



**Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL DBO EN HUMEDAL  
ARTIFICIAL PARA TRATAR AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE  
BAÑOS, LAVADORAS Y FREGADEROS”**

**Tutor**

**Msc. PABLO PAREDES**

**Autores**

**ALISTHER ANTONIO MOREIRA VELIZ**

**MIGUEL ISRAEL MACÍAS CHOEZ**

**Guayaquil, 2018**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados ALISTHER ANTONIO MOREIRA VELIZ Y MIGUEL ISRAEL MACIAS CHOEZ, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos nuestros derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador.

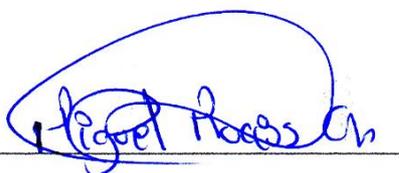
Este proyecto se ha ejecutado con el propósito del “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL DBO EN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA TRATAR AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE BAÑOS, LAVADORAS Y FREGADEROS ESCRIBIR EL TEMA”.

**Autores:**



ALISTHER ANTONIO MOREIRA VELIZ

C.I. 0926157280



MIGUEL ISRAEL MACIAS CHOEZ

C.I. 1315030518

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL DBO EN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA TRATAR AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE BAÑOS, LAVADORAS Y FREGADEROS ESCRIBIR EL TEMA, nombrado por el Consejo Directivo de la Facultad de Administración de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y analizado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL DBO EN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA TRATAR AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE BAÑOS, LAVADORAS Y FREGADEROS ESCRIBIR EL TEMA”, presentado por los estudiantes ALISTHER ANTONIO MORERIA VELIZ Y MIGUEL ISRAEL MACIAS CHOEZ como requisito previo a la aprobación de la investigación para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación

Firma:



MSC. ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

C.I. 0911828150



## **REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS**

**TÍTULO:**

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL DBO EN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA TRATAR AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE BAÑOS, LAVADORAS Y FREGADEROS ESCRIBIR EL TEMA.

**AUTOR/ES:**

ALISTHER ANTONIO MOREIRA VELIZ  
MIGUEL ISRAEL MACIAS CHOEZ

**REVISORES:**

Msc. Ing. Pablo Mario Paredes Ramos

**INSTITUCIÓN:**

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE  
ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL

**FACULTAD:**

Ingeniería Industria y Construcción.

**CARRERA:**

Ingeniería Civil

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2018

**N. DE PAGS:**

138

**ÁREAS TEMÁTICAS:**

Calidad de vida, habitantes.

**PALABRAS CLAVE:**

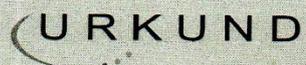
Aguas residuales, Humedales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Tratamiento de aguas.

**RESUMEN:**

El presente proyecto de investigación relacionado con el tema “**Estudio del Comportamiento del DBO en Humedal Artificial para tratar Agua Residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos**”, tiene como objetivo fundamental de evaluar la remoción del parámetro indicador DBO en un humedal artificial. Para cumplir con el objetivo se inicia con la parte teórica, tomando en cuenta los conceptos emitidos por varios autores sobre el tratamiento de aguas residuales provenientes de baños, lavadoras, fregaderos y humedales artificiales, detallando los tipos, elementos, ventajas, parámetros, explicando sobre tipos de

humedales, componentes, mecanismos de remoción, y diseño. Posteriormente, se describe el sistema de tratamiento existente previo a mejoras, en la implementación de mejoras se realiza el cambio del lecho, estructura pintada, entre otros, haciendo pruebas de laboratorio para la determinar DBO, detallando el tipo de muestras, rango de trabajo, métodos, manual de calidad (PG-01), inferencias (sustancias tóxicas), principios (cinco días), medidas de seguridad, equipos, materiales, reactivos, operaciones previas, procedimiento, aplicación de fórmulas, reporte de resultados, precisión, y registros. En los resultados se conoce la variación de altura de lechos de arena y la influencia del caudal de entrada, aplicando el parámetro de DBO5, realizando calado en planta piloto de 40 cm, 55 cm, y 70 cm, es así que la variación de altura tuvo una eficiencia del humedal de 87,2%, 78,48%, y 79%, respectivamente. Al utilizar el sistema de tratamiento de agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos mediante humedales artificiales resulta beneficioso, puesto, que elimina los componentes o sustancias tóxicas, es así que puede ser reutilizado para riego de áreas verdes, lavado de autos, excepto para consumo.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTORES/ES: Alisther Antonio Moreira Veliz Miguel Israel Macías Choez	Teléfono: 0967869471 0993710976	E-mail: <a href="mailto:anlimor_93@hotmail.com">anlimor_93@hotmail.com</a> <a href="mailto:miguelim_1793@hotmail.com">miguelim_1793@hotmail.com</a>
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MSC. Yuly Herrera Valencia, DECANA Teléfono: 2596500 EXT. 241 DECANATO E-mail: <a href="mailto:yherrerav@ulvr.edu.ec">yherrerav@ulvr.edu.ec</a>	



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TESIS HUMEDALES ARTIFICIALES FINAL 06-11-2017.docx  
(D32232180)  
**Submitted:** 11/9/2017 2:16:00 AM  
**Submitted By:** pparedesr@ulvr.edu.ec  
**Significance:** 1 %

### Sources included in the report:

TESIS-FINAL-ROBERT.docx (D14830014)  
TESIS LISTA .docx (D10113198)  
141216 TESIS-(WILLAM VILLARREAL ROSALES) Rev D.docx (D12735754)  
<http://agua-ecuador.blogspot.com/>

### Instances where selected sources appear:

7

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "D. Paredes".

## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme alcanzar y culminar esta meta propuesta en mi vida, por darme sabiduría para comprender cada uno de los conocimientos enseñados y poder irlos aplicando en la vida profesional y civil, por guiarme día a día por el camino correcto siempre dentro del marco legal.

A mis padres, Lider Antonio Moreira Macías y Cecilia Alexandra Veliz Paredes por sus consejos, sus reglas, sus motivaciones y apoyo constante e incondicional ya que son ustedes quienes me mostraron el camino hacia la superación, son ustedes los principales promotores de impulsarme a lograr mis metas, gracias por haber formado la persona que soy en la actualidad.

A mis hermanos Harly Alexander Moreira Veliz, por la ayuda mostrada cada vez que la necesite, por siempre estar presentes, por compartir alegrías y tropiezos de los cuales salimos airosos triunfadores.

A mis amigos, que de una u otra forma han sido parte del camino recorrido a esta instancia de vida.

A mi tutor Pablo Mario Paredes Ramos por brindarme su colaboración y orientación en este proceso. Que sin haberlo tenido como catedrático en este camino de formación académica para ser profesional tomó en arduo trabajo de guiarme y transmitirme sus conocimientos profesionales obtenido por su preparación y experiencia que fueron fundamentales para culminar mi preparación y alcanzar mi profesión.

**Alisther Antonio Moreira Veliz.**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, a él por permitirme, por darme fuerzas y mucha sabiduría para poder alcanzar y culminar una meta más en mi vida de muchas que tengo por alcanzar, por darme la oportunidad de ser alguien en la vida, por darme la paciencia y la inteligencia de darle soluciones a pequeños tropiezos en el día a día como estudiante y ahora como un profesional, por guiarme día a día por el buen camino por ser una persona transparente.

A mis padres, Elfry Héctor Macias Quimis y Elise Yolanda Choez Pilligua; por sus consejos, por sus experiencias, por sus conocimientos de lo que es la vida, sus motivaciones y sobre todo su apoyo constante e incondicional día a día ya que gracias a ellos soy el presente y futuro de lo que quiero ser, ellos me enseñan lo malo y lo bueno de la vida, son quienes me mostraron el camino hacia la superación y también a ser por lo que muchos luchan, son ustedes la razón principal por los cuales día a día doy lo mejor de mí y poder alcanzar muchas metas, gracias por tanto, GRACIAS.

A mi hermana Diana Carolina Macias Choez, por siempre estar hay, por siempre estar pendiente de mí, por compartir conmigo, GRACIAS.

A mi familia, tías, tíos, primos y primas que me han brindado todo su apoyo incondicional con cada cosa, con cada favor que necesite.

A mis amigos, que de cierta forma han sido parte del camino recorrido a esta instancia de vida, por sus consejos, por las experiencias, por lo vivido en toda esta etapa de formación profesional.

A mi tutor Pablo Mario Paredes Ramos por brindarme su colaboración y orientación en este proceso. Que sin haberlo tenido como catedrático en este camino de formación académica para

ser profesional tomó en arduo trabajo de guiarme y transmitirme sus conocimientos profesionales obtenido por su preparación y experiencia que fueron fundamentales para culminar mi preparación y alcanzar mi profesión.

**Miguel Israel Macias Choez.**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la resistencia, inteligencia y sabiduría en esta larga formación profesional.

A mi familia, por su ayuda y apoyo incondicional.

A mi tutor por su guía y enseñanza.

A todos mis catedráticos que transmitieron sus conocimientos para mi preparación

Profesional.

**Alisther Antonio Moreira Veliz**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la inteligencia, la sabiduría, por guiarme por el buen camino, por la oportunidad de permitirme ser lo que quiero ser.

A mis Padres que son la razón principal de superarme día a día.

A mi hermana por su apoyo incondicional y por compartir conmigo.

A mi familia, por su ayuda y apoyo incondicional.

A mi tutor por su guía y enseñanza.

A todos mis catedráticos que transmitieron sus conocimientos para mi preparación profesional.

**Miguel Israel Macias Choez.**

## ÍNDICE DE GENERAL

	<b>Pag.</b>
<b>ÍNDICE DE GENERAL</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xviii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xx</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
<b>1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1 <b>Análisis de la investigación</b> .....	<b>2</b>
1.2 <b>Título</b> .....	<b>2</b>
1.3 <b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>2</b>
1.4 <b>Formulación del problema</b> .....	<b>3</b>
1.5 <b>Sistematización del problema</b> .....	<b>3</b>
1.6 <b>Objetivos de la investigación</b> .....	<b>3</b>
1.6.1 <b>Objetivo general.</b> .....	<b>3</b>
1.6.2 <b>Objetivos específicos.</b> .....	<b>3</b>
1.7 <b>Justificación de la investigación</b> .....	<b>4</b>
1.8 <b>Delimitación de la investigación</b> .....	<b>5</b>
1.9 <b>Hipótesis de la investigación</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1 <b>Tratamiento de aguas residuales domésticas</b> .....	<b>6</b>
2.1.1 <b>Definición.</b> .....	<b>6</b>
2.1.2 <b>Tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas.</b> .....	<b>8</b>
2.1.2.1 <i>Tratamiento primario.</i> .....	<b>8</b>
2.1.2.2 <i>Tratamiento secundario.</i> .....	<b>10</b>

