: Metcalf-Eddy 2006

1.10.7.1. *Velocidad de filtración*

La Velocidad de filtración está condicionada por el caudal que se va a tratar tomando en cuenta que se deben diseñar unidades en paralelo con un área superficial máxima de 100 m², con el objetivo de facilitar la limpieza.

1.10.7.2. *Área superficial*

Está en función del caudal máximo a tratar el número de filtros y la velocidad de filtración.

1.10.7.3. *Coefficiente mínimo de costo*

El coeficiente mínimo de costo es un parámetro utilizado para encontrar la longitud del filtro.

1.10.7.4. *Longitud del filtro*

Es el largo que deberá tener el filtro para que exista una filtración adecuada

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Situación actual

Actualmente la parroquia San Mateo, no cuenta con un sistema de alcantarillado por lo tanto el 60% de casas consta con su respectivo pozo séptico, sin embargo, el 40% de viviendas desecha sus aguas residuales al rio Esmeraldas sin tratamiento previo alguno, mediante una tubería que solo es para la transportación de aguas pluviales, esto ocasiona peligros a la salud pública, contaminación al suelo y vegetales, daño en el hábitat para la vida acuática por la acumulación de sólidos.

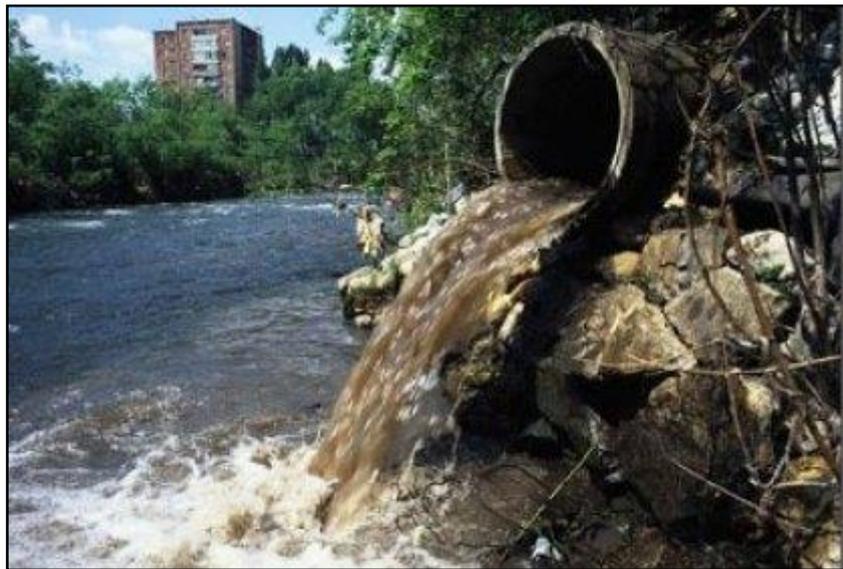


Figura 1-2: Descargas de aguas residuales a un cuerpo de Agua Dulce
Fuente: <http://ecosistemasacuaticos.bligoo.com>

2.1.1. *Clima*

La Parroquia tiene un clima húmedo, teniendo un temperatura de 23 a 30°C, Datos según Instituto Oceanográfico de la armada.

2.1.2. *Suelo*

Generalmente el tipo de suelo que tiene la Parroquia San Mateo es arcilloso-arenoso y pedregosos.

2.1.3. *Relieve*

Su topografía es irregular, presentando planicies de poca longitud y colinas muy pronunciadas, siendo su elevación más importante el cerro Zapallo, teniendo una altura de 630 m.s.n.m

2.1.4. *Hidrografía*

La Parroquia San Mateo se encuentra rodeada por el Río Esmeraldas, formando sub-cuencas como las del Río Timbre, Tatica y Mútile

2.1.5. *Precipitación*

Según “Acumulación mensual de precipitaciones 2011”, indican que en los meses de enero hasta julio existe mayor intensidad de precipitaciones, siendo sus límites máximo en febrero y marzo.

2.1.6. *Densidad poblacional*

El Cantón Esmeraldas cuenta con una superficie de 39,93 Km², según el Gobierno Municipal de Esmeraldas, con una densidad de 144 hab/ Km²



Figura 2-2: Ubicación San Mateo- Mapa de Esmeraldas

Fuente: Google Earth



Figura 3-2: Ubicación San Mateo
Fuente: Google Earth



Grafico 1-2: Ubicación De San Mateo
Fuente: Maps

2.2. Muestreo

Se determinó que la muestra deberá ser compuesta para cada caracterización. Se tomó la muestra el día sábado 28 de Marzo del 2015 en tres diferentes horarios: 07h00, 12h00 y 18h00, debido a que existe a simple viste variación de caudal y concentración del agua. Esta muestra fue llevada al laboratorio de análisis técnico- ESPOCH para realizar los análisis correspondientes.

2.3. Metodología

2.3.1. Métodos

Para este trabajo de investigación se tomará de referencia tres métodos: inductivo, deductivo y experimental, estos métodos nos facilitarán el estudio y desarrollo del sistema de tratamiento requerido

2.3.1.1. Método inductivo

En este método se estudia de lo particular a lo general con la finalidad de determinar los contaminantes que tiene las aguas residuales generadas por la Parroquia San Mateo del Cantón Esmeraldas

2.3.1.2. Deductivo

Analiza de lo general a lo particular para poder dar solución al problema que genera el agua residual desechada por la parroquia San Mateo , planificando un sistema de tratamiento que cumpla con los parámetros establecidos en el TULSMA para dichas aguas en base a la deducción de los resultados de los análisis realizados de las aguas residuales.

2.3.1.3. Experimental

El método experimental se lo utiliza para la toma de muestras y análisis físico-químicos de agua residual mediante equipos y materiales confiables, y así poder diseñar el tratamiento óptimo para la depuración del agua residual de San Mateo

2.3.2. Técnicas

2.3.2.1. Potencial Hidrogeno

Es la concentración del ion hidrógeno utilizando electrodo patrón de hidrogeno y otro de referencia

Código de Norma: 05 APHA 4500H⁺

2.3.2.2. Conductividad

Es la capacidad que tiene una solución para poder transportar carga eléctrica, dependiendo de la presencia de iones y temperatura

Código de Norma: 06 APHA 2510B

2.3.2.3. Turbiedad

Es la intensidad de color en el agua obtenida en la captación de agua cruda y agua tratada, identificando la impureza finamente dividida.

Código de Norma: Norma 43 APHA180.1

2.3.2.4. Aceites y Grasas

Se extrae por medio del contacto íntimo de disolventes orgánicos, generalmente Hexano

Código de Norma: Norma 42 APHA 5520B.

2.3.2.5. Demanda Química de Oxigena

Determina los compuestos oxidables que se encuentra en el agua

Código de Norma: Norma 09 APHA5220B.

2.3.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno

Determina la cantidad de oxígeno necesitado para poder oxidar la materia orgánica en 5 días

Código de Norma: Norma 46 APHA5210B.

2.3.2.7. Nitratos

La concentración de nitritos en aguas superficiales y subterráneas generalmente son bajos, incrementando sus valores según las prácticas agrícolas

Código de Norma: APHA 4500-NO3-C

2.3.2.8. Sulfatos

La presencia de sulfatos en aguas residuales es variable, siendo tóxicos para los seres vivos

Código de Norma: APHA 4500-SO4-E

2.3.2.9. Fosfatos

Cantidad de fósforo oxidado que existe en la muestra

Código de Norma: STANDARD METHODS 4500-SO4-E

2.3.2.10. Sólidos en suspensión

Son aquellos que se determinan por diferencia de peso en el filtrado en el que se hace pasar la muestra

Código de Norma: 13APHA 2540D.

2.3.2.11. Sólidos sedimentables

Es el número de sólidos que podrán sedimentarse con respecto a un volumen de muestra en un tiempo determinado

Código de Norma: APHA 2540-F

2.3.2.12. Coliformes fecales

Los estreptococos fecales son: Bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre. Ordinariamente esta determinación se efectúa sembrando en medio sólido un volumen conocido de la muestra de agua

Código de Norma: STANDARD METHODS 9221-C

2.4. Datos

2.4.1. Caracterización inicial del agua residual

Para realizar el tratamiento se efectuó un muestro compuesto in situ, tomando en cuenta: horas pico, días lluviosos, días calurosos. Los análisis del agua residual se hicieron en ESPOCH- Laboratorio de Análisis Técnicos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1-2: Análisis Físico-químicos Preliminares Del Agua Residual

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Ph		4500-B	6,27	5-9
Conductividad	uSiems/cm	2510-B	520	-

Turbiedad	NTU	2130-B	136,7	-
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	225	30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	408	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	200	50
Nitratos	mg/L	4500-NO3-C	0,2	10
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	28	1000
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	11,8	10
Detergentes	mg/L	5540-C	1,7	0,5
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	192	80
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	280	-
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	1,6	1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1682	1600

Fuente: Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH, Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

Tabla 2-2: Análisis Microbiológico Preliminar del Agua Residual

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes fecales	UCF/100 ml	9221-C	56000	Remoción 99,9 %

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

2.4.2. *Parámetros que no cumplen con la Normativa Ambiental Tulsma*

Al comparar los valores obtenidos de los análisis físico-químicos y microbiológicos con el Tulsma Libro VI Anexo I, Tabla 10, se determinó los siguientes fuera de norma, los cuales están especificados en la siguiente tabla.

Tabla 3-2: Parámetros Físico-Químico y Microbiológico que no cumplen con la Normativa ambiental

PARÁMETRO	RESULTADO (mg/l)	LÍMITE PERMISIBLE (mg/l)
DBO ₅	200	50
DQO	408	100
Fosfatos	11	10
Detergentes	1,7	0,5
Sólidos en suspensión	192	80
Sólidos sedimentables	1,6	1
Sólidos totales	1682	1600
Aceites y grasas	225	30

Coliformes fecales	56000	Remoción 99,9%
--------------------	-------	----------------

*TULSMA Tabla 10. Descarga a un cuerpo de agua dulce
Realizado por: Delgado, S., 2015

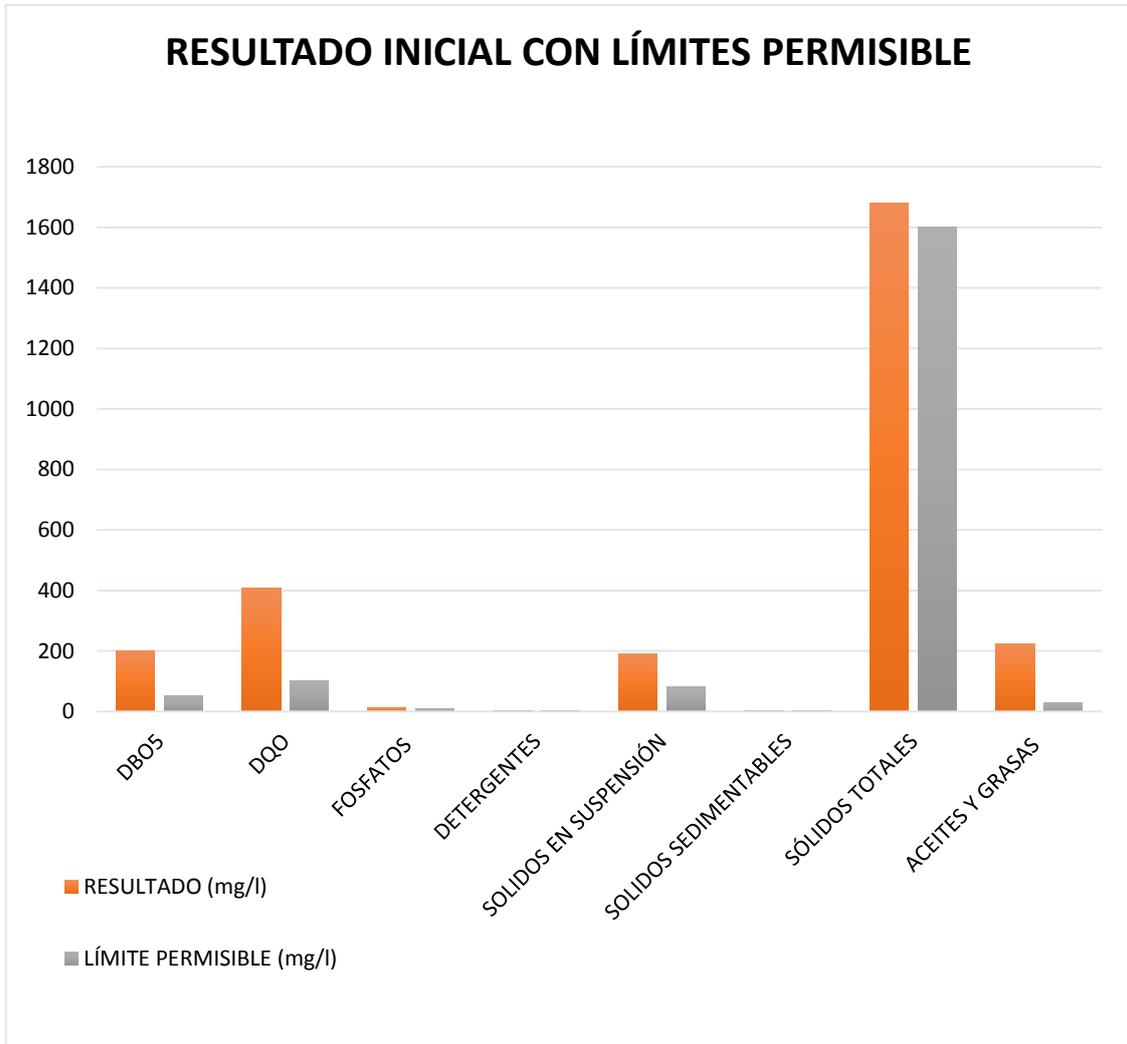


Gráfico 2-2 Agua residual cruda vs Límites permisibles
Elaborado por: Delgado, S., 2015

2.4.3. Consideraciones de tratamiento de aguas residuales

Como se mencionó anteriormente que la relación:

$$\frac{DQO}{DBO_5} < 2,5 \text{ Sistemas biológicos}$$

$$2,5 > \frac{DQO}{DBO_5} < 5 \text{ Lechos bacterianos}$$

Entonces:

$$\frac{408}{200} = 2,04$$

Ó

$$\frac{DBO_5}{DQO} < 0,6 \text{ Muy biodegradable}$$

$$\frac{DBO_5}{DQO} = 1 \text{ Totalmente biodegradable}$$

$$\frac{DBO_5}{DQO} > 0,2 \text{ Poco degradables}$$

Entonces:

$$\frac{200}{408} = 0,49$$

Los resultados de estas relaciones nos indica que el Agua residual de la Parroquia San Mateo tiene a ser muy biodegradable pudiendo utilizarse Sistemas biológicos o sistemas Fito depuradores como son los humedales superficiales

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

En base a los análisis físico-químicos y microbiológicos iniciales y a los resultados de las relaciones de DBO y DQO se propone los siguientes tratamientos para el agua residual de San Mateo.

