



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

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL CANTÓN RIOVERDE, PROVINCIA DE
ESMERALDAS”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR: JOSÉ ANDRÉS PERLAZA NAPA
TUTORA: ING. MÓNICA ANDRADE

Riobamba – Ecuador

2016

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo de investigación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CANTÓN RIOVERDE, PROVINCIA DE ESMERALDAS”** de responsabilidad del señor José Andrés Perlaza Napa ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Mónica Andrade
DIRECTORA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN

Ing. Danielita Borja
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, José Andrés Perlaza Napa, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 2 de Febrero del 2016

José Andrés Perlaza Napa

080299700-7

“Yo, José Andrés Perlaza Napa, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

JOSÉ ANDRÉS PERLAZA NAPA

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mi mamá, mi papá, mi hermana, mi hija y en especial a todas esas personas, familia y amigos, que siempre estuvieron cerca y que de una manera u otra me brindaron ese apoyo siempre necesario.

José Andrés

AGRADECIMIENTO

A mi mamá sin duda pilar fundamental, a mi papá y hermana por siempre ser apoyo incondicional tanto en la vida como en el periodo de realización de este proyecto.

A una de mis grandes inspiraciones en no rendirme y seguir hasta el final, Mi preciosa hija Alisson Yisas.

Al Dr. Dubal Guisamano Alcalde del Cantón Rioverde por brindarme la apertura para la realización de este trabajo de investigación así como su colaboración en el transcurso del mismo.

A la Ing. Mónica Andrade y a la Ing. Danielita Borja por la sabiduría brindada para superar oportunamente las dificultades que se dieron para terminar dicho proyecto.

José Andrés

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XV
SUMMARY	XVI
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO	5
1.1	AGUAS RESIDUALES	5
1.2	CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	6
<i>1.2.1</i>	<i>Aguas residuales urbanas</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Aguas residuales industriales</i>	<i>7</i>
1.3	CONTAMINACIÓN HÍDRICA	10
1.4	ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES	10
<i>1.4.1</i>	<i>Características organolépticas.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Características fisicoquímicas de las aguas residuales.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.3</i>	<i>Características microbiológicas de las aguas residuales</i>	<i>16</i>
<i>1.4.4</i>	<i>Carga contaminante.....</i>	<i>17</i>
1.5	PLANTA DEPURADORA	17
1.6	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	18
<i>1.6.1</i>	<i>Legislación ambiental para descarga de aguas residuales.....</i>	<i>18</i>
<i>1.6.1.1</i>	<i>“Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente. Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1</i>	<i>18</i>
<i>1.6.1.2</i>	<i>Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce.....</i>	<i>18</i>
1.7	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	21
<i>1.7.1</i>	<i>Operaciones y procesos unitarios de una depuradora</i>	<i>21</i>
1.8	ETAPAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES	24
<i>1.8.1</i>	<i>Canal de entrada</i>	<i>24</i>
<i>1.8.1.1</i>	<i>Dimensionamiento del canal de entrada.....</i>	<i>24</i>
<i>1.8.2</i>	<i>Desbaste</i>	<i>26</i>
<i>1.8.2.1</i>	<i>Dimensionamiento de las rejillas.....</i>	<i>27</i>
<i>1.8.3</i>	<i>Humedales</i>	<i>29</i>

1.8.3.1	<i>Humedales artificiales</i>	30
1.8.3.1.1	<i>Pasto alemán - Echinochloa polystachya</i>	31
1.8.3.1.2	<i>Sustrato</i>	32
1.8.3.1.3	<i>Tipo de humedales</i>	33
1.8.3.1.4	<i>Comparación de los diferentes humedales artificiales</i>	35
1.8.3.1.5	<i>Dimensionamiento del Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial</i>	35
1.8.4	<i>Filtración</i>	38
1.8.4.1	<i>Filtros intermitentes</i>	38
1.8.4.2	<i>Filtro de grava</i>	42
1.8.4.3	<i>Filtro de carbón</i>	42
1.8.4.4	<i>Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)</i>	43
1.8.4.4.1	<i>Dimensionamiento Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)</i>	43

CAPÍTULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL	49
2.1	LUGAR DE INVESTIGACIÓN	49
2.1.1	<i>Localización geográfica</i>	49
2.1.1.1	<i>Macrolocalización</i>	49
2.1.1.2	<i>Microlocalización</i>	50
2.2	METODOLOGÍA	52
2.2.1	<i>Lugar de investigación</i>	52
2.2.2	<i>Periodo de diseño</i>	52
2.2.3	<i>Población actual</i>	52
2.2.4	<i>Población total futura estimada</i>	52
2.2.5	<i>Medición del caudal</i>	53
2.2.6	<i>Muestreo</i>	54
2.2.6.1	<i>Toma de muestra</i>	55
2.2.7	<i>Datos experimentales</i>	55
2.2.7.1	<i>Caracterización de aguas residuales</i>	55
2.2.7.2	<i>Medición de Caudal</i>	57

CAPÍTULO III

3	CÁLCULOS Y RESULTADOS	60
3.1	CÁLCULOS	60

3.1.1	<i>Cálculo de la población futura</i>	60
3.1.2	<i>Cálculos del caudal</i>	60
3.1.3	<i>Dimensionamiento de un canal rectangular-vertedero</i>	62
3.1.4	<i>Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual</i>	63
3.1.5	<i>Relación DBO-DQO</i>	65
3.1.6	<i>Dimensionamiento del humedal subsuperficial de flujo horizontal</i>	65
3.1.7	<i>Porcentajes de remoción</i>	67
3.1.8	<i>Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente</i>	69
3.1.9	<i>Dimensionamiento de un lecho de secado</i>	70
3.2	RESULTADOS	72
3.2.1	<i>Resultados de población futura y caudales</i>	72
3.2.2	<i>Resultado de las dimensiones estructurales del sistema de tratamiento</i>	72
3.2.3	<i>Porcentaje de Remoción</i>	74
3.2.4	<i>Cumplimiento de la norma</i>	74
3.3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	74
3.4	PRESUPUESTO	77

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Hu	Altura de agua en la unidad
b	Ancho del canal
F_H	Ancho del humedal
A_{ST}	Área de la sección transversal del lecho del humedal
A_{SH}	Área superficial del humedal
COT	Carbono orgánico total
Q_{min.horario}	Caudal mínimo horario
Q_{max.d}	Caudal máximo de diseño
Co	DBO del afluente
C	DBO del efluente
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
e	Espesor de barras
hs	Factor de seguridad
g	Gravedad
HAFL	Humedal artificial de flujo libre
HAFHS	Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial
HAFS	Humedal artificial de flujo subsuperficial
HAFVS	Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial
LB	Longitud de las barras
L_H	Longitud del humedal
L_{LS}	Longitud del lecho de secado
L_{sum.r}	Longitud sumergida de la rejilla
Msd	Masa de los sólidos
N_{max.a}	Nivel máximo de agua
N_B	Número de barras
N_o	Número de orificios
hc	Pérdida de carga en la rejilla
h_{PR}	Pérdida de carga en el resalto
H	Profundidad total del canal
h_p	Profundidad del humedal

HR	Radio hidráulico
n	Rugosidad del material
S_p	Separación entre barras
ST	Sólidos Totales
T₂	Temperatura del agua residual
T_{DL}	Tiempo para desalojar el lodo
T_{HR}	Tiempo de retención del humedal artificial
h	Tirante del agua
v	Velocidad de aproximación
V_{DL}	Volumen diario de lodos digeridos
V_{EL}	Volumen de lodos a extraerse
V_S	Volumen de sedimentación
V_{TL}	Volumen del tanque para lodo

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Principales productos de la descomposición de la materia orgánica	12
Tabla 2-1	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	20
Tabla 3-1	Características de las etapas de la depuración de aguas residuales.....	22
Tabla 4-1	Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos	24
Tabla 5-1	Condiciones para determinar el borde libre de un canal	24
Tabla 6-1	Características de las etapas de la depuración de aguas residuales.....	26
Tabla 7-1	Datos para el cálculo de la rejilla.....	27
Tabla 8-1	Coefficiente de pérdida para rejillas	28
Tabla 9-1	Características más comunes de las plantas emergentes usadas en los humedales artificiales	31
Tabla 10-1	Datos del pasto alemán	31
Tabla 11-1	Rendimientos con el empleo de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial .	34
Tabla 12-1	Comparación entre los diferentes flujos del humedal.....	35
Tabla 13-1	Funciones específicas de los humedales artificiales	35
Tabla 14-1	Datos para el cálculo del humedal subsuperficial de flujo horizontal	35
Tabla 15-1	Eficiencia de los filtros intermitentes	39
Tabla 16 -1	Criterios de diseño para el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	43
Tabla 17-1	Datos para el cálculo de un Lecho de Secado.....	45
Tabla 18-1	Tiempo requerido para digestión del Lodo.....	46
Tabla 19-2	Localización geográfica Rioverde - Esmeraldas.....	49
Tabla 20-2	Muestreo de aguas residual en condiciones críticas	54
Tabla 21-2	Análisis físico-químico y microbiológico del agua residual de Rioverde en condiciones críticas de calor	56
Tabla 22-2	Análisis físico-químico y microbiológico del agua residual de Rioverde en condiciones críticas de lluvia	57
Tabla 23-2	Medición del caudal del día VIERNES	58
Tabla 24-2	Medición del caudal del día SÁBADO.....	58
Tabla 25-2	Medición del caudal del día DOMINGO	59
Tabla 26-2	Caudal medio semanal	59
Tabla 27-3	Datos para el cálculo de la población futura.....	60

Tabla 28-3	Datos para el cálculo de caudales	60
Tabla 29-3	Coeficiente de Manning para canales revestidos	62
Tabla 30-3	Tratabilidad del DBO y DQO	65
Tabla 31-3	Datos para el cálculo de porcentajes de remoción	67
Tabla 32-3	Resultados de la población futura y caudales	72
Tabla 33-3	Resultados de las unidades del sistema de tratamiento.....	72
Tabla 34-3	Resultados del porcentaje removido	74
Tabla 35-3	Verificación del cumplimiento de la norma.....	74
Tabla 36-3	Presupuesto para el Sistema de Tratamiento de aguas residuales.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Descarga de aguas residuales	5
Figura 2-1	Curva característica de la DBO	14
Figura 3-1	Clasificación de los sólidos en las aguas	15
Figura 4-1	Esquema del tratamiento de las aguas residuales	22
Figura 5-1	Diferentes formas de rejillas.....	29
Figura 6-1	Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical.....	33
Figura 7-1	Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal	34
Figura 8-1	Filtro intermitente de arena	39
Figura 9-2	Localización Rioverde – Esmeraldas	49
Figura 10-2	Vista topográfica de Rioverde, provincia de Esmeraldas.....	50
Figura 11-2	Microlocalización de Rioverde	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos A.	Agua residual de la comunidad Rioverde antes y después de su tratamiento
Anexos B.	Vegetación emergente usada en el humedal artificial
Anexos C.	Caracterización inicial y final del agua residual para la comunidad Rioverde
Anexos D.	Planos del dimensionamiento del canal de entrada-rejillas
Anexos E.	Planos de arquetas de distribución
Anexos F.	Planos del dimensionamiento del humedal artificial
Anexos G.	Planos del dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)
Anexos H.	Planos del dimensionamiento del Lecho de secado
Anexos I.	Planos del dimensionamiento del Sistema de Tratamiento para comunidad Rioverde

RESUMEN

La necesidad de un mejoramiento en la calidad de los recursos hídricos y en general al impacto ambiental se hizo necesario realizar en el cantón Rioverde y en sus parroquias urbanas y rurales un estudio para el diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, esto con el fin de que los parámetros que se encuentren fuera de norma según el TULSMA mediante un tratamiento adecuado permanezcan dentro de los límites máximos permisibles. Para esto se realizó la caracterización físico-química y biológica del agua residual doméstica en la parroquia Rioverde determinando e identificando los parámetros que deben ser tratados para obtener el diseño más apropiado el cual consta de los siguientes elementos: el desbaste por medio de rejillas de acero en inclinación de 45°, un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial que tiene un área superficial de 364,99 m² y como vegetación de depuración el Pasto Alemán, el porcentaje de remoción obtenido del DBO₅ es de 73,87%, del DQO 64,58%, Detergente 83,33%, Aceites y Grasas 65% y los Coliformes Fecales y Totales superan el 99,9%. Finalmente el agua proveniente del humedal artificial pasa por los Filtros de Anaerobios de Flujo Ascendente para completar el proceso en el Sistema de Tratamiento y validando así el diseño con parámetros que cumplen a cabalidad la norma del TULSMA los cuales son: DBO 46 mg/L, DQO 85 mg/L, Detergentes 0,4 mg/L, Aceites y Grasas 11,2 mg/L y Coliformes Fecales y Totales en ausencia. Los lechos de secado se deben limpiar con regularidad por lo general al tener una humedad del 40% a 30%, una vez seco, el lodo se retira y se evacúa a vertederos controlados o se utiliza como acondicionador de suelos.

Palabras clave: <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO AMBIENTE [TULSMA]> <AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA> <RIOVERDE> <SISTEMA DE TRATAMIENTO> <REJILLAS> <HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL> <PORCENTAJE DE REMOCIÓN> <FILTRO> <LECHO DE SECADO>

SUMMARY

The need for an improvement in the quality of water resources and overall environmental impact it became necessary in singing Rioverde and its urban and rural parishes a study to design a system Wastewater Treatment this in order that the parameters that are outside the norm according TULSMA using suitable methods remain within the maximum allowable. For this the physico-chemical and biological characterization of domestic wastewater was held in the parish Rioverde and identifying certain parameters that must be addressed for the appropriate design which consists of the following elements: roughing through steel grates inclination 45, an artificial wetland subsurface horizontal flow having a surface area of 364,99 m and purification as vegetation Pasto Aleman, the percentage of BOD removal obtained is 73, 87%, 64,58% of COD, 83,33% Detergent, Oils and Fats 65% and fecal and total coliforms exceed 99,9%. Finally water from the artificial wetland through the filters of Upflow Anaerobic to complete the process in the treatment system and validating the design parameters that meet fully the rule of TULSMA which are: BOD 46 mg/L, COD 85 mg/L, Detergent 0,4 mg/L, Oils and Fats 11,2 mg/L and total and fecal coliforms in absentia. Drying beds should be cleaned regularly usually having a humidity of 40% a 30%, once dry, the sludge is removed and discharged to landfills or used as a soil conditioner.

Key words: <UNIFIED TEXT OF THE SECONDARY LEGISLATION ENVIRONMENT MINISTRY [TULSMA]> <DOMESTIC WASTEWATER><TREATMENT SYSTEM> <RIOVERDE> <REJILLAS> <SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND HORIZONTAL> <PORCENTAGE OF REMOVAL<FILTER> <DRYING BED>

INTRODUCCIÓN

La descarga de aguas residuales de forma directa a los cuerpos de agua dulce sin un tratamiento previo es de los problemas de mayor importancia para una población y la razón fundamental es que nos afecta a todos como ecosistema desde el equilibrio entre microorganismos hasta animales y seres vivos sin dejar a lado a la vegetación.

El GAD Municipal del cantón Rioverde tiene como prioridad enfocarse en este problema de solución urgente y requerida por los habitantes, para lo cual es necesario un estudio de diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales y en lo posterior implementar el tratamiento adecuado.

El estudio del problema tiene como fin una descarga de agua en óptimas condiciones con relación a la norma ambiental vigente en nuestro país, esto es posible gracias a los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Química específicamente en el tema de operaciones y procesos unitarios dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El diseño del Sistema de Tratamiento de Agua Residual se establecerá para una población futura de Rioverde después de 20 años comenzando por los análisis iniciales de caracterización físico-química y microbiológica, medición de caudales y los análisis correspondientes para realizar los cálculos de diseño.

ANTECEDENTES

Desafortunadamente, las aguas residuales (al igual que los residuos sólidos) son un producto inevitable de la actividad humana. Desde épocas antiguas, diferentes civilizaciones (desarrolladas por obvias razones en las riberas de ríos y lagos) hicieron uso de la capacidad de asimilación o autodepuración del agua lo que era más que suficiente debido a las pequeñas cantidades de descarga que se producían de poblaciones pequeñas en comparación de las ciudades actuales. No obstante, la densificación actual de las ciudades y el crecimiento poblacional e industrial, entre otros aspectos, ha ocasionado que esta capacidad limitada de autopurificación de los cuerpos hídricos haya sido excedida. Por lo tanto, la responsabilidad de ayudar a la naturaleza mediante sistemas de tratamiento y unidades de depuración de las aguas servidas es inminente.

El cantón Rioverde es cuna de héroes, fue aquí donde el 5 de agosto de 1820, se proclamó la independencia de Esmeraldas, Primer Grito libertario en el país. Fundada en 1743 por el Científico Pedro Vicente Maldonado.

Este cantón debe su nombre a la vegetación y al hermoso color de sus aguas de río y mar. Es uno de los cantones más jóvenes de la Provincia de Esmeraldas; por su ubicación goza de un apetecible clima de 25 °C (promedio) y 2 estaciones en el año, invierno y verano modificados por la corriente fría de Humboldt y la corriente del Niño.

Gracias a las bondades que posee el Cantón, como son las extensas áreas de bosques húmedos tropicales, manglares, playas, gente amable, etc., puede llegar a convertirse a mediano y largo plazo, en un destino turístico de singular importancia.

Debido a su corto tiempo de cantonización tiene muchas falencias en servicios básicos como son agua potable constante y el manejo de aguas residuales domésticas, es aquí donde el Gobierno Autónomo Descentralizado de Rioverde enfoca sus objetivos para mejorar estos problemas muy necesarios y exigentes empezando con la optimización del sistema de alcantarillado y la remediación de los fluidos residuales que se vierten al río sin ningún tipo de tratamiento.

Cabe destacar que el río es usado activamente para la pesca, transporte, e incluso se lava ropa en sus orillas y sirve de balneario, sin dejar de nombrar la vegetación y fauna que depende directamente de este canal fluvial (Revista Rendición de Cuenta Institucional, 2012 <http://www.rioverde.gob.ec/index.php/es/2013-03-14-19-10-26/historia>).

JUSTIFICACIÓN

Las necesidades del hombre siempre han girado al uso del agua como componente principal de la mayoría de las actividades realizadas y con el tiempo inventadas, sin pensar en la carga contaminante que posea una vez usada y la repercusión al ambiente sobre el manejo de estos residuos líquidos, lo que nos lleva a idear formas para reducir el impacto ambiental específicamente en el agua utilizada domésticamente si se trata de una población o comunidad.

Actualmente Rioverde no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas lo cual representa un problema para la población, un problema de salubridad ya que el rio con nombre del mismo cantón y cabecera cantonal es fundamental en su uso para transporte, fuente de alimento, uso recreativo, etc.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales permitirá cumplir con los requisitos de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso agua, Libro VI Anexo I del TULSMA. Lo que en si beneficiará tanto en lo ambiental como en la calidad de vida de los ciudadanos del cantón Rioverde pues al depurar el agua contaminada del alcantarillado público se garantiza la limpieza del rio y a su vez la repotenciación del GAD Municipal como destino turístico entre otros planes y proyectos a corto y mediano plazo.

Cabe mencionar que la cantidad de aguas residuales producidas por la ciudadanía se refieren mayoritariamente al uso del baño doméstico (aguas negras y aseo personal) y al agua proveniente del lavado de prendas de vestir. A esto se suma al agua arrastrada por las lluvias en especial en invierno que es la temporada en que las precipitaciones son más frecuentes.

Por lo expuesto se justifica el estudio para un sistema de tratamiento de aguas residuales a través del diagnóstico del estado actual del agua de desecho para poder implementar entonces procesos que solucionen los problemas más predominantes que desestabilizan el ecosistema, contribuyendo además a la salud y bienestar del Cantón Rioverde y sus pobladores.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para el cantón Rioverde provincia de Esmeraldas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la situación actual por medio de la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales en base al TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de la norma establecida para el diseño requerido.
- Realizar pruebas de tratabilidad utilizando los métodos correspondientes.
- Plantear cálculos de ingeniería para el Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Validar el Diseño con la caracterización final de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales según las normas del TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 AGUAS RESIDUALES

Aguas residuales se refiere al tipo de agua contaminada generalmente de heces fecales y contenido urinario tanto de animales como de personas. Claro está que no sólo se reduce a este tipo de contaminación porque también es muy común encontrar sustancias residuales del ámbito doméstico e industrial, y aquellas que son arrastradas por las aguas lluvias.

Son llamadas también como aguas cloacales debido a que las cloacas construidas bajo tierra por lo general son el medio de transporte para las aguas de desecho en su mayoría domésticas.

El impacto ambiental principalmente en los cuerpos de agua dulce y la amenaza constante a la salud de seres vivos causado por aguas residuales demanda sistemas de tratamiento especiales dependiendo del origen y los componentes contaminantes de estos vertidos.

Como consecuencia de la amenaza concreta que suponen para el medio ambiente y asimismo para la salud de los seres vivos, las aguas residuales demandan especiales sistemas de tratamiento para liberarlas justamente de estas sustancias altamente contaminantes.



Figura 1-1 Descarga de aguas residuales

Fuente: (<http://www.diariotijuana.info/actua-conagua-contra-descargas-de-aguas-residuales/>)

1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los vertidos residuales pueden clasificarse según en función:

- Del uso prioritario u origen
- De su contenido en determinados contaminantes

Los vertidos residuales arrastran compuestos con los que las aguas han estado en contacto. Estos compuestos pueden ser:

Según su Naturaleza:

- Conservativos: Su concentración en el río depende exactamente de la ley de la dilución del caudal del vertido al del río. Generalmente: Compuestos Inorgánicos y estables (C_1 , SO_4).
- No Conservativos: Su concentración en el río no está ligada directamente a la del vertido. Son todos los compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden alterarse en el río por vía Física, Química o Biológica (NH_4 , fenoles, Materia Orgánica, etc.).