<b>2.1.3</b>	<b>Elementos de tratamiento de aguas residuales domésticas.</b>	<b>11</b>
2.1.3.1	<i>Rejillas.</i>	12
2.1.3.2	<i>Tamices.</i>	13
2.1.3.3	<i>Microfiltros.</i>	14
2.1.3.4	<i>Desarenadores.</i>	15
2.1.3.5	<i>Tanques.</i>	17
2.1.3.6	<i>Biodiscos.</i>	19
2.1.3.7	<i>Otros elementos.</i>	20
<b>2.1.4</b>	<b>Ventajas.</b>	<b>23</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Parámetros para el tratamiento de aguas residuales domésticas.</b>	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Humedales artificiales.</b>	<b>32</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Definición.</b>	<b>32</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Tipos de humedales artificiales.</b>	<b>33</b>
2.2.2.1	<i>Humedal artificial de flujo superficial.</i>	33
2.2.2.2	<i>Humedal artificial de flujo vertical.</i>	34
2.2.2.3	<i>Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.</i>	39
2.2.2.4	<i>Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.</i>	40
<b>2.2.3</b>	<b>Componentes.</b>	<b>41</b>
2.2.3.1	<i>Material granular.</i>	42
2.2.3.2	<i>Vegetación.</i>	44
2.2.3.3	<i>Microorganismos.</i>	47
2.2.3.4	<i>Agua a tratar.</i>	48
2.2.3.5	<i>Otros componentes.</i>	49
<b>2.2.4</b>	<b>Mecanismos de remoción.</b>	<b>51</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Ventajas.</b>	<b>53</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Diseño del humedal artificial.</b>	<b>54</b>
<b>2.3</b>	<b>Marco teórico referencial</b>	<b>58</b>

<b>2.4</b>	<b>Marco legal.....</b>	<b>59</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Aspectos legales. ....</b>	<b>59</b>
<b>2.5</b>	<b>Marco conceptual .....</b>	<b>62</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Definición de términos .....</b>	<b>62</b>
	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>65</b>
	<b>3. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>65</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipo de investigación.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2</b>	<b>Enfoque de la investigación .....</b>	<b>65</b>
<b>3.3</b>	<b>Sistema de tratamiento actual.....</b>	<b>66</b>
<b>3.4</b>	<b>Implementación de mejoras en el sistema de tratamiento.....</b>	<b>66</b>
<b>3.5</b>	<b>Proceso de pruebas de laboratorio para la determinación de la DBO.....</b>	<b>68</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Alcance y aplicación.....</b>	<b>68</b>
3.5.1.1	<i>Tipo de muestras.....</i>	<i>68</i>
3.5.1.2	<i>Rango de trabajo. ....</i>	<i>69</i>
<b>3.5.2</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>69</b>
3.5.2.1	<i>Método de Referencia. ....</i>	<i>69</i>
3.5.2.2	<i>Documentos utilizados conjuntamente. ....</i>	<i>69</i>
<b>3.5.3</b>	<b>Interferencias.....</b>	<b>69</b>
<b>3.5.4</b>	<b>General.....</b>	<b>69</b>
3.5.4.1	<i>Definiciones.....</i>	<i>69</i>
3.5.4.2	<i>Principio del método. ....</i>	<i>71</i>
<b>3.5.5</b>	<b>Medidas de seguridad.....</b>	<b>71</b>
3.5.5.1	<i>Primeros auxilios.....</i>	<i>71</i>
<b>3.5.6</b>	<b>Equipos y materiales.....</b>	<b>72</b>
3.5.6.1	<i>Equipos.....</i>	<i>72</i>
3.5.6.2	<i>Materiales.....</i>	<i>72</i>
<b>3.5.7</b>	<b>Reactivos. ....</b>	<b>73</b>
<b>3.5.8</b>	<b>Operaciones previas.....</b>	<b>76</b>

3.5.8.1	<i>Limpieza del material de vidrio.</i>	76
3.5.8.2	<i>Identificación, manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de las muestras.</i>	76
3.5.8.3	<i>Criterios de aceptación de las muestras.</i>	77
3.5.8.4	<i>Control de condiciones ambientales.</i>	78
3.5.8.5	<i>Preparación de los equipos.</i>	78
<b>3.5.9</b>	<b>Procedimiento.</b>	<b>79</b>
3.5.9.1	<i>Técnica de dilución.</i>	79
3.5.9.2	<i>Diluciones preparadas directamente en las botellas.</i>	81
3.5.9.3	<i>QC 1: Blanco del agua de dilución (Blanco -1).</i>	81
3.5.9.4	<i>QC 2: Blanco inoculado (Blanco -2).</i>	82
3.5.9.5	<i>QC 3: Control de la semilla (Blanco-3).</i>	82
3.5.9.6	<i>QC 4: Solución de Glucosa + Acido Glutámico (Blanco-4).</i>	82
3.5.9.7	<i>QC 5: Duplicado de la Muestra.</i>	82
3.5.9.8	<i>Inoculación.</i>	83
3.5.9.9	<i>Determinación del OD inicial.</i>	83
3.5.9.10	<i>Incubación.</i>	83
3.5.9.11	<i>Determinación del OD final.</i>	84
<b>3.5.10</b>	<b>Cálculos.</b>	<b>84</b>
3.5.10.1	<i>Cálculos de la DBO5.</i>	84
<b>3.5.11</b>	<b>Reporte de resultados.</b>	<b>85</b>
3.5.11.1	<i>Toma de datos.</i>	85
3.5.11.2	<i>Criterios para reporte de Resultados.</i>	85
3.5.11.3	<i>Cálculo de incertidumbre.</i>	85
3.5.11.4	<i>Criterios de aceptación y rechazo de los resultados.</i>	85
<b>3.5.12</b>	<b>Precisión y exactitud.</b>	<b>86</b>
3.5.12.1	<i>Batch o lote de análisis.</i>	86

3.5.12.2	<i>QC 1: Blanco del agua de dilución (Blanco 1).</i>	86
3.5.12.3	<i>QC 2: Blanco inoculado/agua de dilución sembrada (Blanco 2).</i>	86
3.5.12.4	<i>QC 3: Control de la semilla.</i>	86
3.5.12.5	<i>QC 4: Control de la Veracidad (Patrón).</i>	86
3.5.12.6	<i>QC 5: Control de precisión (duplicado).</i>	88
<b>3.5.13</b>	<b>Anexos.</b>	<b>88</b>
<b>3.5.14</b>	<b>Registros.</b>	<b>88</b>
3.5.14.1	<i>Proceso de pruebas en la entrada de aguas residuales doméstica.</i>	88
3.5.14.2	<i>Proceso de pruebas en la salida de agua residual doméstica.</i>	90
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>91</b>
<b>4.</b>	<b>INFORME FINAL</b>	<b>91</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis de DBO5 admisibles</b>	<b>91</b>
<b>4.2</b>	<b>Análisis de los resultados de la influencia del caudal de entrada</b>	<b>94</b>
4.2.1	<b>Calado en planta piloto (40cm).</b>	<b>95</b>
4.2.2	<b>Calado en planta piloto (55cm).</b>	<b>101</b>
4.2.3	<b>Calado en planta piloto (70cm).</b>	<b>108</b>
<b>4.3</b>	<b>Análisis de la influencia de la configuración</b>	<b>114</b>
<b>4.4</b>	<b>Análisis de fórmulas teóricas</b>	<b>116</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>118</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>119</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla No. 1</b> Tratamiento primario .....	9
<b>Tabla No. 2</b> Tratamiento secundario .....	11
<b>Tabla No. 3</b> Tipos de desarenadores .....	17
<b>Tabla No. 4</b> Tipos de tanques.....	18
<b>Tabla No. 5</b> Tipos de lagunaje .....	21
<b>Tabla No. 6</b> Tipos de humedales.....	22
<b>Tabla No. 7</b> Caracterización de aguas residuales domésticas. ....	24
<b>Tabla No. 8</b> Caracterización de aguas residuales domésticas. ....	26
<b>Tabla No. 9</b> Niveles de Turbidez de aguas residuales domésticas.....	27
<b>Tabla No. 10</b> Caracterización de DBO en aguas residuales domésticas por origen. ....	27
<b>Tabla No. 11</b> Caracterización de SST en aguas residuales domésticas por origen.....	31
<b>Tabla No. 12</b> Plantas emergentes para humedales artificiales .....	46
<b>Tabla No. 13</b> Equipos.....	72
<b>Tabla No. 14</b> Procedimiento .....	79
<b>Tabla No. 15</b> Diluciones de DBO <sub>5</sub> .....	80
<b>Tabla No. 16</b> Registros.....	88
<b>Tabla No. 17</b> Parte de la tabla 9 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria: Límite de descarga al sistema de alcantarillado público.....	92
<b>Tabla No. 18</b> Parte de la tabla 10 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria: Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce. ....	94
<b>Tabla No. 19</b> Datos preliminares calado 40cm .....	95
<b>Tabla No. 20</b> Características de material granular .....	96
<b>Tabla No. 21</b> Resultados de cálculo calado 40cm .....	101
<b>Tabla No. 22</b> Datos preliminares calado 55 cm .....	101
<b>Tabla No. 23</b> Características de material granular .....	102
<b>Tabla No. 24</b> Resultados de cálculo calado 55 cm .....	108
<b>Tabla No. 25</b> Resultados de cálculo calado 70 cm .....	108
<b>Tabla No. 26</b> Características de material granular .....	109
<b>Tabla No. 27</b> Resultados de cálculo calado 70 cm .....	114
<b>Tabla No. 28</b> Variación de altura de lechos de arena.....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura No. 1</b> Tratamiento de aguas residuales domésticas. ....	7
<b>Figura No. 2</b> Tratamiento primario. ....	8
<b>Figura No. 3</b> Tratamiento secundario. ....	10
<b>Figura No. 4</b> Rejillas. ....	13
<b>Figura No. 5</b> Tamices. ....	14
<b>Figura No. 6</b> Microfiltros. ....	15
<b>Figura No. 7</b> Desarenador. ....	16
<b>Figura No. 8</b> Tanques de sedimentación. ....	18
<b>Figura No. 9</b> Biodiscos. ....	19
<b>Figura No. 10</b> Estanques de depuración. ....	20
<b>Figura No. 11</b> Lagunaje. ....	21
<b>Figura No. 12</b> Ventajas del tratamiento de aguas residuales domésticas. ....	23
<b>Figura No. 13</b> Caracterización aguas residuales domésticas. ....	25
<b>Figura No. 14</b> Turbiedad en aguas residuales domésticas. ....	26
<b>Figura No. 15</b> DBO en aguas residuales domésticas. ....	28
<b>Figura No. 16</b> Proceso para determinar. ....	29
<b>Figura No. 17</b> Analizador de DBO. ....	30
<b>Figura No. 18</b> SST en aguas residuales domésticas. ....	31
<b>Figura No. 19</b> Humedales Artificiales. ....	32
<b>Figura No. 20</b> Humedal de flujo superficial. ....	34
<b>Figura No. 21</b> Humedales de flujo vertical. ....	36
<b>Figura No. 22</b> Sistema de vertido lineal. ....	37
<b>Figura No. 23</b> Sistema de vertido lineal. ....	37
<b>Figura No. 24</b> Humedal de flujo subsuperficial horizontal. ....	40
<b>Figura No. 25</b> Humedal de flujo subsuperficial vertical. ....	41
<b>Figura No. 26</b> Material granular (rocas, suelo, sustrato) ....	42
<b>Figura No. 27</b> Material granular (arena) ....	43
<b>Figura No. 28</b> Planta emergente. ....	44
<b>Figura No. 29</b> Microorganismos. ....	48
<b>Figura No. 30</b> Agua a tratar. ....	49

<b>Figura No. 31</b> Estructura de entrada y salida.....	50
<b>Figura No. 32</b> Ventajas del sistema de humedales artificiales. ....	53
<b>Figura No. 33</b> Criterios de diseño-humedales artificiales.....	55
<b>Figura No. 34</b> Sistema de tratamiento existente previo a las mejoras .....	66
<b>Figura No. 35</b> Mejoras del sistema de tratamiento (1) .....	67
<b>Figura No. 36</b> Mejoras del sistema de tratamiento (2) .....	68
<b>Figura No. 37</b> Mejoras del sistema de tratamiento (3) .....	68
<b>Figura No. 38</b> Análisis de DBO5 admisibles para descarga en alcantarillado .....	92
<b>Figura No. 39</b> Análisis de DBO5 admisibles para descarga en agua dulce.....	93
<b>Figura No. 40</b> Análisis de influencia de la configuración .....	115

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>Pag.</b>
<b>Anexo No. 1</b> Tabla 9 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.....	125
<b>Anexo No. 2</b> Tabla 10 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.....	126
<b>Anexo No. 3</b> Plano.....	127
<b>Anexo No. 4</b> Fotos.....	128
<b>Anexo No. 5</b> Reporte Informe de laboratorio .....	135
<b>Anexo No. 6</b> Certificado del SAE .....	136

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación relacionado con el tema **“Estudio del Comportamiento del DBO en Humedal Artificial para tratar Agua Residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos”**, tiene como objetivo fundamental de evaluar la remoción del parámetro indicador DBO en un humedal artificial. Para cumplir con el objetivo se inicia con la parte teórica, tomando en cuenta los conceptos emitidos por varios autores sobre el tratamiento de aguas residuales provenientes de baños, lavadoras, fregaderos y humedales artificiales, detallando los tipos, elementos, ventajas, parámetros, explicando sobre tipos de humedales, componentes, mecanismos de remoción, y diseño.