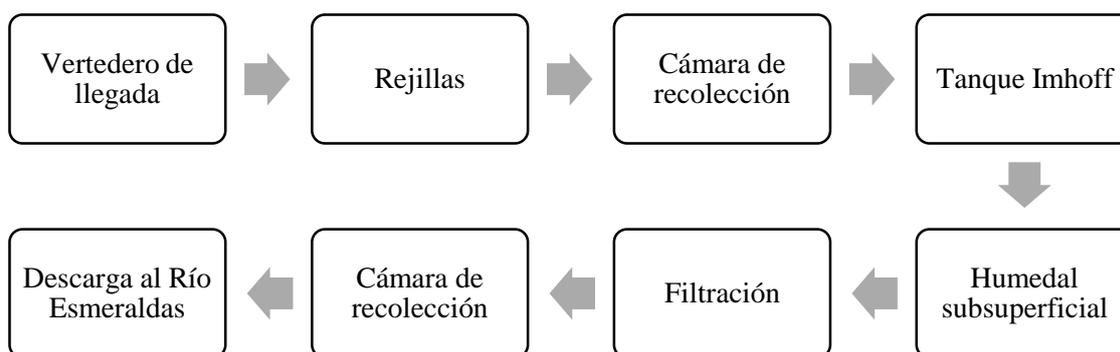


Grafico 1-3: Propuesta para tratamiento de Agua residual para la Parroquia San Mateo

Elaborado por: Delgado, S., 2015

Las cámaras de recolección tienen como función recibir el agua del proceso anterior, en este caso del vertedero de llegada y de la filtración, respectivamente, de tal manera que se facilite la distribución uniforme en los procesos siguientes (tanque Imhoff y Descarga). Estos tanques de recolección serán de 2 m³, siendo de 4m de ancho, 0,50 de largo y 1 m de profundidad, son elaborados de Hormigón.

3.1. Cálculos

✓ Población futura

Tabla 1-3: Datos para Cálculo de Población Futura

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Población actual	Pa	5739*	Hab
Índice de crecimiento anual	r	3,7*	%
Periodo de tiempo	n	20	Años

* Instituto Nacional de Estadísticas y Censo

Elaborado por: Delgado, S., 2015

P_f: Población futura (hab)

P_a: Población actual (hab)

r: tasa de crecimiento en %

n= (t_f-t_a) intervalo de tiempo en años

t_f: tiempo futuro

t_a: tiempo actual

$$P_f = P_a * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Ecuación 1

$$P_f = 5739 \text{ hab} * \left(1 + \frac{3,7}{100}\right)^{20}$$

$$P_f = 11868,9 \text{ hab}$$

$$P_f = 11869 \text{ hab}$$

✓ Cálculo de caudal

Tabla 2-3: Datos para Cálculo de Caudal

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Población futura	Pf	11869	Hab
Coefficiente de retorno	CR	0,75*	-
Dotación de agua potable	Dot	70*	L/día-hab

* Empresa de Agua Potable y Alcantarillado San Mateo

Elaborado por: Delgado, S., 2015

- Caudal medio teórico

Q_{med}= Caudal medio teórico (L/s)

CR= Coeficiente de retorno

Dot= Dotación de agua potable (L/hab-día)

P_f= Población futura

$$Q_{med} = \frac{CR (Dot)(P_f)}{86400}$$

Ecuación 2

$$Q_{med} = \frac{0,80 \left(70 \frac{L}{\text{hab} - \text{día}}\right) (11869 \text{ hab})}{86400}$$

$$Q_{med} = 7,69 \text{ L/s}$$

- **Coefficiente de Mayorización**

M: Coeficiente de Mayorización o Simultaneidad

Pf: Población futura (hab)

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{1000}}}$$

Ecuación 4

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{11869}{1000}}}$$

$$M = 2,88$$

- **Caudal máximo teórico**

Q_{max} = Caudal máximo teórico (L/s)

M= Coeficiente de mayorización

Q_{med} = Caudal medio (L/s)

$$Q_{max} = M(Q_{med})$$

Ecuación 3

$$Q_{max} = 2,88(7,69 \text{ L/s})$$

$$Q_{max} = 22,15 \text{ L/s}$$

- **Caudal de diseño**

Caudal de infiltración

qi : caudal de infiltración (m^3/s)

A: Área donde se va a implementar el proyecto (ha)

i: Tasa de infiltración (L/s-ha), Ver tabla 14-1

$$qi = A * i$$

Ecuación 5

$$qi = 2 \text{ ha} * 0,2 \frac{\text{L}}{\text{s} - \text{ha}}$$

$$q_i = 0,4 \text{ L/s}$$

Caudal medio de diseño

Q: caudal medio de Diseño (L/s)

Q_{med} : Caudal medio teórico (L/s)

q_i : caudal de infiltración (L/s)

$$Q = Q_{med} + q_i$$

Ecuación 6

$$Q = 7,69 \text{ L/s} + 0,4 \text{ L/s}$$

$$Q = 8,09 \text{ L/s}$$

Caudal máximo de diseño

Q_M : Caudal máximo de diseño (L/s)

Q_{max} : caudal máximo teórico (L/s)

q_i : caudal de infiltración (L/s)

$$Q_M = Q_{max} + q_i$$

Ecuación 7

$$Q_M = 22,15 \text{ L/s} + 0,4 \text{ L/s}$$

$$Q_M = 22,55 \text{ L/s}$$

✓ Cálculo del vertedero rectangular

Tabla 3-3: Datos para el Cálculo del Vertedero Rectangular

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Caudal medio de diseño	Q	0,00809	m ³ /s
Caudal máximo de diseño	Q_M	0,02255	m ³ /s
Coefficiente de rugosidad	n	0,013**	-
Base del canal	b	0,5*	m
Pendiente	S	0,0005*	m/m
Altura de seguridad	H_s	0,50***	m

*Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento, ** SOTELO, G., Hidráulica de canales, México, 2002, *** Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 10000 habitantes
Elaborado por: Delgado, S., 2015

- ***Coefficiente de manning***

K: Coeficiente de manning (adimensional)

Q_M: Caudal máximo de diseño (m³/s)

n= coeficiente de rugosidad de manning (adimensional), Ver tabla 18-1.

b= base del canal (m), Ver tabla 17-1.

s= Gradiente hidráulico (m/m), Ver tabla 16-1.

$$K = \frac{Q * n}{\frac{8}{b^3} * \frac{1}{s^2}}$$

Ecuación 8

$$K = \frac{0,00809 \text{ m}^3/\text{s} * 0,013}{(0,5)^{\frac{8}{3}} * (0,0005)^{\frac{1}{2}}}$$

$$K = 0,029$$

- ***Altura tirante del agua***

h: Altura de agua en el canal (m)

K: coeficiente de Manning (adimensional)

b: base del canal (m), Ver tabla 17-1.

$$h = 1,6624 * K^{0,74232} * b$$

Ecuación 9

$$h = 1,6624 * 0,029^{0,74232} * 0,5\text{m}$$

$$h = 0,06 \text{ m}$$

- ***Altura total del canal***

H: altura del canal (m)

h: Altura tirante del agua (m)

H_s: Altura de seguridad (m), Ver tabla 21-1.

$$H = h + H_s$$

Ecuación 10

$$H = 0,06 \text{ m} + 0,50 \text{ m}$$

$$H = 0,56 \text{ m}$$

- **Radio hidráulico**

RH: Radio hidráulico (m)

b: base del canal (m), Ver tabla 17-1.

H: altura del canal (m)

$$RH = \frac{b * H}{b + 2H} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$RH = \frac{0,5m * 0,56 m}{0,5m + 2(0,56 m)}$$

$$RH = 0,17 \text{ m}$$

- **Velocidad**

V: Velocidad (m/s)

n= Coeficiente de rugosidad de manning (adimensional), Ver tabla 18-1.

RH= Radio hidráulico (m)

s= pendiente del canal (m/m), Ver tabla 16-1.

$$v = \frac{1}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * s^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$v = \frac{1}{0,013} * 0,17^{\frac{2}{3}} * 0,0005^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 0,52 \text{ m/s}$$

✓ **Rejillas**

Tabla 4-3: Datos para el Cálculo de Rejillas

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Caudal medio de diseño	Q	0,00809	m ³ /s
Espesor de barras	e	10*	mm
Separación de barras	s	20**	mm

Ángulo	Θ	45**	°
Coefficiente de pérdida de las rejillas	B	1,79	-
Altura total del canal	H	0,83	m
Velocidad del agua	V	0,52	m/s

*RAS 2000, **Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 10000 habitantes

Elaborado por: Delgado, S., 2015

- **Número de barras**

Nb: Número de barras

b: Base del canal (m), Ver tabla 17-1.

e: Diámetro de barros (m), Ver tabla 21-1.

s: separación entre barros (m), Ver tabla 21-1.

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

$$Nb = \left(\frac{0,5m}{0,01m + 0,02m} \right) - 1$$

$$Nb = 15,5 \text{ barras}$$

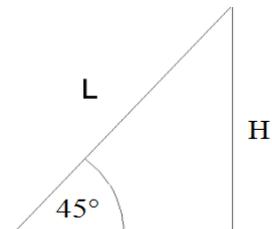
$$Nb = 16 \text{ barras}$$

- **Longitud de barras**

L: Longitud de la barra (m)

H: Altura total del canal (m)

θ : Ángulo de inclinación de los barros respecto a la horizontal, Ver tabla 21-1.



$$L = \frac{H}{\text{Sen } 45^\circ} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$L = \frac{0,56 \text{ m}}{0,707}$$

$$L = 0,79 \text{ m}$$

- **Área libre entre barra**

A_L : Área libre entre barras (m^2)

Q : Caudal medio de diseño (m^3/s)

V : Velocidad con la que recorre el agua en el canal (m/s)

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

Ecuación 15

$$A_L = \frac{0,00809/\text{s}}{0,52 \text{ m}/\text{s}}$$

$$A_L = 0,015 \text{ m}^2$$

- **Pérdida de carga en rejillas**

h_c : Pérdida de la carga (m)

β : Coeficiente de pérdida de las rejillas, Ver tabla 21-1.

e : Diámetro de barros (m), Ver tabla 20-1.

s : separación entre barros (m), Ver tabla 20-1.

g : Gravedad (m/s^2)

V : Velocidad del agua en el canal (m/s)

Θ : Ángulo de inclinación de las rejillas ($^\circ$), Ver tabla 21-1

$$h_c = \beta \left(\frac{s}{e}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{V^2}{2g} \sin \theta$$

Ecuación 16

$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,01}{0,02}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{(0,52 \text{ m}/\text{s})^2}{2(9,8 \text{ m}/\text{s}^2)} \sin 45^\circ$$

$$h_c = 0,007 \text{ m}$$

- **Área de sección transversal del flujo**

A_f : Área de sección transversal del flujo (m^2)

A_L : Área libre entre barras (m^2)

e : Diámetro de barros (m), Ver tabla 20-1.

s: separación entre barros (m), Ver tabla 20-1.

$$A_f = \frac{A_L(s + e)}{s} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$A_f = \frac{0,015m^2(0,01 m + 0,02 m)}{0,01 m}$$

$$A_f = 0,045 m^2$$

✓ **Cálculos para tanque Imhoff**

Tabla 5-3: Datos para el Cálculo del Tanque Imhoff

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
SEDIMENTADOR			
Caudal medio de diseño	Q	0,00809	m ³ /s
Carga superficial	Cs	4,63 x 10 ⁻⁴ *	m ³ /m ² s
Tiempo de retención hidráulica	R	3600**	s
Carga hidráulica sobre el vertedero	Ch _v	2,89 x 10 ⁻³ *	m ³ /m ² s
DIGESTOR			
Población futura	Pf	11869	hab
Factor de capacidad relativa	Frc	0,5**	-
LECHOS DE SECADO			
Caudal medio	Q	0,00809	m ³ /s
Sólidos en suspensión del agua cruda	SS	192	mg/L
Densidad de lodos	Plodo	1,04**	Kg/L
Tiempo de digestión	T _d	30**	días
Profundidad de aplicación	Ha	0,40**	cm

* Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras-2000, ** Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005 (OPS-CEPIS)

Elaborado por: Delgado, S., 2015

- **Sedimentador**

Área de sedimentador

As: Área del sedimentador (m²)

Q: Caudal medio de diseño (m³/s)

Cs: Carga Superficial (m³/m²*s) Ver tabla 23-1.

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

Ecuación 18

$$As = \frac{0,00809 m^3/s}{4,63 \times 10^{-4} m^3/m^2 - s}$$

$$As = 17,47 m^2$$

Volumen del sedimentador

Vs: Volumen del sedimentador (m³)

Q_M: Caudal máximo de diseño (m³/s)

R: Periodo de retención hidráulica (s), Ver tabla 23-1.

$$Vs = Q * R$$

Ecuación 19

$$Vs = 0,00809 m^3/s * 3600 s$$

$$Vs = 29,1 m^3$$

Longitud mínima del vertedero de salida

L_v: Longitud mínima del vertedero (m)

Q: Caudal medio de diseño (m³/s)

Ch_v: Carga hidráulica sobre el vertedero (m³/m²*s), Ver tabla 23-1

$$Lv = \frac{Q}{Chv}$$

Ecuación 20

$$Lv = \frac{0,00809 m^3/s}{2,89 \times 10^{-3} m^3/m^2 - s}$$

$$Lv = 2,8 m$$

- **Digestor**

Volumen del digestor

V_d: Volumen de almacenamiento y digestión (m³)

P: Población (hab)

fc: Factor de capacidad relativa (%), Ver tabla 24-1.

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{10000} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$Vd = \frac{70 * 11869 \text{ hab} * 0,5}{10000}$$

$$Vd = 41,54 \text{ m}^3$$

Tiempo requerido para digestión de lodos

$$t = 30 \text{ días (Tabla 25 – 1)}$$

Frecuencia de retiro de lodos

$$t = 30 \text{ días (Tabla 25 – 1)}$$

- ***Lechos de secado de lodo***

Carga de sólido que ingresa al sedimentador

C: Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (Kg de SS/día)

Q: Caudal medio de diseño de aguas residuales (m³/s)

SS: Sólidos en suspensión caracterizada en el agua residual cruda (mg/L), Ver tabla 1-2

$$C = Q * SS * 0,0864 \quad \text{Ecuación 22}$$

$$C = 0,00809 \text{ L/s} * 192 \text{ mg/l} * 0,0864$$

$$C = 0,13 \text{ Kg SS/día}$$

Masa de sólidos

M_{sd}: Masa de sólidos que conforman los lodos (Kg de SS/día)

C: Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (Kg de SS/día)

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad \text{Ecuación 23}$$

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 0,13 \text{ Kg SS/día}) + (0,5 * 0,3 * 0,13 \text{ Kg SS/día})$$

$$Msd = 0,042 \text{ Kg SS/día}$$

Volumen diario de lodos

V_{ld} : Volumen diario de lodos digeridos (m^3)

M_{sd} : Masa de sólidos que conforman los lodos (Kg de SS/día)

ρ_{lodo} : Densidad de los lodos, Ver tabla 22-1.

% de sólidos: % de sólidos contenidos en el lodo, Ver tabla 22-1.

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo}(\% \text{ sólido}/100)} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$Vld = \frac{0,042 \text{ Kg SS/día}}{1,04 \text{ Kg/L}(10/100)}$$

$$Vld = 0,4 \text{ lts/día}$$

Volumen de lodos a extraerse

V_{el} : Volumen de lodos a extraerse del tanque (m^3)

V_{ld} : Volumen diario de lodos digeridos (m^3)

T_d : Tiempo de digestión (días), Ver tabla 25-1.