Además, entre los compuestos existen fenómenos de tipo:

- Antagonismo: (1 Efecto) Ej. Dureza (al Zn)
- Sinergismo: (1 Efecto) Ej. Escasez de O (al Zn)

1.2.1 Aguas residuales urbanas

Procedencia de la contaminación en los núcleos urbanos:

- Servicios domésticos y públicos
- Limpieza de locales
- Drenado de Aguas Pluviales

Tipos de contaminantes:

- En gran proporción materia orgánica en suspensión y disuelta.
- N; P; NaCl y otras sales minerales.

- Microcontaminantes procedentes de nuevos productos.
- Las A.R. de lavado de calles arrastran principalmente materia sólida inorgánica en suspensión, además de otros productos (fenoles, plomo, escape, vehículos, motor, insecticidas, jardines).

Características Físico-Químicas:

La temperatura de las A.R. oscila entre 10-20 °C, además de los contaminantes constituidos de materias en suspensión y materias orgánicas, las A.R. contienen diversos compuestos como nutrientes (N y P), cloruros, detergentes, cuyos valores orientativos de la carga por habitante y día son:

- N amoniacal: 3-10 gr/hab/d
- N total: 6.5-13 gr/hab/d
- P (PO_4^{3-}) ; 4-8 gr/hab/d
- Detergentes : 7-12 gr/hab/d

En lugares donde existen trituradoras de residuos sólidos las A.R. Urbanas están mucho más cargadas (100 % más).

Características Biológicas:

En el agua residual existen numerosos microorganismos los cuales pueden ser patógenos o no. Respecto a los nocivos se destaca los virus de la Hepatitis. Por ej. En 1 gr. de heces de un enfermo existen entre 10-10⁶ dosis infecciosas del virus de la hepatitis.

En el tracto intestinal de una persona se tiene una numerosa suma de bacterias conocidas como Organismos COLIFORMES. Cada individuo evacua de 10⁵,4x10⁵ millones de coliformes por día, que aunque no sean dañinos en sí sirven como identificador de otros agentes que son nocivos y su detección es más difícil. Las A.R. Urbanas contienen: 10⁶ coliformes totales/100 ml.

1.2.2 Aguas residuales industriales

Considerado a los líquidos residuales de cualquier tipo de empresa, industria o taller donde exista un proceso de producción o transformación e intervenga el agua. Los líquidos residuales son en sí

disoluciones de productos químicos derivados de la fabricación de los productos como pueden ser curtido de pieles o cuero, producción de azúcar, lácteos, etc.¹

Es primordial la reutilización de las aguas residuales para el proceso en varias industrias para fines de lavado, refrigeración de equipos, etc. por lo que es muy importante intentar una depuración de este líquido. Generalmente su contaminación es <10% de la de los líquidos residuales aunque su volumen es 10-50 veces mayor.

También existe un tipo de agua residual cuyo único contaminante es la temperatura debido a su uso como refrigerante, por su contacto indirecto con los productos en el proceso de denomina Agua de Refrigeración Indirecta.

Ahora bien, hoy día hay que considerar también la existencia de productos que evitan problemas de explotación (estabilizantes contra las incrustaciones y corrosiones, algicidas) pueden ser considerados contaminantes.

Tipos de Vertidos Industriales:

- Continuos: Donde existe una entrada y salida de agua constante en todo el proceso (Procesos de Transporte, lavado, refrigeración).
- Discontinuos: Proceden de operaciones intermedias. Cabe destacar que son los más contaminados (Baños de decapado, baños de curtidos, lejías negras, emulsiones).

Al aumentar el tamaño de la industria, algunos vertidos discontinuos pueden convertirse en continuos.

Clasificación de las Industrias según sus Vertidos:

Se clasifican en 5 grupos de acuerdo con los contaminantes específicos que arrastran las A.R.

Contaminación Característica de la Industria:

¹METCALF y EDDY, Inc., Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización., 3a.ed., Madrid – España., McGraw-Hill., 1995., pp. 41 - 60, 95 – 102.

Para tener una valoración de la carga contaminante es conveniente conocer el origen del vertido industrial pues cada actividad industrial brinda una contaminación determinada y conociendo este origen podemos reducir el número de parámetros que definen la carga contaminante.

Contaminantes específicos:

Son microcontaminantes que se derivan principalmente de los adelantos de las tecnologías industriales y que a una concentración (ppm) muy pequeña tienen un efecto perjudicial.

Son por ej: Agentes tensoactivos, pesticidas, derivados halogenados o fosforados de hidrocarburos, compuestos orgánicos específicos, sales metálicas, compuestos eutrofizantes, etc.

Valoración y Clasificación de los Contaminantes Específicos: La determinación de los riesgos potenciales ocasionados por los Contaminantes Específicos requiere conocer aspectos tales como:

- Tipo y estructura del compuesto químico
- Propiedades físicas y químicas fundamentales, biodegradabilidad
- Producción total
- Orígenes y vías de distribución.
- Condiciones prácticas en las que se realizan a los cauces.
- Cumplimiento de las normativas legales.

En el campo del agua potable de consumo público, los dos puntos anteriores se explicitan y concretan teniendo en cuenta el suministrador de agua potable (pública de red o bien envasada) que ha de asegurarse con un límite razonable de confianza de que el producto servido “siempre” es potable, es decir, puede ser ingerido sin peligro de provocar ningún tipo de intoxicaciones (microbiológicas y/o físico-químicas) en el potencial consumidor.

Esto podría venir marcado por, la “ética” y la “honestidad” de cada suministrador.

- Cantidades que se vierten según condiciones de utilización.
- Efectos tóxicos u otros efectos nefastos de los contaminantes sobre la calidad de las aguas y su ecología (persistencia, bioacumulación).

- Medios técnicos existentes de lucha contra la contaminación.

1.3 CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Se considera como contaminación hídrica, la presencia de formas de energía, elementos, compuestos (orgánicos o inorgánicos) que disueltos, dispersos o suspendidos alcanzan una concentración tal, que limita cualquiera de los otros usos del agua (consumo humano, uso agrícola, pecuario, industrial, recreativo, estético, conservación de flora y fauna, etc.). Esta definición deja en evidencia que el uso del agua depende, de manera ineludible, a sus características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas que definen su calidad en función del uso establecido por una normativa.

1.4 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Respecto al origen de las aguas residuales se derivan las características propias de que cada tipo, de los cuales destacamos:

- Agua Residual Doméstica (ARD): residuos líquidos de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales. Estas, además, se pueden subdividir en:
 - Aguas Negras: aguas que transportan heces y orina, provenientes del inodoro.
 - Aguas Grises: aguas jabonosas que pueden contener grasas también, provenientes de la ducha, tina, lavamanos, lavaplatos, lavadero y lavadora.
- Agua Residual Municipal o Urbana (ARU): residuos líquidos de un conglomerado urbano; incluye actividades domésticas e industriales y son transportadas por una red de alcantarillado.
- Agua Residual Industrial (ARI): residuos líquidos provenientes de procesos productivos industriales, que incluso pueden tener origen agrícola o pecuario.

1.4.1 Características organolépticas

Color

La coloración del agua depende de la descomposición de materia vegetal y de la disolución de algunos minerales (en especial manganeso y hierro), este criterio es el más aceptado y excluye al color de agua de descargas industriales. Se clasifica al color como aparente y verdadero; el color aparente es

producido por un material en suspensión y el color verdadero se obtiene después de remover la turbiedad.

En los vertidos industriales el color del agua puede variar según el grado de contaminación, es decir depende de las sustancias disueltas y coloides presentes en ella.

Olor y sabor

Los olores y sabores se producen por la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos, descomposición orgánica y desechos industriales como fenoles, fermentos, derivados del cloro y del alquitrán, entre otros.

Turbiedad

Se define como turbiedad a la presencia de impurezas que se encuentran suspendidas en el agua que dificultan el paso de la luz. Las impurezas pueden ser material en suspensión y/o material coloidal.

Temperatura

La temperatura influye en la viscosidad y en la cinética de las reacciones químicas. El aumento de temperatura tiene un efecto directamente proporcional en la solubilidad de los gases y en la actividad metabólica de los microorganismos.

1.4.2 Características fisicoquímicas de las aguas residuales

El gran fracaso de las depuradoras o sistemas de tratamiento obedece a la caracterización de las aguas residuales que pretenden ser tratadas. Esto es un aspecto de vital importancia ya que si se realiza una completa y cuidadosa caracterización del agua residual se puede seleccionar el o los tratamientos adecuados así como los criterios necesarios para un diseño óptimo.

Conductividad

La conductividad es medida con la capacidad del agua para conducir electricidad, esta se conduce gracias a la presencia de sales disueltas como iones de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y

sulfatos. Por lo tanto, la conductividad se considera como una medida indirecta de los sólidos disueltos. Se expresa en micromhos/cm o Siemens/cm.

Acidez

Las aguas que presentan un pH inferior a 8,5 son consideradas como ácidas. Los vertidos industriales muestran acidez mineral debido a la presencia de ácidos fuertes.

Alcalinidad

La alcalinidad puede definirse como la presencia de sustancias de naturaleza básica en el agua. Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato, carbonato y oxhidrilo asociados con los iones Na, K, Ca y Mg. Se le conoce también como dureza que se expresa en mg/L CaCO₃.

Componentes orgánicos

a) Materia orgánica: es la principal causante del agotamiento de Oxígeno en el agua por lo tanto es la composición más relevante entre los contaminantes presentes en el agua residual. Está formada principalmente por CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos de origen animal y vegetal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y los surfactantes (detergentes).

Tabla 1-1 Principales productos de la descomposición de la materia orgánica

Tipo de materia orgánica	Tipo de descomposición	
	Aeróbica	Anaeróbica
Nitrogenada	Nitratos (NO ₃ ⁻), anhídrido carbónico (CO ₂), agua (H ₂ O), sulfatos (SO ₄ ⁻)	Mercaptanos, índoles, escatol, ácido sulfhídrico (H ₂ S), cadaverina y putrescina.
Carbonácea	Anhídrido carbónico (CO ₂), agua (H ₂ O)	Anhídrido carbónico (CO ₂), gas metano (CH ₄), gas hidrógeno (H ₂), ácidos, alcoholes y otros.

Fuente: (Silvia Burés, 2014, <http://inforganic.com/node/484v>)

➤ **Carbohidratos.** Los carbohidratos son sustancias biodegradables que se encuentran en forma de azúcares, almidones, celulosas, fibras, entre otras.

➤ *Aceites y grasas.* Los aceites y las grasas son compuestos presentes en las aguas residuales provenientes de actividades industriales. La presencia de grasas en el agua puede impedir procesos biológicos importantes como fotosíntesis, respiración y transpiración de algunos seres vivos.

➤ *Detergentes.* Los detergentes son sustancias encargadas de la disminución de la tensión superficial del agua y se caracterizan por producir espuma. La espuma es perjudicial para la absorción y disolución del oxígeno en el agua. A los detergentes se les conoce también como agentes tenso-activos o surfactantes. La desinfección en la industria láctea se realiza con soluciones químicas de hipoclorito, yodoformo y agua oxigenada.

b) Oxígeno disuelto: Para asegurar la supervivencia de la mayoría de los organismos vivos de orden superior debe estar por encima de los 4 mg/L, debido a esto se lo utiliza como indicador de contaminación por así decirlo de los cuerpos de agua. Un ejemplo sería como mínimo de Oxígeno Disuelto 1 mg/L para los correctos tratamientos aerobios en aguas residuales.

c) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, determinada por el consumo de oxígeno que hacen los microorganismos para degradar los compuestos biodegradables. Se evalúa analíticamente incubando una muestra con microorganismos por 5 días a 20 °C, tiempo después del cual se lee la concentración final de oxígeno y se compara con la inicial; esta prueba es conocida como DBO₅ o DBO estándar. También se hacen, eventualmente, pruebas a 7 días (DBO₇) y a 20 días (DBO última - DBO_u o total - DBO_t). Para las aguas residuales domésticas, se estima que:

$$DBO_5 \approx 0,75 DBO_u$$

Una curva característica de la DBO evidencia que a los 5 días se ha degradado cerca del 70% de la materia orgánica y que a partir del día 10 ésta curva se hace asintótica, como se muestra en la Figura 2-1.

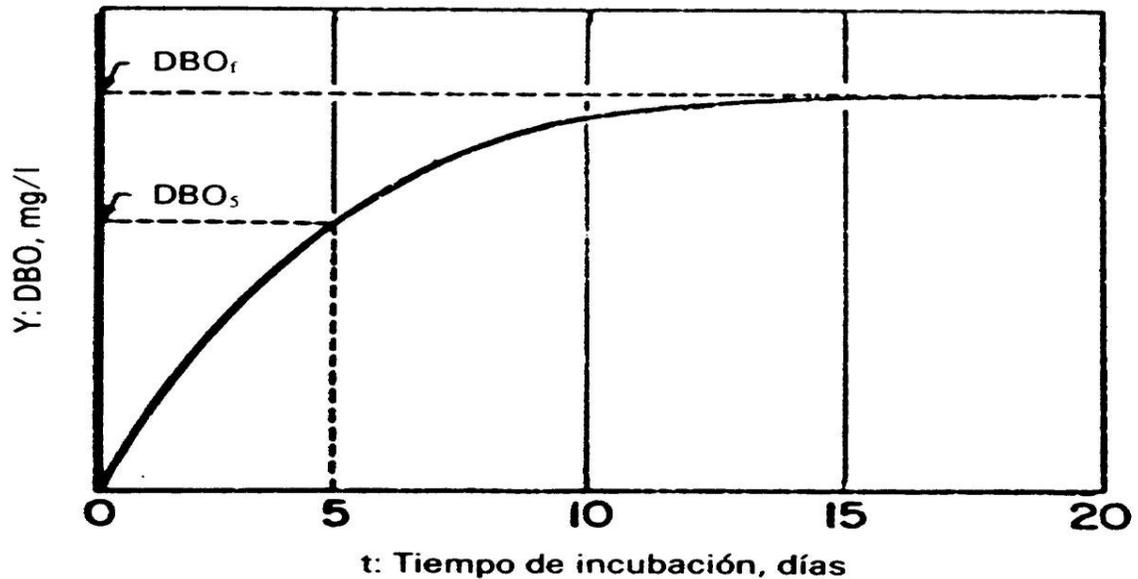


Figura 2-1 Curva característica de la DBO
Fuente: (Ramalho, 1996)

d) Demanda Química de Oxígeno (DQO): es también una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra. A diferencia de la DBO, esta prueba emplea un oxidante fuerte (dicromato de potasio – $K_2Cr_2O_7$) en un medio ácido (ácido sulfúrico – H_2SO_4) en vez de microorganismos. Para el control de una depuradora, este método se prefiere sobre el de la DBO, debido a que el resultado de la DQO se obtiene en unas 3 horas y con un error mucho menor que la DBO obtenida a los 5 días.

La relación entre la DQO y la DBO es usada para estimar la biodegradabilidad de un vertido así:

$DQO/DBO \geq 5$ (No biodegradable)

$DQO/DBO \leq 1,7$ (Muy biodegradable)

Para un ARD, esta relación oscila entre 2,0 y 2,5.

Tanto la DQO como la DBO se emplean para determinar la calidad del agua o la carga contaminante de un vertido, para diseñar las unidades de tratamiento biológico y para evaluar y/o controlar la eficiencia de los tratamientos.

e) Sólidos: La materia orgánica se presenta, a menudo, en forma de sólidos. Estos sólidos pueden ser suspendidos (SS), disueltos (SD), los que también pueden ser volátiles (SV), los cuales se presumen

orgánicos, o fijos (SF) que suelen ser inorgánicos. Parte de los sólidos suspendidos pueden ser también sedimentables (SSed). Esta clasificación se muestra en la Ilustración 2. Todos ellos se determinan gravimétricamente (por peso).

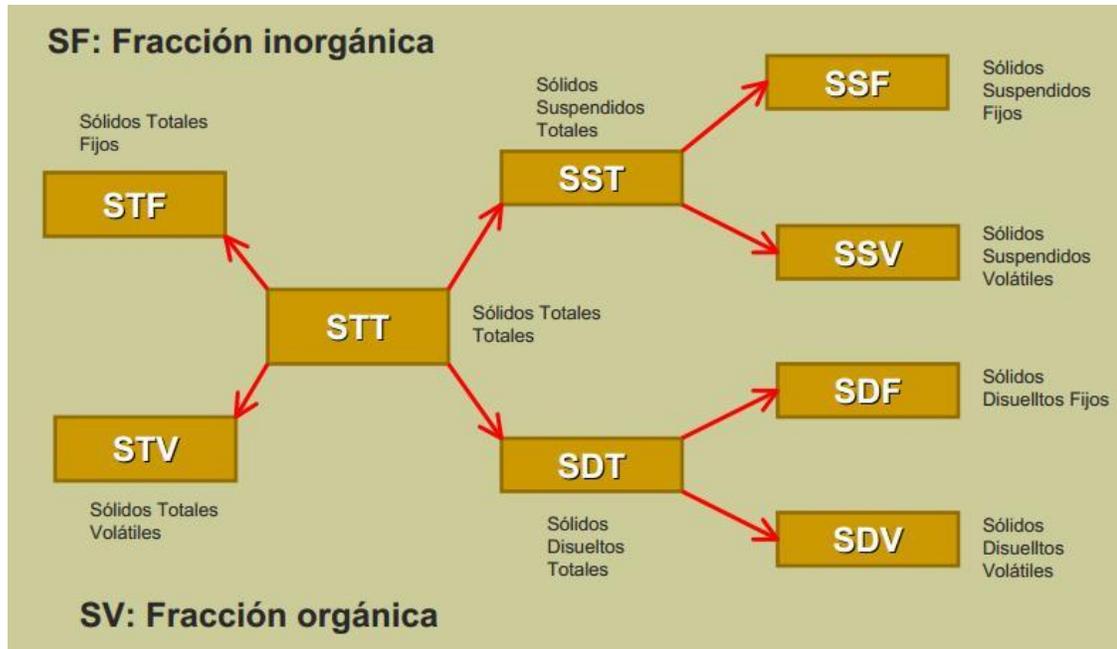


Figura 3-1 Clasificación de los sólidos en las aguas
Fuente: (Collazos, 2008)

f) Potencial de hidrógeno (pH): es importante para la depuración de aguas residuales en el control de procesos biológicos debido a que los microorganismos en gran parte responsables de la depuración del agua contaminada encuentran entre 6,5 y 8,5 las unidades de pH necesarias para su óptimo desarrollo.

g) Nitrógeno: Es el componente principal de las proteínas y es un nutriente esencial para las algas y bacterias que intervienen en la depuración del agua residual. Puede presentarse en forma de nitrógeno orgánico (presente en las proteínas), nitrógeno amoniacal (producto de la descomposición del nitrógeno orgánico) y formas oxidadas como nitritos y nitratos. Valores excesivamente altos de nitrógeno amoniacal (>1500 mg/L) se consideran inhibitorios para los microorganismos responsables del TAR.

h) Fósforo: es, junto con el nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos. No obstante, valores elevados pueden causar problemas de hipereutrofización en los cuerpos de agua lóticos (e.g. lagos, embalses, lagunas).

1.4.3 Características microbiológicas de las aguas residuales

Un vertido de aguas residuales aporta una gran cantidad de materia orgánica que sirve de alimento para hongos y bacterias encargados de la mayor parte de su descomposición. Finalmente, los protozoos ciliados se alimentan de las bacterias, puliendo u optimizando el tratamiento del agua.

a) Bacterias: son los principales responsables de la degradación y estabilización de la materia orgánica contenida en las aguas residuales. Su crecimiento óptimo ocurre a pH entre 6,5, y 7,5. Algunas de las bacterias son patógenas, como la *Escherichia coli*, indicador de contaminación de origen fecal.

b) Hongos: predominan en las aguas residuales de tipo industrial debido que resisten muy bien valores de pH bajos y la escasez de nutrientes.

c) Protozoos: en especial los ciliados, se alimentan de bacterias y materia orgánica, mejorando la calidad microbiológica de los efluentes de las PTAR.

d) Actinomicetos: son bacterias filamentosas conocidas por causar problemas en reactores de lodos activados, generando la aparición de espumas (*foaming*) y pérdida de sedimentabilidad del lodo, hinchamiento o *bulking* filamentoso, incrementando los sólidos del efluente y la disminución de la eficiencia del TAR. Uno de los actinomicetos más recurrente en los reactores es la *Nocardia*.

- Un error aceptable en la prueba de la DBO se estima que puede oscilar cerca de un 25% y podría alcanzar hasta un 35%. Esta considerable discrepancia pone en tela de juicio la conveniencia de su uso en el control de vertimientos y su empleo como argumento para ejecutar procesos sancionatorios.
- Amoniac (NH₃) y amonio (NH₄⁺).
- La suma del nitrógeno orgánico y el amoniacal es conocido como Nitrógeno Total Kjeldahl, por la prueba analítica con la que se determinan estas formas.

1.4.4 Carga contaminante

Aunque la concentración de un parámetro específico nos dice mucho de las características contaminantes de un vertido, en el diseño de las unidades de tratamiento de las aguas residuales y aún en los procesos de control de la contaminación hídrica (aunque todavía no se use como criterio sancionatorio) es mucho más significativo el concepto de CARGA CONTAMINANTE, la cual involucra también la valoración del caudal vertido.

La CARGA CONTAMINANTE, entonces, es la concentración (del parámetro medido en la descarga) por el caudal vertido. Se expresa frecuentemente en kg/d y debe entenderse como una masa de contaminantes aportada en una unidad de tiempo.