Posteriormente, se describe el sistema de tratamiento existente previo a mejoras, en la implementación de mejoras se realiza el cambio del lecho, adecentamiento, entre otros, haciendo pruebas de laboratorio para la determinar DBO, detallando el tipo de muestras, rango de trabajo, métodos, manual de calidad (PG-01), inferencias (sustancias tóxicas), principios (cinco días), medidas de seguridad, equipos, materiales, reactivos, operaciones previas, procedimiento, aplicación de fórmulas, reporte de resultados, precisión, y registros.

En los resultados se conoce la variación de altura de lechos de arena y la influencia del caudal de entrada, aplicando el parámetro de DBO<sub>5</sub>, realizando calado en planta piloto de 40 cm, 55 cm, y 70 cm, es así que la variación de altura tuvo una eficiencia del humedal de 87,2%, 78,48%, y 79%, respectivamente. Al utilizar el sistema de tratamiento de agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos mediante humedales artificiales resulta beneficioso, puesto, que elimina los componentes o sustancias tóxicas, es así que puede ser reutilizado para riego de áreas verdes, lavado de autos, excepto para consumo.

**Palabras Clave:** Aguas residuales, Humedales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Tratamiento de aguas.

## ABSTRACT

The present research project related to the topic "**Study of the DBO treatment in Artificial Wetland to treat wastewater coming from bathrooms, washing machines and sinks**", has the fundamental objective of evaluating the removal of the BOD indicator parameter in an artificial wetland. To fulfill the objective of starting the session with the open part, taking into account the concepts issued by various authors on the treatment of wastewater from bathrooms, washing machines and scrubbers and artificial wetlands, types of elements, advantages, parameters, explaining types of wetlands, components, removal mechanisms, and design.

Later, please describe the existing treatment system, the existence of the improvements, the implementation of improvements, the realization of the change of the bed, the painted structure, among others, making laboratory tests for the determination of BOD, the type of samples, range of work, methods, quality manual (PG-01), in safety techniques, equipment, materials, reagents, previous operations, procedure, application of formulas, report of results, precision, and records.

In the results we know the variation of height of the sand beds and the influence of the inflow, applying the parameter of BOD<sub>5</sub>, making draft in pilot plant of 40 cm, 55 cm, and 70 cm, so the variation of height it had a wetland efficiency of 87.2%, 78.48%, and 79%, respectively. By using the wastewater treatment system, it can be used to clean green areas, wash cars, except to remove components and toxic substances. Consumption.

**Key Words:** wastewater, wetlands, biochemical oxygen demand, water treatment.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento en base a humedales artificiales se está convirtiendo en una opción atractiva para la remoción de diversos contaminantes de los afluentes de aguas residuales domésticas, debido principalmente a sus bajos requerimientos de energía y costos operacionales. La capacidad de separar las aguas residuales domésticas en aguas negras y grises, luego, a través de un tratamiento ambiental sostenible para tratar las aguas residuales domésticas provenientes de baños, lavadoras y fregaderos, y reusar éstas como agua de los tanques de los inodoros o para riego, con esto se busca evitar el uso innecesario del agua potable, siendo un mecanismo de gran utilidad.

El uso final del agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos tratada en la vivienda o en cualquier edificación, dependerá exclusivamente de su calidad. Muchas autoridades públicas del mundo y del Ecuador, consideran aún el agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregadero como una amenaza a la salud, aunque la literatura técnica considera que la cantidad de materia orgánica (en términos de DBO) es baja.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Análisis de la investigación**

Las Aguas Residuales Domésticas provenientes de lavamanos, duchas, fregaderos y lavarropas son conocidas en el campo de la construcción como aguas grises. Para efecto del análisis y del tratamiento, a estas aguas se las denominarán Aguas Residuales Domésticas (ARD). No se utiliza agua negra proveniente de los inodoros, ya que el agua a tratar será reutilizada para riego y tanques de inodoros.

#### **1.2 Título**

Estudio del comportamiento del DBO en humedal artificial para tratar agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos.

#### **1.3 Planteamiento del problema**

Con este trabajo de investigación, se pretende acondicionar la planta piloto existente en el laboratorio de elaboración de bloques de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Este acondicionamiento incluirá la revisión del estado de la estructura existente, la extracción y vuelta a poner de la arena de río necesaria para usarla de filtro, la implantación de la vegetación más aplicable para el tratamiento del agua residual doméstica proveniente de baños, lavadoras y fregadero, y finalmente la colocación de válvula al ingreso del humedal para verificar el funcionamiento del humedal.

De esta manera se reducirá en gran cantidad los malos olores, pues, esto es uno de los problemas el cual causa un impacto negativo a los usuarios, relacionadas generalmente con enfermedades en distintos lugares.

#### **1.4 Formulación del problema**

¿Cómo evaluar la demanda bioquímica de oxígeno en infraestructuras con parámetros ambientales existentes?

#### **1.5 Sistematización del problema**

- ¿Cuál es la influencia de la variación de alturas de lechos de arena en la remoción del parámetro indicador Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) usando una planta piloto?
- ¿Cuál es la influencia del caudal de entrada de agua residual doméstica en la remoción del parámetro indicador Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) usando una planta piloto?
- ¿Cuál es la influencia de la configuración de la tubería de entrada de agua residual doméstica en la remoción del parámetro indicador Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) usando una planta piloto?

#### **1.6 Objetivos de la investigación**

##### **1.6.1 Objetivo general.**

Evaluar la concentración del parámetro indicador Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un humedal artificial de flujo vertical para tratar agua residual doméstica proveniente de baños, lavadoras y fregaderos de una vivienda.

##### **1.6.2 Objetivos específicos.**

- Analizar la influencia de la variación de alturas de lechos de arena en la concentración del parámetro indicador Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) usando una planta piloto.

- Verificar la influencia del caudal de entrada de agua residual doméstica proveniente de baños, lavadoras y fregaderos, en la concentración del parámetro indicador Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) usando una planta piloto.
- Valorar la influencia de la configuración de la tubería de entrada de agua residual doméstica en la concentración del parámetro indicador Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) usando una planta piloto

### **1.7 Justificación de la investigación**

Según (Calles, 2017), menciona que “El agua es un recurso natural muy valioso para la humanidad y el resto de especies del entorno natural”. Por lo tanto, debe ser cuidado para la subsistencia. Incluso se conoce que actualmente en el Ecuador existe desperdicio del agua potable, puesto que se utiliza como: riego y en tanques de los inodoros, es así que representa un 20% del consumo de agua en una vivienda.

(Soliclima, 2013), página web de una empresa establece un mecanismo para tratar las aguas, podría ahorrar gran cantidad de agua anualmente por familia, en la cual el sistema empleado elimine los agentes contaminantes provenientes del desecho aguas domésticas de la ducha, lavamanos, lavadoras, entre otros, los mismo que posterior al tratamiento pueden ser reutilizados en otras actividades como riego de plantas, cisterna, tanque del inodoro, es decir, es uso no potables.

Por lo tanto, un tratamiento adecuado de aguas residuales domésticas con la ayuda de organismos gubernamentales podría inferir en la reducción de consumo de agua potable en las viviendas, aliviando la necesidad de tratar y captar más agua de los ríos para su posterior tratamiento.

Se busca con este tema, un Sistema de tratamiento de agua residual doméstica para una vivienda, que sirva para obtener un agua de una calidad que cumpla con las Normas nacionales o internacionales en cuanto a su reúso como agua de riego y agua para el tanque de los inodoros, sobre todo para tener un consumo sostenible del agua y hacer un uso eficiente de esta mediante el estudio del comportamiento de la capacidad del humedal artificial de flujo vertical.

### **1.8 Delimitación de la investigación**

El estudio se realizará en la Planta Piloto existente en el Laboratorio de elaboración de bloques de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte durante el tiempo especificado para la culminación del proyecto de tesis que es aproximadamente seis meses, utilizando mecanismos necesarios para el estudio del comportamiento del humedal de flujo vertical en función de especificaciones técnicas, características, entre otros.

### **1.9 Hipótesis de la investigación**

El estudio del comportamiento del humedal artificial de flujo vertical en tratar agua residual doméstica en una planta piloto nos permite reutilizar el agua desperdiciada que actualmente que corresponde al 20% en el Ecuador según tablas estadísticas de la secretaria del agua y ministerio del ambiente.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

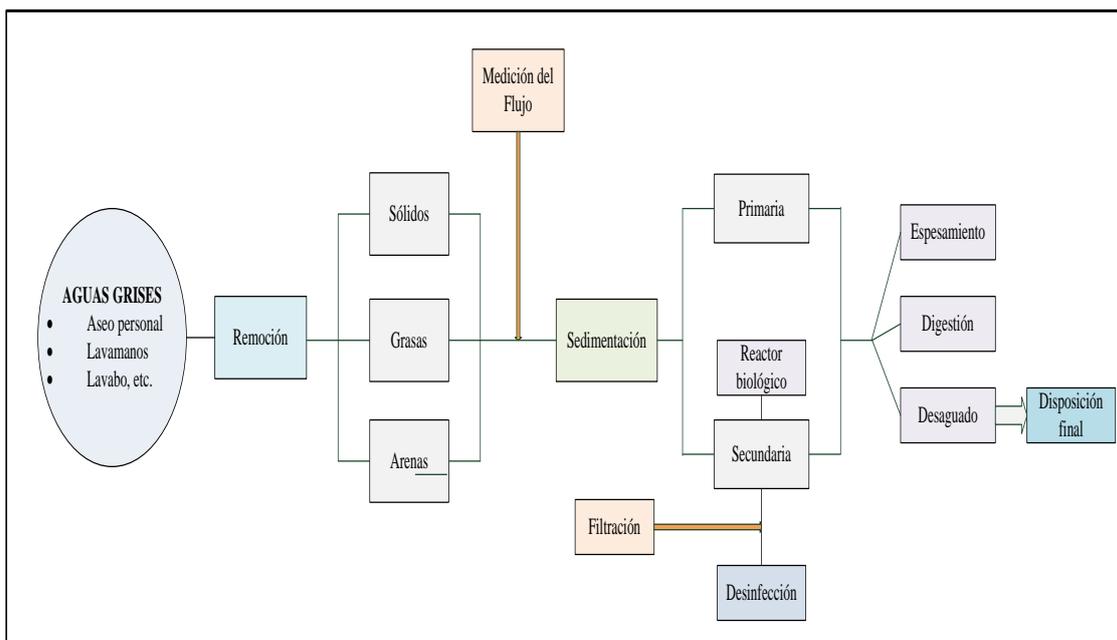
Aguas Residuales Domésticas provenientes de lavamanos duchas, fregaderos y lavarropas son conocidas en el campo de la construcción como aguas grises. Para efecto del análisis y del tratamiento, a estas aguas se las denominaran Aguas Residuales Domésticas (ARD). No se utiliza aguas negras provenientes de los inodoros, ya que el agua a tratar será reutilizada para riego de áreas verdes y tanques de inodoros.