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$Vel = \frac{0,4 \text{ lts/día} * 30 \text{ días}}{1000}$$

$$Vel = 0,012 \text{ m}^3$$

- *Área de secado*

A_s : Área del lecho de secado (m^2)

V_{el} : Volumen de lodos a extraerse del tanque (m^3)

H_a : Profundidad de aplicación (m), Ver tabla 22-1.

$$Als = \frac{V_{el}}{Ha} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$Als = \frac{0,012 \text{ m}^3}{0,0040 \text{ m}}$$

$$Als = 3 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo de humedal**

Tabla 6-3: Datos para el Cálculo del Humedal

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Caudal medio	Q	698,98	m ³ /día
Concentración del DBO ₅ inicial	Co	200***	(mg/L)
Concentración del DBO ₅ final	C	38***	(mg/L)
Temperatura del humedal	Ta	26	°C
Profundidad	H	1*	m
Porosidad del medio granular	N	35**	%
Pendiente	S	0,0005*	m/m
Conductividad Hidráulica	Ks	10000**	m/día

* Delgadillo, O., 2010, ** Metcalf-Eddy 2006, *** Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH
Elaborado por: Delgado, S., 2015

- **Constante de reacción**

KT: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

Ta: temperatura del humedal (°C)

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{Ta-20} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{26-20}$$

$$K_T = 1,57$$

- **Área superficial del humedal**

AS: Área superficial del humedal (m²)

Q: caudal medio de diseño del humedal (m³/día)

C: concentración de DBO₅ caracterizada del agua residual a la salida del humedal (mg/L), Ver tabla 11-3.

C₀: concentración de DBO₅ caracterizada del agua residual cruda (mg/L), Ver tabla 1-2.

K_T: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

h: profundidad (m), Ver tabla 26-1.

n: porosidad del medio granular (%), Ver tabla 28-1

$$AS = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T * h * n} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$AS = \frac{698,98 \text{ m}^3/\text{día} * \ln\left(\frac{200}{38}\right)}{1,57 * 1 \text{ m} * 0,35}$$

$$AS = 2112,5 \text{ m}^2$$

- **Ancho del humedal**

W_H: Ancho del humedal (m)

AS: Área Superficial del humedal (m²)

$$W_H = \sqrt{\frac{AS}{3}} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$W_h = \sqrt{\frac{2112,5 \text{ m}^2}{3}}$$

$$W_h = 26,54 \text{ m}$$

- **Longitud del humedal**

L_H: Largo del humedal (m)

AS: Área superficial del humedal (m²)

W_H: Ancho de humedal (m)

$$L_H = 3 * W_H \quad \text{Ecuación 30}$$

$$L_H = 3 * 26,54 \text{ m}$$

$$L_H = 79,62 \text{ m}$$

- **Volumen del humedal**

V_{HFL} : Volumen del humedal (m³)

L_H : Longitud del humedal (m)

W_H : Ancho del humedal

h : profundidad (m), Ver tabla 26-1.

$$\begin{aligned}V_{HFL} &= L_H * W_H * h && \text{Ecuación 31} \\V_{HFL} &= 79,62 \text{ m} * 26,54 \text{ m} * 1 \text{ m} \\V_{HFL} &= 2112,5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Para mejor manejo del humedal se *dividirá* en dos humedales dividiendo el largo y manteniendo la altura y el ancho

$W_H = 26,54 \text{ m}$

$h = 1 \text{ m}$

$L_{H1} = 39,81 \text{ m}$

- **Tiempo de retención hidráulico**

TRH: Tiempo de retención hidráulica necesario para descargar a la filtración (días)

h : profundidad (m), Ver tabla 26-1.

n : porosidad del medio granular- grava media (%), Ver tabla 28-1.

AS: Área superficial del humedal (m²)

Q : caudal medio de diseño (m³/día)

$$\begin{aligned}TRH &= \frac{AS * h * n}{Q} && \text{Ecuación 32} \\TRH &= \frac{2112,5 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} * 0,35}{698,98 \text{ m}^3/\text{día}}\end{aligned}$$

$$TRH = 1,05 \text{ días}$$

- **Porcentaje de remoción del Humedal**

Porcentaje de remoción de DBO

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{DBO agua tratada} * 100}{\text{DBO agua cruda}} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\% \text{ Remoción} = \frac{38 * 100}{200}$$

$$\% \text{ Remoción} = 19\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - \% \text{ Remoción} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 19 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 81\%$$

Porcentaje de remoción de DQO

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{DQO agua tratada} * 100}{\text{DQO agua cruda}} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\% \text{ Remoción} = \frac{54 * 100}{408}$$

$$\% \text{ Remoción} = 13,2\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - \% \text{ Remoción} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 13,2 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 86,8\%$$

✓ **Filtración**

Tabla 7-3: Datos para el Cálculo de Filtración

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Caudal medio de diseño	Q	0,00809	m ³ /s
Área superficial teórica	AS	100*	m ²
Número de zanjas	N	5*	-
Profundidad del filtro	P	0,6*	m
Ancho del filtro	A	0,6*	m
Distancia entre zanjas	d	1*	m

* Terence J. McGhee, 1999

Elaborado por: Delgado, S., 2015

- **Velocidad de filtración**

V_f: Velocidad de filtración (m/s)

Q_M: Caudal medio de diseño (m³/s)

AS: Área superficial del filtro (m²), Ver tabla 27-1.

$$V_f = \frac{Q}{AS} \quad \text{Ecuación 33}$$

$$V_f = \frac{0,00809 \text{ m}^3/\text{s}}{100\text{m}^2}$$

$$V_f = 8,09 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

- **Área superficial**

Q: Caudal medio de diseño (m³/s)

N: Número de filtros (adimensional), Ver tabla 27-1.

V_f: Velocidad de filtración (m/s)

$$AS = \frac{Q}{N * V_f} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$AS = \frac{0,00809 \text{ m}^3/\text{s}}{5 * 8,09 \times 10^{-5} \text{ m/s}}$$

$$AS = 20\text{m}^2$$

- **Coefficiente mínimo de costo**

K: Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

N: Número de filtros (adimensional), Ver tabla 27-1.

$$K = \frac{2 * N}{N + 1} \quad \text{Ecuación 35}$$

$$K = \frac{2 * 5}{5 + 1}$$

$$K = 1,7$$

- **Longitud del filtro**

L: Longitud del filtro (m)

AS: Área superficial del filtro (m²)

K: Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

$$L = (AS * K)^{1/2}$$

$$L = (20m^2 * 1,7)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$L = 5,8 m$$

✓ **Cantidad de Eichornia Crassipes necesarias para la operación del humedal**

Tabla 8-3: Datos para Cálculo de cantidad de Eichornia necesaria para el Humedal

PARÁMETRO	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Volumen de agua utilizado	V _{ei}	25*	L
Peso de Eichornia utilizado	P _{ei}	0,227*	Kg
Volumen del humedal	V _H	2112,5**	m ³

*Pruebas de tratamiento, **Resultado obtenido, *** Terence J. McGhee, 1999

Elaborado por: Delgado, S., 2015

- **Cantidad de Eichornia Crassipes**

$$25L * \frac{m^3}{1000L} = 0,025m^3$$

$$\begin{array}{l} 0,025\text{m}^3 \longrightarrow 0,227 \text{ Kg de Eichornia} \\ 2112,5 \text{ m}^3 \longrightarrow x \end{array}$$

$$x = \frac{2112,5\text{m}^3 * 0,227\text{Kg}}{0,025\text{m}^3}$$

$$x = 19181,5 \text{ Kg de Eichornia}$$

✓ Porcentajes de remoción

Tabla 9-3: Datos para Cálculo de Porcentaje de Remoción

PARÁMETRO	RESULTADO INICIAL (mg/l)	RESULTADO FINAL (mg/l)
DBO ₅	200*	19**
DQO	408*	24**
Fosfatos	11*	1,13**
Sólidos en suspensión	192*	192**
Sólidos sedimentables	1,6*	0,1*
Sólidos totales	1682*	332**
Aceites y grasas	225*	9,3**
Coliformes fecales	56000**	Ausencia***

Fuente: *Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH, **Laboratorio de servicios ambientales – UNACH, ***Laboratorio SAQMIC

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Análisis Final} * 100}{\text{Análisis Inicial}} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\% \text{ Removido} = 100 - \% \text{ Remoción} \quad \text{Ecuación 38}$$

- Porcentaje de remoción del DBO₅

$$\% \text{ Remoción} = \frac{19 * 100}{200}$$

$$\% \text{ Remoción} = 9,5 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 9,5\%$$

$$\% \text{ Removido} = 90,5 \%$$

- Porcentaje de remoción del DQO

$$\% \text{ Remoción} = \frac{24 * 100}{408}$$

$$\% \text{ Remoción} = 5,9 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 5,9\%$$

$$\% \text{ Removido} = 94,1 \%$$

- **Porcentaje de remoción de Fosfatos**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{1,13 * 100}{11}$$

$$\% \text{ Remoción} = 10,3 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 10,3\%$$

$$\% \text{ Removido} = 89,7 \%$$

- **Porcentaje de remoción de Sólidos en Suspensión**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{7 * 100}{192}$$

$$\% \text{ Remoción} = 3,7 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 3,7\%$$

$$\% \text{ Removido} = 96,3 \%$$

- **Porcentaje de remoción de Sólidos Sedimentables**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0,1 * 100}{1,6}$$

$$\% \text{ Remoción} = 6,3\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 6,3\%$$

$$\% \text{ Removido} = 93,7 \%$$

- **Porcentaje de remoción de Sólidos Totales**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{332 * 100}{1682}$$

$$\% \text{ Remoción} = 19,7 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 19,7\%$$

$$\% \text{ Removido} = 80,3 \%$$

- **Porcentaje de remoción de Aceites y Grasas**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{9,3 * 100}{225}$$

$$\% \text{ Remoción} = 4,1 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 4,1\%$$

$$\% \text{ Removido} = 95,9 \%$$

- **Porcentaje de remoción de Coliformes Fecales**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0 * 100}{56000}$$

$$\% \text{ Remoción} = 0 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 0\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \%$$

- **Porcentaje de remoción de Detergentes**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0,4 * 100}{1,7}$$

$$\% \text{ Remoción} = 23,5 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 23,5\%$$

$$\% \text{ Removido} = 76,5 \%$$

- *Porcentaje de remoción de turbidez*

$$\% \text{ Remoción} = \frac{4,92 * 100}{136}$$

$$\% \text{ Remoción} = 3,6 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100\% - 3,6\%$$

$$\% \text{ Removido} = 96,4 \%$$

3.2. Resultados

3.2.1. Resultados de la medición de caudal

Tabla 10-3: Resultados de la Medición de Caudal

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Hora	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)
6:30	3,32	3,32	3,02	3,05	3,04	2,46	2,68
7:00	3,28	3,47	2,95	2,98	2,98	2,51	2,58
7:30	2,74	2,85	3,11	2,95	3,01	2,53	2,65
8:00	2,61	2,83	3,07	2,90	2,73	2,54	2,75
8:30	2,66	2,82	2,98	2,65	2,70	2,80	2,76
9:00	2,65	2,77	2,75	2,66	2,70	2,68	2,70
9:30	2,60	2,63	2,78	2,65	2,70	3,27	2,73
10:00	2,44	2,58	2,34	2,60	2,59	3,31	2,69
10:30	2,34	2,35	2,31	2,60	2,66	3,28	2,63
11:00	2,41	2,35	2,49	2,59	2,82	3,36	2,68
11:30	2,68	3,07	2,70	2,71	2,88	2,99	2,97
12:00	2,52	3,04	2,68	2,76	2,91	3,00	3,00
12:30	3,32	3,15	3,05	2,83	2,92	2,84	2,98
13:00	3,27	3,12	3,02	2,86	2,92	2,83	3,01
13:30	3,09	2,75	2,94	2,83	2,88	2,57	2,99
14:00	2,52	2,76	2,95	2,83	2,88	2,65	2,95
14:30	2,62	2,56	2,51	2,65	2,59	2,63	2,88
15:00	2,37	2,57	2,52	2,60	2,60	2,83	2,89
15:30	2,64	2,38	2,52	2,70	2,59	2,86	2,76

16:00	2,54	2,50	2,50	2,65	2,59	2,82	2,78
16:30	2,76	2,61	2,45	2,57	2,62	2,75	2,75
17:00	2,79	2,23	2,46	2,57	2,61	2,80	2,70
17:30	2,80	2,38	2,49	2,69	2,61	2,92	2,73
18:00	2,78	2,42	2,59	2,70	2,71	2,66	2,69
Promedio	2,74	2,73	2,72	2,73	2,76	2,83	2,79
Prom. Aforo diario	2,76						

Elaborado por: Delgado, S., 2015

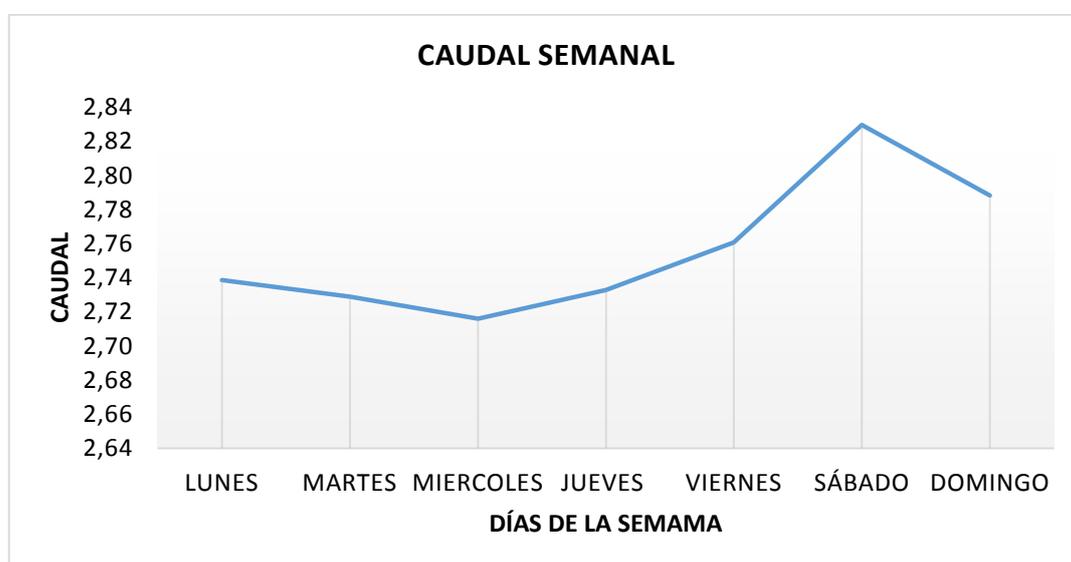


Gráfico 2-3: Resultados de la Variación de Caudal en la Semana

Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.2. Resultados del tratamiento

Tabla 11-3: Resultados Físico-Químico después del Humedal

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Ph		PE-LSA-01	8,3	-
Conductividad	uSiems/cm	2510-B	495	-
Turbiedad	NTU	2130-B	20,4	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	38	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	54	50
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	1,15	10

Fuente: Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH

Tabla 12-3: Resultado Físico-Químico después del Tratamiento

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Ph		PE-LSA-01	8,27	-
Conductividad	uSiems/cm	2510-B	470	-
Turbiedad	NTU	2130-B	4,92	-
Aceites y Grasas	mg/L	EPA 418,1	9,3	30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	24	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	19	50
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	1,13	10
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	7	80
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	270	-
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	0,1	1
Sólidos Totales	mg/L	PE-LSA-04	332	1600

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

Tabla 13-3: Resultado Microbiológico después del Tratamiento

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes fecales	UCF/100 ml	9222B-filtración por membrana	Ausencia	Remoción 99,9 %

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Tabla 14-3: Cumplimiento de Parámetros de Análisis con La Normativa ambiental (TULSMA)

PARÁMETRO	RESULTADO (mg/L)	LÍMITE PERMISIBLE (mg/L)
DBO ₅	19	50
DQO	24	100
Fosfatos	1,13	10
Detergentes	0,4	0,5
Sólidos en suspensión	7	80
Sólidos sedimentables	0,1	1
Sólidos totales	332	1600
Aceites y grasas	9,3	30
Coliformes fecales	Ausencia	Remoción 99,9%