Carga Contaminante = Concentración * Caudal * 0,0864, donde:

Carga contaminante (en kg/d)

Concentración (en mg/L)

Caudal (en L/s)

El valor 0,0864 es un factor de conversión para pasar de mg/s a kg/d, que se explica a continuación:

$$1 \frac{mg}{s} \cdot \frac{86400 s}{1 d} \cdot \frac{1 kg}{1000000 mg} = \frac{86400}{1000000} = 0,0864 \frac{kg}{d}$$

La depuración de las aguas residuales, a cualquier escala, tiene como objetivos principales la protección de la salud pública y la conservación de la calidad hidrobiológica de los ecosistemas acuáticos.

El diseño de una depuradora dependerá, inicialmente, del origen (tipo) de agua a tratar, de las características fisicoquímicas del efluente y del cumplimiento de la legislación vigente.

1.5 PLANTA DEPURADORA

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) o Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), es el conjunto de procesos y operaciones unitarias encaminadas a la depuración de las aguas

residuales antes de su vertido al cuerpo receptor, mitigando el daño al medio acuático (Lozano-Rivas, Antecedentes y Definiciones Básicas - Presentaciones del curso "Diseño de Depuradoras de Aguas Residuales", 2012).

De esta manera, la depuración de las aguas residuales busca eliminar o disminuir la concentración de sustancias o elementos contaminantes que afectan la calidad del agua o fuente receptora para un uso específico.²

1.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

1.6.1 Legislación ambiental para descarga de aguas residuales

1.6.1.1 “Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente. Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1

1.6.1.2 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

5.2.4.1. 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.

5.2.4.2 La determinación de los límites de calidad para un vertido determinado se efectúa mediante la siguiente relación desarrollada a través de un balance de material, en el punto de descarga, en cualquier sistema consistente de unidades:

$C_e = C_c + (C_c - C_r) R$ En donde:

C_e = concentración media diaria (del contaminante) máxima permitida en el vertido (o efluente tratado), para mantener el objetivo de calidad en el tramo aguas abajo del vertido, en condiciones futuras.

C_c = concentración media diaria igual al criterio de calidad para el uso asignado en el tramo aguas abajo del vertido.

C_r = concentración del contaminante en el tramo aguas arriba del vertido, cuyo valor debe ser menor que la concentración que el criterio de calidad C_c .

²ARELLANO Alfonso, Tratamiento de Aguas Residuales. 2ed. Riobamba – Ecuador. s.ed. 2009 pp. 2 – 29.

$R = Q_r/Q_e$ = relación de caudales entre el río y el vertido

Q_r = caudal crítico de cuerpo receptor, generalmente correspondiente a un período de recurrencia de 10 años y siete días consecutivos o caudal con una garantía del 95%, antes del vertido o caudal ambiental.

Q_e = Caudal del descarga en condiciones futuras (generalmente se considera de 25 años, período que es el utilizado en el diseño de las obras de descontaminación).

5.2.4.3 Para el caso en el cual el criterio de calidad es la concentración de bacterias, la correspondiente modelación bacteriana es de carácter obligatorio, como parte de un Plan Maestro de Control de la Contaminación del Agua o como parte de un Plan de Cumplimiento.

5.2.4.4 En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.

5.2.4.5 En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, falta de definición de usos del agua (como es el caso de pequeñas municipalidades que no pueden afrontar el costo de los estudios), se utilizarán los valores de la **TABLA 10** de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Nacional de Control Ambiental. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

5.2.4.6 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.

5.2.4.7 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con los rangos y límites establecidos en las normas de descargas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor.

Se prohíbe todo tipo de descarga en:

Tabla 2-1 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en	mg/l	30.
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.
Arsénico total	As	mg/l	0.
Bario	Ba	mg/l	2.
Boro Total	B	mg/l	2.
Cadmio	Cd	mg/l	0,0
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5.
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo	mg/l	0.
Cloruros	Cl	mg/l	1
Cobre	Cu	mg/l	1.
Cobalto	Co	mg/l	0.
Coliformes Fecales	NM	NMP/100 ml	Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de	* Inapreciable en
Compuestos fenólicos	Feno	mg/l	0.
Cromo hexavalente	Cr ⁺	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO	mg/l	50.
Demanda Química de	DQ	mg/l	100.
Estaño	Sn	mg/l	5.
Fluoruros	F	mg/l	5.
Fósforo Total	P	mg/l	10.
Hierro total	Fe	mg/l	10.
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TP	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.
Materia flotante	Visible		Ausenci
Mercurio total	Hg	mg/l	0,00
Níquel	Ni	mg/l	2.
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30.
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50.
Compuestos Organoclorados totales		mg/l	0,0
Compuestos Organofosforados totales		mg/l	0.
Plata	Ag	mg/l	0.
Plomo	Pb	mg/l	0.
Potencial de hidrógeno	Ph		5-
Selenio	Se	mg/l	0.
Sólidos Suspendidos	SS	mg/l	80.
Sólidos totales	ST	mg/l	1
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	100
Sulfuros	S ⁻	mg/l	0,5
Temperatura	O		<
Tensoactivos	Activas al azul de	mg/l	0.
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de	mg/l	1.

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Fuente: (Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua. Tulsma Libro Vi-Anexo 1-Tabla 10)

1.7 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

1.7.1 Operaciones y procesos unitarios de una depuradora

Debemos recordar que la diferencia entre operaciones unitarias y procesos unitarios radica en que las primeras (operaciones unitarias) hacen referencia a unidades y procedimientos en donde prevalecen mecanismos de tipo físico en las que no se presentan cambios a nivel químico (una rejilla de retención de sólidos, un desarenador) mientras que los procesos unitarios involucran reacciones químicas o bioquímicas y cambios a nivel molecular (una unidad de coagulación y floculación, un reactor biológico, una torre de adsorción, una cámara de desinfección).

De esta manera, los contaminantes de las aguas residuales pueden ser eliminados o reducidos mediante la aplicación de uno o más fenómenos de tipo:

- Físico (operaciones unitarias de separación física)
- Químico (procesos unitarios de transformación química)
- Biológico (procesos unitarios de transformación bioquímica)

En los procesos unitarios de transformación bioquímica o reactores biológicos, la degradación, reducción o eliminación de contaminantes se consigue por la intervención de microorganismos que aprovechan la materia orgánica soluble e insoluble para alimentarse, generar nuevos compuestos, gases y energía, así como también para multiplicarse, generando nuevas células (síntesis celular).

Estos procesos biológicos pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Procesos Aerobios.- o en presencia del oxígeno libre generado por algas o alimentado por dispositivos mecánicos.
- Procesos Anaerobios.- o en ausencia de oxígeno libre

Estos procesos y operaciones unitarias intervienen en diferentes etapas de la depuración de las aguas residuales. El esquema de depuración se representa en la Figura 4-1:

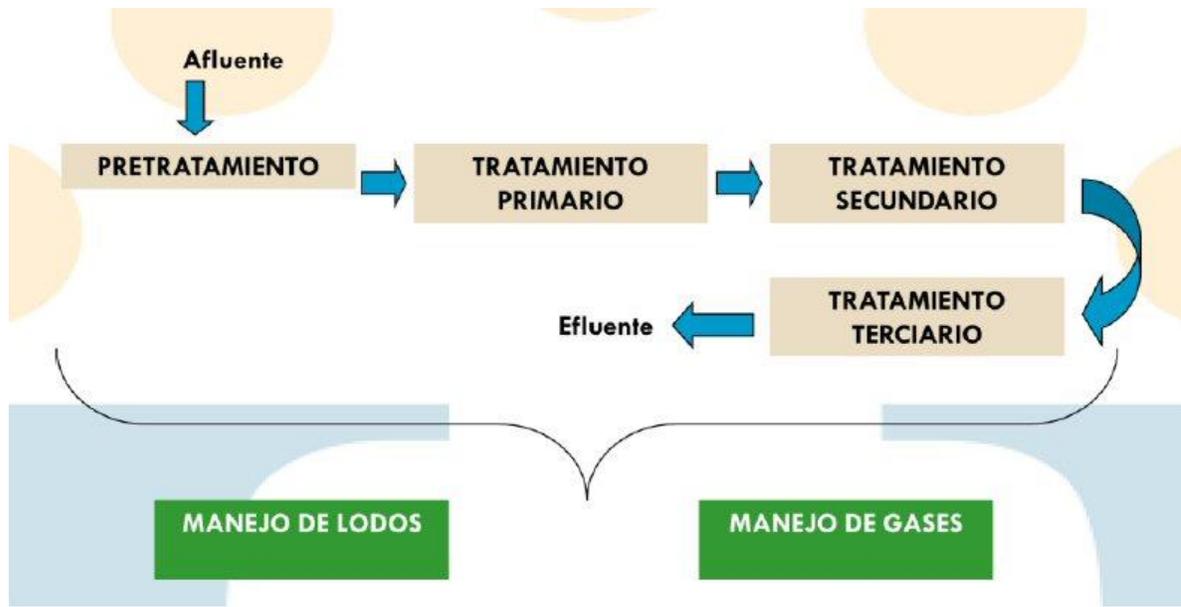


Figura 4-1 Esquema del tratamiento de las aguas residuales

Fuente: (Tomado del material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales de Lozano-Rivas, W.A, 2012)

Esta clasificación, mundialmente aceptada, corresponde al grado de depuración obtenida, como muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-1 Características de las etapas de la depuración de aguas residuales

Etapas	Objetivo	Unidades más representativas	Tipo de fenómenos principales involucrados	Niveles de eficiencia
Pretratamiento	Remover sólidos gruesos para evitar atascos, abrasión y daños a tuberías, bombas, equipos y a otros elementos de la depuradora.	<ul style="list-style-type: none"> · Pozo de gruesos · Rejillas · Desarenador · Desengrasador · Tanque de Igualación u homogenización (efluentes industriales, especialmente) · Tanque de neutralización (efluentes 	Físicos. Químicos (neutralización).	No se considera que se logren remociones significativas en DBO y SST.

		industriales, especialmente)		
Tratamiento Primario	Remover la mayor parte de la materia orgánica suspendida decantable.	<ul style="list-style-type: none"> · Sedimentadores primarios (por gravedad o asistidos químicamente) · DAF (unidades de flotación por aire disuelto. Usadas para efluentes industriales, especialmente) · Tamices (efluentes industriales, especialmente) 	Físicos. Químicos (decantación asistida).	DBO: hasta 50% (hasta 80% con decantación asistida) SST: hasta 70% (hasta 85% con decantación asistida)
Tratamiento Secundario	Remover materia orgánica soluble y suspendida. Eliminar patógenos y otros elementos contaminantes.	<ul style="list-style-type: none"> · Reactores biológicos aerobios (e.g. lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, humedales, lagunas) · Reactores biológicos anaerobios (e.g. UASB, RAP, EGSB) 	Biológicos.	DBO: hasta un 92% SST: hasta un 90 %
Tratamiento Terciario	Pulimento en la reducción de la materia orgánica. Eliminación de contaminantes específicos (e.g. nitratos, patógenos, metales, pesticidas, disruptores endocrinos).	<ul style="list-style-type: none"> · Coagulación-floculación · Adsorción · Intercambio iónico · Filtración · Lagunas · Desinfección 	Químicos. Biológicos.	Eficiencias variables de remoción, dependiendo del tipo de contaminan

Fuente: (Lozano-Rivas, Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012)

Adicional a la línea de aguas, en donde se emplean estas etapas para depurar los efluentes, se tienen la línea de manejo de gases y la de manejo de lodos.³

1.8 ETAPAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES

1.8.1 Canal de entrada

Es la estructura que permite la descarga del agua residual desde las tuberías del alcantarillado hacia al sistema de tratamiento, el objetivo principal es controlar las velocidades y el tirante de agua para el diseño adecuado de las rejillas.

Tabla 4-1 Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos

Anchura del fondo (m)	Altura del agua (m)	Pendiente longitudinal (porcentaje)			
		0,02	0,05	0,10	0,15
0,30	0,30	20-30*	30-40	40-60	40-70
0,50	0,40	40-70	70-120	100-160	120-200
0,80	0,60	140-240	230-370	320-530	400-650

Fuente: (Estructuras De Conducción De Agua)

Tabla 5-1 Condiciones para determinar el borde libre de un canal

Caudal (m ³ /s)	Borde libre(m)
Menor a 0,50	0,30
Mayor a 0,50	0,40

Fuente: (Pedro Rodríguez Rubio, 2008)

1.8.1.1 Dimensionamiento del canal de entrada

- Cálculo del área libre al paso del agua

$$A = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

Ecuación 1

³<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5963/3/Tesis.ppt>

Donde:

A =Área del canal (m^2)

$Q_{max.d}$ =Caudal máximo de diseño (m^3/s)

v =Velocidad de aproximación del flujo hacia las rejillas(m/s)

– *Cálculo del tirante o profundidad del agua en el canal*

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

Ecuación 2

Donde:

h =Tirante o profundidad del agua (m)

A =Área del canal (m^2)

b =Ancho del canal, valor asumido (m)

– *Cálculo de la profundidad total del canal*

$$H = h + h_s$$

Ecuación 3

Donde:

H =Profundidad total del flujo (m)

h =Tirante o profundidad del flujo (m)

h_s =Factor de seguridad (m)

– *Cálculo del radio hidráulico del canal*

$$RH = \frac{b * h}{2(b + h)}$$

Ecuación 4

Donde:

RH =Radio hidráulico del canal (m)

h =Tirante o profundidad del flujo (m)

b =Ancho del canal, valor asumido (m)

1.8.2 Desbaste

Consiste en la remoción y eliminación de sólidos de mayor tamaño como trozos de madera, raíces, etc. que pueden ocasionar obstrucciones en el paso del agua hacia las siguientes etapas del sistema de tratamiento, esto se logra gracias al uso de rejillas.

Las rejas de barras pueden limpiarse a mano o mecánicamente.

Las rejas se fabrican con barras de acero soldadas a un marco que se coloca transversalmente al canal de entrada. Las barras se colocan verticalmente o con una inclinación de 30 a 80° respecto a la horizontal.

Tabla 6-1 Características de las etapas de la depuración de aguas residuales

Condiciones	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra:			
Anchura	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras	Mm	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical	Grados	30-45	0-30
Velocidad de aproximación	m/s	0,30-0,60	0,6-1,1
Perdida admisible	Mm	150	150

Fuente: (Tratamiento de aguas residuales en poblaciones pequeñas “Crites y Tchobanoglous” pagina # 249)

El valor más habitual de velocidad de aproximación es de 0,45 m/s, pues permite mayor superficie de contacto del agua con la rejilla. Para la distribución uniforme entre sólidos en el flujo y la rejilla se considera que la reja tenga como máximo unos 10mm de ancho por 50 mm de profundidad. (Romero., J., 2002).

1.8.2.1 Dimensionamiento de las rejillas

Tabla 7-1 Datos para el cálculo de la rejilla

Condiciones	Intervalo	Simbología	Unidad	Valor
Caudal medio de diseño	0,00638	$Q_{med.d}$	m^3/s	0,00638
*Profundidad	0,025-0,038	p	m	
*Velocidad mínima de aproximación	0,3-0,6	v	m/s	0,5
**Ángulo	44 - 60	θ	<i>grados</i>	45
*Separación de barras	0,015 – 0,05	sp	m	0,02
Coefficiente de pérdidas	1,79	β	–	
**Altura de seguridad	0,5	hs	m	0,5
**Espesor de la barra	0,005 – 0,015	es	m	0,01
*Pérdida de carga admisible	0,15	hc	m	
Ancho del canal	0,50	b	m	0,5

Fuente: (*Ras 2000, **Normas Para Estudio Y Diseño De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores A 1000 Habitantes)

– *Cálculo del número de barras*

$$N_B = \frac{b - S_p}{e + S_p}$$

Ecuación 6

Donde:

N_B = Número de barras (adimensional)

b = Ancho, valor asumido (m)

e = Espesor de barra (m)

S_p = Separación entre barras (m)

– *Cálculo de longitud de las barras*

$$LB = \frac{H}{\text{Sen}\theta}$$

Ecuación 7

Donde:

LB = Longitud de las barras (m)

H = Profundidad total del canal (m)

θ = Pendiente de la rejilla ($^{\circ}$)

– *Cálculo del nivel máximo de agua*

$$N_{max.a} = \frac{Q_{max.d}}{v * b}$$

Ecuación 8

Donde:

$Q_{max.d}$ =Caudal máximo de diseño (m^3/s)

v = Velocidad de aproximación de flujo hacia las rejillas (m/s)

b = Ancho del canal, valor asumido (m)

– *Cálculo de la longitud sumergida de las rejillas*

$$L_{sum.r} = \frac{N_{max.a}}{Sen\theta}$$

Ecuación 9

Donde:

$L_{sum.r}$ =Longitud sumergida de la rejilla (m)

$N_{max.a}$ =Nivel máximo de agua (m)

θ = Pendiente en relación a la vertical ($^{\circ}$)

– *Cálculo de la pérdida de carga en las rejillas*

Para este cálculo se usa en los datos expuesto en la siguiente tabla:

Tabla 8-1 Coeficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2,48	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: (RAS, 2000)

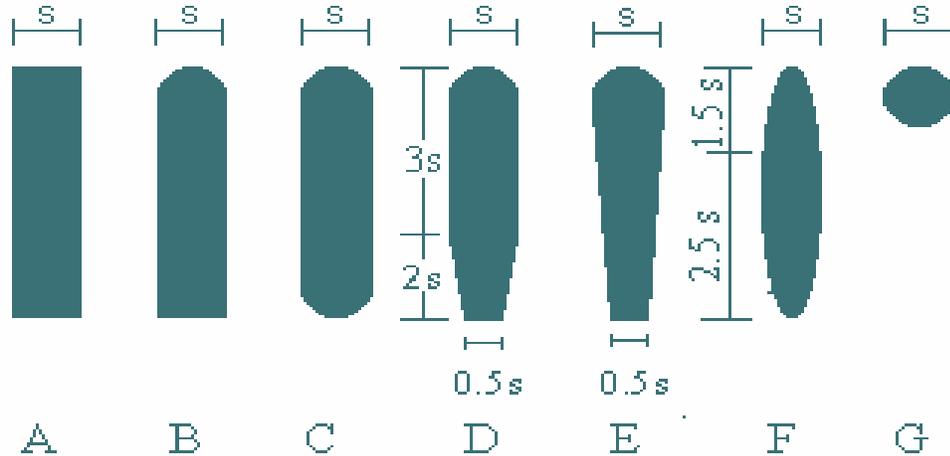


Figura 5-1 Diferentes formas de rejillas
Fuentes: (RAS, 2000)

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{S_p} \right)^{3/2} \frac{v^2}{2g} \text{sen}\theta$$

Ecuación 10

Donde:

h_c = Pérdida de carga en la rejilla (adimensional)

β = Coeficiente de pérdida (m)

e = Espesor de barra (m)

S_p = Separación entre barras (m)

v = Velocidad de aproximación del flujo hacia las rejillas (m/s)

g = Gravedad (m/s^2)

θ = Pendiente en relación a la vertical ($^\circ$)

1.8.3 Humedales

Los humedales son zonas en donde el agua es el principal factor que controla el ambiente, así como la vegetación y fauna asociada. Existen en donde la capa freática se encuentra en o cerca de la superficie del terreno o donde el terreno está cubierto por agua.

La Ley de Aguas Nacionales define a los humedales como zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional, las áreas en donde el suelo es

predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos.

Para el tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones se han empleado humedales naturales pero en carencia en muchos casos de esta alternativa conviene crear los humedales artificiales.

1.8.3.1 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son construidos por el hombre que poseen las características y estructuras semejantes a un ecosistema, con la ventaja a favor de que éstas, no están sujetas a las limitaciones de vertidos a ecosistemas naturales. Para su base impermeable se usa grava, arcilla, arena o cualquier otro medio que permita el desarrollo de la vegetación ya que es el principal agente depurador.

Las plantas emergentes para los humedales artificiales pueden ser del mismo lugar o insertadas en el lugar de acuerdo a las condiciones climáticas, topográficas y geomorfológicas.

“Los humedales artificiales son sistemas no convencionales que dependen de procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos para el tratamiento de las aguas residuales e implican bajos costos. Con un diseño adecuado y preciso, además de una operación y mantenimiento apropiado, se logra convertir al tratamiento de efluentes en un proceso de baja energía. Esto se cumple especialmente en comunidades pequeñas, preferentemente de zonas rurales, donde se dispone de grandes áreas para la instalación de los humedales” (G.B. Barros Acha, 2014).

Elementos que caracterizan a los humedales:

- Vegetación hidrófila - vegetación asociada con medios acuáticos
- Suelos hídricos - alto grado de humedad
- Condiciones hídricas - influencia climática que involucra a las variables geomorfológicas y topográficas del lugar.

Tabla 9-1 Características más comunes de las plantas emergentes usadas en los humedales artificiales

Nombre común	Nombre científico	Temperatura, °C		Rango de pH para efectividad	Tolerancia máxima de salinidad
		Deseable	Germinación de las semillas		
Totora, Junco	Scirpus spp.	16-27		4-9	20
Enea, eneo	Typha latifolia	10-30	12-24	4-10	30
Punta de fleca común	Sagittaria latifolia				
Carrizo común	Phragmites australis	12-23	10-30	2-8	45
Junco	Juncus spp.	16-26		5-7.5	20
Juncia	Carex spp.	14-32		5-7.5	
Yellow flag	Iris pseudacorus				

Fuente: (Stephenson Et Al, 1980)

1.8.3.1.1 Pasto alemán - *Echinochloa polystachya*

Pastos y forrajes: Pasto alemán

Es una gramínea que crece en forma de macolla, sus tallos pueden alcanzar 2 metros de altura. Sus hojas son alternas no pubescentes. Es un pasto de excelente calidad ideal para heno. El periodo de establecimiento varía entre 4 y 6 meses.