#### 2.1 Tratamiento de aguas residuales domésticas

##### 2.1.1 Definición.

Previo a la definición del tratamiento de aguas residuales domésticas se especifica el concepto de aguas grises, las mismas que son las que provienen de las diferentes actividades diarias realizadas en el hogar, es así que las aguas se derivan de lavabos, duchas, lavadoras entre otras. Las sustancias que contienen las aguas son muy amplias, pues, existe una variedad de materia orgánica, baterías, etc. (Buenfil, 2004)

Las aguas residuales domésticas afectan a la salud de la población e incluso es un factor contaminante para el resto del entorno, es así que es necesario un tratamiento previo para evitar problemas a la salud, malos olores, y contaminación del resto del entorno. De tal forma que un tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas puede ser reutilizado en riego, lavar vehículos, evacuación de inodoros, etc., pero no para el consumo humano.



**Figura No. 1** Tratamiento de aguas residuales domésticas.  
**Fuente:** Autores.

De acuerdo a Ramalho (2003), menciona lo siguiente:

*“El tratamiento de aguas residuales domésticas se basa en la recepción de las aguas para realizar diversos procesos (físicos, químicos y biológicos) con el fin de eliminar elementos contaminantes”.*

En este sentido, el tratamiento de aguas residuales domésticas se enfoca en la implementación de procesos idóneos para eliminar sustancias contaminantes, incluyendo el cumplimiento de normas ambientales para evitar la incidencia negativa en el entorno, debido a que al tratar las aguas lo que se pretende es eliminar los microorganismos contaminantes y reutilizar en otras actividades. (Russell, 2012)

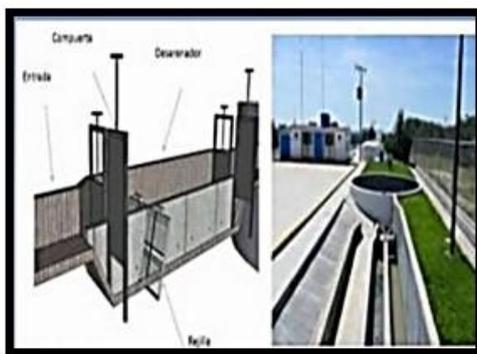
Por lo tanto, los diversos procesos empleados para el tratamiento de aguas residuales domésticas o jabonosas se basan en la eliminación o reducción de los agentes contaminantes, es así que se refiere a la forma de recolectar las aguas generadas en las actividades cotidianas para emplear diversos tipos de procesos de tratamiento con el fin

de mitigar los problemas de la contaminación tanto a la población como al resto del entorno.

## 2.1.2 Tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas.

### 2.1.2.1 Tratamiento primario.

El tratamiento primario o denominado también físico-químico ayuda a disminuir la materia (sólidos suspendidos, grasas) mediante sedimentación y tamizado, utilizando oxidación química.

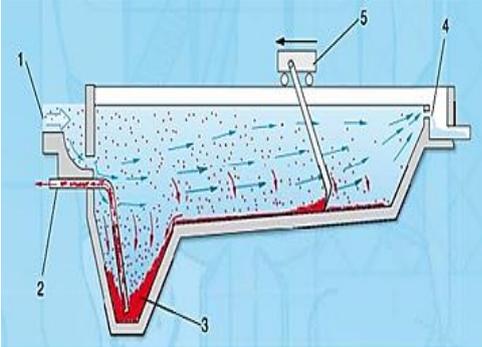
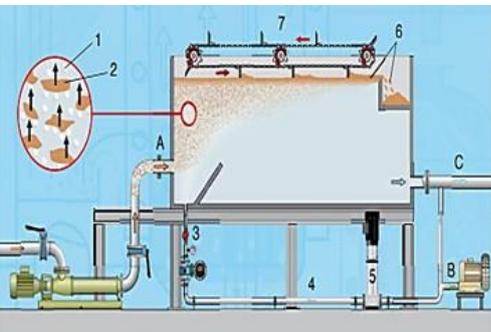
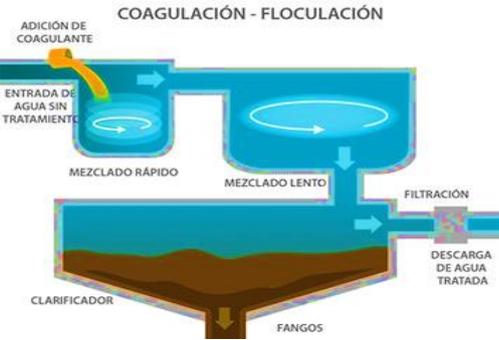
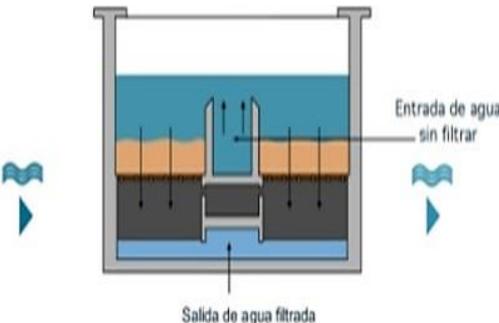


**Figura No. 2** Tratamiento primario.

**Fuente:** (Ramalho, 2003)

Los procesos que abarca el tratamiento primario de aguas residuales domésticas son los siguientes:

**Tabla No. 1** Tratamiento primario

Proceso	Características
Sedimentación:	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Separa los sólidos.</li> <li>• Los sólidos tienen una densidad mayor a los fluidos.</li> <li>• La separación de sólidos se realiza por la gravedad mediante una mínima velocidad.</li> <li>• Las partículas sedimentadas se ubican en el fondo del tanque.</li> <li>• Elementos: boca de agua, extracción de lodos, colector, reosadero de agua depurada y rastrillo.</li> </ul>
Flotación:	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la suspensión de los sólidos mediante burbujas de gas pequeñas.</li> <li>• Las burbujas trasladan los sólidos a la superficie.</li> <li>• Utiliza el método de flotación por aire y electroflotación.</li> <li>• Elementos: burbujas de aire, sólidos, válvula de presión, bomba.</li> </ul>
Coagulación- Floculación	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• En este proceso se vierte reactivos químicos que elimina la coagulación y facilita la floculación para generar más partículas sedimentadas en el tanque.</li> <li>• Elementos: productos químicos que permiten la coagulación.</li> </ul>
Filtración	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• El agua coagulada y floculada se transporta a los filtros.</li> <li>• Las aguas atraviesan por lecho de arena existente en el tanque, en el cual se reducen al máximo los elementos sólidos que aún no han sido eliminados en procesos anteriores.</li> </ul>

**Fuente:** (Gandarillas, 2016).

### 2.1.2.2 *Tratamiento secundario.*

Este tratamiento es biológico, se realizan los procesos aeróbicos, anaeróbicos y floculación, es así que eliminan de forma conjunta los elementos orgánicos (lodos activos, lagunaje), eliminando mediante la oxidación y reduce la demanda biológica de oxígeno (DBO).



**Figura No. 3** Tratamiento secundario.

**Fuente:** (Ramalho, 2003)

Los procesos que abarca el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas son los siguientes:

**Tabla No. 2** Tratamiento secundario

Proceso	Características
<p>Reactor biológico:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los líquidos se receptan en tanques, piscinas naturales o convencionales.</li> <li>• Contienen lodos con microorganismos que oxidan y remueven la materia orgánica (DBO, coagulación, y estabilización).</li> <li>• Utiliza aireación de oxígeno mediante procesos aeróbicos y anaeróbicos.</li> <li>• Aplica el cultivo de lechos bacterianos, suspensión de lodos, y lagunaje.</li> </ul>
<p>Decantador o clarificador:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza la remoción del agua para la separación de lodos.</li> <li>• Es un mecanismo de limpieza y depuración.</li> </ul>

**Fuente:** (Karabelnik, 2012)

### 2.1.3 Elementos de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Previo a la descripción de los elementos de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas se presenta los componentes como: la recogida, tratamiento y evacuación. Según el Secretariado Alianza por el Agua, Ecología y Desarrollo (2008), detalla de la siguiente manera:

- **Recogida:** Se refiere al lugar del que proviene las aguas residuales domésticas, en el cual va transportado a través de tuberías e incluso bombeo dependiendo de la situación topográfica.
- **Tratamiento:** En este aspecto se encuentran los procesos empleados para el tratamiento de las aguas residuales domésticas y otros aspectos relacionados

como las acciones físicas, biológicas y químicas con el fin de eliminar totalmente los agentes contaminantes dependiendo del tipo de proceso aplicado.

En este sentido las aguas pueden tratarse mediante la línea de agua y lodos, el primero se refiere al empleo del proceso de tratamiento (preliminar, primario, secundario y terciario) mientras que el segundo se relaciona con espesamiento (físicos), estabilización (físicos-químicos-biológicos), acondicionamiento (biológicos) y deshidratación (físicos).

- **Evacuación:** Este componente se relaciona con la depuración de los agentes contaminantes luego de emplear los procesos de tratamiento, es así que forman efluentes salientes y son llevados para la disposición final, pero dependiendo de tipo de proceso empleado se puede llegar a verter en cauces cercanos.

Los elementos de tratamiento de aguas residuales domésticas son las rejillas, tamices, microfiltros, desarenadores, tanques, biodiscos, lagunaje, estanque de depuración., cada uno de los elementos se detalla en los siguientes incisos.

#### ***2.1.3.1 Rejillas.***

Las rejillas son uno de los elementos utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas, el mismo que se emplea para retener desechos sólidos, evitando taponamientos para el funcionamiento adecuado de las bombas, válvulas, entre otros. Siendo un mecanismo para utilizar en desbastes.

Las características de las rejillas son las siguientes:

- Material grueso.
- Abertura: 12,5 mm.

- Grosor: 6 mm.
- Ubicación: 100 mm de distancia.



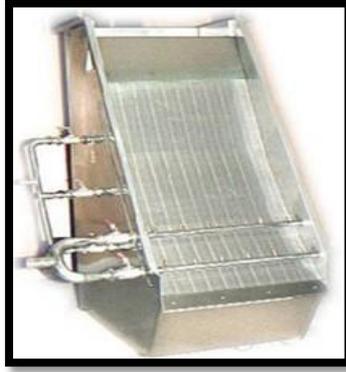
**Figura No. 4** Rejillas

**Fuente:** (Tchobanoglous y Crites, 2000)

Las rejillas se clasifican en relación al método de limpieza empleado en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, es así que se divide en manual y mecánica, la primera se basa en la remoción de sólidos mediante la colocación de un tipo de baje perforada que facilita la deshidratación de los mismos mientras que la segunda utiliza otro tipo de mecanismo como cables, ruedas, y rastrillo que remueve constantemente los residuos sólidos.

#### **2.1.3.2 Tamices.**

Los tamices se encargan de remover mayor cantidad de agentes contaminantes sólidos, utilizando filtros biológicos, al ser forma inclinada facilita que los desechos se deslicen fuera de la malla.