*TULSMA Tabla 10. Descarga a un cuerpo de agua dulce

Elaborado por: Delgado, S., 2015

Tabla 15-3: Comparación de Agua Inicial y Agua Tratada

PARÁMETRO	RESULTADO INICIAL (mg/l)	RESULTADO FINAL (mg/l)
DBO ₅	200	19
DQO	408	24
Fosfatos	11	1,13
Sólidos en suspensión	192	7
Sólidos sedimentables	1,6	0,1
Sólidos totales	1682	332
Aceites y grasas	225	9,3
Coliformes fecales	56000	Ausencia
Turbiedad	136,7	4,92
Conductividad	520	470
Ph	6,27	8,27

Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3. Resultados del dimensionamiento planteado**3.2.3.1. Población****Tabla 16-3:** Resultados de Población

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Población actual	P _a	5739	Ha
Población futura	P _f	11869	Ha

Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.2. Caudal**Tabla 17-3:** Resultados de Caudales

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Dotación	Dot	70	l/hab-día
Caudal medio teórico	Q _{med}	0,00769	m ³ /s
Caudal máximo teórico	Q _{max}	0,02215	m ³ /s
Caudal de infiltración	Q _i	0,4	m ³ /s
Caudal medio de diseño	Q	0,00809	m ³ /s
Caudal máximo de diseño	Q _M	0,02255	m ³ /s

Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.3. Vertedero rectangular

Tabla 18-3: Resultados del Vertedero Rectangular

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Base	B	0,5	m
Largo	L	6	m
Altura total	H	0,56	m
Pendiente	S	0,0005	m/m
Velocidad	V	0,52	m/s

Elaborado por: Delgado, S., 2015

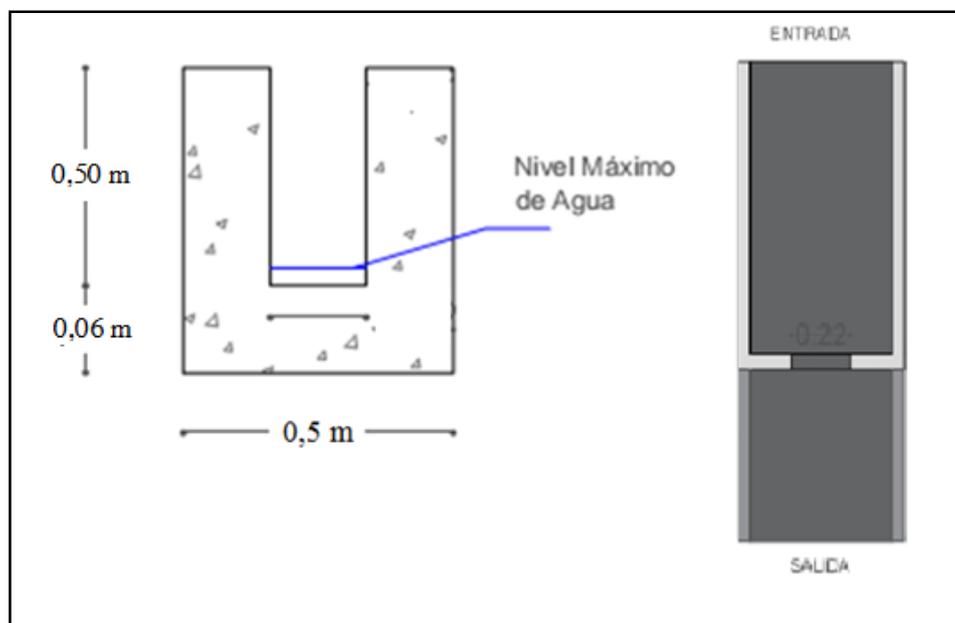


Gráfico 3-3: Vertedero de llegada

Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.4. Rejillas

Tabla 19-3: Resultados de Rejillas

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Base	B	0,5	m
Número de barras	N_b	16	-
Largo de barra	L_B	0,79	m
Espesor	E	0,01	m
Separación	S	0,02	m
Área libre entre barra	A_L	0,015	m ²

Pérdida de carga en rejilla	h_c	0,007	m
Área de sección transversal de flujo	A_f	0,045	m ²

Elaborado por: Delgado, S., 2015

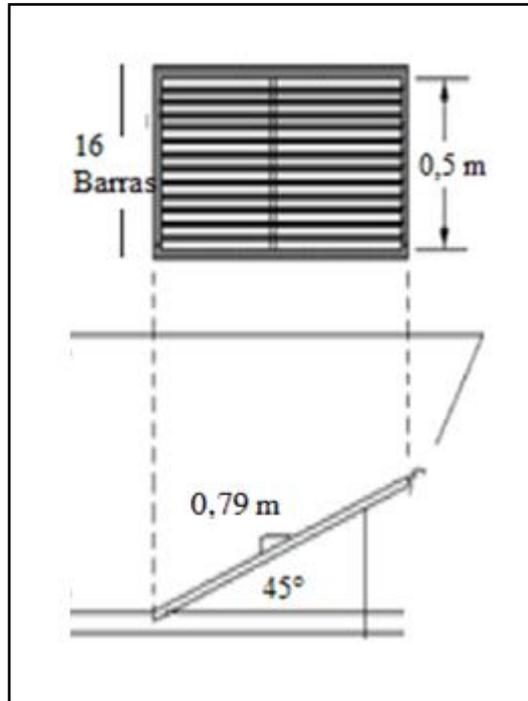


Gráfico 4-3: Rejillas
Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.5. Tanque Imhoff

Tabla 20-3: Resultados del Tanque Imhoff

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
AREA DE SEDIMENTACIÓN			
Área Superficial	AS	17,47	m
Volumen	V_s	29,1	m ³
Longitud de salida del vertedero	L_v	2,8	m
DIGESTOR			
Volumen	V_d	41,54	m ³
Tiempo para digestión	t_d	30	Días
Frecuencia de retiro de lodos	t_r	30	Días
LECHOS DE SECADO			
Carga de sólidos	C_{sd}	0,13	Kg de SS/día

Masa de sólidos	M_{sd}	0,042	Kg de SS/día
Volumen de lodos diario	V_{ld}	0,0004	m ³
Volumen de lodo a extraerse	V_{el}	0,012	m ³
Área de secado	A_{ls}	3	m ²

Elaborado por: Delgado, S., 2015

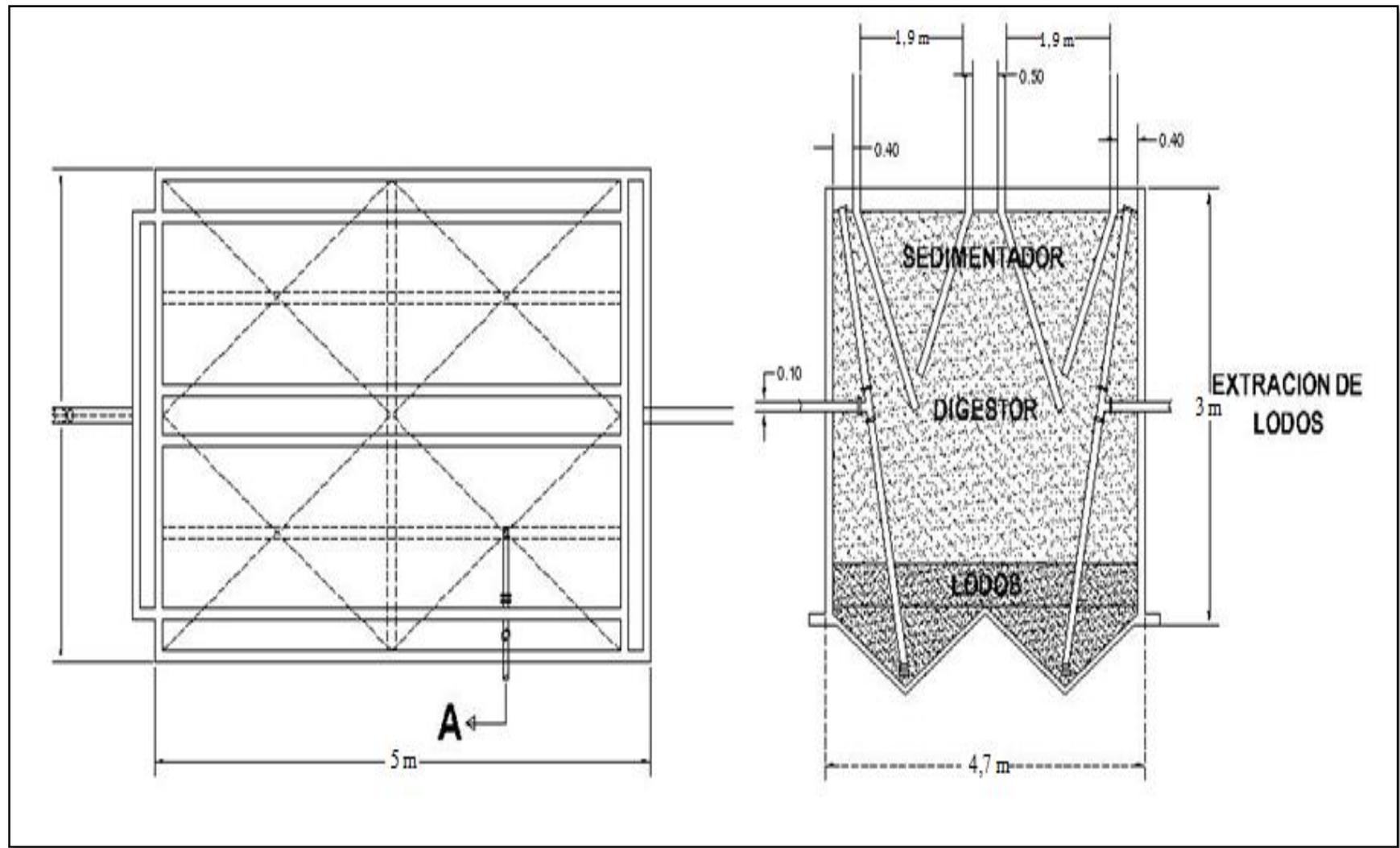


Gráfico 5-3: Tanque Imhoff
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.6. Humedal

Tabla 21-3: Resultados del Humedal

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Área superficial del humedal	AS _H	2112,5	m ²
número de humedales	N°	2	-
Ancho de cada humedal	W _{H1}	26,54	m
Longitud de cada humedal	L _{H1}	39,81	m
Volumen del humedal	V _H	2112,5	m
Pendiente	S	0,0005	m/m
Tiempo de retención	TRH _H	1,05	días
Longitud de entrada con grava	-	2	mm
Longitud de zona de salida con grava	-	1	mm

Elaborado por: Delgado, S., 2015

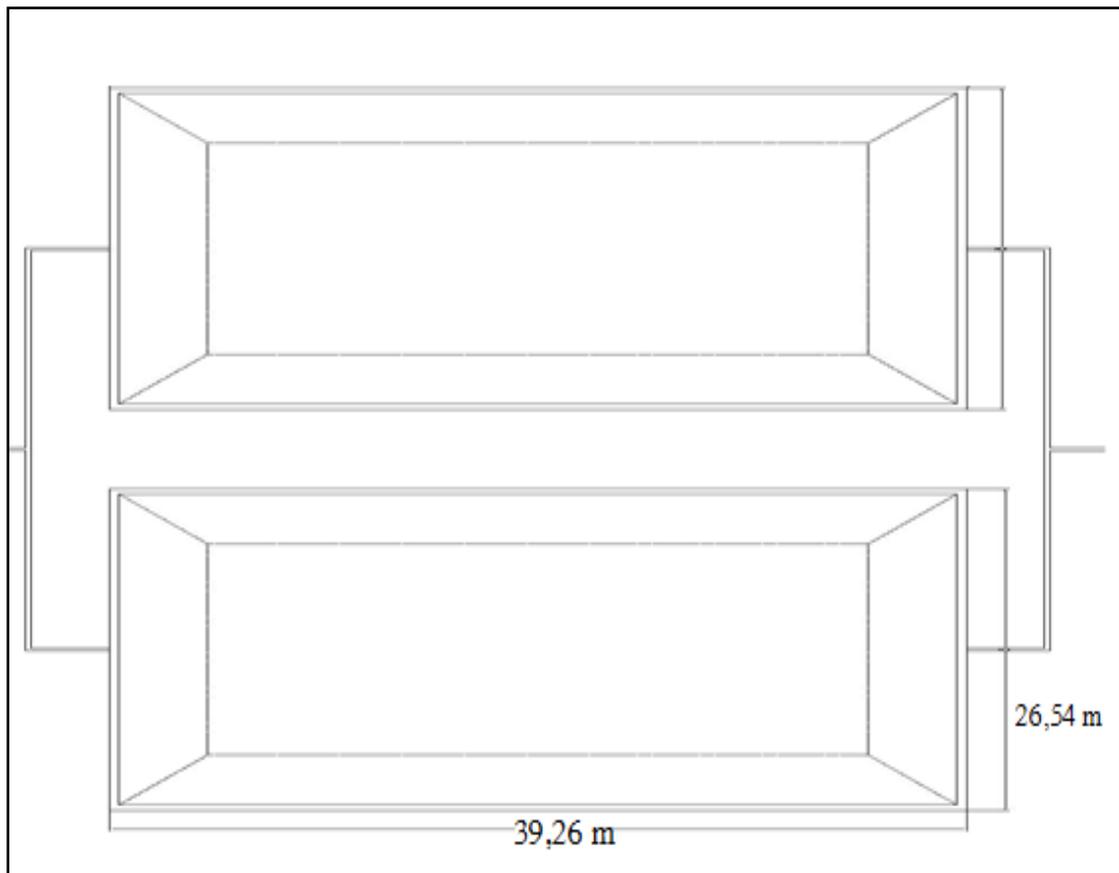


Gráfico 6-3: Humedales

Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.7. Filtración

Tabla 22-3: Resultados de Filtración

DETALLE	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Velocidad de filtración	V_F	$4,87 \times 10^{-4}$	m/s
Número de zanjas	N°_Z	5	-
Área superficial	AS_F	20	m^2
Longitud	L_F	5,8	m
Ancho	A_F	0,6	m
Profundidad	h_F	0,6	m
Distancia entre zanja	d_Z	1	m