Tabla 10-1 Datos del pasto alemán

Nombre común	Pasto Alemán
Nombre científico	<i>Echinochloa polystachya</i>
Otros nombres	Alemán, hierba de cayena, zacate alemán, janeiro.
Consumo	Pastoreo, más recomendable el pastoreo rotativo.
Clima favorable	Crece bien entre 0 y 1200 m. s. n. m.
Tipo de suelo	Con mediana a alta fertilidad, preferiblemente suelos húmedos o inundables. Arcillosos.

Tipo de siembra	La semilla es poco viable, se siembra por estolones o
Plagas y enfermedades	Gusano comedor de follaje, áfido amarillo (<i>Siva phlava</i>).
Toxicidad	No se han presentado casos.
Tolera	Aguachinamiento o inundaciones
No tolera	Verano o sequías muy extensas
Asociaciones	Con especies de <i>Centroema</i>

Fuente: (Lilian Damarys Gélvez, 2015 http://mundo-pecuario.com/tema191/gramineas/pasto_aleman-1046.html)

Adaptación y establecimiento

Se adapta bien desde el nivel de mar hasta los 1000 m, prefiere los suelos húmedos y compactos de alta o mediana fertilidad (precipitación mayor de 1900 mm por año). Por sus características subacuáticas es ideal para sembrar en terrenos inundados o a orillas de los ríos. Preferiblemente en forma vegetativa, 1 - 2 t de material vegetativo/ha. Se siembra a 50 cm entre plantas y surcos.

1.8.3.1.2 Sustrato

Es el suelo o medio de lecho cuya composición va a depender del agua contaminada a tratar y a su vez del tipo de humedal que se requiere construir.

Generalmente suele tener materiales como grava, piedra, arena, y resto de vegetación acumulada, estos componentes deben estar dispuestos de forma tal que su permeabilidad para el paso del agua sea el adecuado.

El tamaño del medio granular debe estar cuidadosamente seleccionada, si el lecho está construido por elevadas cantidades de arcilla y limo se logra una mayor capacidad de adsorción (la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño) y filtración, pero hay resistencia hidráulica mayor a lo esperado y por consiguiente requiere mayor velocidad del flujo y la entrada del caudal al humedal es limitada.

La mezcla de grava y arena aumenta la conductividad hidráulica lo que limita la capacidad de adsorción y filtración, aunque se convierte en un medio ideal para el crecimiento de plantas y microorganismos que son responsables de la biodegradación.

1.8.3.1.3 Tipo de humedales

✓ Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

En los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial o Biofiltros Plantados, la circulación del agua influente, proveniente del tratamiento primario, es subterránea, recorriendo el lecho a través del sustrato colocado, en contacto con los rizomas y raíces de la vegetación, de manera que sufre además un proceso de filtración.

✓ Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical

El agua a tratar atraviesa el sustrato verticalmente. La alimentación del dispositivo debe ser intermitente para que se produzcan periodos temporales de inundación que favorezcan el predominio de condiciones aerobias.

Siempre que topográficamente sea posible mediante sifón autodescargante, para evitar consumos energéticos y el empleo de equipos electromecánicos.

Gracias a la rápida infiltración del agua en el sustrato no existen largos periodos de encharcamiento, lo que posibilita el empleo de una mayor variedad de especies vegetales confiriendo al dispositivo una mayor integración paisajística y valor estético.

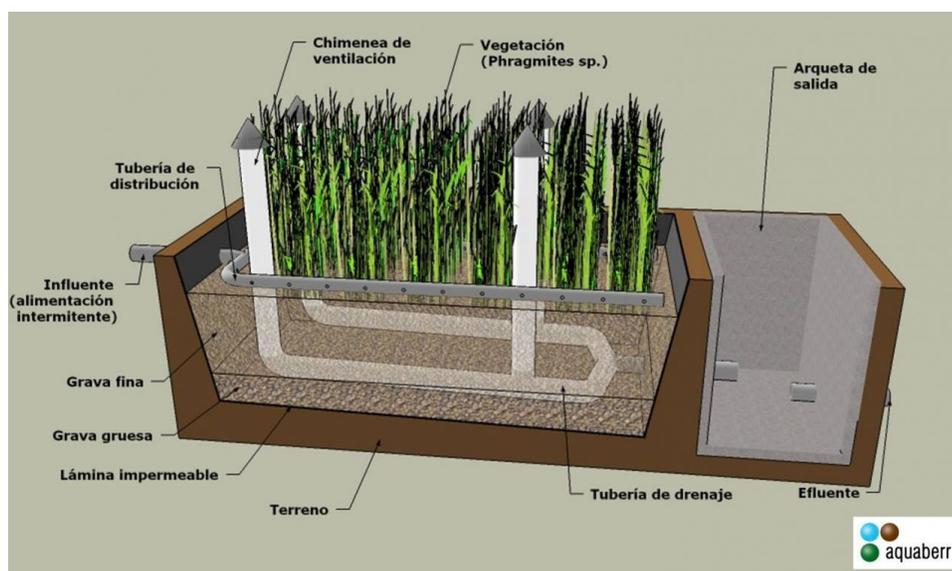


Figura 6-1 Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical

Fuente: (<http://aquaberry.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>, 2013)

✓ Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

El agua que entra en el dispositivo atraviesa el lecho horizontalmente, igualmente en contacto con las raíces de la vegetación, pero se mantiene cierto nivel de encharcamiento por debajo del sustrato, gracias a una tubería flexible, por lo que predominan condiciones anaerobias.

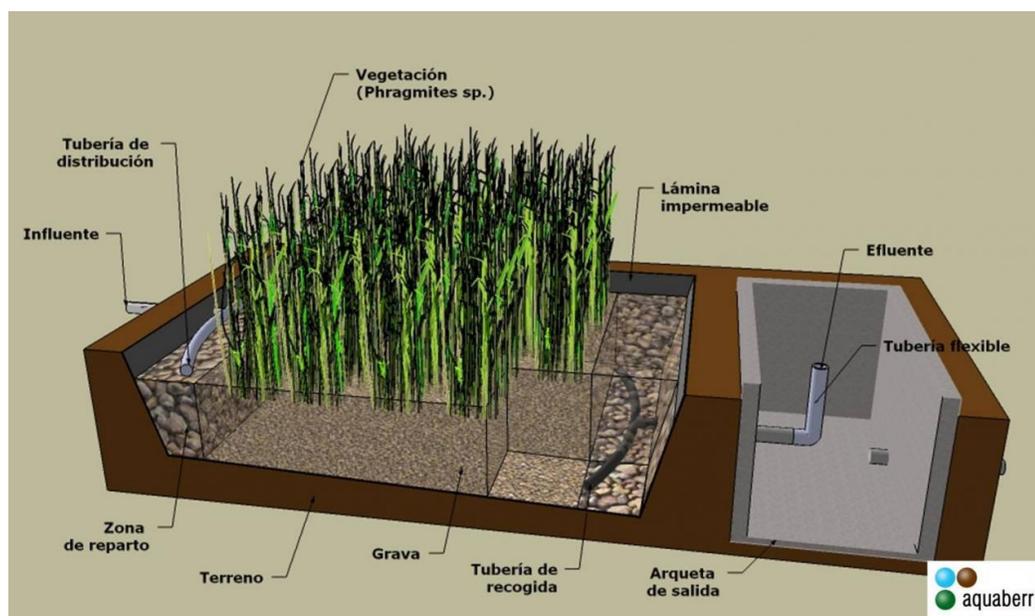


Figura 7-1 Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

Fuente: (<http://aquaberri.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>, 2013)

Tabla 11-1 Rendimientos con el empleo de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial

	Vertical	Vertical	Horizontal	Horizontal
Parámetro	Reducción (%)	Efluente (mg/l)	Reducción (%)	Efluente (mg/l)
Sólidos en Suspensión	90-95	13-25	90-95	13-25
DBO5 (mg/l)	90-95	15-25	85-90	15-30
DQO (mg/l)	80-90	60-120	80-90	60-120
N-NH4+ (mg/l)	60-70	9-12	20-25	22-24
N total	60-70	15-20	20-30	35-40
P total	20-30	7-8	20-30	7-8
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	1-2 unidades log	10e5-10e6	1-2 unidades log	10e5-10e6

Fuente: (Ecuaberri, 2013, <http://aquaberri.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>)

1.8.3.1.4 Comparación de los diferentes humedales artificiales

Las consideraciones que se toman a la hora de seleccionar un humedal artificial son:

Tabla 12-1 Comparación entre los diferentes flujos del humedal

Humedal de flujo libre	Humedal de flujo subsuperficial
Requiere áreas de mayor tamaño	Requiere áreas de menor tamaño
Requiere de un tratamiento secundario por ejemplo, lagunas, fango activado etc.	Requiere de un tratamiento preliminar o primario (desbaste, tanque séptico etc.)
Funciona con baja carga orgánica	Funciona con alta carga orgánica
El olor puede ser controlado	No existe olor alguno
El control de insectos tiene un alto costo	No es necesario el control de insectos
Las bajas temperaturas afecta a cantidad de remoción de contaminantes	La temperatura se mantiene constante por la acumulación de restos de plantas y el agua subterránea.
Los costos de construcción e implementación es menor	Los costos de construcción e implementación es relativamente caro por el uso de grava y otros medios granulares
Formación de ecosistemas sustentables	El ecosistema no es muy sustentable por el difícil acceso de agua a la fauna
Creación de nuevos ecosistemas	Para el tratamiento de aguas residuales a poblaciones pequeñas ubicadas en zonas rurales.

Fuente: (Serie Técnica, 2010)

Los humedales de flujo horizontal y vertical realizan funciones muy específicas, la cual se puntualiza en la siguiente tabla.

Tabla 13-1 Funciones específicas de los humedales artificiales

	Horizontal	Vertical
Funcionamiento	Continuo	Descontinuo
Estado de oxidación	Más reducido	Más oxidado
Carga superficial	$4 - 6 g DBO_5/m^2d$	$20 - 40 g DBO_5/m^2d$
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Compleja

Fuente: (Serie Técnica, 2010)

1.8.3.1.5 Dimensionamiento del Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial

Tabla 14-1 Datos para el cálculo del humedal subsuperficial de flujo horizontal

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Demanda bioquímica de Oxígeno del afluente	176	C_o	mg/L
Demanda bioquímica de Oxígeno del efluente	46	C	mg/L

*Porosidad del materia	35	N	%
*Tamaño efectivo del material	8	–	D_{10} (mm)
*Conductividad hidráulico	5000	K_S	$m^3/m^2/d$
*Profundidad del humedal	1	h_p	m
Pendiente	0,5	S	%
Caudal mínimo horario	149,47	$Q_{med.horario}$	$m^3/día$
Temperatura de investigación	26	T	°C

Fuente: (*Metcalf-Eddy, 2006)

- Calcular la constante de reacción de primer orden

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{T_2-20}$$

Ecuación 11

Donde:

K_T = Constante de primer orden (d^{-1})

T_2 =Temperatura del agua residual (°C)

- Calcular el área superficial de humedal

$$A_{SH} = \frac{Q_{min.horario} \ln \frac{C_0}{C}}{K_T * h_p * n}$$

Ecuación 12

Donde:

$Q_{min.horario}$ = Caudal mínimo horario (m^3/s)

A_{SH} = Área superficial del humedal (m^2)

C_0 = DBO del afluente (mg/L)

C = DBO del efluente (mg/L)

K_T = Constante de primer orden (d^{-1})

h_p = Profundidad del humedal (m)

n = Rugosidad del material (*adimensional*)

- Calcular el área de la sección transversal del lecho del humedal

$$A_{ST} = \frac{Q_{min.horario}}{K_S * S}$$

Donde:

A_{ST} = Área de la sección trasversal del lecho del humedal (m^2)

$Q_{min.horario}$ = Caudal mínimo horario (m^3/s)

K_S = Conductividad hidráulica (m^3/m^2d)

S = Pendiente del lecho del humedal (%)

– *Calcular el ancho del humedal artificial*

$$F_H = \sqrt{\frac{A_{SH}}{2}}$$

Ecuación 14

Donde:

F_H = Ancho del humedal (m)

A_{SH} = Área superficial del humedal (m^2)

– *Calcular la longitud del humedal artificial*

$$L_H = \frac{A_{SH}}{F_H}$$

Ecuación 15

Donde:

L_H = Longitud del humedal (m)

F_H = Ancho del humedal (m)

A_{SH} = Área superficial del humedal (m^2)

– *Calcular del tiempo de retención de humedal artificial*

$$T_{HR} = \frac{A_{SH} * h_p * n}{Q_{min.horario}}$$

Ecuación 16

Donde:

T_{HR} = Tiempo de retención del humedal artificial (m)

A_{SH} = Área superficial del humedal (m^2)

h_p = Profundidad del humedal (m)

n = Rugosidad del material (*adimensional*)

$Q_{min.horario}$ = Caudal mínimo horario (m^3/s)

1.8.4 Filtración

Consiste el proceso de separación de los sólidos que aún se encuentren en suspensión por un mecanismo de filtros cuyo espacio entre ellos es muy pequeño para asegurar que solo el líquido pase hacia el exterior.

1.8.4.1 Filtros intermitentes

La infiltración intermitente se define como la tasa de aplicación intermitente de las aguas residuales descargadas a un lecho de material granular poco profunda (600 mm a 1 000 mm), el cual es drenado para recoger y descargar el efluente. El filtro de arena es uno de los procesos de tratamiento más antiguos para mejorar la calidad del agua para pequeñas comunidades, aunque en la actualidad se utiliza para mejorar el efluente de lagunas de estabilización. Es importante señalar que los filtros de arena son básicamente a los empleados en 1 868 y de los años veinte. El tratamiento del efluente se produce mediante los cambios y transformaciones físicas, químicas y biológicas.

La eliminación de los sólidos suspendidos se lleva a cabo, por el arrastre mecánico generado por el choque aleatorio y la sedimentación. Esto es debido a que las bacterias forman colonias en el medio granular, la autofiltración provocada por el crecimiento bacteriano favorece aún más la eliminación de sólidos y nutrientes.

La conversión de amoníaco (NH_3) a nitratos (NO_3) que se le conoce como nitrificación, se produce por la acción de los microorganismos presentes en el lecho de arena bajo condiciones aerobias. La desnitrificación es el resultado por la acción de bacterias anaerobias que producen la conversión de los nitratos en gas nitrógeno hasta un 45 por 100, éstas se originan en un ambiente libre de oxígeno desarrollándose dentro del lecho de filtrante.

Ciertos constituyentes específicos se eliminan por absorción (física y química), para que exista eficiencia es necesario que se ventile el sistema de drenaje manteniéndose en condiciones aerobias.

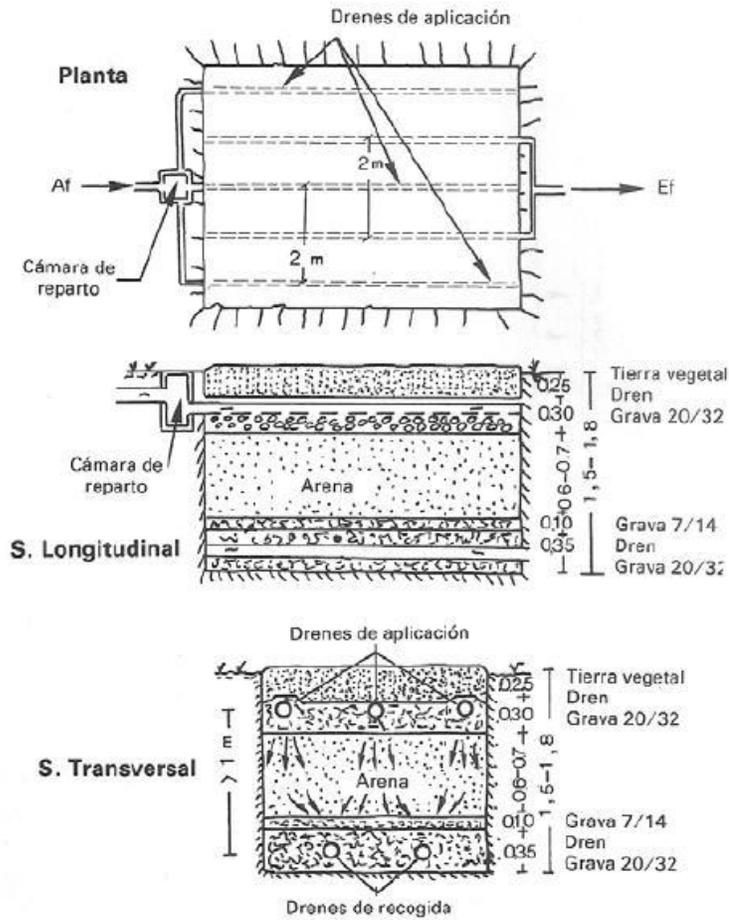


Figura 8-1 Filtro intermitente de arena
Fuente: <http://upcommons.upc.edu>

Tabla 15-1 Eficiencia de los filtros intermitentes

Parámetro	% eliminación
DBO ₅	80-99
DQO	68-90
Sólidos Suspendedos	30-99
Nitrógeno total	23-90
Fósforo total	20-80
Coliformes fecales	98-99

Fuente: (Universidad Politécnica de Catalunya, 2015 <http://upcommons.upc.edu>)

En su gran mayoría estas unidades de tratamiento cuentan con:

- a) Un contenedor aislado donde se confina el medio filtrante.

- b) Un sistema de drenaje para evacuar el líquido tratado.
- c) El medio filtrante.
- d) Un sistema para la alimentación y distribución del líquido a tratar sobre el medio filtrante.
- e) Un medio de soporte.

En este tipo de filtros las variables que afectan en el proceso para la remoción DBO, SST, grasas y aceites, turbiedad, nitrógeno, bacterias y virus están relacionados con la granulometría del lecho empacado.

▪ **Sistemas de dosificación y distribución**

La dosificación es uno de las variables más importantes para lograr un buen efluente, un periodo de reposo entre las aplicaciones lo suficientemente largo dando como resultado una condición aerobia y biológica adecuada.

En filtros pequeños se satura hasta obtener una capa aproximadamente ocho centímetros de espesor como mínimo. Para que aplicar en el medio filtrante de manera uniforme, se requiere de un sistema de distribución el cual trabaje por gravedad o presión. Los sistemas empleados para la dosificación empleados en la actualidad, cuentan con boquillas de aspersion, cangilones inclinados, moldes especiales de plástico y sistemas en que la tubería es perforada para su distribución a presión.

El diámetro de la tubería de distribución se establece que la diferencia en la descarga entre orificios no sea mayor al 10 por 100. Se debe tener muy en cuenta que la tubería perforada se coloca sobre el medio granular con los agujeros hacia arriba.

La dosificación del fluido que se va a tratar sobre el lecho filtrante puede ser intermitente o con recirculación. El líquido cuando se emplea un filtro intermitente este es aplicado solo una vez, para aumentar la eficiencia de manera uniforme esta varia de 12 a 72 veces por día.

▪ **Medio filtrante**

La importancia del tamaño de la partícula del material granular y de la tasa hidráulica, se puede comprender al observar cuando el volumen del fluido es aplicado lo suficiente, de manera que pueden

llenar los espacios vacíos, parte de coloides, material orgánico y microorganismos que puedan atravesar el sistema sin ningún tratamiento.

Cuando hay una disminución entre cada dosis se puede presentar un flujo no saturado, pero si el volumen del líquido aplicado se reduce aún más el líquido fluirá a través del filtro en equivalente a una delgada película. Así mismo, la composición del agua residual aplicada que se encuentran en forma de coloides y en forma soluble son absorbidos y el oxígeno del aire ubicada en los intersticios del medio, este pasa a través de la película bacteriana la cual es la responsable de la oxidación de la materia orgánica carbonácea en un medio aeróbico.

Es importante poner énfasis que la concentración de oxígeno en el aire a 20° C es de aproximadamente 250 mg/L. Para que se tenga una eficiencia en el filtro, los microorganismos deben permanecer en una tasa de crecimiento endógeno.

Si la carga orgánica aplicada al filtro es grande, la tasa de crecimiento aumentara originando una retención de película bacterial dentro del sistema de filtración, provocando en casos extremos que el tratamiento colapse.

La piedra pómez provienen de los depósitos formados de origen ígneo, la granulometría se determina por una serie de tamices graduados, cuyo tamaño de la malla disminuye. Las diferentes cantidades del material son retenidas en cada tamiz se pesan, agregándose posteriormente en la tapa inferior del juego de tamices, obteniéndose los pesos acumulados.

El tamaño efectivo d_{10} y el coeficiente de uniformidad (CU) son las principales características del medio granular que afectan el diseño y operación del sistema de tratamiento, el tamaño efectivo d_{10} es el tamaño de malla que permite pasar 10 por 100 de la masa del material, mediante el ensayo granulométrico (ASTM C117-95).

El coeficiente de uniformidad se define como el 60 por 100 que permite el paso de la partícula dividido por el tamaño que permite el paso del 10 por 100.

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Ecuación 17

1.8.4.2 Filtro de grava

El agua que entra por el filtro de grava (es controlado por la válvula de flotador) baja por una tubería hasta la parte inferior del filtro y fluye hacia arriba a través de la grava. Esto elimina la turbidez (partículas) y algo de materia disuelta que se adhiere a las superficies de las partículas que se asientan. Una o más veces durante el año (dependiendo de la calidad de la fuente de agua), la válvula grande (al menos 3" - más grande es mejor) en la parte inferior del filtro de grava se abre, rápidamente invirtiendo la dirección del flujo a través del filtro ("lavado a contracorriente") con el fin de eliminar el sedimento acumulado y materia orgánica.

Mantenimiento de los filtros de grava: Mientras que la tubería no se rompe, o las tuberías o agregados no estén irremediamente obstruidos por sedimentos o desechos, la grava no necesita ser removida o sustituida dentro de la vida útil del sistema de tratamiento. La salida de ½" al exterior de la válvula en la entrada del depósito se puede utilizar para hacer limpieza de la válvula de flotador.