**Figura No. 5** Tamices.

**Fuente:** (Tchobanoglous y Crites, 2000)

Las características de los tamices son los siguientes:

- Material: chapa perforada y enrejado metálico
- Forma: inclinada
- Abertura: 2,5 mm
- Tipo: Macro y micro

Asimismo, existen dos tipos de tamices que son: macro y micro tamizado. La primera tiene la función de retener elementos de hasta 0,2 mm que se encuentran suspendidos mientras que la segunda retiene elementos que han sido previamente tratados que son muy pequeños y que se encuentran suspendidos.

### ***2.1.3.3 Microfiltros.***

Los microfiltros se encargan de receptor los desechos, las mismas quedan retenidas en el interior de este elemento, al tener un proceso automático mantiene limpias las mallas utilizadas.



**Figura No. 6** Microfiltros.

**Fuente:** (Tchobanoglous y Crites, 2000)

Las características de los tamices son los siguientes:

- Material: plástico o acero.
- Forma: planillas giratorias.
- Mallas: acero (30 micras) y poliéster (6 micras).

#### **2.1.3.4 Desarenadores.**

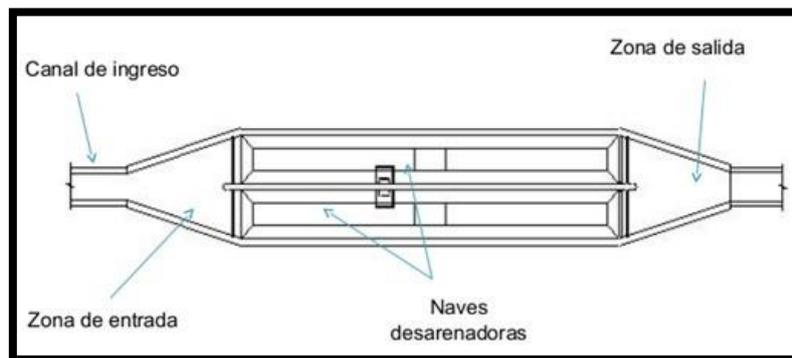
Según BVSDE (2005), menciona lo siguiente:

*“El desarenador es un elemento que facilita la remoción de agentes sólidos y arenas que se encuentran suspendidas en el agua debido a que se emplea un proceso de sedimentación”.*

Por lo tanto, los desarenadores se encargan de separar los elementos sólidos, arena, tierra, entre otros elementos que se encuentran en las aguas a tratar mediante los procesos señalados anteriormente, es decir, el desarenador retiene la arena o grava que contienen las aguas residuales domésticas, quitando los elementos que obstruyen el proceso de tratamiento de aguas.

Los desarenadores se dividen en cuatro componentes como:

- **Canal de ingreso:** Es la parte inicial por el que ingresa el flujo.
- **Zona de entrada:** Facilita la distribución equitativa del flujo y velocidad.
- **Naves desarenadoras:** Se ejecuta el proceso en el cual se deposita las partículas. existentes en el flujo mediante un mecanismo activado por la gravedad.
- **Zona de salida:** Se basa en un modo de desagüe para que la velocidad del flujo no intervenga en el trayecto o ubicación específica de la arena previamente sedimentada. (BVSDE, 2005)



**Figura No. 7** Desarenador.

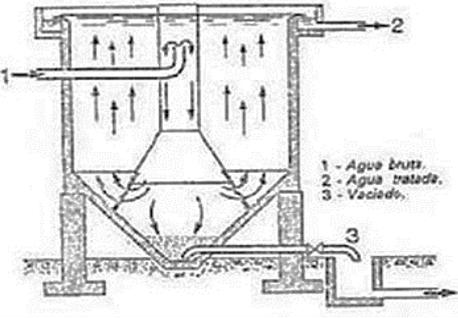
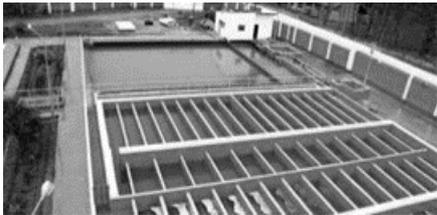
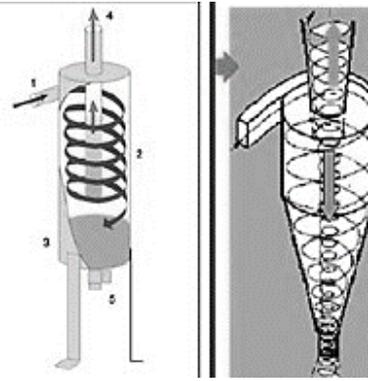
**Fuente:** (BVSDE, 2005)

De acuerdo a (Biotanks, 2017), las características de los desarenadores son los siguientes:

- Material: plástico o fibra de vidrio.
- Estructura: hidráulica.
- Dotación: 2 bocas de inspección y limpieza.
- Modelo: resistente, mecánico.
- Dimensiones: 110 mm, 125 mm, 250 mm.

Además, existen tres tipos de desarenador como los que se describen en la siguiente tabla:

**Tabla No. 3** Tipos de desarenadores

Tipos	Descripción
<p>De flujo vertical</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluye de la parte interior-arriba.</li> <li>• Facilita el proceso de sedimentación de las sustancias existentes en las aguas residuales domésticas.</li> <li>• Formas: circular, cuadrado, rectangular.</li> <li>• Costo: elevado.</li> </ul>
<p>De flujo horizontal</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ayuda a controlar la velocidad del flujo (disminución).</li> <li>• Permite el agrandar el canal para mayor capacidad.</li> <li>• Aplicado en pequeñas poblaciones.</li> </ul>
<p>De flujo inducido</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso empleado es la creación de corrientes espirales para separar las materias orgánicas.</li> <li>• Para este proceso se utiliza bombas de aire.</li> <li>• Forma: rectangular.</li> <li>• Reduce los malos olores.</li> </ul>

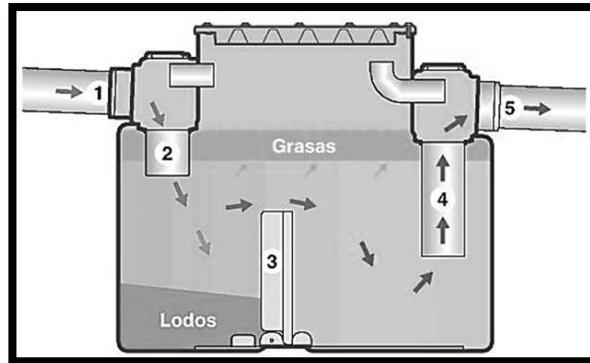
**Fuente:** (Galán & Hernández, 2012)

### 2.1.3.5 Tanques.

Para (Olivos, 2010), describe a los tanques como:

*“Los tanques se encargan de la sedimentación de elementos sólidos provenientes de las aguas residuales domésticas, teniendo una efectividad entre*

el 50%-70% de sustancias sólidas suspendidas y 25%-30% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)''.



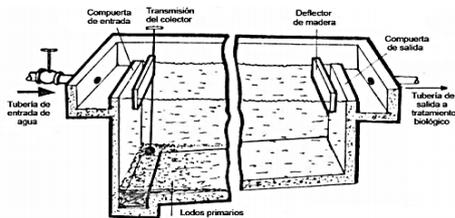
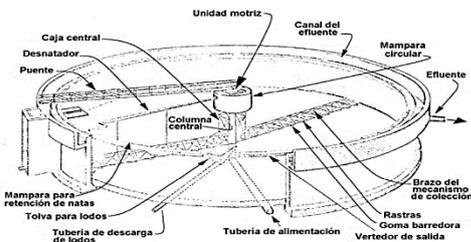
**Figura No. 8** Tanques de sedimentación.

**Fuente:** (Olivos, 2010)

A continuación, se describe los tipos de tanques:

**Tabla No. 4** Tipos de tanques

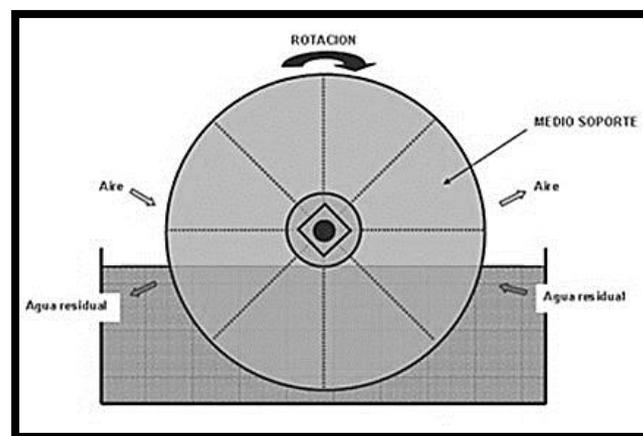
Tipos	Características
Circular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee compuertas de gran dimensión.</li> <li>• Posee deflectores para reducir la velocidad del flujo.</li> </ul>
Rectangular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolecta los residuos sedimentados en desarenadores.</li> <li>• Utiliza agitadores para una mezcla adecuada.</li> <li>• Profundidad: 3.6 m.</li> </ul>



**Fuente:** (Ramalho, 2003)

### 2.1.3.6 Biodiscos.

Los biodiscos son una serie de discos localizados en el reactor del tanque, cumplen los procesos de tratamiento biológico y aeróbico, desarrollando la biomasa bacteriana (película biológica) y cuando se encuentra el contacto con el aire absorbe oxígeno para que en el momento en el que vuelve a sumergirse las sustancias proceden a degradarse, es decir remueve la DBO. (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, 2012)



**Figura No. 9** Biodiscos.

**Fuente:** (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, 2012)

Las características de los biodiscos son las siguientes:

- Material: plástico
- Forma: torno
- Área sumergida: 40%
- Profundidad: 2.1
- Velocidad: 1-2 rpm (revolución por minuto)

### 2.1.3.7 Otros elementos.

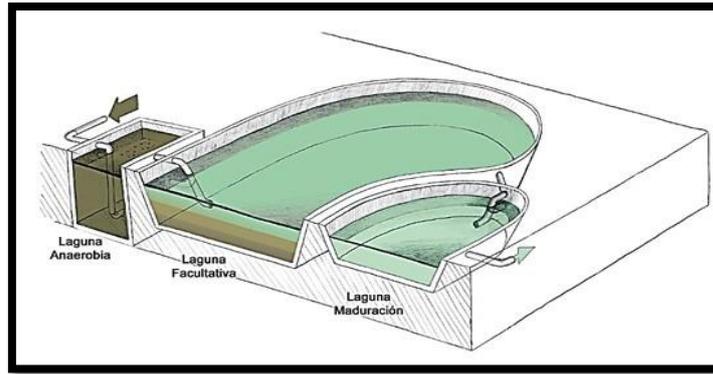
Para el tratamiento de aguas residuales domésticas se utiliza los estanques de depuración natural, los mismos que se adaptan para la degradación de las sustancias orgánicas provenientes de las aguas, utilizando procesos naturales como lagunaje, cultivos acuáticos y humedales, los mismos cumplen procesos de degradación de elementos orgánicos (físicos, químicos y biológicos). (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010)



**Figura No. 10** Estanques de depuración.

**Fuente:** (Moreno L, 2003)

- **Lagunaje:** Forma parte para el tratamiento de aguas, puesto que almacena las mismas durante un tiempo específico (1-3 días), acorde a la carga y el clima, en el cual las sustancias orgánicas se degradan por medio de bacterias heterófonas. Este elemento se aplica en grandes extensiones de terreno. (Gandarillas, 2016)