Elaborado por: Delgado, S., 2015

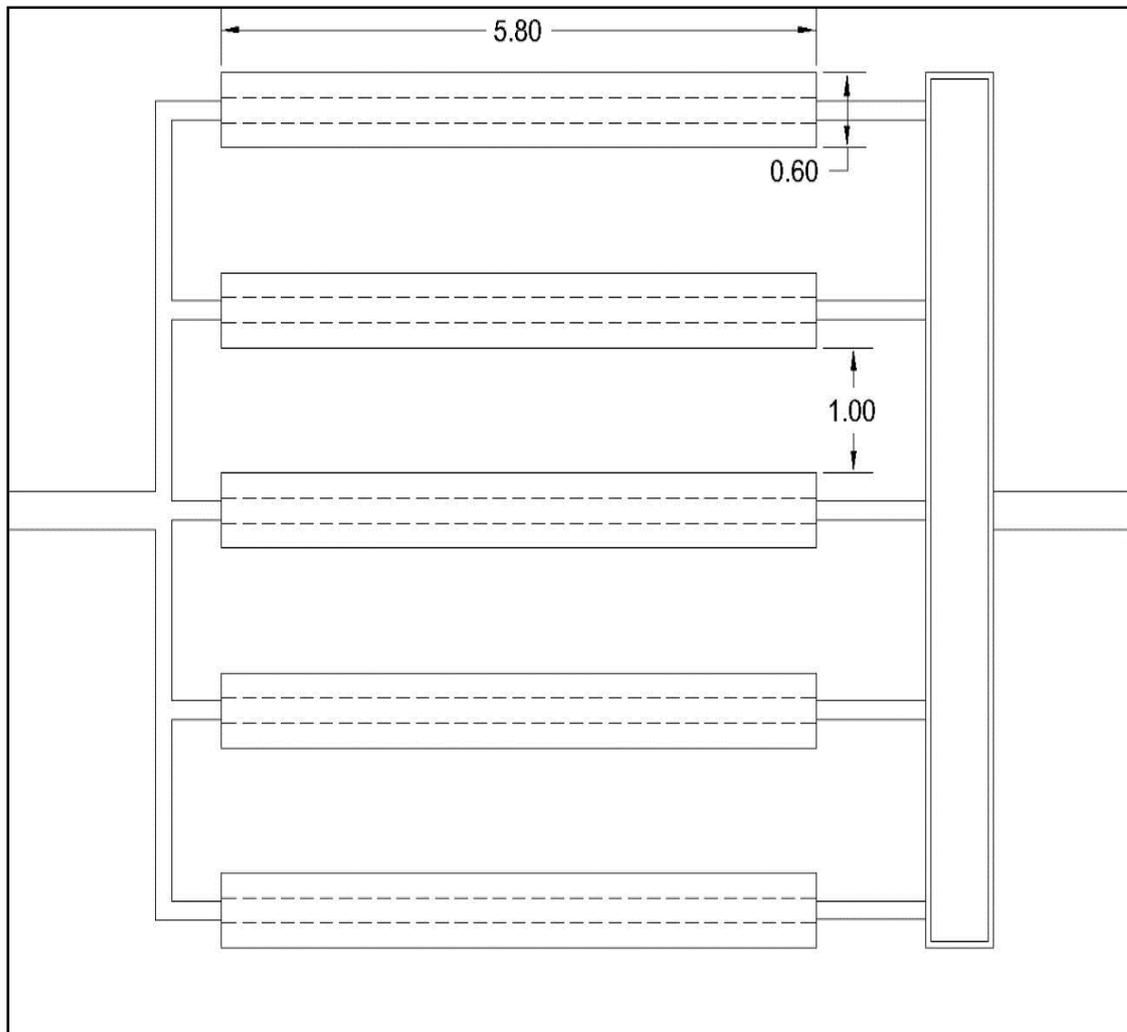


Gráfico 7-3: Filtración
Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.8. Porcentaje de remoción de parámetros que no cumplen con la Normativa Ambiental (TULSMA)

Tabla 23-3: Porcentaje de Remoción

DETALLE	PORCENTAJE REMOVIDO (%)
DBO ₅	90,5
DQO	94,1
Fosfatos	89,7
Sólidos en suspensión	96,3
Solidos sedimentables	93,7
Sólidos totales	80,3
Aceites y grasas	95,9
Coliformes fecales	100
Detergentes	76,5
Turbidez	96,4

Elaborado por: Delgado, S., 2015

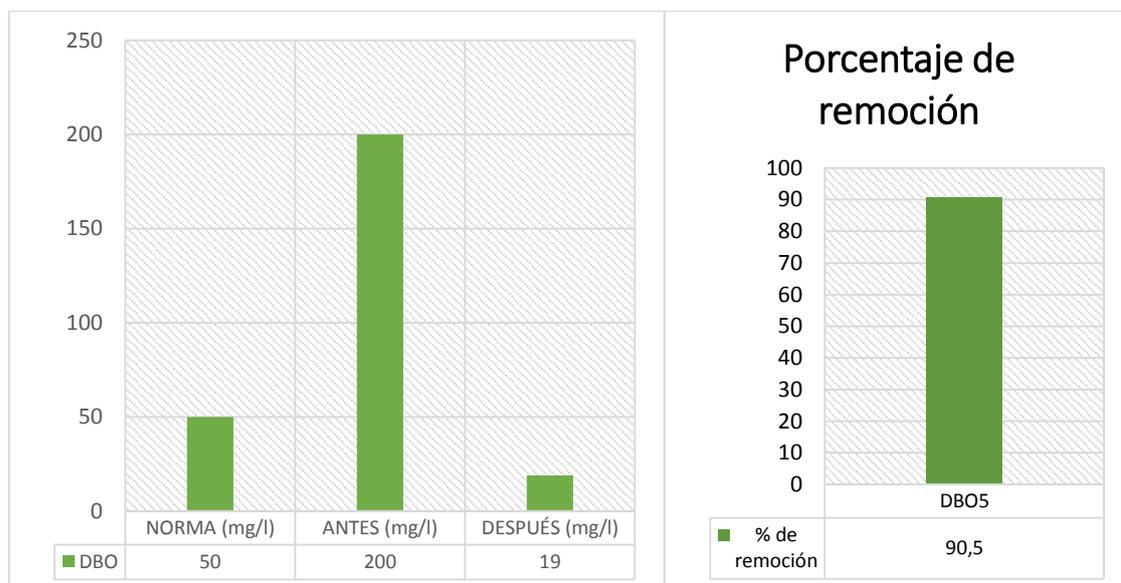


Gráfico 8-3: Porcentaje de Remoción de DBO

Elaborado por: Delgado, S., 2015

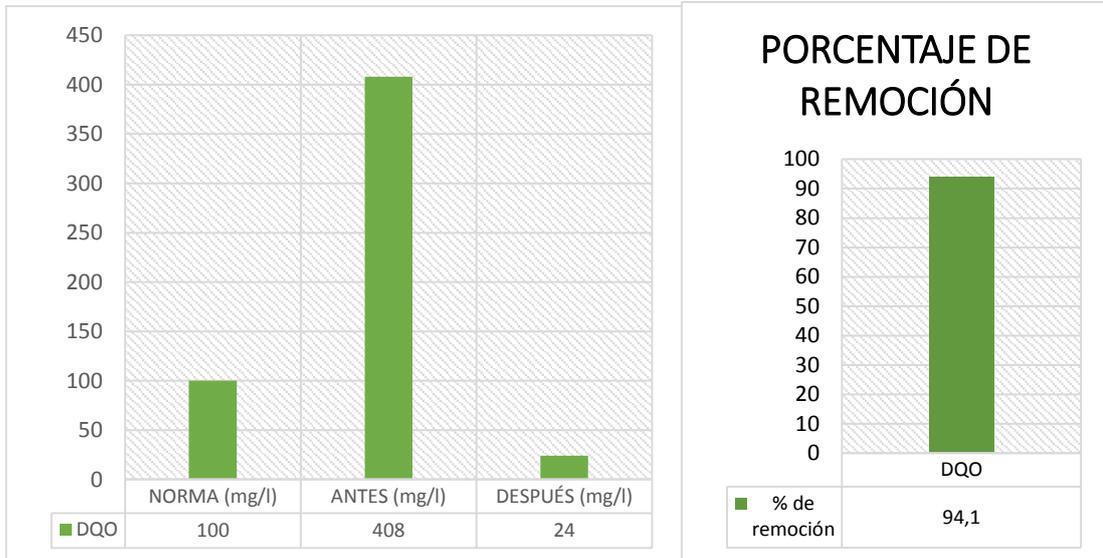


Grafico 9-3: Porcentaje de Remoción de DQO
 Realizado por: Delgado, S., 2015

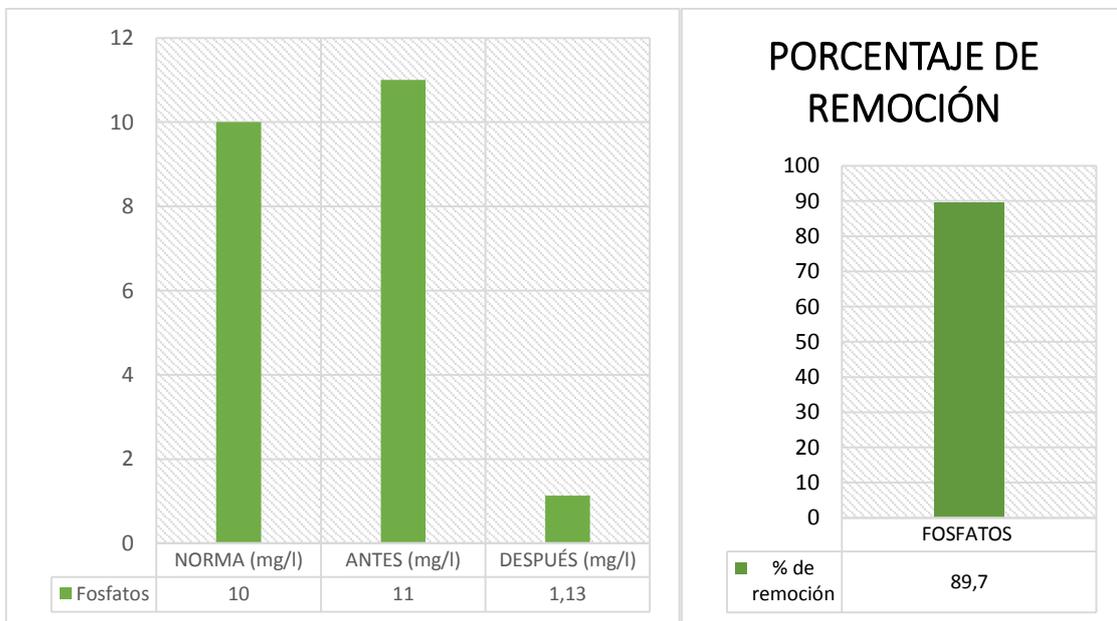


Grafico 10-3: Porcentaje de Remoción de Fosfatos
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

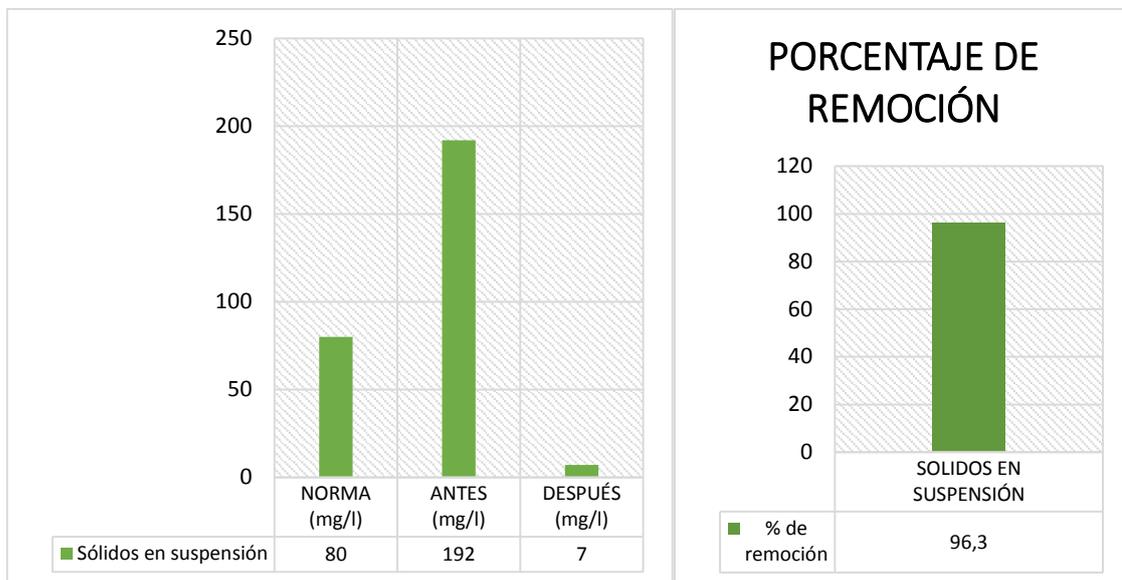


Gráfico 11-3: Porcentaje de Remoción de Sólidos en Suspensión
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

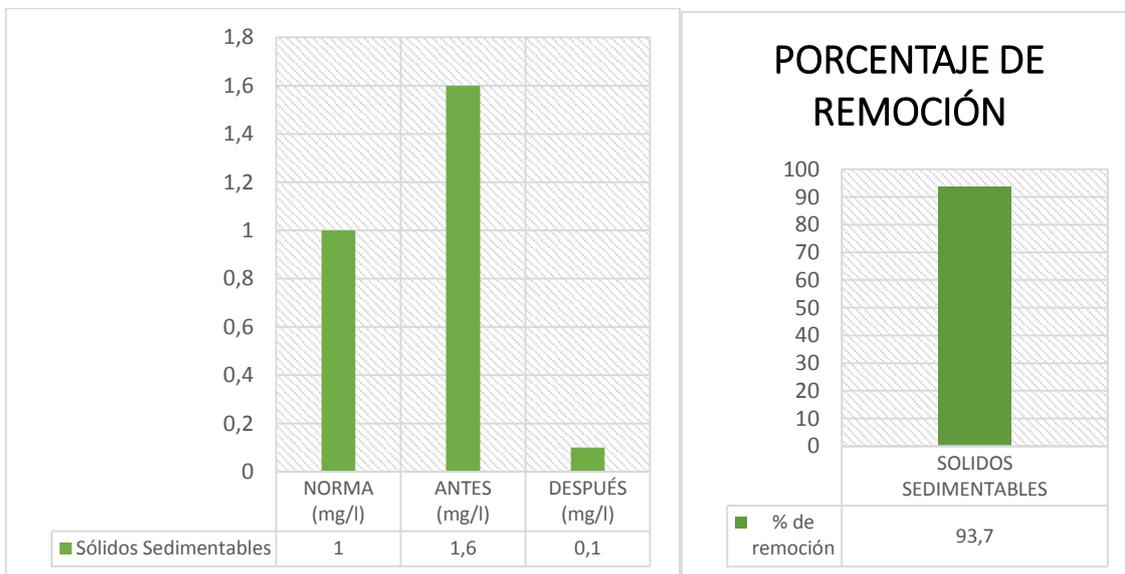


Gráfico 12-3: Porcentaje de Remoción de Sólidos Sedimentables
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

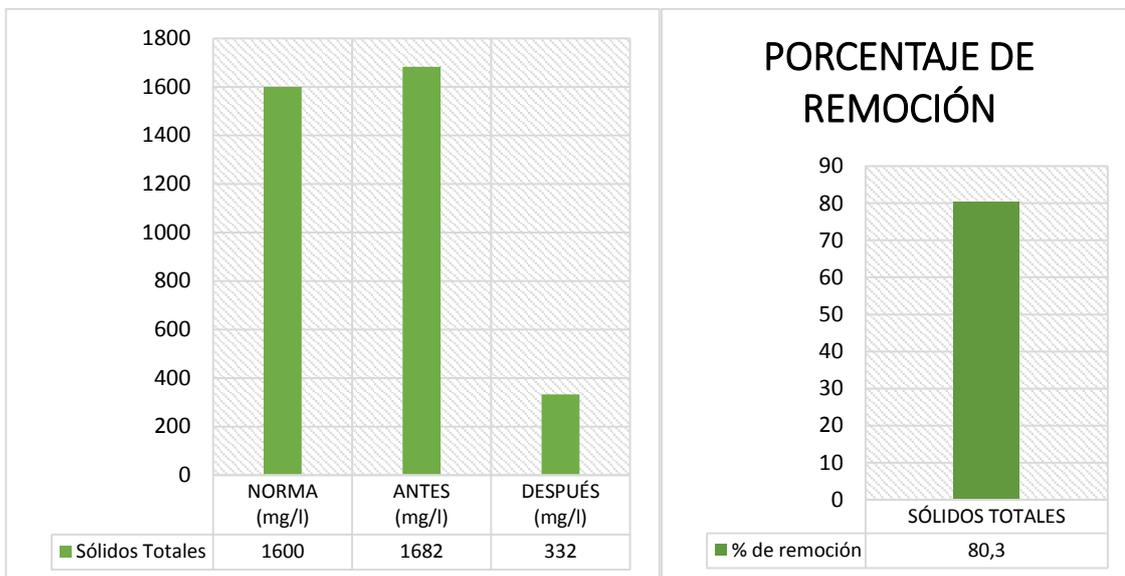


Gráfico 13-3: Porcentaje de Remoción de Sólidos Totales
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