1.8.4.3 Filtro de carbón

Terminología y conceptos importantes:

El filtro de carbón funciona principalmente por el proceso de adsorción. La adsorción, lo que significa una interacción superficial entre las especies disueltas y el carbón, es diferente de absorción, lo que esencialmente significa "tomar" o "tomar en." Para ser exactos, sin embargo, en el tratamiento de aguas contaminantes difusos en los poros de carbón (absorción) donde se unen a las superficies de carbón (adsorción). Esto ha llevado a un amplio uso del término no específico "sorción". La porosidad y el área superficial grande de carbón proporcionan una multitud de sitios reactivos para la unión de compuestos disueltos. En estos sitios reactivos se pueden unir los compuestos orgánicos disueltos no problemáticos, así como dirigidos contaminantes peligrosos. Un poco de materia orgánica disuelta, presente en todas las aguas naturales y pueden ocupar lugares en las superficies de carbón y con ello excluir los contaminantes de interés. Este problema en filtros de carbón es mitigado en nuestro caso por los procesos unitarios de la grava y filtro de arena - que actúan para eliminar una parte sustancial de materia orgánica disuelta en el agua de la fuente antes de que se encuentre con el carbón. El principio es lograr un alto nivel de tratamiento antes del filtro de carbón, con el fin de "salvar el carbón" para la eliminación de compuestos problemáticos disueltos que pasan a través de las etapas de tratamiento anteriores.

1.8.4.4 Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)

Estos filtros son incluso utilizados en plantas de purificación de agua. Están conformados por un tanque relleno de un medio sólido para el soporte del crecimiento biológico anaerobio, las bacterias retenidas, el agua residual se pone en contacto con este medio que permanece como una película microbial adherida. El riesgo de taponamiento es mínimo ya que el flujo es ascendente. El tiempo de retención que se aconseja es de 12 a 36 horas (Crites & Tchobanoglous, 2000).

1.8.4.4.1 Dimensionamiento Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)

- *Calculo del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente*

Tabla 16 – 1 Criterios de diseño para el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente

Parámetro	Rango	Unidad
* Profundidad útil	No menor a 1,80	M
* Ancho	0,85 – 5,40	M
* Volumen útil mínimo	No menor a 1,25	m ³
* Profundidad media soporte	No menor a 1,2	M
* Salida del efluente	No menor a 30 sobre el lecho	Cm
Tiempo de retención	6 - 36	H
Carga orgánica	1 – 30	KgDQO/m ³ d
Velocidad del flujo	<10	m/días
Edad de lodos	0,5 – 5	Días
Distancia entre orificios de entrada	1 - 2	m

Fuente: (*Norma Brasileira ABNT, Norma RAS, 2000)

- *Calculo del Volumen del Filtro*

$$V_f = Q_p * T_r$$

Ecuación 18

Dónde:

V_f = volumen del filtro (m³)

T_r = tiempo de retención (h) – Tabla 16-1.

Q = Caudal punta (m³/h)

- *Calculo del Área Horizontal del Filtro*

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

Ecuación 19

Dónde:

V_f = volumen del filtro (m^3)

A_f = área horizontal del filtro (m^2)

H_u = Profundidad útil del filtro (m) – Tabla 16-1.

– *Calculo de la Longitud del Filtro*

$$L = \frac{A_f}{b}$$

Ecuación 20

Dónde:

L = longitud del filtro (m)

A_f = área horizontal del filtro (m^2)

b = ancho del filtro (m) – Tabla 16-1.

– *Calculo de la Altura Total del Filtro*

$$H_{Tf} = H_u + 0,30$$

Ecuación 21

Dónde:

H_{Tf} = altura total de la cámara (m)

H_u = Profundidad útil del filtro (m)

1.8.5 Lechos De Secado

El lecho de secado de lodos es en general el último componente de una planta de tratamiento de aguas servidas, aunque algunas veces se incluye también en plantas potabilizadoras, principalmente cuando el agua a potabilizar es derivado de un río o arroyo.

En el lecho de secado al aire, el lodo proveniente, ya sea de: un tanque Imhoff; un RAFA o reactor anaerobio de flujo ascendente; un FAFA o filtro anaerobio de flujo ascendente; o, de

los sedimentadores de las plantas depuradoras, el proceso es natural, el agua contenida en los lodos filtra, por efecto de la gravedad, a través de un lecho filtrante de arena y grava, y es recogida por ductos perforados para ser luego conducida al cuerpo receptor final. Otra parte del agua contenida en los lodos se evapora.

Los lechos de secado de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas se utilizan generalmente en las ciudades de hasta 20,000 habitantes. Para localidades mayores deben utilizarse dispositivos más eficientes, ya que los lechos de secado tendrían dimensiones que los hacen poco convenientes a causa de las grandes áreas requeridas.

Una vez seco, el lodo se retira y se evacúa a vertederos controlados o se utiliza como acondicionador de suelos.

Tabla 17-1 Datos para el cálculo de un Lecho de Secado

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Solidos suspendidos	57	SS	mg/L
Densidad del lodo	1,04	ρ_{lodo}	kg/L
*Contenido de solidos	8-12		%
Tiempo de digestión	31	t_d	días
*Profundidad del lecho	0,20-0,40	H_{lecho}	m
*Ancho del lecho	3-10	B	m
Caudal medio de diseño	551,23	$Q_{med.d}$	$m^3/día$

Fuente. (*OPS/CEPIS)

Remoción del lodo seco: El retiro de lodo se realiza cuando se deja secar hasta el 70% y 60% de humedad pero llegar al 40% de humedad será la mitad o tercera parte y de fácil manejo. El utensilio con el cual se remueve el lodo con tridentes o pala (RAS, 2000).

- Carga en fusión a la contribución per cápita de sólidos en suspensión

$$C = \frac{Pf * \text{contribución per cápita}}{1000}$$

Ecuación 22

- Masa de los sólidos que conforman los lodos

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

- Volumen diario de lodos digeridos

$$V_{DL} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left(\frac{\%sólidos}{100} \right)}$$

Donde:

V_{DL} = Volumen diario de lodos digeridos ($L/día$)

M_{sd} = Masa de los sólidos que conforman los lodos ($Kg_{SS}/día$)

ρ_{lodo} = Densidad del lodo (kg/L)

- Volumen de lodos a extraerse del tanque

El tiempo requerido para la digestión de lodo se encuentra en relación a la temperatura como se describe en la siguiente Tabla 18-1

$$V_{EL} = \frac{V_{LD} * t_{DE}}{1000}$$

Donde:

V_{EL} = Volumen de lodo a extraerse del tanque (m^3)

V_{LD} = Volumen diario de los digeridos (m^3)

t_{DE} = Tiempo de digestión ($días$), Tabla 18-1

Tabla 18-1 Tiempo requerido para digestión del Lodo

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

Fuente: (OPS/CEPIS/05.163)

- Área del lecho de secado

La profundidad del lodo que va depositarse en el lecho de secado es de 0,20 a 0,40 m según OPS/CEPIS 05,163, tomando un valor de 0,25 m para una mejor deshidratación y remoción del lodo.

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

Ecuación 26

Donde:

A_{LS} = Área del lecho de secado (m^2)

V_{LD} = Volumen diario de los digeridos (m^3)

H_d = Profundidad de aplicación (m)

- Longitud del lecho de secado

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

Ecuación 27

Donde:

L_{LS} = Longitud del lecho de secado (m)

A_{LS} = Área del lecho de secado (m^2)

b_{LS} = Ancho del lecho de secado (m)

- Volumen del tanque para lodos

El ancho del lecho de secado esta entre 3 y 6 m según OPS/CEPIS 05,163.

$$V_{TL} = L_{LS} * b_{LS} * H_d$$

Ecuación 28

Donde:

V_{TL} = Volumen del tanque para lodos (m^3)

L_{LS} = Longitud del lecho de secado (m)

B = Ancho del lecho de secado (m)

H_d = Profundidad de aplicación (m)

- Intervalo de tiempo para desalojar el lodo

$$T_{DL} = \frac{V_{TL}}{Q_{max.d}}$$

Ecuación 29

Donde:

T_{DL} = Intervalo de tiempo (días)

V_{TL} = Volumen del tanque (m^3)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño

2.1.1.2 Microlocalización

Altitud: De 0 metros a 495 m.s.n.m

Latitud: N 1° 03' 37" y Longitud: O 79° 24' 16"

1.060801, -79.403227

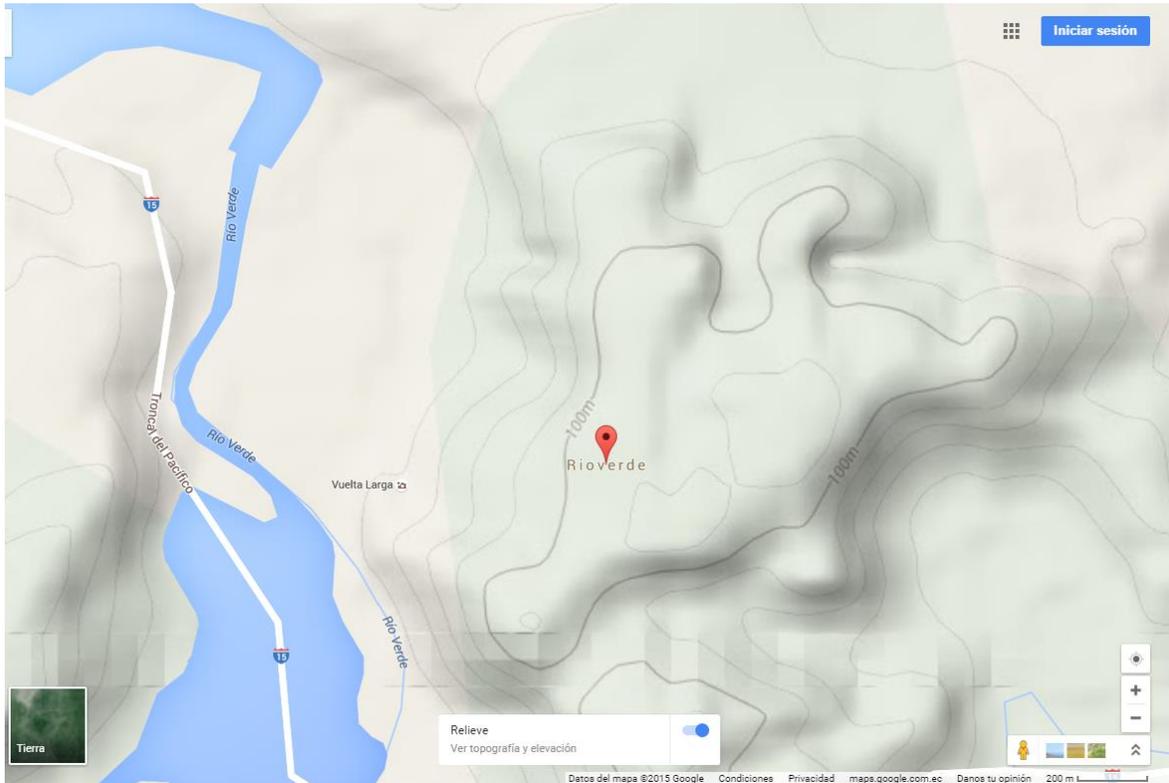


Figura 10-2 Vista topográfica de Rioverde, provincia de Esmeraldas

Fuente: (GOOGLE MAPS, Relieve topográfico, 2016)

El terreno irregular con elevaciones máximas de 600 mts, cerca de Chumundé existen las cordilleras de Matapalo y Guáramo, la riqueza nutricional de la tierra la hace óptima para cultivos de todo tipo. Algo que influye es la carencia de red vial adecuada para el transporte. Posible implementación de la maricultura por condiciones de la costa.

Se destacan cuatro morfologías diferentes:

- Manglares: Zona litoral inundable con características arenosas a limo arcillosas.
- Planicie Costera: Terrenos ligeramente ferrálticos con elevaciones hasta 100 mts, posee cultivos tropicales de ciclo corto.

- Estribaciones cordilleranas bajas: Relieve muy colinado, hasta 500 mts, pendientes del 70°, bosque alto y denso.
- Contrafuerte cordillerano alto: Relieve abrupto de más de 500 mts dominio de rocas ígneas y silicificadas, bosque alto con presencia de neblina.



Figura 11-2 Microlocalización de Rioverde
Realizado por: Perlaza José 2016

– **Hidrografía**

El cantón Rioverde al igual que la provincia se caracteriza por ser un territorio húmedo que de acuerdo a la clasificación bioclimática de Holdridge (1982) pertenece a la zona de transición bosque húmedo Tropical – bosque seco Tropical (bhT-bsT), en esta formación vegetal se encuentran ecosistemas acuáticos como manglares, marino costero, agua dulce, humedales y ecosistemas terrestres como el bosque húmedo tropical, y bosque seco tropical. Existe presencia de pendientes suavemente inclinadas, esto ha permitido que la principal característica del paisaje sea poseer elevaciones que aunque no sobrepasan los 400 msnm dan como resultado un paisaje suavemente inclinado y no un paisaje totalmente plano (PDOT-Esmeraldas 2012-2022).

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Lugar de investigación

Se realizó un estudio de campo con relación a las tuberías de desagüe del agua residual, para esto se nos facilitó, por medio del municipio, algunos datos técnicos de construcción del sistema de alcantarillado el cual cabe destacar es muy precario tanto así que solo un porcentaje menor a la mitad de la población de la cabecera cantonal está conectado a este sistema.

Otro aspecto destacable es que por gravedad el agua contaminada se transporta al río Rioverde que finalmente desembocará al mar del Océano Pacífico.

2.2.2 Periodo de diseño

Según la norma INEN 005-9-1 (1992) el tiempo establecido de vida útil para los sistemas de tratamiento de agua residual es de 20 años, lo que concuerda con el proyecto requerido en la gestión actual del GAD Municipal del Cantón Rioverde.

2.2.3 Población actual

La cantidad de habitantes de la parroquia Rioverde es de 4964, dato obtenido por el último Censo realizado en el 2014.

2.2.4 Población total futura estimada

Se determina a través de una proyección demográfica utilizando los métodos de proyección aritmética, geométrica, logarítmica, entre otras.

Para este proyecto utilizaremos el método geométrico con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 30

Donde:

Pf = Población futura (*hab*)

Pa = Población actual (*hab*)

r = Tasa de crecimiento anual (%)

n = Periodo de diseño (años)

2.2.5 *Medición del caudal*

Para la medición de caudales pequeños se recomienda el método volumétrico por ser un método directo y muy sencillo. Los días de medición fueron: Viernes, Sábado y Domingo desde las 07H00 hasta las 17H00, propuesta del propio municipio debido a que en esos días y en ese horario se incrementa la actividad en la ciudad.

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

Ecuación 31

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

V = Capacidad del recipiente (m^3)

t = Tiempo en se tardó en llenar el recipiente (s)

– **Caudal de diseño**

La elección racional del caudal de diseño se basa en consideraciones de tipo hidráulico y del proceso. Las unidades de proceso y de conducto deben estar sujetos a soportar los caudales pico que llegara al sistema de tratamiento de aguas residuales. Varias unidades de proceso se diseñan con respecto al tiempo de retención o de carga superficial para lograr un alto rendimiento de remoción. Pero estas unidades de tratamiento pueden ser afectados por las variaciones de los caudales al momento de ingresar a la planta, razón por lo que se debe considerar los valores máximos y mínimos del caudal en el diseño de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales.

El cálculo del caudal de diseño es igual al promedio entre el valor de caudal medio horario y el máximo teórico sumado a este el caudal de infiltración.

Caudal de infiltración: No se puede evitar la infiltración de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado y depende de varios factores como la altura del nivel freático, permeabilidad del suelo y construcción, tipo y estado del alcantarillado.

Cuando no existe una implementación de un sistema pluvial corto o mediano plazo, es necesario considerar un mayor aporte de aguas pluviales, y las características de la población siendo un valor máximo aceptable de (2 L/s/Ha).

Las ecuaciones para el cálculo del caudal de diseño son las siguientes:

Caudal medio de diseño

$$Q_{med.d} = \frac{Q_{med.horario} + Q_{med.teo}}{2} + Q_{in}$$

Ecuación 32

Caudal máximo de diseño

$$Q_{max.d} = \frac{Q_{max.horario} + Q_{max.teo}}{2} + Q_{in}$$

Ecuación 33

Caudal mínimo de diseño

$$Q_{minim.d} = \text{Al valor del caudal de aforo}$$

Ecuación 34

2.2.6 Muestreo

La selección de la muestra se lo realiza de acuerdo a la norma **NTE INEN 2176:98, Disposición Generar 3:3.1**, en que las aguas residuales son susceptibles a cambios frente a reacciones físicas, químicas, biológicas y microbiológicas.

La muestra se lo realizo en el sitio determinado para el diseño por lo tanto según la norma **NTE INEN 2169:98, Tipo de Muestreo 5: 5.1** para aguas residuales el muestreo es simple y puntual.

Tabla 20-2 Muestreo de aguas residual en condiciones críticas

Condiciones climática	Viernes	Sábado	Domingo
CALOR	10H00	111H00	13H00
LLUVIA	16H00	15H00	17H00

Realizado por: Perlaza José 2016

2.2.6.1 Toma de muestra

Recipiente: Los recipientes utilizados para la toma de muestras según la **NTE INEN 2176:98, tipo re recipientes 6: 6.2.1 y 6.2.4**, se seleccionaron de acuerdo con el tipo de muestra y/o cantidad, parámetro y método de análisis, la coordinación para la selección se lo realizó con el responsable de cada uno de los laboratorios seleccionados para ejecutar el análisis de muestras.

Etiquetado de la muestra: se utilizaron etiquetas impresas, fijadas con cintas auto adheribles transparentes. En la misma se registró el código de muestra, fecha de muestreo, parámetros a ser analizados, y el nombre del laboratorio

Manejo y preservación de la muestra: para que la muestra no presente ninguna alteración o cambios se debe considerar varios aspectos:

- El recipiente debe estar bien esterilizado que no contamine la muestra.
- El llenado del recipiente para los parámetros físico químicos deben estar llenos y bien tapados, mientras que para los parámetros microbiológicos debe ser casi lleno dejando un espacio de aire antes de taparlo. **NTE INEN 2176:98, 4.3: 4.3.1 y 4.3.2**
- Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó por lo tanto es recomendable usar neveras portátiles con refrigerante. **NTE INEN 2176:98, 4.4:4.4.1**
- Durante la transportación, las muestras deben guardarse en ambiente fresco y protegidas de la luz; de ser posible cada muestra debe colocarse en un recipiente individual impermeable. **NTE INEN 2176:98, 4.8:4.8.3**

2.2.7 Datos experimentales

2.2.7.1 Caracterización de aguas residuales

La caracterización de la muestra se realizó en el Laboratorio de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo la misma que está acreditada por el OAE con la acreditación No.OAE LE C12-006 y en el Laboratorio Análisis Técnico en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

Tabla 21-2 Análisis físico-químico y microbiológico del agua residual de Rioverde en condiciones críticas de calor

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)
Ph	-	PE-LSA-01	7,21	+/-0,08
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	780	+/-6%
Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	57	N/A
Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO4 – E	26	N/A
Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N- B mod	12,3	N/A
Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P- E mod	2,15	N/A
Sólidos Sedimentables	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - F	1,1	N/A
Aceites y Grasas	mg/l	EPA 418,1	32	N/A
Detergente	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2,4	N/A
Alcalinidad	mg CaCO3/l	STANDARD METHODS 2320 - B	46	N/A
Cloro libre residual	mg Cl2/l	STANDARD METHODS 4500 - Cl G mod	0,23	N/A
DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	176	N/A
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	240	+/-10%
Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	10900	N/A
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	5900	N/A

Fuente: (Laboratorio De Servicios Ambientales UNACH, 2015)

Tabla 22-2 Análisis físico-químico y microbiológico del agua residual de Rioverde en condiciones críticas de lluvia

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)
pH	-	PE-LSA-01	7,29	+/-0,08
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	810	+/-6%
Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	65	N/A
Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO4 – E	28	N/A
Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N- B mod	12,8	N/A
Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P- E mod	2,10	N/A
Sólidos Sedimentables	mg/l	STANDARD METHODS 2540 – F	1,1	N/A
Aceites y Grasas	mg/l	EPA 418,1	32	N/A
Detergente	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2,2	N/A
Alcalinidad	mg CaCO3/l	STANDARD METHODS 2320 – B	52	N/A
Cloro libre residual	mg Cl2/l	STANDARD METHODS 4500 - Cl G mod	0,21	N/A
DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 – B	150	N/A
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	232	+/-10%
Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	10150	N/A
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	5500	N/A

Fuente: (Laboratorio De Servicios Ambientales UNACH, 2015)

2.2.7.2 Medición de Caudal

Se monitoreó la descarga del agua residual durante los 3 días establecidos obteniendo los siguientes datos.