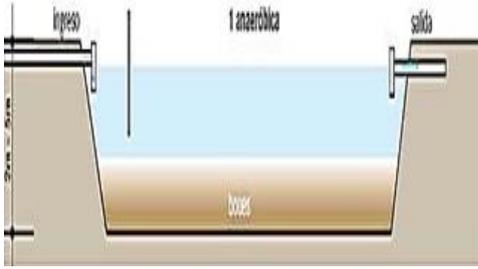
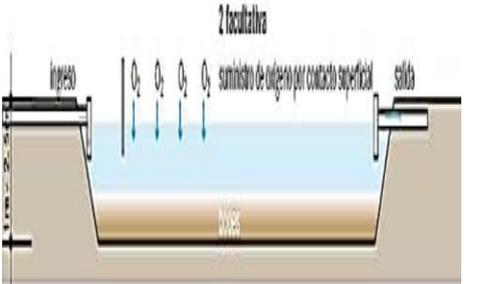


**Figura No. 11** Lagunaje.

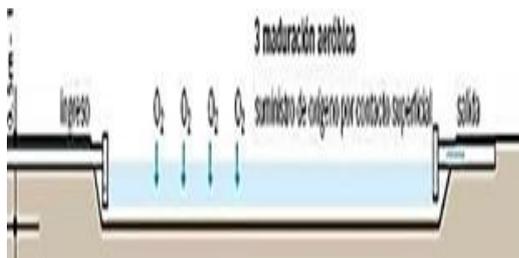
**Fuente:** (Gandarillas, 2016)

En la siguiente tabla se detalla los tipos de lagunaje para el tratamiento de las aguas:

**Tabla No. 5** Tipos de lagunaje

Tipos	Características
<p>Anaeróbicas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convierte la materia orgánica en ácidos por medio de las bacterias anaerobias.</li> <li>• Profundidad: 2.5 m-5 m.</li> </ul>
<p>Facultativas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita la degradación de sustancias químicas, forma ácidos metanos y metanos de forma aerobia.</li> <li>• Tipo de zona: Cercana a la superficie y fondo.</li> <li>• Profundidad: 1 m – 2 m.</li> </ul>

## Maduración

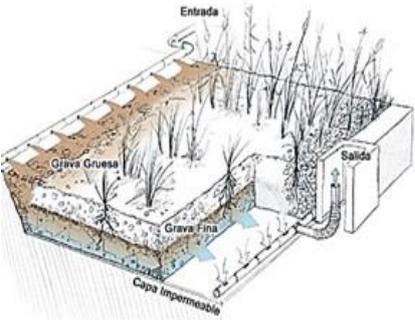


- Soportan pocas cargas orgánicas.
- Produce oxigenación por medio de la radiación solar y forma aerobia.
- Profundidad: 0.5 m – 1 m.

**Fuente:** (Gandarillas, 2016)

- **Humedales:** Es un mecanismo de tratamiento secundario, en el cual el agua fluye continuamente y al mismo tiempo las plantas emergentes absorben las sustancias contaminantes provenientes de las aguas residuales domésticas, ubicadas a 0.6 m. Existen dos tipos de humedales tanto naturales como artificiales. (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010)

**Tabla No. 6** Tipos de humedales

Tipos	Características
Naturales	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es el ecosistema.</li> <li>• Aplicados en terreno pantanosos naturales, pero si se requiere ampliar esta no es la mejor alternativa.</li> <li>• Se rigen a normas de cuidado ambiental.</li> </ul>
Artificiales	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se parecen al proceso empleado en los naturales, pero con la diferencia de que tienen elementos con valor agregado.</li> <li>• Aplica en terreno pantanoso superficial.</li> <li>• Tiene una base diseñada para que se pueda verter grava, suelo u otro elemento para el desarrollo de la planta.</li> <li>• Para la eliminación de agentes contaminantes mediante la absorción del agua en los tallos y raíces.</li> </ul>

**Fuente:** (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010)

- **Cultivos acuáticos:** Se utiliza diversas plantas flotantes que facilita la degradación de sustancias mediante la absorción de las mismas por las raíces de las plantas, utilizando un mecanismo de aireación se ubican a una profundidad entre 0.4 m y 1.8 m. (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010)

#### 2.1.4 Ventajas.

A través del tratamiento de aguas residuales domésticas se presentan diversas ventajas, las mismas que se especifican en la siguiente figura:



**Figura No. 12** Ventajas del tratamiento de aguas residuales domésticas.

**Fuente:** Autores.

Por lo tanto, el tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas aporta tanto al beneficio de la población como el medio ambiente en el que se efectúa este proceso, pues, esto abarca que aspectos relacionados con la reutilización de las aguas tratadas

para realizar actividades como lavar autos, regar plantas, baños, ropa, entre otras actividades que no sea de consumo de esta agua tratada, es decir, utilización no potable.

Al mismo tiempo ayuda al ahorro de agua y costos de pago del agua pública, es así que para la obtención de agua dulce no utiliza la del medidor de agua ni de ríos u otros efluentes, además en el proceso de tratamiento se utiliza menor cantidad de químicos, con lo cual recupera considerablemente los nutrientes necesarios en las actividades de riego a plantas e incluso las industrias que utilizan este mecanismo lo pueden reusar para lavar la flota de vehículos, bombeo de las letrinas, etc., lo cual ayuda a la reducción de costos relacionados con el pago del servicio público de agua.

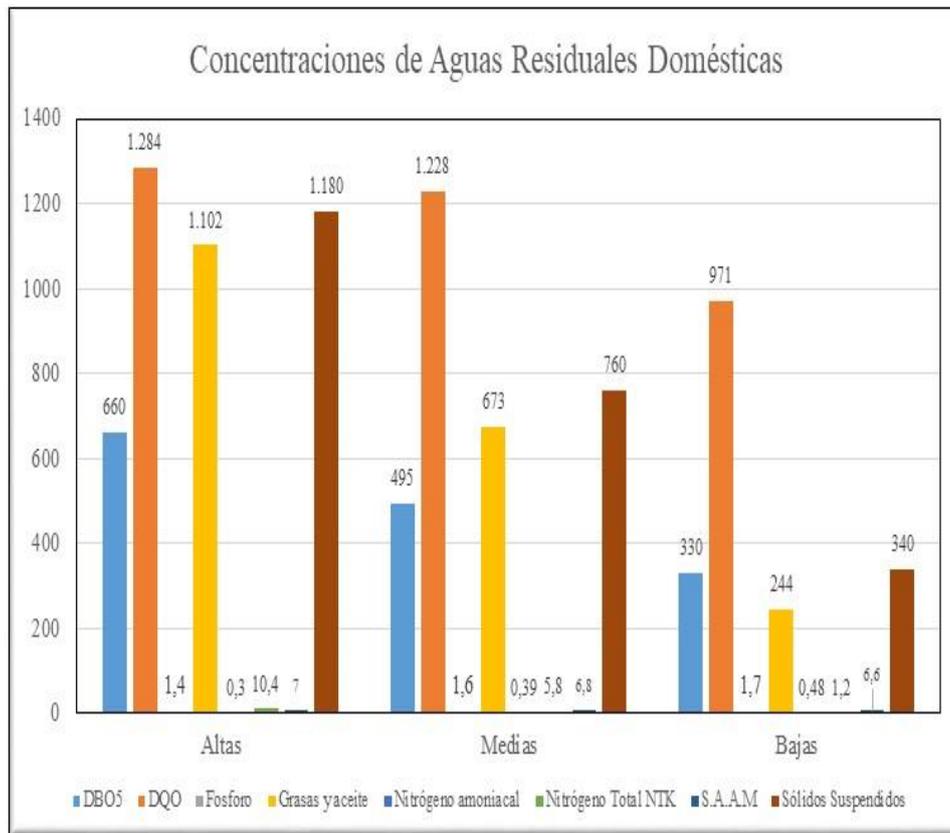
### 2.1.5 Parámetros para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

A continuación, se presenta una tabla detallada de la caracterización de las aguas residuales domésticas según parámetro, unidades, concentraciones (altas, medias, bajas) y métodos:

**Tabla No. 7** Caracterización de aguas residuales domésticas.

Parámetros	Unidades	Concentraciones			Métodos
		Altas	Medias	Bajas	
DBO <sub>5</sub>	mg/L-Q <sub>2</sub>	660	495	330	SM 5210 B
DQO	mg/L-Q <sub>2</sub>	1.284	1.228	971	SM 5220 D
Fosforo	mg/L-P	1,4	1,6	1,7	SM 4500-P C
Grasas y aceite	mg/L	1.102	673	244	SM 5520 B
Nitrógeno amoniacal	mg/L-N	0,3	0,39	0,48	SM 4500-NH <sub>3</sub> C
Nitrógeno Total NTK	mg/L-N	10,4	5,8	1,2	SM 4500-N <sub>org</sub> C
Sustancias Activas al Azul					
de Metileno (SAAM)	mg/L	7	6,8	6,6	SM 5540 C
Sólidos Suspendidos	mg/L-SS	1.180	760	340	SM 2540 D

**Fuente:** (Sierra, 2013)



**Figura No. 13** Caracterización aguas residuales domésticas.

**Fuente:** (Franco, 2007)

La mayor concentración se presenta en DQO, sólidos suspendidos, grasas-aceites y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas se consideran parámetros como: turbidez, DBO, entre otros. Es así que en la siguiente tabla se detalla los parámetros para el tratamiento de aguas:

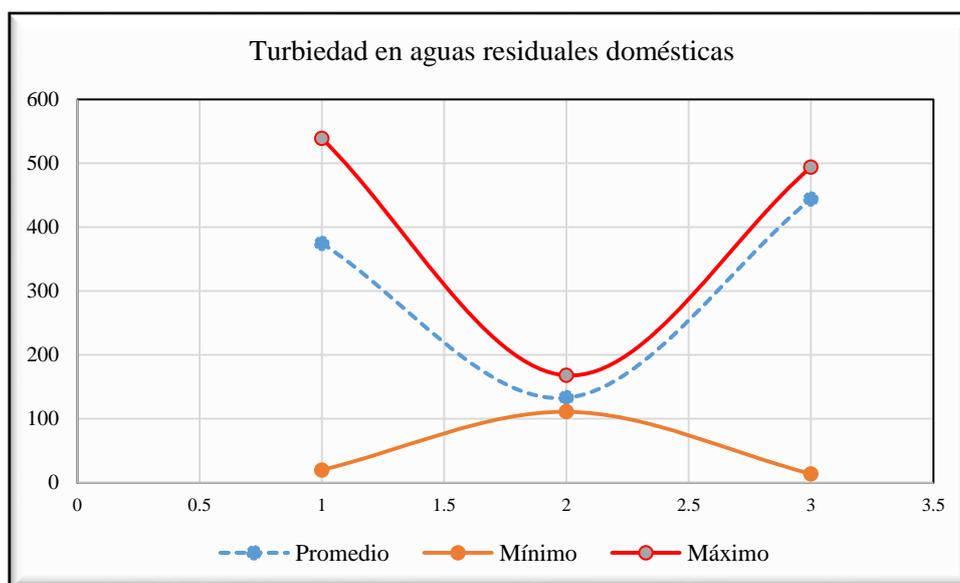
- Turbidez:** Este parámetro se basa a la forma que se puede observar al agua, la misma que puede ser clara o turbia. En este sentido, el agua clara presenta bajos niveles de turbidez mientras que el agua turbia los niveles son muy altos debido a la influencia de elementos que se encuentran en las aguas residuales domésticas. (Parker, 2010)

**Tabla No. 8** Caracterización de aguas residuales domésticas.

Origen	Promedio	Mínimo	Máximo
Ducha	374,7	20	539
Lavaplatos	133	111	168
Lavadora	444,3	14	494

**Nota.** Unidades en Unidades Nefelométricas de Turbidez

**Fuente:** (Franco, 2007)

**Figura No. 14** Turbiedad en aguas residuales domésticas.

**Fuente:** (Franco, 2007)

De tal forma que la turbidez en aguas residuales domésticas se originan mayormente en la ducha y lavadora, teniendo como elementos el jabón, shampoo, grasas, detergentes, suavizantes entre otros utilizados en ambos orígenes.