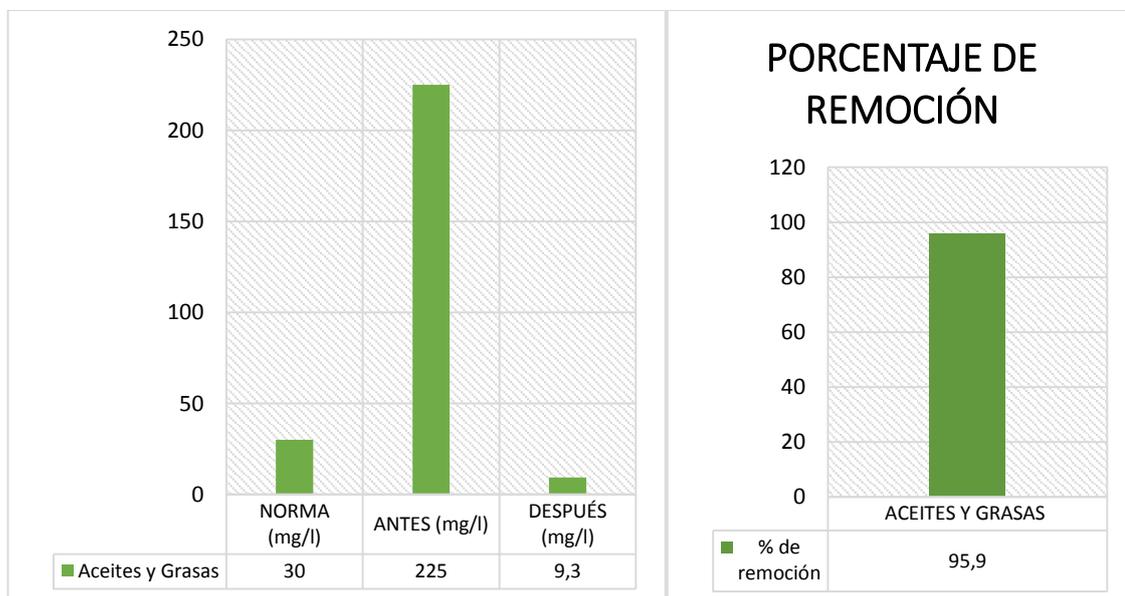


Gráfico 14-3: Porcentaje de Remoción de Aceites y Grasas
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

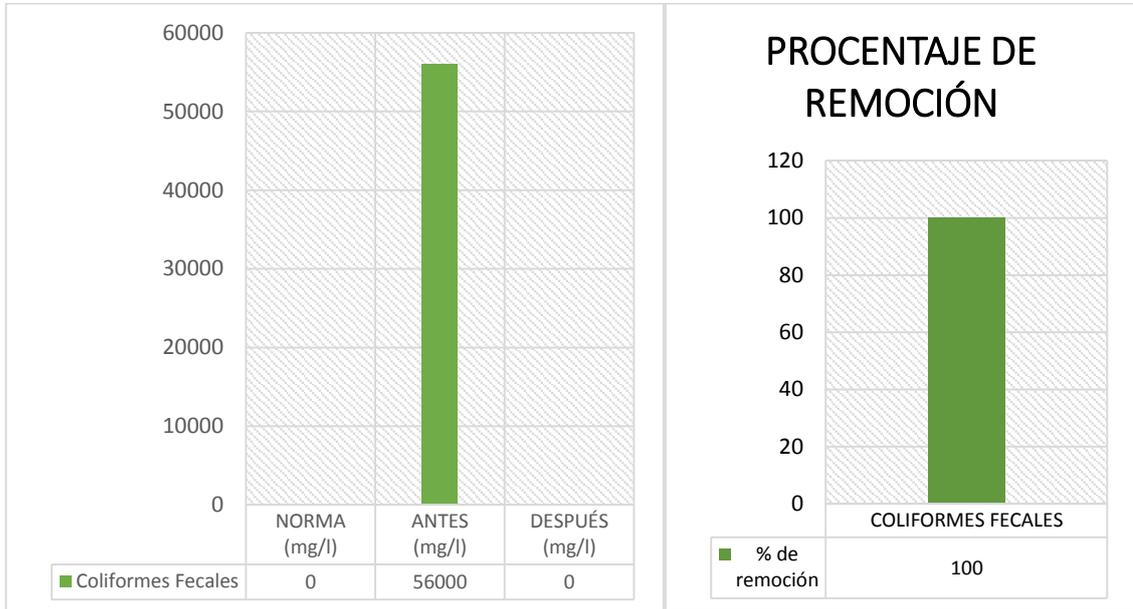


Grafico 15-3: Porcentaje de Remoción de Coliformes Fecales
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

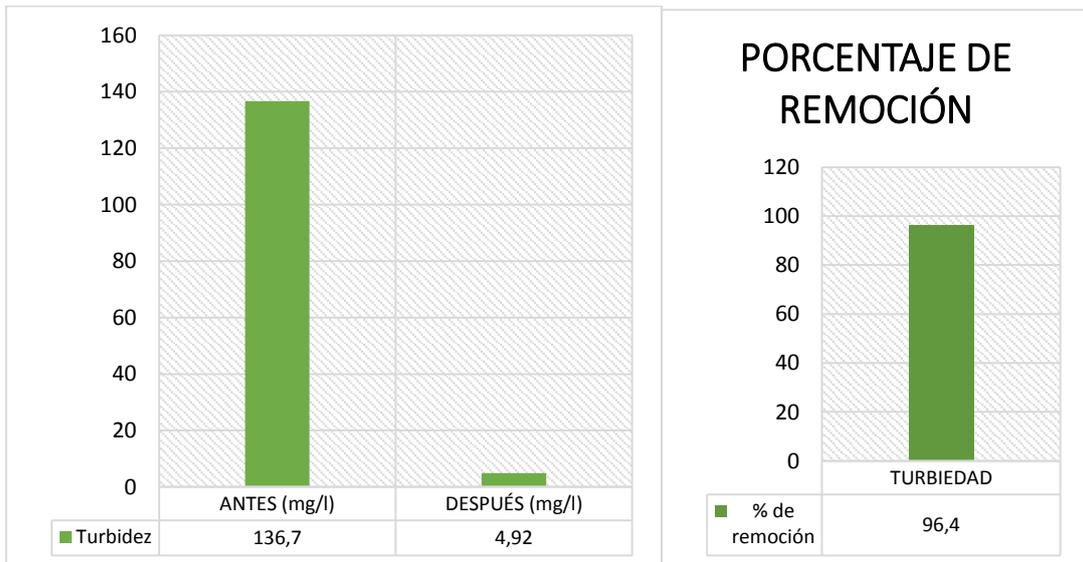


Grafico 16-3: Porcentaje de Remoción de Turbidez
 Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.2.3.9. Análisis de costos

✓ Costo civil de la obra

Tabla 24-3: Costo civil de la obra (Vertedero)

VERTEDERO RECTANGULAR				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Limpieza y Desbroce	m ²	5	0,85	4,3
Replanteo y Nivelación	m ²	4	1,1	4,4
Excavación manual	m ³	4	8,1	32,4
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	1	90,11	90,1
Hormigón simple f'c=210 kg/cm ²	m ³	1,50	425,50	638,3
Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	5,32	9,25	49,2
Encofrado con madera	m ²	6,08	7,55	45,9
Malla Electrosoldada 10x10x6mm	m ²	3,2	4,68	15,0
Tubería PVC 50mm	m	6	4,5	27,0
Codo PVC 50mm	u	2	1,5	3,0
Desalojo del Material	m ³	4	5,5	22,0
			TOTAL=	931,5

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

Tabla 25-3: Costo civil de la obra (rejillas)

REJILLAS				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Marco de Hierro	m ²	2	3,66	7,3
Barras de Hierro	m ²	16	2,5	40,0
			TOTAL=	47,3

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

Tabla 26-3: Costo civil de la obra (Imhoff)

IMHOFF				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Tanque Imhoff (incluye tubería, accesorios y válvulas)	Glp	1	25000	25000,0

TOTAL=

25000,0

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

Tabla 27-3: Costo civil de la obra (humedales)

HUMEDALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Limpieza y desbroce	m ²	2112,5	0,85	1795,6
Replanteo y Nivelación	m ²	2112,5	1,1	2323,8
Excavación manual	m ³	2012	8,1	16297,2
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	1	90,11	90,1
Tubería PVC 50mm	m	25	4,5	112,5
Codo PVC 50mm	u	10	1,5	15,0
Desalojo del material	m ³	2112,5	5,5	11618,75
Impermeabilización con geo membrana	m ²	2115	6	12690
			TOTAL=	44942,9

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

Tabla 28-3: Costo civil de la obra (Filtro)

FILTRO LENTO DE ARENA				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Limpieza y Desbroce	m ²	20	0,5	10
Replanteo y Nivelación	m ²	20	1	20
Excavación	m ³	38	5,5	209
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	100	85,1	8510
Hormigón simple F ^c =210 Kg/CM ²	m ³	20	180,1	3602
Enlucido Vertical Con Impermeabilizante	m ²	25	9,5	237,5
Tubería PVC 200mm	m	10	22,2	222
Codo PVC 200mm	u	4	15	60
TEE 200mm	u	5	2	10
Válvula de compuerta 50mm	u	4	13	52
Arena	m ²	100	5	500
Grava para filtro	m ³	20	4,5	90
			TOTAL=	10799,5

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

Tabla 29-3: Costo civil de la obra (Cámaras)

CÁMARAS DE RECOLECCIÓN				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
hormigón Armado Canal de llegada (incluye Encofrado)	m ³	1	425	425,0
Hormigón Armado Canal Recolector (incluye Encofrado)	m ³	1	425	425,0
			TOTAL=	850,0

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

Tabla 30-3: Costo civil de la obra (TOTAL)

VERTEDERO	931,5
REJILLAS	47,32
IMHOFF	25000
HUMEDALES	44942,94
FILTRACION	10799,50
CÁMARAS DE RECOLECCIÓN	850,00
TOTAL	82571,26

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

✓ Costos Operativos

Tabla 31-3: Costos Operativos de la obra

DESCRIPCION DEL RUBRO	U	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
				USD
Eichornia Crassipes	m ²	2112,5	0,30	633,75

Elaborado por: Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de San Mateo

3.3. Propuesta

Se presenta un Diseño del Sistema de Tratamiento del agua residual para la Parroquia San Mateo el cual consta de los siguientes procesos:

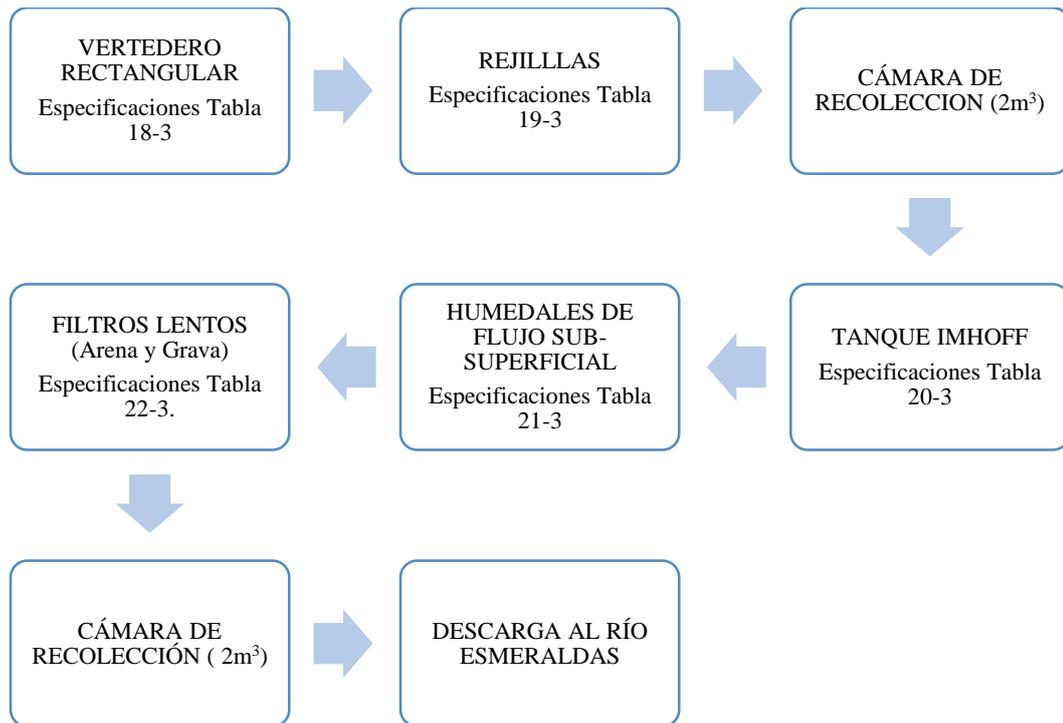


Grafico 17-3: Propuesta para Diseño de Planta de Tratamiento
Elaborado por: Delgado, S., 2015

3.4. Análisis y discusión de resultados

De acuerdo a la caracterización físico-química y microbiológica se obtuvieron los siguientes resultados: Aceites y Grasas 225 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 200 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 408 mg/L, Detergentes 1,7 mg/L Fosfatos 11 mg/L, Sólidos en Suspensión 192 mg/L, Sólidos Sedimentables 1,6 mg/L, Sólidos Totales 1682 mg/L, Coliformes Fecales 56000 UFC/100ml. Los mismos que al ser comparados con el TULSMA, no cumplen con los límites máximos permisibles. (Ver tabla 1-2 y 2-2)

El humedal disminuye el DBO y el DQO un 81 % y 86,8% respectivamente. Después de aplicar todo el tratamiento se obtuvieron resultados favorables, cumpliendo con los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce Aceites y Grasas 9,3 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 19 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 24 mg/L, Detergentes 0,4 mg/L, Fosfatos 1,13 mg/L, Sólidos en Suspensión 7 mg/L, Sólidos Sedimentables 0,1 mg/L, Sólidos Totales 332 mg/L y Ausencia de Coliformes Fecales. (Ver Tabla 12-3 y 13-3)

Los porcentajes de remoción después del tratamiento son los siguientes: DBO₅ 90,5%, DQO 94,1%, Fosfatos 89,7 %, Sólidos en suspensión 96,3%, Sólidos sedimentables 93,7%, Sólidos totales 80,3%, Aceites y grasas 95,9%, Coliformes fecales 100%, Detergentes 76,5%, Turbidez 96,4%, estos resultados garantizan que el tratamiento es fiable. (Ver Tabla 23-3)

Para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de Aguas Residuales los resultados fueron los siguientes:

✓ **Población de diseño**

Para la determinación de la población futura se utilizó el método geográfico. Tomando en cuenta un periodo de diseño de 20 años con una tasa de crecimiento de del 3,7 %, la población será de 11869 habitantes en el año 2035

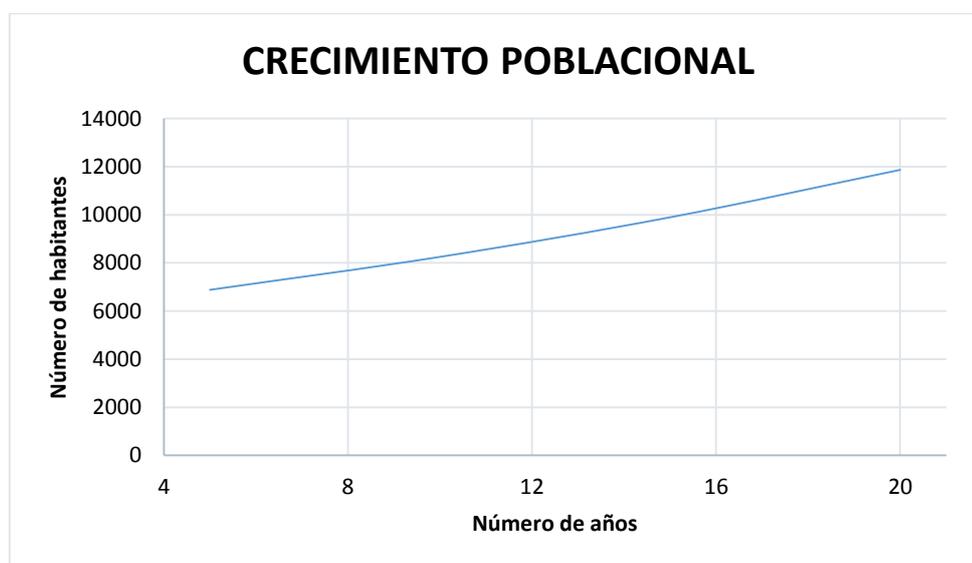


Grafico 18-3. Crecimiento Poblacional de la Parroquia San Mateo
Elaborado por: Delgado, S., 2015

✓ **Medición de caudal**

La medición de caudales se realizó por siete días consecutivos desde lunes hasta domingo cada media hora utilizando el método del flotador, obteniendo un caudal promedio de aforo de 2,76 l/s. Para mejor visualización, (Ver tabla 8-3).