Tabla 23-2 Medición del caudal del día VIERNES

HORA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)	CAUDAL (m ³ /s)
07H00	5	2,36	2,119	0,002119
08H00	5	2,87	1,742	0,001742
09H00	5	2,69	1,859	0,001859
10H00	5	3,5	1,429	0,001429
11H00	5	3,08	1,623	0,001623
12H00	5	3,32	1,506	0,001506
13H00	5	2,01	2,488	0,002488
14H00	5	3,67	1,362	0,001362
15H00	5	3,37	1,484	0,001484
16H00	5	2,48	2,016	0,002016
17H00	5	2,44	2,049	0,002049
Caudal medio			1,789	0,001789
Caudal mínimo			1,362	0,001362
Caudal máximo			2,488	0,002488

Realizado por: Perlaza José 2016

Tabla 24-2 Medición del caudal del día SÁBADO

HORA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)	CAUDAL (m ³ /s)
07H00	5	2,24	2,232	0,002232
08H00	5	2,1	2,381	0,002381
09H00	5	2,5	2,000	0,002000
10H00	5	3,01	1,661	0,001661
11H00	5	2,08	2,404	0,002404
12H00	5	3,05	1,639	0,001639
13H00	5	1,41	3,546	0,003546
14H00	5	3,57	1,401	0,001401
15H00	5	3,3	1,515	0,001515
16H00	5	2,58	1,938	0,001938
17H00	5	2,03	2,463	0,002463
Caudal medio			2,107	0,002107
Caudal mínimo			1,401	0,001401
Caudal máximo			3,546	0,003546

Realizado por: Perlaza José 2016

Tabla 25-2 Medición del caudal del día DOMINGO

HORA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)	CAUDAL (m³/s)
07H00	5	2,54	1,969	0,001969
08H00	5	2,89	1,730	0,001730
09H00	5	2,06	2,427	0,002427
10H00	5	2,65	1,887	0,001887
11H00	5	2,86	1,748	0,001748
12H00	5	2,48	2,016	0,002016
13H00	5	2,14	2,336	0,002336
14H00	5	2,87	1,742	0,001742
15H00	5	2,56	1,953	0,001953
16H00	5	2,01	2,488	0,002488
17H00	5	2,04	2,451	0,002451
Caudal medio			2,068	0,002068
Caudal mínimo			1,730	0,001730
Caudal máximo			2,488	0,002488

Realizado por: Perlaza José 2016

Tabla 26-2 Caudal medio semanal

DÍA	CAUDAL (L/s)	CAUDAL (m³/s)
Viernes	1,789	0,001789
Sábado	2,107	0,002107
Domingo	2,068	0,002068

Realizado por: Perlaza José 2016

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 Cálculo de la población futura

Tabla 27-3 Datos para el cálculo de la población futura

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Población actual	4964	P_a	hab
Tasa de crecimiento	3,7	r	%
Periodo de tiempo	20	n	años

Fuente: (Departamento De Catastro Ríoverde, 2015)

$$Pf = 4964 * \left(1 + \frac{3,7}{100}\right)^{20}$$

$$Pf = 10266,13 \text{ hab}$$

$$Pf = 10266 \text{ hab}$$

3.1.2 Cálculos del caudal

- Cálculo del caudal medio teórico

Tabla 28-3 Datos para el cálculo de caudales

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Población futura	10266	P_f	hab
*Dotación de agua potable	70	D_t	L/hab. día
*Coeficiente de Retorno	75	CR	%
Caudal mínimo	1,730	$Q_{min.horario}$	L/s
Caudal medio	2,107	$Q_{med.horario}$	L/s
Caudal máximo	3,546	$Q_{max.horario}$	L/s

Fuente: (*Normas Para Estudio Y Diseño De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores A 1000 Habitantes)

$$Q_{med.teo} = \frac{0,80 * 70 \text{ L/hab.día} * 10266 \text{ hab}}{86400}$$

$$Q_{med.teo} = 6,65 \text{ L/s}$$

- Cálculo del coeficiente de Mayorización

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{100}}}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{10266}{100}}}$$

$$M = 1,99$$

- Cálculo del caudal máximo teórico

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

$$Q_{max.teo} = 1,99 * 6,65 \text{ L/s}$$

$$Q_{max.teo} = 13,23 \text{ L/s}$$

- Cálculo del caudal de diseño

- Caudal medio de diseño

$$Q_{in} = 2 \text{ L/s}$$

Se toma el valor máximo cuando no existe estudio previo del parámetro Q_{in} .

$$Q_{med.d} = \frac{Q_{med.horario} + Q_{med.teo}}{2} + Q_{in}$$

$$Q_{med.d} = \frac{(2,107 + 6,65) \text{ L/s}}{2} + 2 \text{ L/s}$$

$$Q_{med.d} = 6,38 \text{ L/s}$$

- Caudal máximo de diseño

$$Q_{max.d} = \frac{Q_{max.horario} + Q_{max.teo}}{2} + Q_{in}$$

$$Q_{max.d} = \frac{(3,546 + 13,23) \text{ L/s}}{2} + 2 \text{ L/s}$$

$$Q_{max.d} = 10,388 \text{ L/s}$$

3.1.3 Dimensionamiento de un canal de entrada

- Cálculo del radio hidráulico

Los datos tomados de la Tabla 4-1 para un canal rectangular revestido son de 0,50 m de ancho del canal y 0,40 m de altura de agua en el canal.

$$RH = \frac{b * h}{b + 2h}$$

$$RH = \frac{(0,50 * 0,40)m^2}{0,50m + 2(0,40m)}$$

$$RH = 0,15m$$

- Cálculo de la velocidad media del canal

El coeficiente de Manning es 0,015 de hormigón tomada de la Tabla 29-3 y una pendiente de 0,02%, según la descripción de la Tabla 4-1

Tabla 29-3 Coeficiente de Manning para canales revestidos

Canales revestidos	N	1/n
Ladrillos de mortero de cemento	0,020	50,00
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015	66,67
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0,013	76,92
Ladrillos, paredes rugosas	0,015	66,67
Ladrillos, paredes bien construidas	0,013	76,92
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0,015	66,67
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0,013	76,92
Tablas bien cepilladas y firmemente fijadas	0,011	90,91
Membrana de plástico sumergida	0,027	37,04

Fuente:(Estructuras de Conducción del Agua, 2015)

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

$$v = \frac{1}{0,015} (0,15m)^{2/3} (0,0002)^{1/2}$$

$$v = 0,27 \text{ m/s}$$

- Cálculo del área de la sección transversal del canal

$$A = \frac{Q_{max.d}}{v}$$
$$A = \frac{0,010388 \text{ m}^3/\text{s}}{0,27 \text{ m/s}}$$
$$A = 0,038 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la altura máxima del agua en el canal

Para la dimisión de un canal abierto tenemos $h=b/2$, en tanto que, $b=2h$, entonces:

$$A = b * h$$
$$A = 2h * h$$
$$A = 2h^2$$
$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$
$$h = \sqrt{\frac{0,038 \text{ m}^2}{2}}$$
$$h = 0,14 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura total del canal

De la Tabla 5-1 tomamos el valor de 0,30 como factor de seguridad para el borde libre del canal.

$$H = h + hs$$
$$H = (0,14 + 0,30)m$$
$$H = 0,44 \text{ m}$$

3.1.4 Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual

- Cálculo del número de barras

$$N_B = \frac{b - S_p}{e + S_p}$$

$$N_B = \frac{0,50 - 0,02}{0,01 + 0,02}$$

$$N_B = 16$$

- Cálculo de longitud de las barra

$$LB = \frac{H}{\text{Sen}\theta}$$

$$LB = \frac{0,44 \text{ m}}{\text{Sen } 45}$$

$$LB = 0,62 \text{ m}$$

- Cálculo del nivel máximo de agua

$$N_{max.a} = \frac{Q_{max.d}}{v * b}$$

$$N_{max.a} = \frac{0,010388 \text{ m}^3/\text{s}}{0,5 \text{ m/s} * 0,50 \text{ m}}$$

$$N_{max.a} = 0,0416 \text{ m}$$

- Cálculo de longitud sumergida de la rejilla

$$L_{sum.r} = \frac{N_{max.a}}{\text{Sen}\theta}$$

$$L_{sum.r} = \frac{0,0416 \text{ m}}{\text{Sen}45}$$

$$L_{sum.r} = 0,0588 \text{ m}$$

- Cálculo de pérdida de carga en las rejillas

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{S_p} \right)^{3/2} \frac{v^2}{2g} \text{sen}\theta$$

$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,01 \text{ m}}{0,02 \text{ m}} \right)^{3/2} \frac{(0,5 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \text{sen}45$$

$$h_c = 0,0057 \text{ m} < 0,15 \text{ m admisibles*}$$

3.1.5 Relación DBO-DQO

Tabla 30-3 Tratabilidad del DBO y DQO

Vegetación	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Tiempo (días)
SIN TRATAMIENTO			
Sin vegetación	176	240	0
CON TRATAMIENTO			
Totora	70	91	7
Pasto Alemán	46	85	7

Realizado por: (Laboratorio De Análisis Técnico ESPOCH, 2015)

- Cálculo de Relación de Biodegradabilidad DBO/DQO

$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{176}{240}$$

$$\frac{DBO_5}{DQO} = 0,73$$

$DBO/DQO \leq 0,2$ Contaminantes de naturaleza no biodegradable

$DBO/DQO \geq 0,6$ Contaminantes de naturaleza biodegradable

- Cálculo de Índice de Biodegradabilidad

$$i_{BIO} = \frac{DQO}{DBO_5}$$

$$i_{BIO} = \frac{240}{176}$$

$$i_{BIO} = 1,36$$

$DQO/DBO \leq 1,5$ Materia orgánica muy degradable

$DQO/DBO = 2$ Materia orgánica moderadamente degradable

$DBO/DQO = 10$ Materia orgánica poco degradable

3.1.6 Dimensionamiento del humedal subsuperficial de flujo horizontal

- Cálculo de la constante aparente de la tasa de remoción de DBO

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

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

$$K_T = 1,57 \text{ días}^{-1}$$

- Cálculo del área superficial del humedal

$$A_{SH} = \frac{Q_{min.horario} \ln \frac{C_0}{C}}{K_T * h * N}$$

$$A_{SH} = \frac{149,47 \text{ m}^3/\text{día} \ln \left(\frac{176 \text{ mg/L}}{46 \text{ mg/L}} \right)}{1,57 \text{ días}^{-1} * 1 \text{ m} * 0,35}$$

$$A_{SH} = 364,99 \text{ m}^2$$

- Cálculo del área en la sección transversal del lecho

$$A_{ST} = \frac{Q_{min.horario}}{K_S * S}$$

$$A_{ST} = \frac{149,47 \text{ m}^3/\text{día}}{10000 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día} * 0,005}$$

$$A_{ST} = 2,99 \text{ m}^2$$

- Cálculo del ancho del humedal

$$L_H = 2F_H$$

$$A_{SH} = L_H * F_H$$

$$A_{SH} = 2F_H * F_H$$

$$F_H = \sqrt{\frac{A_{SH}}{2}}$$

$$F_H = \sqrt{\frac{364,99 \text{ m}^2}{2}}$$

$$F_H = 13,51 \text{ m}$$

- Cálculo de la longitud del humedal

$$L_H = \frac{A_{SH}}{F_H}$$

$$L_H = \frac{364,99 \text{ m}^2}{13,51 \text{ m}}$$

$$L_H = 27,02 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del humedal artificial

$$V_H = L_H * F_H * h$$

$$V_H = 27,02 \text{ m} * 13,51 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V_H = 364,99 \text{ m}^3$$

- Cálculo del tiempo de retención

$$T_{HR} = \frac{A_{SH} * h * N}{Q_{min.horario}}$$

$$T_{HR} = \frac{364,99 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} * 0,35}{149,47 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$T_{HR} = 0,85 \text{ días}$$

3.1.7 Porcentajes de remoción

Tabla 31-3 Datos para el cálculo de porcentajes de remoción

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO	A. CRUDA	A. TRATADA
*DBO5	mgO ₂ /L	5210-B	176	46
*DQO	mg/L	5220-C	240	85
**Aceites y Grasas	mg/L	EPA 418,1	32	11,2
**Detergentes	mg/L	5540-C	2,4	0,4
**Coliformes Totales	UFC/100mL	9221-C	10900	<2 (ausencia)
**Coliformes Fecales	UFC/100mL	9221-C	5900	<2 (ausencia)

Fuente: (*Laboratorio De Análisis Técnico ESPOCH, 2015. **Laboratorio De Servicios Ambientales (UNACH), 2015)

- Porcentaje de remoción DBO

$$\%Remoción = \frac{DBO \text{ a. tratada} * 100}{DBO \text{ a. cruda}}$$

$$\%Remoción = \frac{46 * 100}{176}$$

$$\%Remoción = 26,13\%$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - \%Remoción$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - 26,13\%$$

$$\%REMOVIDO = 73,87\%$$

- Porcentaje de remoción DQO

$$\%Re = \frac{DQO \text{ a. tratada} * 100}{DQO \text{ a. cruda}}$$

$$\%Re = \frac{85 * 100}{240}$$

$$\%Re = 35,42\%$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - \%Remoción$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - 35,42\%$$

$$\%REMOVIDO = 64,58\%$$

- Porcentaje de remoción Aceites y Grasas

$$\%Re = \frac{Aceites \text{ y Grasas a. tratada} * 100}{Aceites \text{ y Grasas a. cruda}}$$

$$\%Re = \frac{11,2 * 100}{32}$$

$$\%Re = 35\%$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - \%Remoción$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - 32\%$$

$$\%REMOVIDO = 65\%$$

- Porcentaje de remoción Detergentes

$$\%Re = \frac{Detergentes \text{ a. tratada} * 100}{Detergentes \text{ a. cruda}}$$

$$\%Re = \frac{0,4 * 100}{2,4}$$

$$\%Re = 16,67\%$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - \%Remoción$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - 16,67\%$$

$$\%REMOVIDO = 83,33\%$$

- Porcentaje de remoción Coliformes Totales

$$\%Re = \frac{\text{Coliformes Totales a. tratada} * 100}{\text{Coliformes Totales a. cruda}}$$

$$\%Re = \frac{< 2 * 100}{10900}$$

$$\%Re = 0,02\%$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - \%Remoción$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - 0,02\%$$

$$\%REMOVIDO = 99,98\%$$

- Porcentaje de remoción Coliformes Fecales

$$\%Re = \frac{\text{Coliformes Fecales a. tratada} * 100}{\text{Coliformes Fecales a. cruda}}$$

$$\%Re = \frac{< 2 * 100}{5900}$$

$$\%Re = 0,03\%$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - \%Remoción$$

$$\%REMOVIDO = 100\% - 0,03\%$$

$$\%REMOVIDO = 99,97\%$$

3.1.8 Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Para el diseño del FAFA se tomaron los criterios de diseño de la Tabla 16-1.

Existe una pérdida del 30% del caudal debido a la cantidad de lodos hidratados que se generan.

- Cálculo del volumen del filtro

$$V_f = Q * T_r$$

Datos:

$T_r = 12$ h - Tabla 16-1

$Q = 6,228$ m³/h

$$V_f = 6,228 \text{ m}^3/\text{h} * 12 \text{ h}$$

$$V_f = 74,74 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área horizontal del filtro

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

$$A_f = \frac{74,74 \text{ m}^3}{4 \text{ m}}$$

$$A_f = 18,64 \text{ m}^2 \text{ (Para cada unidad)}$$

- Cálculo de la longitud del filtro

$$L = \frac{A_f}{b}$$

$$L = \frac{18,64 \text{ m}^2}{4 \text{ m}}$$

$$L = 4,67 \text{ m} \approx 5 \text{ m (Por fines de construcción para cada unidad)}$$

- Cálculo de la altura total de la cámara

$$H_{Tf} = H_u + 0,30$$

$$H_{Tf} = 4 \text{ m} + 0,30$$

$$H_{Tf} = 4,30 \text{ m}$$

3.1.9 Dimensionamiento de un lecho de secado

Zona de lodo

- Contribución per cápita

$$57 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1}{10266 \text{ hab}} * \frac{551,23 \text{ m}^3}{1 \text{ día}} * \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 3,06 \text{ g}_{SS}/\text{hab. día}$$

- Carga en fusión a la contribución per cápita de sólidos suspendidos

$$C = \frac{Pf * \text{contribución per cápita}}{1000}$$

$$C = \frac{10266 \text{ hab} * 3,06 \text{ g}_{SS}/\text{hab. día}}{1000}$$

$$C = 31,41 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}$$

- Masa de los sólidos que conforman los sólidos

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 31,41) + (0,5 * 0,3 * 31,41)$$

$$M_{sd} = 10,21 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}$$

- Volumen diario de lodos digeridos

$$V_{DL} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left(\frac{\% \text{sólidos}}{100} \right)}$$

$$V_{DL} = \frac{10,21 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}}{1,04 \text{ kg}/L * \left(\frac{12}{100} \right)}$$

$$V_{DL} = 81,79 \text{ L}/\text{día}$$

- Volumen de lodos a extraerse del tanque

$$V_{LE} = \frac{V_{DL} * t_{DE}}{1000}$$

$$V_{LE} = \frac{81,79 \text{ L}/\text{día} * 31 \text{ días}}{1000}$$

$$V_{LE} = 2,54 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área del lecho de secado

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_{lecho}}$$

$$A_{LS} = \frac{2,54 \text{ m}^3}{0,3 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 8,45 \text{ m}^2$$

- Cálculo la longitud del lecho de secado

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{B}$$

$$L_{LS} = \frac{8,45 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$L_{LS} = 2,82 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del tanque para lodos

$$V_{TL} = L_{LS} * B * H_d$$

$$V_{TL} = 2,82 \text{ m} * 3 \text{ m} * 0,3 \text{ m}$$

$$V_{TL} = 6,12 \text{ m}^3$$

- Intervalo de tiempo para desalojar el lodo

$$T_{DL} = \frac{V_{TL}}{Q_{max.d}}$$

$$T_{DL} = \frac{6,12 \text{ m}^3}{0,010388 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$T_{DL} = 589,14 \text{ s} = 0,0068 \text{ días}$$

3.2 RESULTADOS

3.2.1 Resultados de población futura y caudales

Tabla 32-3 Resultados de la población futura y caudales

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Población Futura	P_f	10266	hab
Caudal mínimo	$Q_{min.horario}$	1,730	L/s
Caudal medio	$Q_{med.horario}$	2,107	L/s
Caudal máximo	$Q_{max.horario}$	3,546	L/s
Caudal medio teórico	$Q_{med.teo}$	6,65	L/s
Caudal máximo teórico	$Q_{max.teo}$	13,23	L/s
Caudal medio de diseño	$Q_{med.d}$	6,38	L/s
Caudal máximo de diseño	$Q_{max.d}$	10,388	L/s

Realizado por: Perlaza José 2016

3.2.2 Resultado de las dimensiones estructurales del sistema de tratamiento

Tabla 33-3 Resultados de las unidades del sistema de tratamiento

CANAL DE ENTRADA			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área de la sección transversal	A	0,038	m
Ancho	b	0,50	m
Altura máxima del agua	h	0,14	m
Altura total del canal	H	0,44	m
Radio hidráulico	RH	0,15	m
REJILLAS			

Número de barra	N_B	16	<i>unidades</i>
Longitud de las barras	L_B	0,62	<i>m</i>
Espesor de las barra	e	0,01	<i>m</i>
Separación entre barras	S_p	0,02	<i>m</i>
Pendiente de la rejilla	θ	45	<i>grados</i>
Longitud sumergida de la rejilla	$L_{sum.r}$	0,084	<i>m</i>
Pérdida de carga	h_c	0,0057	<i>m</i>
HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL			
Área superficial	A_{SH}	364,99	m^2
Sección transversal	A_{ST}	2,99	m^2
Ancho	F_H	13,51	<i>m</i>
Longitud	L_H	27,02	<i>m</i>
Profundidad	h	1	<i>m</i>
Pendiente	S	0,5	%
Volumen	V_H	365	m^3
FILTRACIÓN			
Volumen del filtro	V_f	74,74	m^3
Tiempo de retención	T_r	12	<i>h</i>
Área horizontal del filtro	A_f	18,64	m^2
Longitud del filtro	L	5	<i>m</i>
Altura total de la cámara	H_{Tf}	4,30	<i>m</i>
Profundidad útil del filtro	H_u	4	<i>m</i>
Ancho del filtro	B	4	<i>m</i>
LECHO DE SECADO			
Área	A_{LS}	8,45	m^2
Longitud	L_{LS}	2,82	<i>m</i>
Volumen del tanque	V_{TL}	6,12	m^3
Profundidad	H_d	0,30	<i>m</i>
Ancho	b_{LS}	3,00	<i>m</i>
Tiempo para desalojar el lodo	T_{DL}	0,0068	<i>días</i>

Realizado por: Perlaza José 2016

3.2.3 Porcentaje de Remoción

Tabla 34-3 Resultados del porcentaje removido

PARÁMETROS	PORCENTAJE REMOVIDO (%)
DBO ₅	73,87
DQO	64,58
Aceites y Grasas	65
Detergentes	83,33
Coliformes Totales	99,98
Coliformes Fecales	99,97

Realizado por: Perlaza José 2016

3.2.4 Cumplimiento de la norma

En la siguiente tabla se describe el cumplimiento de los parámetros fuera norma llevada a los valores límites permisibles por el TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.

Tabla 35-3 Verificación del cumplimiento de la norma

PARÁMETROS	A. INICIAL	A. FINAL	TULSMA	UNIDADES
DBO ₅	176	46	50	mgO ₂ /L
DQO	240	85	100	mg/L
Aceites y Grasas	32	11,2	30	mg/L
Detergentes	2,4	0,4	0,5	mg/L
Coliformes Totales	10900	<2 (ausencia)	Remoción > 99,9%	UFC/100mL
Coliformes Fecales	5900	<2 (ausencia)	Remoción > 99,9%	UFC/100mL

Realizado por: Perlaza José 2016

3.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

– Población Futura

El sistema de tratamiento está propuesto para una población futura 10266 habitantes en un periodo de 20 años, utilizando una tasa de crecimiento del 3,7%.

– Medición de caudales

La medición de caudales se la realizó en los días: Viernes, Sábado y Domingo los cuales fueron propuestos por el GAD Municipal de Rioverde, estas mediciones fueron tomados cada hora a partir de las 07H00 hasta las 17H00 con un total de 11 mediciones por día.