Así mismo, se presenta una tabla relacionada con el nivel de turbidez en aguas residuales domésticas por unidades:

**Tabla No. 9** Niveles de Turbidez de aguas residuales domésticas

Parámetro de Turbidez	JTU	FTU	UNT	SiO <sub>2</sub> (mg/l)
Unidad de Turbidez Jackson (JTU)	1	19	19	2,5
Unidad de Turbidez de la Formazina (FTU)	0,053	1	1	0,13
Unidad Nefelométrica de Turbidez (UNT)	0,053	1	1	0,13
Unidad de Silicio SiO <sub>2</sub> (mg/l)	0,4	7,5	7,5	1

**Fuente:** (REITEC, 2013)

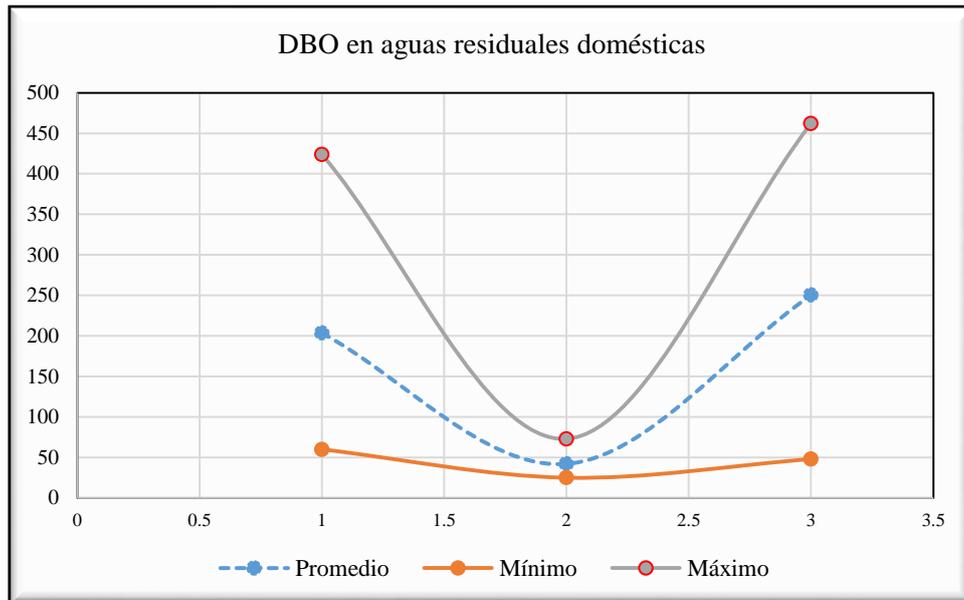
- **Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO):** Relacionada con la cantidad necesaria de oxígeno utilizado por los microorganismos para la degradación de la materia orgánica proveniente de las aguas residuales domésticas (ULPGC, 2010)

**Tabla No. 10** Caracterización de DBO en aguas residuales domésticas por origen.

Origen	Promedio	Mínimo	Máximo
Ducha	203,5	60	424
Lavaplatos	42,10	25	73
Lavadora	250,3	48	462

*Nota.* Unidades en mg/L

**Fuente:** (ULPGC, 2010)



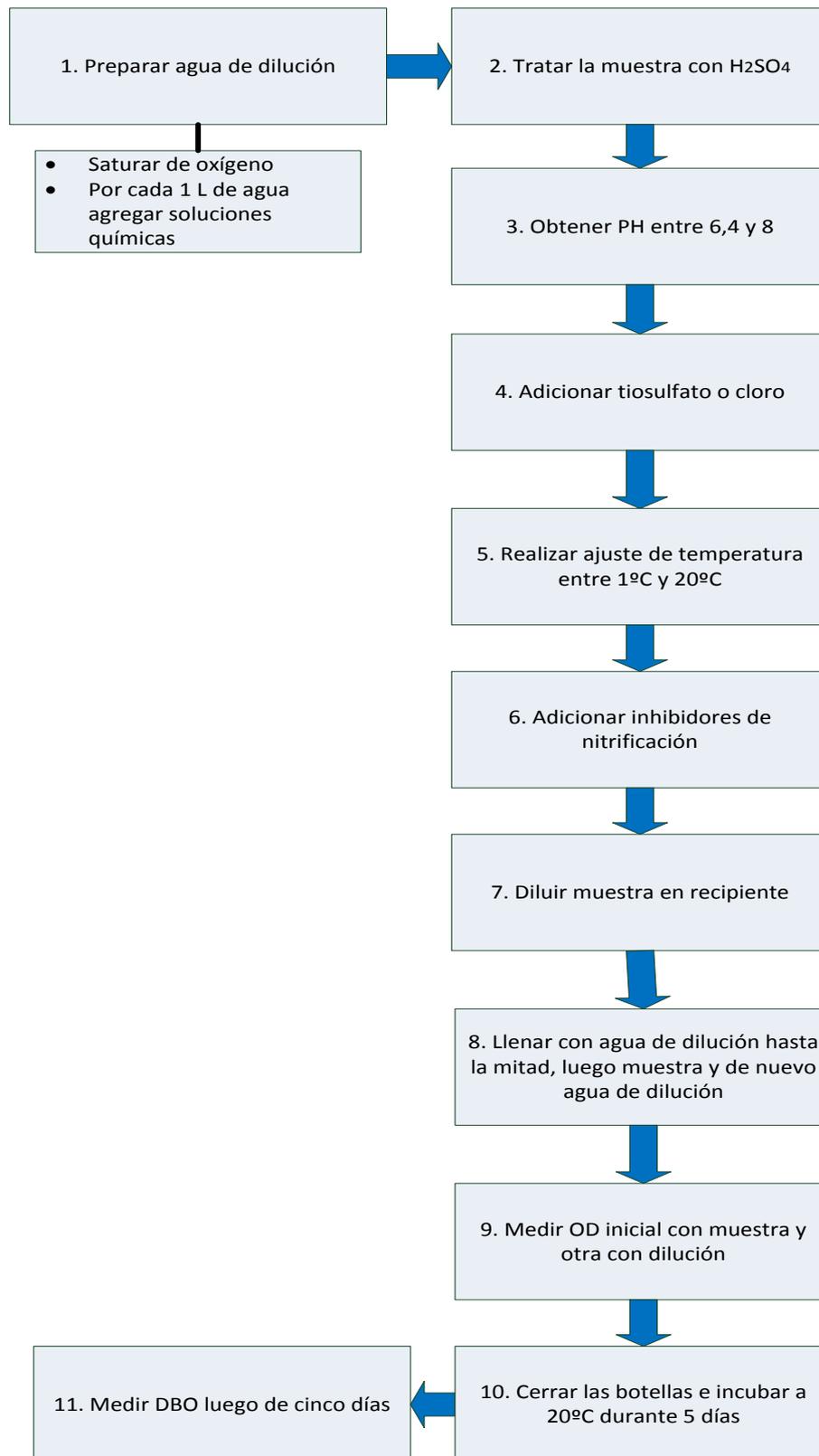
**Figura No. 15** DBO en aguas residuales domésticas

**Fuente:** (ULPGC, 2010)

Al igual que el parámetro de turbiedad, la Demanda Bioquímica de Oxígeno se origina en su mayoría en la ducha y lavadora, esto se debe al uso de elementos que se utilizan para el aseo diario personal y en lavado de ropa, es así que se encuentran en el shampoo, jabón, detergentes entre otros.

Otro aspecto que se detalla es la forma en que se determina la cantidad de DBO es mediante la medición de oxígeno disuelto, la misma que se obtiene de la muestra, debe estar a una temperatura de 20° C durante cinco días en la oscuridad sin el contacto del aire, es así que, si resulta una cantidad alta, se necesita mayor cantidad de oxígeno que facilite la degradación de la materia orgánica, para la transformación total se requiere alrededor de 20 días.

El proceso para la determinación de la DBO se detalla de la siguiente manera:



**Figura No. 16** Proceso para determinar

**Fuente:** (Corredor, 2013)

El proceso para determinar la DBO comienza con la preparación del agua de dilución, en la cual se utiliza como soluciones químicas el fosfato y cloruro, tratando la muestra recolectada como ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), con esto se obtiene un pH de 6.4 a 8.

Posteriormente se agrega cloruro a una temperatura de  $20^{\circ}C$ , adicionando nitrificador, luego la muestra se coloca en recipientes, es así que en la misma se coloca agua de dilución, muestra y de nuevo agua de dilución, hasta llenar el recipiente, con esto se mide el DBO inicial y se coloca nuevamente agua de dilución, dejando incubar durante 5 días, sellando con una tapa hasta finalmente se vuelve a medir la DBO, obteniendo los resultados de la muestra y comparando con el nivel o característica establecida para este parámetro.

Para el análisis de la DBO se utiliza un analizador de este parámetro:



**Figura No. 17** Analizador de DBO.

**Fuente:** (Glynn, Heinke, Escalona, y García, 2013)

Este equipo facilita el análisis de las aguas residuales domésticas, en la cual se detalla en nivel que se presenta de la muestra tomada, y esto se compara con los rangos existentes en este parámetro, para determinar el nivel de oxígeno que se requiere para depurar las sustancias.

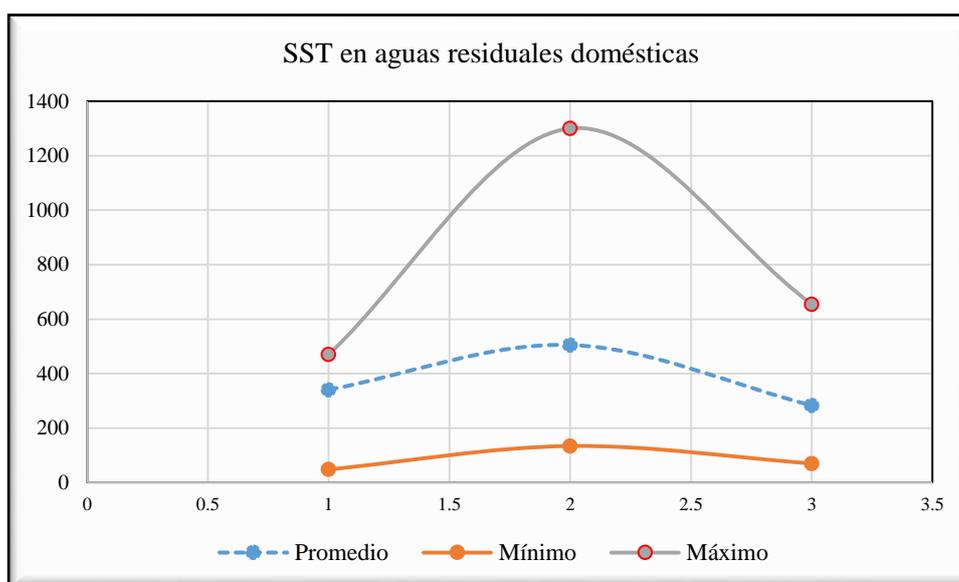
- **Sólidos suspendidos totales (SST):** Se refiere a la cantidad de residuos obtenidos en la filtración de las aguas que posteriormente se secan a una temperatura promedio previo a la aplicación de disolventes orgánicos que permite la eliminación de aceites. (Glosario Net, 2007)

**Tabla No. 11** Caracterización de SST en aguas residuales domésticas por origen

Origen	Promedio	Mínimo	Máximo
Ducha	340,8	48	470
Lavaplatos	505	134	1.300
Lavadora	283,3	70	655

*Nota. Unidades en mg/L*

**Fuente:** (Franco, 2007)



**Figura No. 18** SST en aguas residuales domésticas.

**Fuente:** (Franco, 2007)

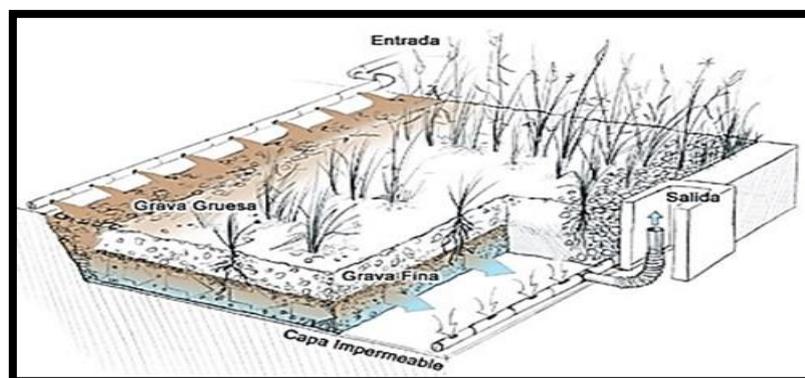
Los sólidos suspendidos totales en aguas residuales domésticas se originan mayormente en los lavaplatos debido a que en este se vierten o quedan residuos de alimentos.