Para determinar el caudal de diseño se toma en cuenta la dotación de agua potable por habitante, el coeficiente de retorno que es la cantidad de agua potable utilizada y enviada a tuberías de descarga y la población futura. Teniendo como caudal de diseño medio 8,09 l/s y caudal de diseño máximo 22,55 l/s, tomando en cuenta que se tendrá estos caudales después de 20 años.

✓ **Dimensionamiento**

Para dimensionar la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia San Mateo se basa en los resultados obtenidos en el laboratorio, medición de caudales, población y bibliografías. Tomando en cuenta que el diámetro es de 200 mm en todos los procesos a excepción de la entrada al humedal cuya tubería es de 150 mm cada una. De esta manera se propone lo siguiente:

- ***Vertedero rectangular***

El canal de llegada deberá ser construido de hormigón cuyo coeficiente de rugosidad es de 0,013 y con una pendiente hidráulica del 0,0005 m/m. Su finalidad es recibir el agua residual con una velocidad de diseño de 0,52 m/s, siendo su base de 0,5 m y 0,06 m la altura que el agua llegará en el canal, diseñando un vertedero de 0,56 m de altura total por seguridad de desbordamiento (Ver Tabla 18-3).

- ***Rejillas***

Las rejillas se diseñaran con un número de 16 barras, con las siguientes dimensiones: longitud 0,79 m, espesor de cada barra 0,01 m, separación entre barras de 0,02 m, siendo su ángulo de inclinación de 45°. Teniendo una pérdida de carga de 0,007 m. Como el largo del vertedero de llegada es de 6 m, las rejillas deberán ser construidas a los 4 metros dentro del vertedero. (Ver tabla 19-3)

- ***Tanque Imhoff***

Se diseñó un tanque Imhoff debido a la presencia de sólidos sedimentables y suspendidos con valores superiores al límite permisible. Teniendo las siguientes cámaras:

Sedimentación

El sedimentador deberá tener un área de 17,47 m² logrando que las partículas se sedimentan en su mayoría, teniendo un vertedero para salida del agua hacia la otra cámara cuya longitud será de 2,8 m. (Ver tabla 20-3)

Digestor

En un volumen de 41,54 m³ serán almacenados los lodos durante 30 días para ser retirados de manera manual o automática con una bomba de 2HP Tomado como referencia técnica de Terence J.

Lechos de secado

Esta cámara recogerá una carga de 0,13 Kg de SS/ día y volumen de 0,4 L/día, siendo su área de 3 m². Como el retiro de lodos se hará en un periodo de 30 días la cantidad extraída es 0,0012 m³. (Ver tabla 20-3).

Medio de drenaje

Para el drenaje del agua se necesitara dos capas de 10 cm cada una, de arena y otra de grava cuyos tamaños son de 0,3 mm y 25 mm respectivamente, con una separación de 2 cm. (Ver tabla 20-3)

- ***Humedal***

Se dimensionó dos humedales para depurar el agua residual proveniente del tanque Imhoff. Para la remoción de contaminantes en los humedales se utilizará la Eichornia crassipes llamada Jacinto de Agua, que es apropiada para climas húmedos donde ayudará a su desarrollo y acondicionamiento. Se tendrá dos humedales con 1 m de profundidad, 26,54 m de ancho y 39,81 m de largo, el tiempo de retención deberá de ser 1,05 días. (Ver tabla 21-3).

- **Filtración**

Para caudales pequeños generalmente se utilizan tres zanjas, pero para alargar el tiempo de vida útil de las mismas se diseñaran 5 zanjas de infiltración de 60 cm de ancho y 5,28 m de largo con una distancia entre zanjas de 1 m. Con una capa de arena y otra de grava de 15 cm, (Ver tabla 22-3).

CONCLUSIONES

- ✓ Las aguas residuales provenientes de la Parroquia San Mateo del Cantón Esmeraldas presentan una alta concentración de materia orgánica y microbiológica según la caracterización inicial físico-química y microbiológica, identificando los parámetros fuera de la Normativa vigente (TULSMA en el libro VI, anexo I) siguientes: Aceites y Grasas 225 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 200 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 408 mg/L, Tensoactivos 1,7 mg/L Fosfatos 11 mg/L, Sólidos en Suspensión 192 mg/L, Sólidos Sedimentables 1,6 mg/L, Sólidos Totales 1682 mg/L, Coliformes Fecales 56000 UFC/100ml.
- ✓ Los cálculos se realizaron según criterios de diseño y ecuaciones sugeridas por bibliografías y normas de diseño para tratamiento de aguas residuales, ocupando el caudal máximo y medio de diseño proyectados para 20 años tomando en cuenta un área total de 2 hectáreas, El sistema de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia San Mateo del Cantón Esmeraldas consta los siguientes procesos: vertedero de llegada, rejillas, un tanque Imhoff, dos sistemas de humedal de flujo subsuperficial, y filtración. Estos procesos resultaron eficiente para bajar la concentración de contaminantes del agua residual domestica sin tratar.
- ✓ Con el diseño de tratamiento planteado, se comprobó mediante la experimentación y caracterización físico-química y microbiológica final la disminución de una gran cantidad de contaminantes teniendo como resultado: Aceites y Grasas 9,3 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 19 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 24 mg/L, Fosfatos 1,13 mg/L, Sólidos en Suspensión 7 mg/L, Sólidos Sedimentables 0,1 mg/L, Sólidos Totales 332 mg/L y Ausencia de Coliformes Fecales, cumpliendo como los límites permisibles del TULSMA libro VI anexo I tabla 10. Descarga a un cuerpo de agua dulce
- ✓ Los costos de construcción e implementación es de **\$ 82571,26 (ochenta y dos mil quinientos setenta y un dólares con veinte y seis centavos)** este valor engloba desde la excavación del terreno hasta la operación del sistema, de tal manera que para determinar con exactitud los costos, se tomó en cuenta el dimensionamiento de cada proceso y los valores actuales de los materiales. Se Obtiene **\$ 633,75 (seiscientos treinta y tres dólares con setenta y cinco centavos)** como costo operativo, siendo éste el precio de la planta Eichornia Crassipes.

RECOMENDACIONES

- ✓ La limpieza del tanque Imhoff se hará de manera manual cada 30 días, si se pasa de este tiempo existirá riesgo de daño del equipo por acumulación de lodos.
- ✓ Los lodos obtenidos en la limpieza del tanque Imhoff y en los humedales deberán ser tratados, con una operación de bajo costo como es la deshidratación para ser utilizados como abono para la agricultura.
- ✓ Realizar un estudio de impacto ambiental con el objetivo de saber que medio físico y/o biótico se verá afectado con la construcción del tratamiento y así poder tomar medidas necesarias para prevenir daños durante este proceso.
- ✓ Realizar análisis físico-químicos y microbiológicos frecuentes al agua tratada para verificar que el tratamiento esté funcionando bien y que cumplan con lo establecido en la investigación.
- ✓ Cuando los valores de DQO y DBO aumenten, se deberá usar lechos bacterianos en lugar de Humedales artificiales, ya que las bacterias son capaces de degradar materia orgánica con mayor concentración.

BIBLIOGRAFÍA

ARELLANO, A. *Tratamiento de Aguas Residuales*. 2 ed. Riobamba – Ecuador: McGraw Hill, 2009, pp. 2 – 29.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sección II: Tratamiento de Aguas Residuales*.

DEAS, G., GONZÁLEZ O. “Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal”. *Ingeniería Hidráulica y ambiental*. [En línea] 2011(Cuba). No. 1., Vol. XXXII., pp 66-67. [Fecha de consulta: 2015/06/15] Disponible en: http://revistascientificas.cujae.edu.cu/.%5CRevistas%5CHidraulica%5CVol-XXXII%5C1-2011%5C61-70_Metodologia_para_el.pdf

DELGADILLO, O. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochamba-Bolivia: Alfa Omega 2010. Pp 7-14

MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA): límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Vol. 6, tabla 10*

METCALF, Y EDDY. *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. 3A ed . España, McGraw Hill, 1995. Pp. 237 – 387, 507-705

ROMERO, J. *Calidad del agua*. Bogotá –Colombia: Alfa omega, 2002. Pp. 50 - 74, 213 - 246, 700 - 710.

ROJAS, R. *Sistemas de tratamiento de aguas residuales: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. Lima – Perú: CEPIS/OPS – OMS, 2002.Pp. 19.

TERENCE J. *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. 6A ed. Bogotá-Colombia: McGraw-Hill Internamerica.SA. 1999. Pp 373-533

VALDEZ, C, y VÁZQUEZ, A. *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México D.F: Fundación ICA, 2003.Pp. 59-81, 90 - 94, 97 - 103- 133, 255 - 263.

ANEXOS

ANEXO A

LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30 , 0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5 , 0
Arsénico total	As	mg/l	0 , 1
Bario	Ba	mg/l	2 , 0
Boro Total	B	mg/l	2 , 0
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	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1 , 0
Cobalto	Co	mg/l	0 , 5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	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 (5 días)	DBO ₅	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
Fósforo Total	P	mg/l	10 , 0
Hierro total	Fe	mg/l	10 , 0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20 , 0
Manganeso total	Mn	mg/l	2 , 0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2 , 0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30 , 0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50 , 0

Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0 , 05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0 , 1
Plata	Ag	mg/l	0 , 1
Plomo	Pb	mg/l	0 , 2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0 , 1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	80 , 0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ - 2	mg/l	1000
Sulfuros	S- 2	mg/l	0 , 5
Temperatura	oC		< 35
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0 , 5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1 , 0

ANEXO B



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Shirley Delgado Mendoza	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Caracterización inicial del agua residual	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámin	Escala
				Fecha
			A4	26/10/2015

ANEXO C

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Shirley Delgado

Fecha de Análisis: 9 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 16 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica Cruda.

Localidad: Parroquia San Mateo Cantón Esmeraldas Prov. Esmeraldas

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/039-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	6.27
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		520
Turbiedad	UNT	2130-B		136.7
Grasas y Aceites	mg/L	5520-B	0.3	225
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	408
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	200
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C	10	0.2
Sulfatos	mg/L	4500- SO4-E		28
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	10	11.8
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	192
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		280
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	1.6
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	1682

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

**TULAS TABLA 12. 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 D



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

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

Nº SE: 009 – 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Shirley Delgado **INFORME Nº:** 009– 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 009–15
DIRECCIÓN: Los Álamos **FECHA DE RECEPCIÓN:** 10–03–15
TELÉFONO: 0988526210 **FECHA DE INFORME:** 13–03–15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA–017-15 Agua

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

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA –017-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	58000	N/A	10–03–15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Pctables 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.

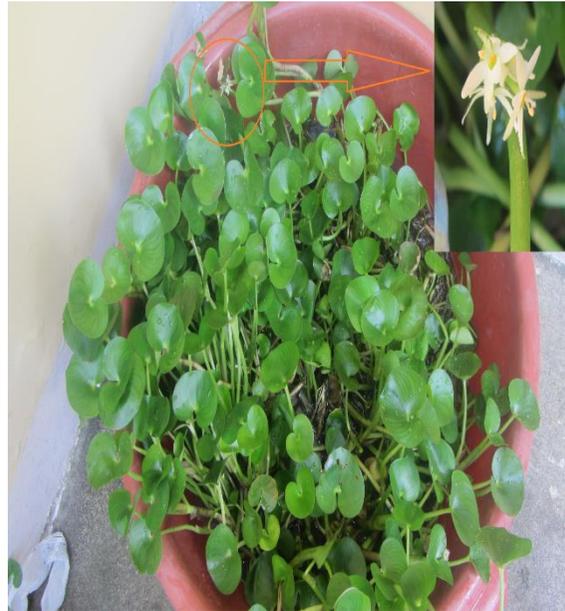

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

-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 E



a



b



c

<p style="text-align: center;">NOTAS</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p>	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Shirley Delgado Mendoza</p>	<p style="text-align: center;">DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</p>		
<p>a. Agua residual b. Agua residual con Jacinto de agua c. 1) entrada humedal 2) salida humedal</p>	<p><input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado</p>		<p>Lámin</p>	<p>Escala A4</p>	<p>Fecha 26/10/2015</p>

ANEXO F

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Shirley Delgado

Fecha de Análisis: 2 de junio del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 9 de junio del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica Tratada (Después de Eichornia Crassipes)

Localidad: Parroquia San Mateo Cantón Esmeraldas Prov. Esmeraldas

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/072-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.10
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		495
Turbiedad	UNT	2130-B		20.4
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	G54
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	38
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		280

*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 G



a



b



c

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Shirley Delgado Mendoza	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
a. ripio ¾, arena gruesa, ripio 3/8 b. filtro c. agua filtrada	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámin	Escala
				Fecha
			A4	26/10/2015

ANEXO H

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Shirley Delgado

Fecha de Análisis: 2 de junio del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 9 de junio del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica Tratada

Localidad: Parroquia San Mateo Cantón Esmeraldas Prov. Esmeraldas

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/083-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	30	< 20
pH	Und.	4500-B	5-9	8.2
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		470
Turbiedad	UNT	2130-B		4.95
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	100	25
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	50	20
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	10	1.13
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	7.14
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		270
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	<0.1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	351