Para determinar el caudal de diseño se utilizó datos como la dotación de agua potable por cada habitante en un día, el coeficiente de retorno de agua potable utilizado y descargado a la tubería, así como la población futura teniendo como caudal medio de diseño 6,38 L/s y el caudal máximo de diseño de 10,388 L/s considerado a 20 años

– **Caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua cruda y tratada**

Respecto a los datos obtenidos mediante los análisis iniciales que se encontraron fuera de norma con relación al TULSMA tenemos los siguientes datos:

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅): 176 mg/L
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): 240 mg/L
- Aceites y Grasas: 32 mg/L
- Detergentes o Tensoactivos: 2,4 mg/L
- Coliformes Totales: 10900 UFC/100mL
- Coliformes Fecales: 5900 UFC/100mL

Luego del tratamiento realizado tenemos como resultado los siguientes porcentajes de remoción:

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅): 73,87%
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): 64,58%
- Aceites y Grasas: 65%
- Detergentes o Tensoactivos: 83,33%
- Coliformes Totales: 99,88%
- Coliformes Fecales: 99,87%

– **Dimensionamiento**

▪ **Canal de entrada**

Con el fin de controlar el tirante del agua y mantener una óptima superficie de contacto entre agua y rejillas utilizaremos una velocidad de aproximación de 0,27 m/s con dimensiones para el canal de 0,50 m de ancho y 0,44 m de altura de seguridad ideal para una canal rectangular.

- **Rejillas**

Las rejillas tendrán un total de 16 barras con una longitud de 0,62 m, cada barra tendrá un espesor de 0,01 m, una separación entre de barras de 0,02 m, con una pérdida de carga de 0,0057 m y una pendiente de 45°.

- **Humedal**

El humedal tiene un área total de 365 m² el cual para una mejor disposición se lo dividió en dos secciones las cuales sumaran una longitud total de 27,02 m con un ancho total de 13,51 m y una profundidad de 1 m teniendo una sección transversal de 2,99 m².

- **Filtros**

Los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente estarán conectados uno por cada sección de humedal dividido con dimensiones de 5 m de largo por 4 m de ancho con y una profundidad de 4 m constando de un área horizontal de filtro de 18,64 m².

- **Lecho de secado de lodos**

Se construirá con un área total de 8,45 m² teniendo una longitud de 2,82 m y 3 m de ancho con 0,30 de profundidad, así mismo se construirán dos de forma que cada lecho de secado recolecte lodos de un humedal y un filtro respectivamente.

3.4 PRESUPUESTO

Tabla 36-3 Presupuesto para el Sistema de Tratamiento de aguas residuales

Presupuesto					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad total	Costo	Valor total
SISTEMA DE TRATAMIENTO					
1	Replanteo y nivelación (con eq. de precisión)	m2	1390,8	0,98	1362,98
2	Desbroce para elementos estructurales	m3	780	2,5	1950
3	Sum. Trans. E Instalación de Tubería Corrugada unión z d=300mm	m	1,17	7,5	8,76
4	Sum. Trans. E Instalación de Tubería Corrugada unión z d=250mm	m	31,98	12	383,76
5	Sum. Trans. E Instalación de Tubería PVC 1 mpa. d=160mm	m	74	13	962
6	Sum. Trans. E Instalación de Tubería PVC 1 mpa. d=65mm	m	25	13	325
7	Válvula de HF tipo Apolo +2 U. Gibauld A d=250mm	U	3	550	1650
8	válvula de HF tipo Apolo +2 U. Gibauld A d=160mm	U	7	515	3605
9	Sum. Y coloc. Accesorios.	global	1	250	250
10	Descarga	U	1	180	180
CANAL DE ENTRADA					
11	Excavación en suelo sin clasificar para canal.	m3	0,58	2,45	1,42
12	Replanteo de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,72	110	79,2
13	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	0,57	160	91,2
14	Rejilla de acero lisa e=10mm, Pintura anticorrosiva	U	1	40	40
ARQUETAS					
15	Excavación en suelo sin clasificar	m3	1,16	2,45	2,842
16	Replanteo de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,5	110	55
17	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	2,3	160	368
18	Acero de refuerzo F y= 4200 Kg/cm2.	Kg	3,84	1,88	7,2192
19	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	25,3	2,08	52,624
HUMEDAL ARTIFICIAL					
20	Excavación en suelo sin clasificar	m3	165,77	2,45	406,14
21	Geomembrana e=1mm	m2	200	6,5	1300
22	Excavación de zanja para anclaje de geomembrana	m	25	2	50
23	Grava pedregosa - filtrante	m3	52	16	832
24	Grava Fina – filtrante	m3	52	14	728
25	Tierra – filtrante	m4	52	12	624
26	Vegetación emergente	U	1000	0,3	300
FAFA					
27	Limpieza y desbroce	m ²	20	0,9	18
28	Replanteo y nivelación	m ²	20	3,99	79,8
29	Excavación manual	m ³	16	8,1	129,6
30	Replanteo H.S. 140 Kg/cm2	m ²	3	90,11	270,33

31	Hormigón simple F`C=210 Kg/CM2	m ³	6	175,13	1050,78
32	Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	18	9,25	166,5
33	Encofrado con madera	m ²	60	7,55	453
34	Malla electro soldada 10x10x6mm	m ²	50	5,68	284
LECHO DE SECADO					
35	Excavación en suelo sin clasificar	m3	8	2,45	19,6
36	Replanto de H.S. f`c=180kg/cm2	m3	0,26	110	28,6
37	Hormigón Simple f`c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	5,02	160	803,2
38	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	55,9	2,08	116,272
				TOTAL	19.034,83
SON: DIECINUEVE MIL TREINTA Y CUATRO 83/100 USD.					

Realizado por: Perlaza José 2016

Fuente: Arq. J. Carlos Quisingo

CONCLUSIONES

- Se obtuvo mediante la determinación de las características físico-químicas y microbiológicas del agua residual los parámetros que se encuentran fuera de norma que deben ser tratados hasta cumplir lo establecido según la legislación ambiental ecuatoriana TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.
- Los contaminantes más importantes encontrados en el agua residual son de características físicas, químicas orgánicas y biológicas debido a las actividades cotidianas teniendo como parámetros que incumplen los siguientes: Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno, Detergentes, Aceites y Grasas y Coliformes Fecales y Totales.
- Con las pruebas de tratabilidad realizadas se requiere para el tratamiento el desbaste antes de ingresar al humedal artificial, índice de biodegradabilidad para la selección del humedal artificial como tratamiento biológico, concluyendo con la filtración en flujo ascendente.
- El diseño seleccionado del Sistema de Tratamiento de aguas residuales fue validado con los resultados de los parámetros utilizados en el diseño del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial, los valores determinados son: Demanda bioquímica de oxígeno 46 mg/L, Demanda química de oxígeno 86 mg/L, Detergentes 0,4 mg/L, Aceites y Grasas 11,2 mg/L y Coliformes tanto Fecales como Totales en ausencia.
- El costo estimado para la implementación y ejecución de proyecto es de 19.034,83 dólares que incluye excavación, nivelación, remoción de escombros, tuberías y accesorios, material de construcción, pinturas, válvulas, arquetas y todo lo relacionado a la construcción del Sistema de Tratamiento de aguas residuales. En cuanto a los planos, se detalló las dimensiones calculadas de cada uno de los equipos y la planta funcional en vista implantación, planta y corte.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda dejar que la vegetación utilizada (pasto ALEMAN) se desarrolle bien antes de introducir el agua residual. Luego de ser insertar la planta, el nivel del agua debe descender para que las raíces puedan extenderse hacia el fondo del lecho del humedal.
- Se debe realizar el control de los mosquitos en los humedales artificiales ya que puede significar un factor importante debido a que el nivel de molestias puede llegar a ser intolerante, además del alto índice de transmisión de enfermedades. Entre las estrategias recomendadas para el control de mosquitos se tiene: Aplicación de agentes de control químico (herbicidas), Difusión de oxígeno (con equipos de aireación) y Fumigación del agua en horas de la tarde.
- El Mantenimiento a Filtros periódico induciendo corrientes de agua ascendente es recomendable así como permitir la ventilación en los filtros para su buen funcionamiento, esto a pesar que las características del tipo de filtro utilizado sugieren un riesgo mínimo de taponamiento.
- La cantidad de lodos que no es recolectado en el humedal artificial se debe remover en el lecho de secado y así mediante el proceso de deshidratación los lodos se solidifican para luego poder ser utilizados como compostaje o fertilizantes de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CERRO, M.** Composición cualitativa de las aguas residuales
<http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON%20CUALITATIVA%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>
20141106
2. **DELGADILLO, Oscar et al.** *Serie Técnica para Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales* [en línea]. Bolivia ISBN, 2010. [Consulta: 3 septiembre 2015]. pp. 86-87 Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=1kO2J5aDljQC&pg=PA87&dq=como+medir+la+biodegradabilidad+de+aguas+residual+en+relacion+DBO+Y+DQO&hl=es&sa=X&ved=0CB0Q6AEwAGoVChMI6cPq1bPMYAIVgRseCh0x6gu_#v=onepage&q=como%20medir%20la%20biodegradabilidad%20de%20aguas%20residual%20en%20relacion%20DBO%20Y%20DQO&f=false
3. **METCALF & EDDY, INC.** 1995. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización. 3a. ed. Madrid-España. McGraw-Hill. v.2. pp. 507-577, 603-682, 865-992.
4. **MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS**
<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
20141107
5. **MARTÍN, I.** y otros. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población
<http://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>
20141107

6. **NTE INEN 2 169:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.*
7. **NTE INEN 2 176:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*
8. **TULSMA.** *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I*
9. **RAMALHO, R.** 2003. *Tratamiento de Aguas Residuales.* 2a ed. Madrid-España. Reverté. pp. 78
10. **ROJAS, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS/05.163 -OMS. Curso internacional: "Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales".* Lima-Perú, 2005. pp. 19.
11. **ROJAS, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS/05.168 -OMS. Curso internacional: "Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales".* Lima-Perú, 2005. pp. 787-799.
12. **RUSSELL, D.** 2012. *Tratamiento de Aguas residuales. Un enfoque práctico.* Traducido del inglés por Jordi Bonet Ruiz y José Costa López. Madrid-España. Reverté. Pp 501-6610.
13. **SIERRA, C.** 2011. *Calidad del agua. Evaluación y Diagnóstico.* Medellín-Colombia. Universidad de Medellín. pp. 50- 51, 53-64, 69-81

ANEXOS

Anexos A. Agua residual de la comunidad Rioverde antes y después de su tratamiento



Anexos B. Vegetación emergente usada en el humedal artificial



Anexos C. Caracterización inicial y final del agua residual para la comunidad Rioverde



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

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

Nº SE: 022 - 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. José Perlaza **INFORME Nº:** 022 - 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 022 - 15
DIRECCIÓN: Yaruquies **FECHA DE RECEPCIÓN:** 05 - 05 - 15
TELÉFONO: 0998587192 **FECHA DE INFORME:** 13 - 05 - 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 055 - 15 Rio Verde, Esmeraldas Agua

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

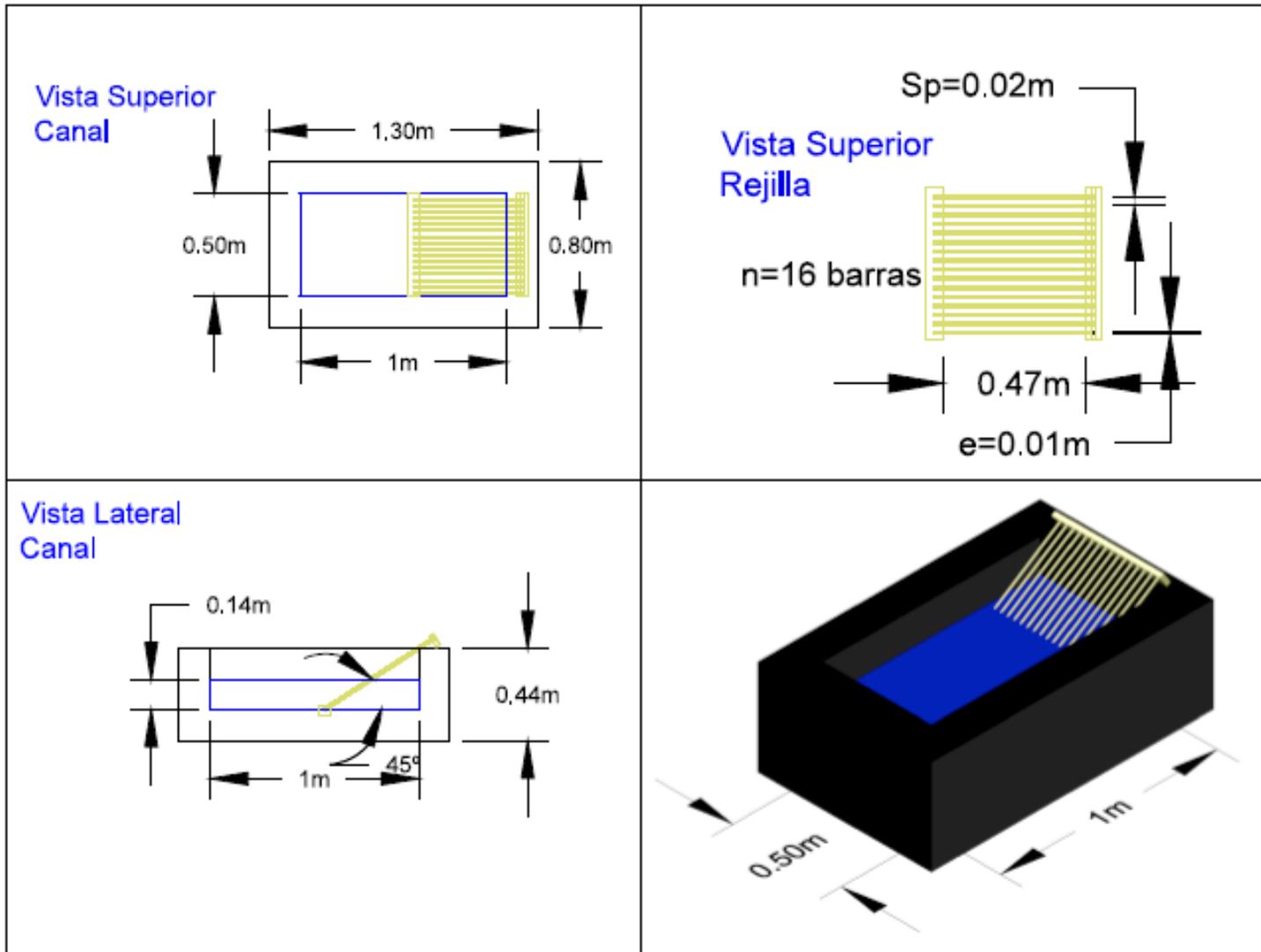
RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 055-15

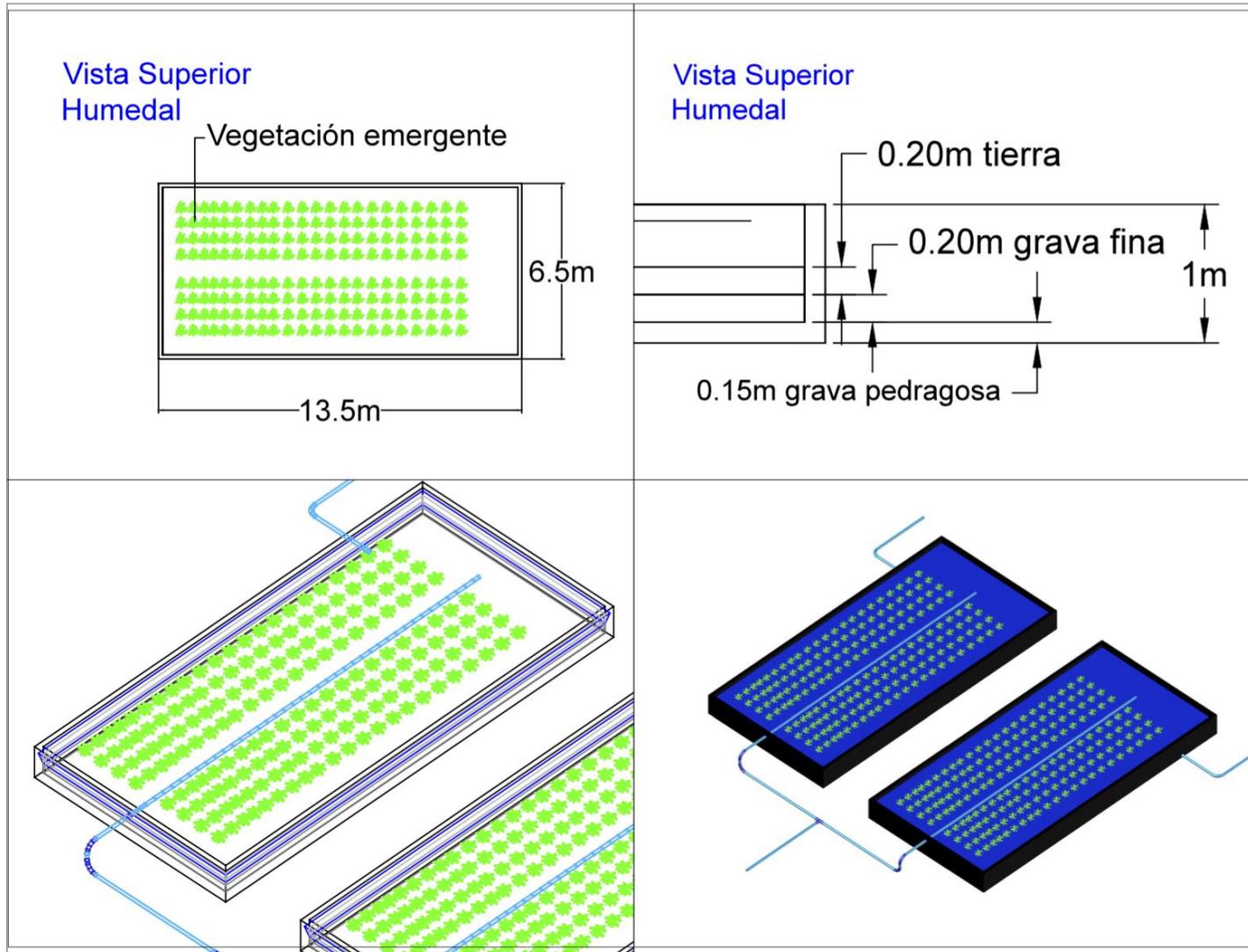
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,21	+/- 0,08	05 - 05 - 15
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	780	+/- 6 %	05 - 05 - 15
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	57	N/A	05 - 05 - 15
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	26	N/A	05 - 05 - 15
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	12,3	N/A	05 - 05 - 15
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	2,15	N/A	05 - 05 - 15
* Sólidos Sedimentables	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - F	1,1	N/A	05 - 05 - 15
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	32	N/A	05 - 05 - 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2,4	N/A	05 - 05 - 15
* Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2320 - B	46	N/A	05 - 05 - 15
* Cloro libre residual	mg Cl ₂ /l	STANDARD METHODS 4500 - Cl G mod	0,23	N/A	05 - 05 - 15
* DBO ₅	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	176	N/A	05 - 05 - 15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	240	+/- 10 %	05 - 05 - 15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	10900	N/A	05 - 05 - 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	5900	N/A	05 - 05 - 15

- 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.