*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 I

SAQMIC
 los Analíticos Químicos y Microbiológicos
 en Aguas y Alimentos

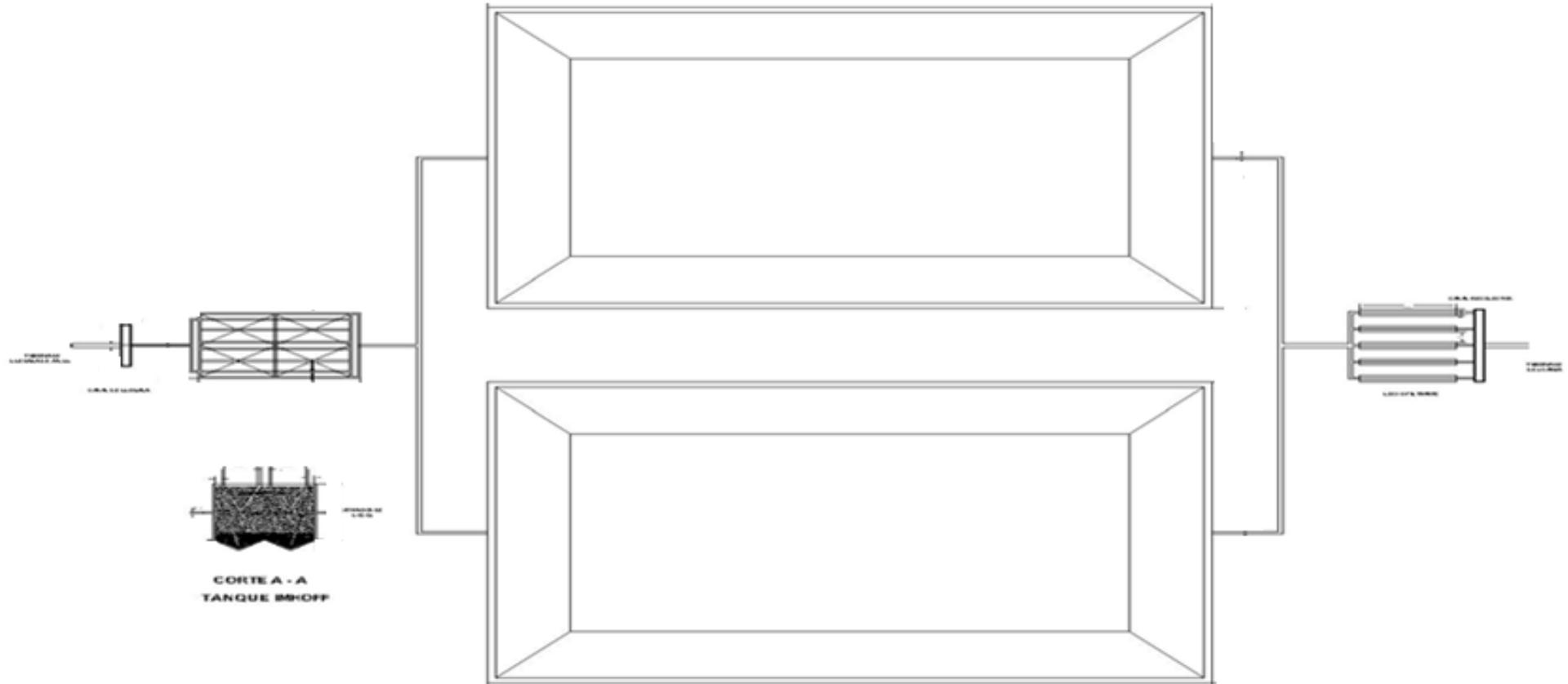
EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA **CÓDIGO 300-15**

CLIENTE: Srta. Shirley Delgado Mendoza			
DIRECCIÓN: Los Alamos		TELÉFONO:	
TIPO DE MUESTRA: Agua residual tratada de la parroquia San Mateo del cantón Esmeraldas			
FECHA DE RECEPCIÓN: 29 de mayo del 2015			
FECHA DE MUESTREO: 29 de mayo del 2015			
EXAMEN FISICO			
COLOR: Incoloro			
OLOR: Inoloro			
PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
<i>Coliformes fecales UFC/100ml</i>	Filtración por membrana	2000	Ausencia
TULAS , libro VI del texto unificado 2014			
OBSERVACIONES:			
FECHA DE ANÁLISIS: 29 de mayo del 2015			
FECHA DE ENTREGA : 01 de junio del 2015			
RESPONSABLES:			
			
Dra. Gina Álvarez R.		Dra. Fabiola Villa	
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.			

ANEXO J

 LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES 																																																							
Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006																																																							
N° SE: 041-15																																																							
INFORME DE ANALISIS																																																							
NOMBRE: Srta. Shirley Delgado	INFORME N°: 041- 15																																																						
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH	N° SE: 041-15																																																						
DIRECCIÓN: Los Álamos	FECHA DE RECEPCIÓN: 04-06-15																																																						
TELÉFONO: 0988526210	FECHA DE INFORME: 08-06-15																																																						
NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica	TIPO DE MUESTRA:																																																						
IDENTIFICACIÓN: MA-077-15	Agua																																																						
El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.																																																							
RESULTADO DE ANÁLISIS																																																							
MA - 077-15																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PARÁMETROS</th> <th>UNIDADES</th> <th>MÉTODO/PROCEDIMIENTO</th> <th>RESULTADO</th> <th>U(K=2)</th> <th>FECHA DE ANÁLISIS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>[H⁺]</td> <td>PE-LSA-01</td> <td>8,27</td> <td>+/- 0,08</td> <td>04-06-15</td> </tr> <tr> <td>* Turbiedad</td> <td>FTU - NTU</td> <td>STANDARD METHODS 2130 B</td> <td>4,92</td> <td>N/A</td> <td>04-06-15</td> </tr> <tr> <td>* Sólidos Totales</td> <td>mg/l</td> <td>PE-LSA-04</td> <td>332</td> <td>+/- 6 %</td> <td>04-06-15</td> </tr> <tr> <td>* Sólidos Suspendidos</td> <td>mg/l</td> <td>STANDARD METHODS 2540 - D</td> <td>7</td> <td>N/A</td> <td>04-06-15</td> </tr> <tr> <td>* Fosfatos</td> <td>mg/l</td> <td>STANDARD METHODS 4500 - P - E</td> <td>1,13</td> <td>N/A</td> <td>04-06-15</td> </tr> <tr> <td>* DQO</td> <td>mg/l</td> <td>STANDARD METHODS 5220 - D mod</td> <td>24</td> <td>N/A</td> <td>04-06-15</td> </tr> <tr> <td>* DBO5</td> <td>mg O2/l</td> <td>STANDARD METHODS 5210 - B</td> <td>19</td> <td>N/A</td> <td>04-06-15</td> </tr> <tr> <td>* Aceites y grasas</td> <td>mg/l</td> <td>EPA 418,1</td> <td>9,3</td> <td>N/A</td> <td>04-06-15</td> </tr> </tbody> </table>	PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS	pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	8,27	+/- 0,08	04-06-15	* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	4,92	N/A	04-06-15	* Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	332	+/- 6 %	04-06-15	* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	7	N/A	04-06-15	* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	1,13	N/A	04-06-15	* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	24	N/A	04-06-15	* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	19	N/A	04-06-15	* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	9,3	N/A	04-06-15	
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS																																																		
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	8,27	+/- 0,08	04-06-15																																																		
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	4,92	N/A	04-06-15																																																		
* Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	332	+/- 6 %	04-06-15																																																		
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	7	N/A	04-06-15																																																		
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	1,13	N/A	04-06-15																																																		
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	24	N/A	04-06-15																																																		
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	19	N/A	04-06-15																																																		
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	9,3	N/A	04-06-15																																																		
MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN.																																																							
RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:																																																							
Dr. Juan Carlos Lara																																																							
Dr. Mario Ruiz																																																							
 Dr. Juan Carlos Lara R. TÉCNICO L.S.A.																																																							
-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s). - Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE. -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.																																																							
Página 1 de 1					FMC2101-01																																																		
L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.																																																							

ANEXO K



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Shirley Delgado Mendoza	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Sistema Propuesto de Tratamiento de Aguas Residuales para la Parroquia San Mateo	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lámin	Escala
				Fecha
				A4
				26/10/2015

ANEXO L

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REJILLAS

Operación

- ✓ Las rejillas tienen que ser limpiadas una vez al día, si ésta no se vigila regularmente, puede impedir el paso de agua provocando refluo. Cuando llueva la limpieza deberá hacerse dos veces al día
- ✓ Realizar la limpieza con un rastrillo metálico
- ✓ Los residuos obtenidos de la limpieza deberán ser colocados en una placa para que sean escurridos, luego incinerarlos o llevarlos a un relleno sanitario

Mantenimiento

- ✓ Limpiar una vez a la semana con agua a presión toda la rejilla
- ✓ Asegurarse que la placa perforada se encuentre limpia y sin sólidos
- ✓ Si existe mal olor producido por el material de secado aplicar cal.
- ✓ Examinar mensualmente la rejilla y si, se existe corrosión enjuagar y pintar con pintura anticorrosiva.

ANEXO M

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE IMHOFF

✓ Arranque

El tanque Imhoff antes de ponerlo en funcionamiento, debe ser llenado con agua completamente limpio, mientras que la cámara de digestión colocarles lodos de otra Imhoff en funcionamiento con el objetivo de apresurar el crecimiento de microorganismos anaeróbicos que son encargados de mineralizar la materia orgánica. Se recomienda que se ponga en funcionamiento en meses con mayor temperatura, para mejorar el desarrollo de microorganismos.

✓ Operación

a) Zona de sedimentación

Cuando el tanque Imhoff tiene dos sedimentadores, el caudal de ingreso deberá dividirse en partes iguales, realizándolo por medio de una nivelación en el fondo del canal, de los vertederos. El tiempo de retención se determinará por medio de los cálculos.

b) Zona de ventilación

Al funcionar de manera normal la zona de digestión, son muy pequeñas las probabilidades de inconvenientes en la zona de ventilación. Se permitirá poca cantidad de materia flotantes en ésta zona, ya que la saturación de lodos hará que expida olores. Las natas o espumas generadas se deben enviar a lechos de secado o se puede utilizar para rellenos sanitarios. Los restos constituidos por grasas y aceites deben incinerarse.

c) Zona de digestión de lodos

El funcionamiento del tanque Imhoff debe hacerse a temperaturas cálidas para tener condiciones óptimas para la digestión

d) Drenaje de lodos

Se recomienda tener los lodos el mayor tiempo posible para obtener una excelente mineralización, siendo 0,50 m en nivel requerido por debajo del sedimentador. No se deberá drenar en su totalidad los lodos, es conveniente evacuar hasta el 15% del su volumen total.

✓ **Limpieza**

a) Zona de sedimentación

La zona de sedimentación debe estar libre de sólidos flotantes, grasas, espumas. Estos elementos deben ser retirados en su totalidad diariamente, con el fin de no alterar la calidad del agua. Los sólidos adheridos en las paredes del sedimentador deben ser retirados por medio de raspadores con base de jebe, mientras que las grasas se removerán con raspador metálico.

b) Zona de ventilación

Esta zona no debe contener natas ni sólidos flotantes, en el caso que exista se debe suministrar agua a presión. Generalmente es conveniente agregar 5 kg de cal semanal para evitar la presencia de natas.

c) Zona de Digestión de lodos

Se utiliza una sonda para conocer el nivel de lodos, haciéndola descender cuidadosamente hasta que se toque sobre la capa de lodos. Los lodos se evacuan abriendo muy lento la calcula de la línea de lodos, enviándolos hacia los lechos de secado. Se recomienda tomar la temperatura de los lodos que se están escurriendo, para determinar si se está realizando la digestión de manera exitosa

✓ **Fallas de operación**

a) Zona de sedimentación

Caso A. Distribución de caudal no uniforme

Cundo existe este caso es notado por la turbulencia superficial en la zona de entrada del agua cruda.

Causas

- ✓ Están inapropiadas las condiciones hidráulicas de ingreso.
- ✓ Mal niveladas las estructuras o vertederos de ingreso o salida

Medidas correctivas

- ✓ Colocar obstáculos y vertederos pequeños, para controlar la distribución del caudal
- ✓ Ajustar los vertederos al nivel correspondiente.

Caso B. Alto contenidos de sólidos en la superficie del sedimentador o en los efluentes.

Causas

- ✓ La pantalla de salida se encuentra muy cerca del nivel del agua
- ✓ Al acumularse espuma en la superficie del agua.
- ✓ Cuando los lodos de la cámara de digestión ascienden hacia el sedimentador.
- ✓ Contenido elevado de sólidos en el agua sin tratar.

Medidas correctivas

- ✓ Eliminar el material flotante con frecuencia
- ✓ Los lodos deberán ser drenados hasta una altura que no pueda ingresar al sedimentador

b) Zona de ventilación

Caso A. Acumulación excesiva de espumas.

Causa

- ✓ La presencia de aceites o grasas y material flotantes

Medidas correctivas

- ✓ Sacar en gran parte las espumas siempre que el gas y el lodo sea retirado a través de la ranura de fondo del sedimentador.

c) Zona de Digestión de lodos

Caso A. Presencia de espuma

Causas

Esto se produce por la presencia de materia de baja densidad que se va a la zona de ventilación, causando el incremento de temperatura provocando que el material flote sin ser digerido. También puede darse por la fermentación ácido de lodos.

Medidas correctivas

- ✓ Iniciar la operación del tanque Imhoff en verano y drenar durante invierno.
- ✓ Adicionar cal para regular el pH a 7.

Caso B. El lodo no fluye a través de la tubería de drenaje.

Causas

- ✓ El lodo es muy viscoso.
- ✓ Taponamiento de tuberías por arena, lodos y sólidos de gran tamaño

Medidas correctivas

- ✓ Introducir una varilla por la tubería de ventilación para conseguir licuefacción de lodos
- ✓ Enviar agua a presión

ANEXO N

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL HUMEDAL

✓ **Arranque**

Antes de poner en funcionamiento al humedal de flujo subsuperficial, se debe verificar que no existan fisuras para evitar la infiltración del agua residual, durante la primera semana se debe controlar el pH, en el caso que sea menor a 7, se le agrega sosa cáustica, para mantenerlo entre 7 y 8,5.

✓ **Operación**

a) Hidrología

El agua debe cubrir todo las partes de la superficie del humedal, revisando que los residuos no hayan obstruido el camino del flujo.

b) Estructuras

Cuando existan daños, corrosión u obstrucción, se deberán realizar las reparaciones convenientes.

c) Vegetación

Se debe tener cuidado con las plantas, para que no exceda los límites necesarios, sacando aproximadamente un 25% de la cantidad total del vegetal, cada 6 meses. La vegetación deberá ser examinada regularmente, y se quitarán las especies inservibles. No deben utilizarse herbicidas, ya que su uso afectará a las plantas.

✓ **Limpieza**

La extracción de lodos sedimentados en los humedales se hará en un período de 5 años. Como se diseñarán dos humedales, se hará la limpieza por separado, para que la planta continúe operando. El proceso para limpieza se hará de la siguiente manera:

- Se deberá cerrar el paso de agua hacia el humedal a limpiarse.

- Esperar que toda el agua sea evacuada hacia el siguiente proceso.
- El Jacinto de agua y los lodos sedimentados serán evacuados por operadores de forma manual
- Lavar con agua limpia
- Abrir la llave de paso del agua residual

Cada 6 meses se deberá quitar aproximadamente el 25% de vegetación para evitar saturación del mismo.

✓ **Fallas de Operación**

Caso A. Malos Olores

Causas

- ✓ La sobrecarga de materia orgánica
- ✓ Disminución del pH

Medidas correctivas

- ✓ Realizar limpieza del humedal cada 5 años
- ✓ Alcalinizar el agua mediante la adición de cal

Caso B: Proliferación de insectos

Causas

- ✓ Presencia de vegetación en los bordes de los taludes interiores.
- ✓ Por agua estancada.

Medidas correctivas

- ✓ Retiro del 25% de vegetación cada 6 meses.
- ✓ Retirar los lodos flotantes.
- ✓ Aplicar larvicidas.

ANEXO O

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Para realizar la limpieza se cerrará la llave de paso de la zanja que se necesite limpiar (por separado), es recomendado que la limpieza se haga cada 5 años o en caso que alguna zanja no filtre de manera normal, se envía agua a presión a la tubería mediante una manguera.