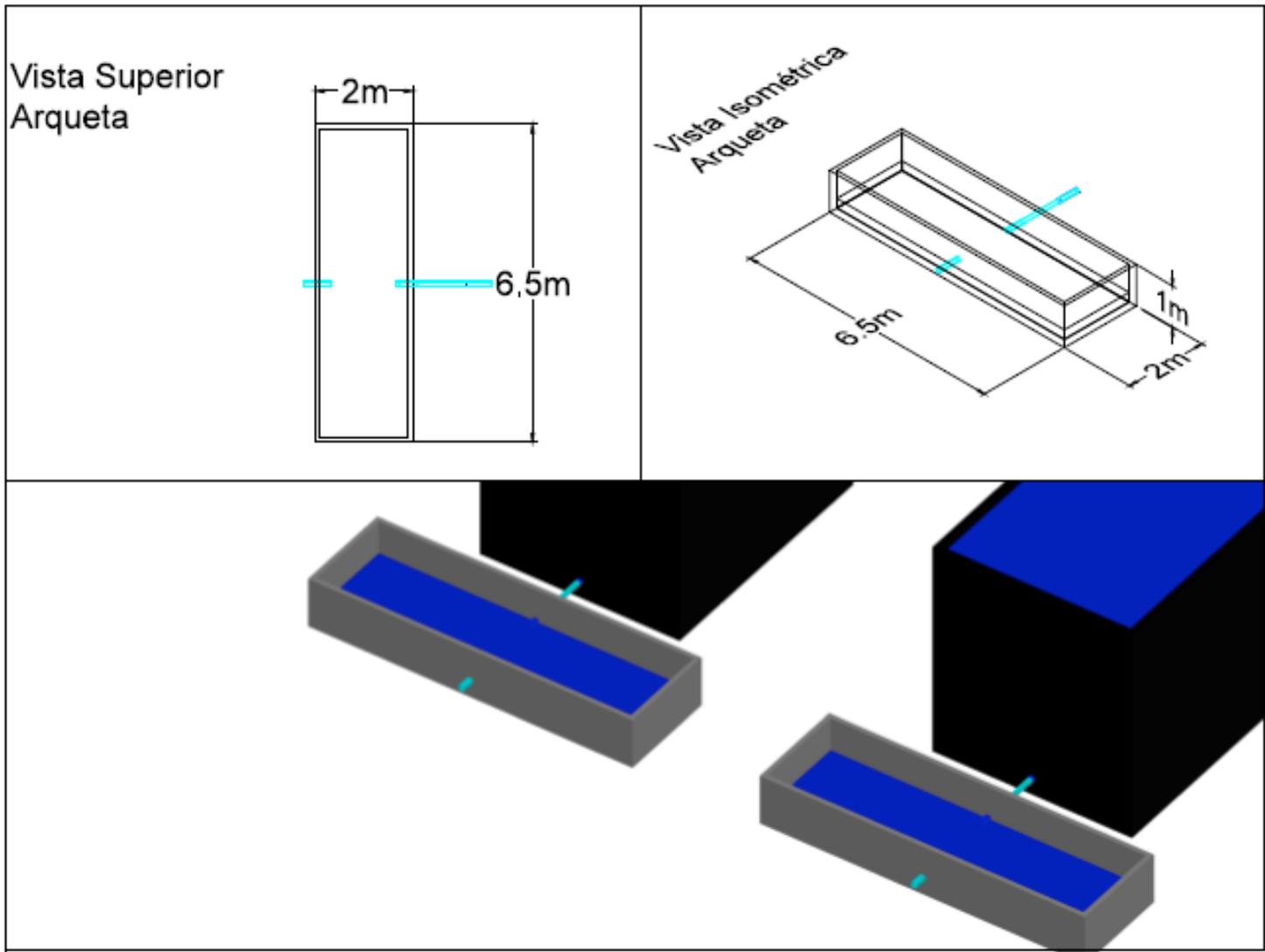
Anexos D. Planos del dimensionamiento del canal de entrada-rejillas



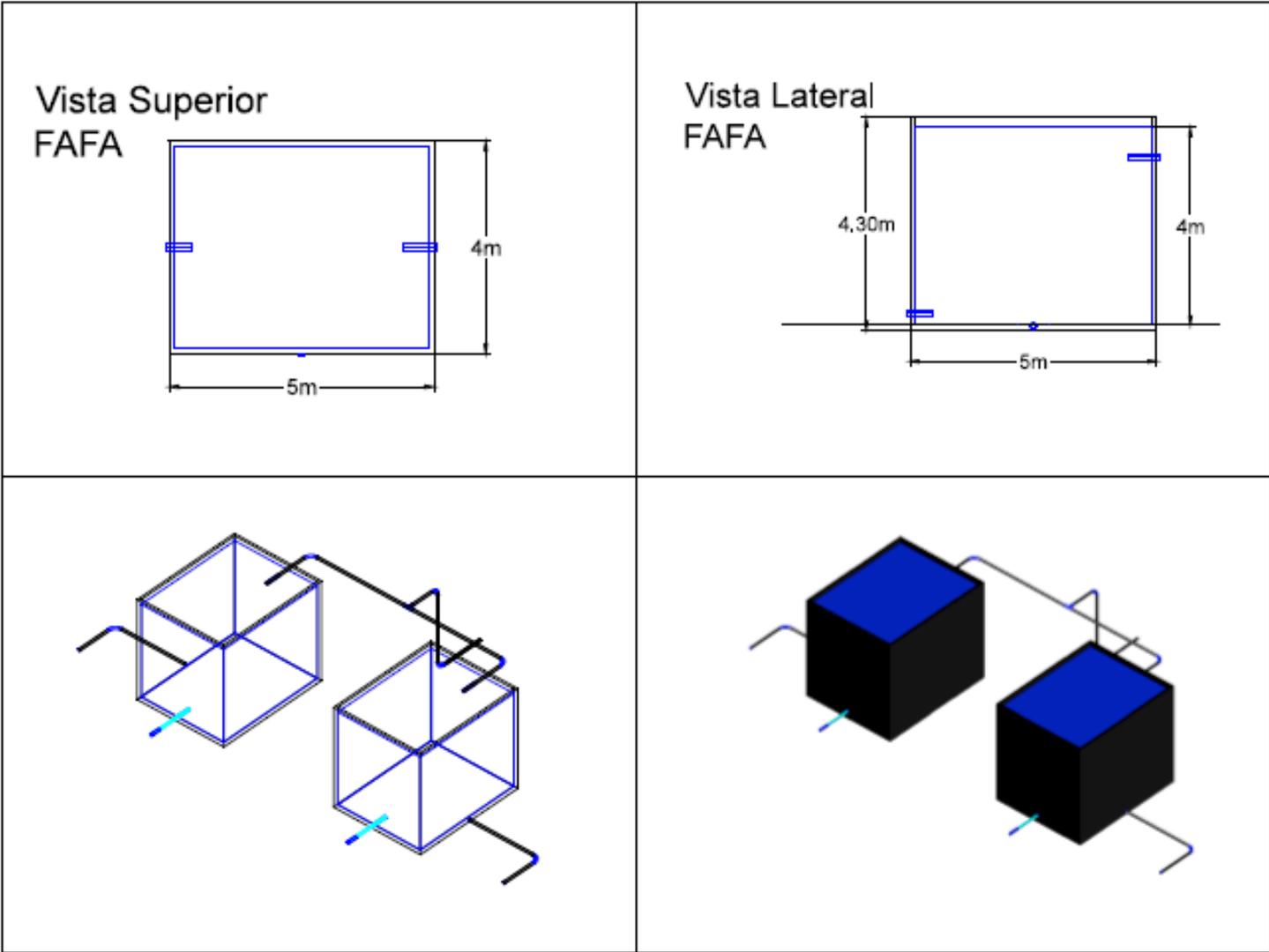
Anexos E. Planos de arquetas de distribución



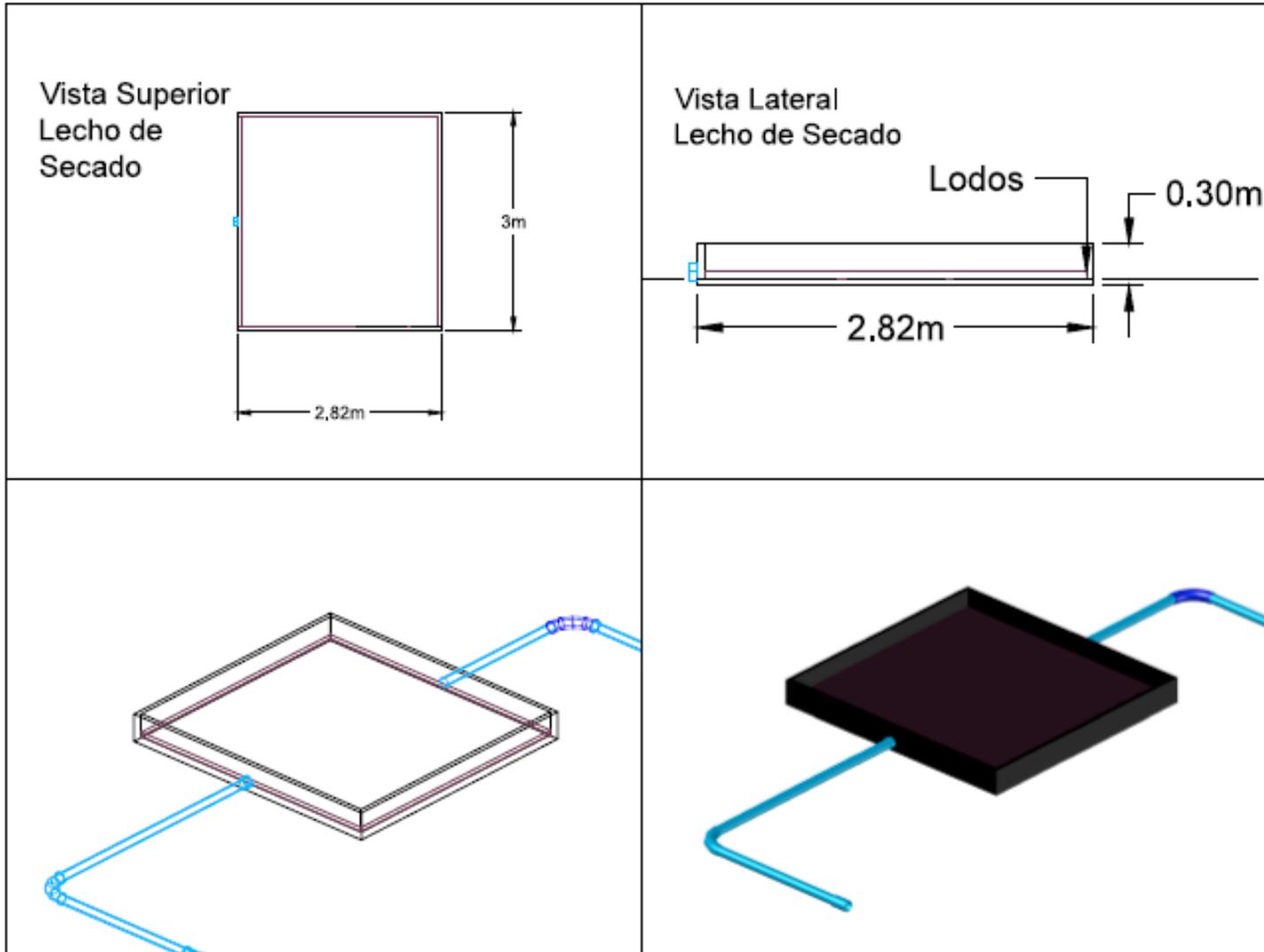
Anexos F. Planos del dimensionamiento del humedal artificial



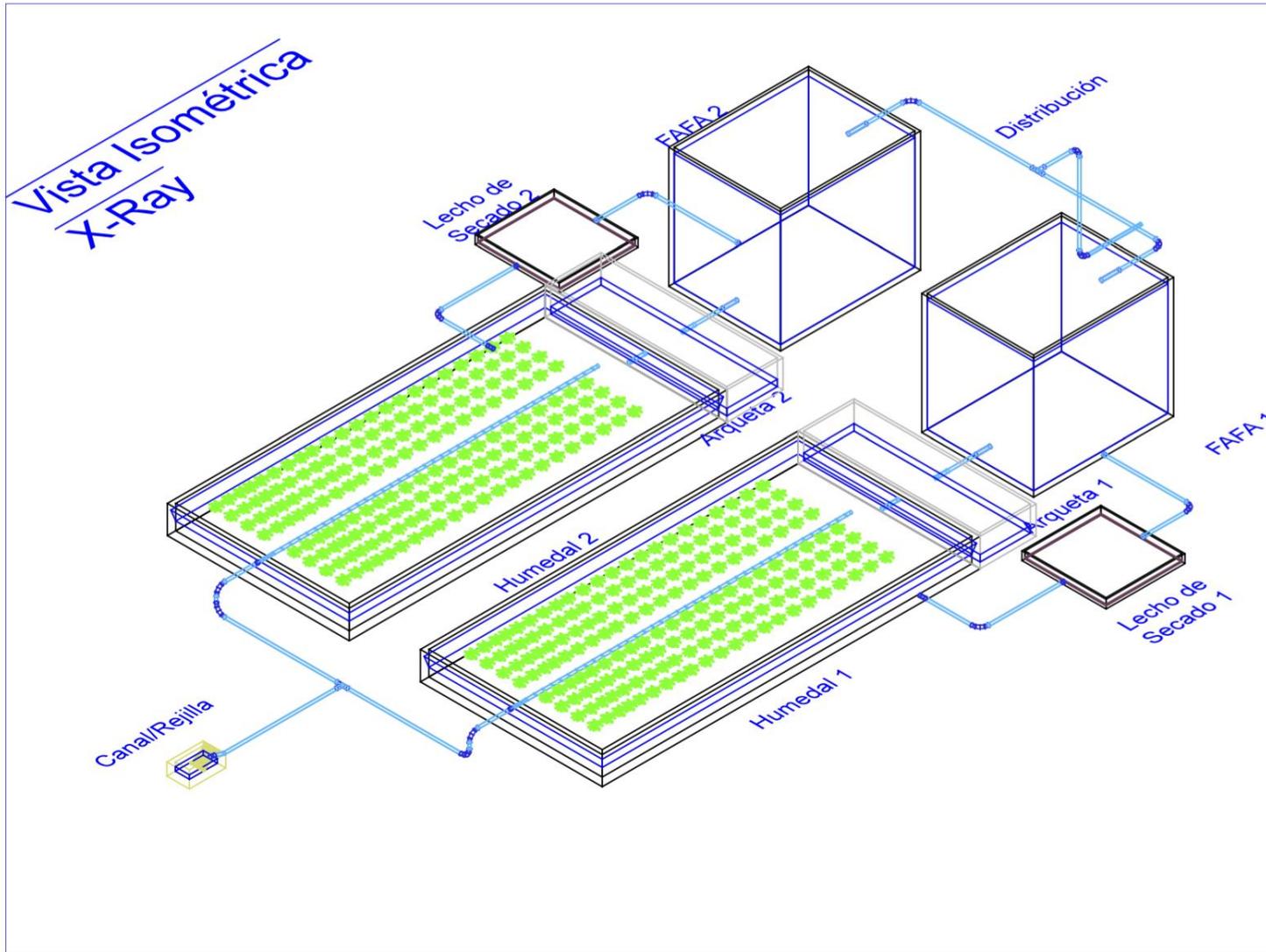
Anexos G. Planos del dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

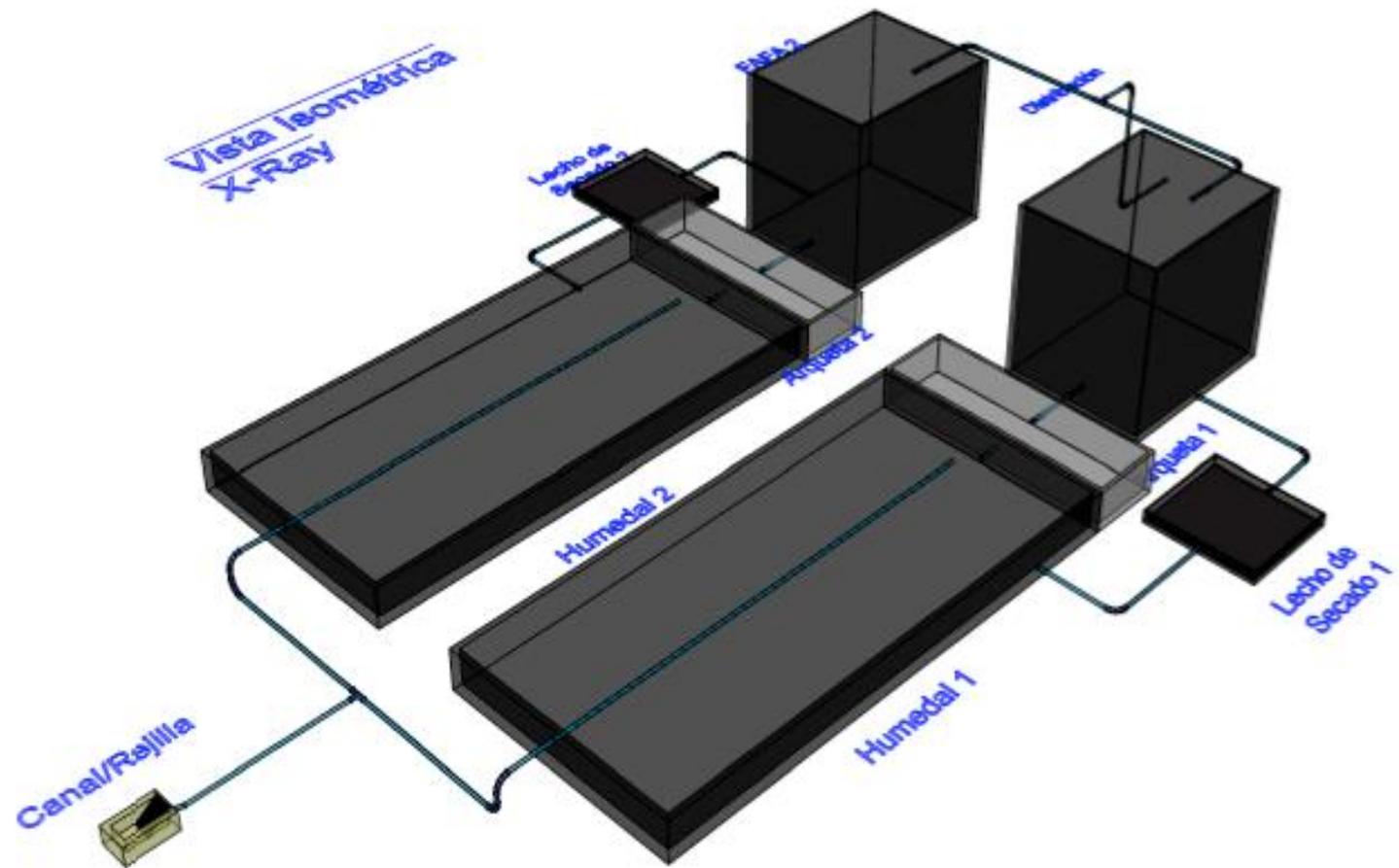


Anexos H. Planos del dimensionamiento del Lecho de secado

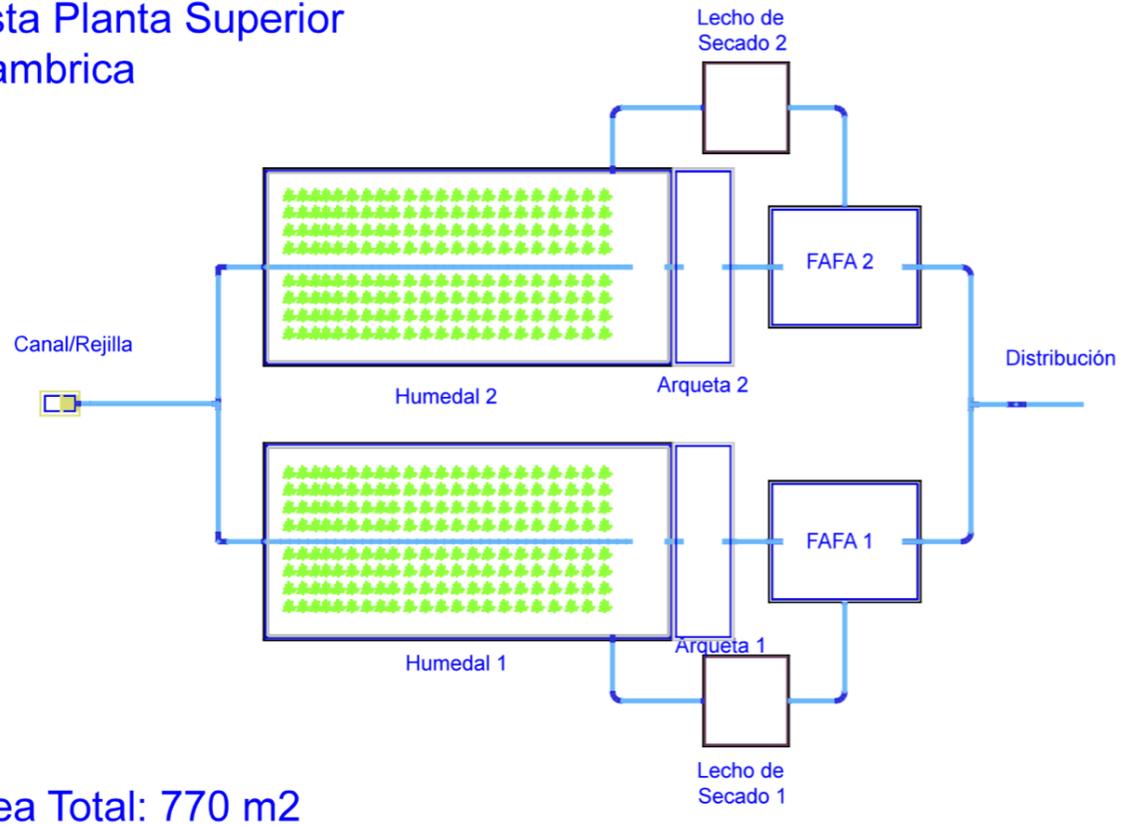


Anexos I. Planos del dimensionamiento del Sistema de Tratamiento para comunidad Rioverde

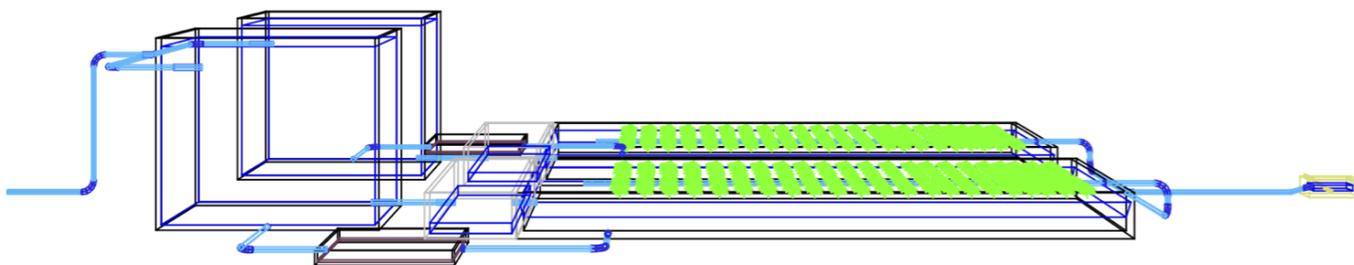




Vista Planta Superior Alambrica

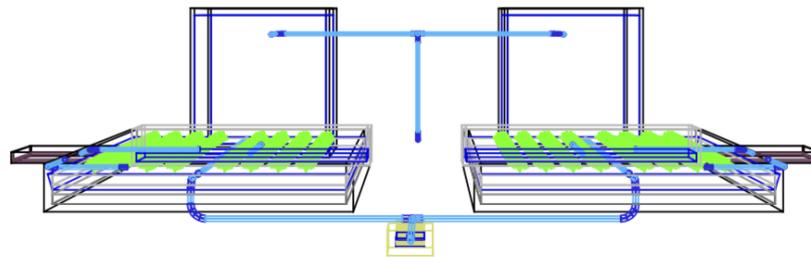


Vista Planta Lateral
Alambrica



Área Total: 770 m2

Vista Planta Frontal Alambrica



Área Total: 770 m²