Cada uno de los parámetros especificados son las cantidades mínimas y máximas que contienen las aguas residuales domésticas.

## 2.2 Humedales artificiales

### 2.2.1 Definición.

De acuerdo a (Seoanez & Gutiérrez, 2010), hacen referencia que los humedales artificiales son mecanismos ejecutados para reproducir diversos procesos como: físicos, químicos y biológicos con el fin de eliminar agentes contaminantes, en esta área controlada se encuentran aguas subterráneas. Al mismo tiempo se emplean como parte para complementar el sistema de planta de tratamiento.



**Figura No. 19** Humedales Artificiales.

**Fuente:** (Seoanez y Gutiérrez, 2010)

Es así que para (Metcalf & Eddy, 2013), los humedales artificiales se basan en sistemas de ingeniería con la combinación de lo natural como plantas, suelo con microorganismos entre otros del entorno que facilitan el tratamiento de las aguas

mediante la eliminación de elementos contaminantes que en la mayoría de los casos el agua tratada se reutiliza. Los mismos autores mencionan que:

*“Las funciones básicas de la implementación de humedales artificiales se relacionan con la eliminación de agentes contaminantes tanto del suelo y el resto de materia orgánica, para el proceso de tratamiento de aguas utiliza microorganismos que se encuentran en las plantas.”*

De tal forma que este sistema se basa en el desarrollo y construcción de forma mecánica con la aplicación de impermeabilización, adicionando el cultivo y reproducción de plantas que al final tratan las aguas residuales domésticas mediante un proceso en el que las mismas absorben los elementos contaminantes, para este mecanismo se selecciona las plantas que formaran parte del humedal artificial.

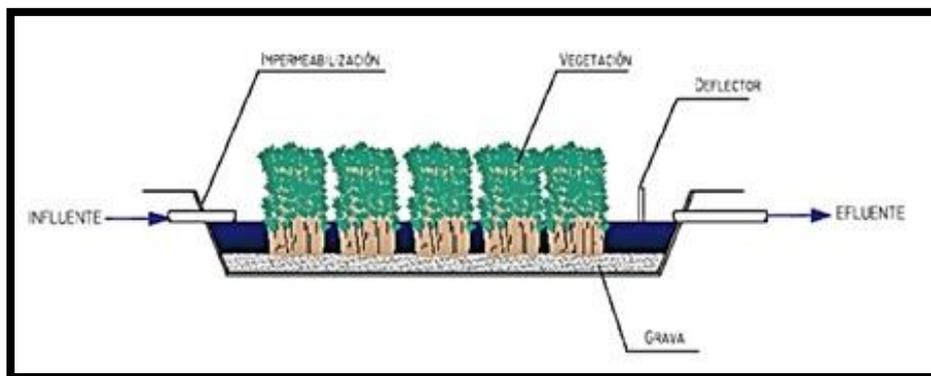
### **2.2.2 Tipos de humedales artificiales.**

Existen varios tipos de humedales artificiales como: flujo superficial, vertical y subsuperficial o subterráneas (horizontal, vertical).

#### ***2.2.2.1 Humedal artificial de flujo superficial.***

Los humedales artificiales de flujo superficial libre se refieren a un sistema de tratamiento mediante la forma en la que fluye el agua, es así que atraviesa los tallos de las plantas seleccionadas para este proceso, estas se ubican en la parte superior, es decir, se encuentran expuestas al entorno, con una profundidad aproximadamente de 0,4 m. (Observatorio del Agua, 2015).

De acuerdo a la (Comisión Nacional del Agua, 2014), señala lo siguiente: Este sistema utiliza una extensión amplia de terreno, en el cual el agua a tratar se a traviesa el tallo y hojas de las plantas, es así que las plantas utilizadas son acuáticas, se basan en un proceso de tratamiento secundario, la vegetación empleada en los humedales se separa a 30 m para evitar la propagación de zona muerta.



**Figura No. 20** Humedal de flujo superficial.

**Fuente:** (Observatorio del Agua , 2015)

Por lo tanto, este sistema se utiliza principalmente para remover nutrientes relacionados específicamente con el fósforo, siendo un mecanismo de reducción de la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos y otros agentes contaminantes, para lograr eficiencia en este proceso se debe seleccionar la vegetación acuática idónea, además de la distribución del flujo desde la entrada.

#### **2.2.2.2 Humedal artificial de flujo vertical.**

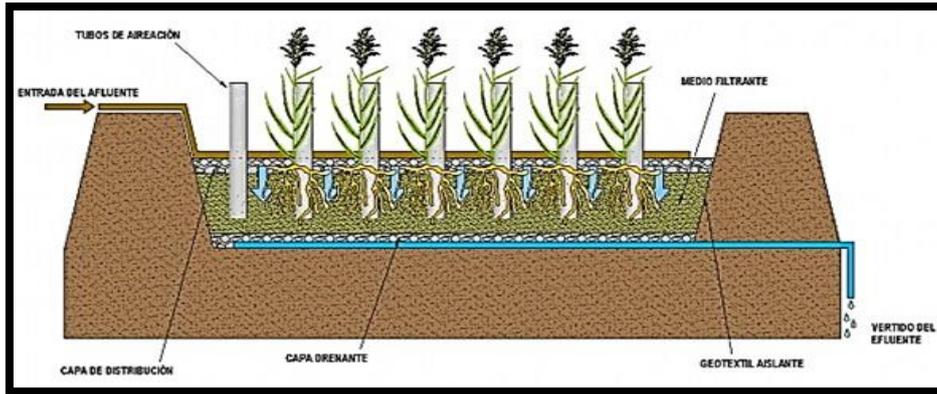
De acuerdo a Lara (2009 ), hace énfasis en lo siguiente:

*“Este tipo de humedal se utiliza como sistema de tratamiento de aguas, en la cual el agua fluye verticalmente a través de filtro formado con raíces de las plantas acuáticas seleccionadas y el conjunto de microbios (microorganismos)*

*existentes en la superficie, para la aireación requiere tubos que facilitan la entrada del oxígeno, esto ayuda a la degradación de los agentes contaminantes provenientes de las aguas residuales domésticas, inclusive al entrar oxígeno se eliminan la nitrificación, este sistema debe estar ubicado a superficie pequeñas.”*

(UN-HABITAT , 2010), menciona que el humedal artificial de flujo vertical ha tenido un crecimiento paulatino, puesto que se ha aplicado como un sistema de última generación, este interés parte de que tiene capacidad de transferencia de mayor oxígeno, resultando una nitrificación de los elementos orgánicos, incluso son los sistemas más pequeños de los humedales artificiales, además de la eliminación eficaz de la DBO5, DQO y patógenos existentes en las aguas residuales domésticas.

El humedal artificial de flujo vertical utiliza plantas acuáticas para el proceso de tratamiento, es así que las aguas residuales domésticas son vertidas en el lecho del humedal desde la parte de arriba mediante el apoyo del sistema mecánico previamente construido, el agua vertida fluye de forma vertical hacia la parte de abajo a través de filtro e incluso se añade un sistema de bombeo para que el agua sea distribuida hasta la salida. (SEDAQUA, 2014)



**Figura No. 21** Humedales de flujo vertical.

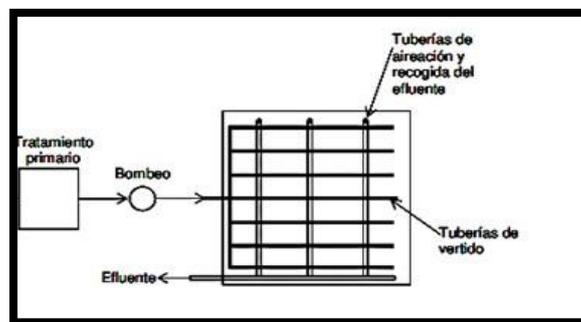
**Fuente:** (Akopedia, 2014)

La distribución de agua en este tipo de humedal se realiza entre 4-10 veces al día, considerando las condiciones aerobias y anaeróbicas para evitar la saturación del filtro, es decir, la dosificación de las aguas en los humedales artificiales de flujo vertical debe realizarse en tiempos específicos para que las aguas se distribuyan equitativamente sin dejar vacíos, eliminando los sólidos.

Al momento de construir este sistema de tratamiento se debe considerar aspectos como el nivel de profundidad, el recubrimiento del filtro, selección de plantas y la forma de recolectar el agua, es así que se ubica a nivel de poca profundidad o al mismo nivel del suelo, para el filtro se usa arena y grava (20 cm), las plantas a emplear dependen del clima (carrizo, totora, gladio, echinochloa, etc.). (Akopedia, 2014)

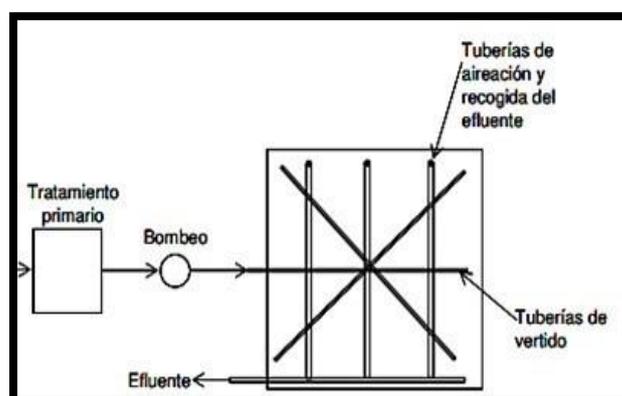
En este sentido, el diseño de este tipo de humedal se considera tanto la carga hidráulica como orgánica, incluso requiere menor espacio, logrando una elevada minimización de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos y otros agentes contaminantes provenientes de las aguas residuales domésticas.

Este sistema de tratamiento de aguas facilita de forma eficaz la nitrificación de la materia orgánica, pues, el flujo que atraviesa al sistema es ininterrumpido, en la cual se cumplen los procesos óptimos desde el llenado hasta el vaciado de las aguas, esto ayuda a que la transferencia de oxígeno sea alta con lo cual el material granular se oxidan en tiempo más rápido que los demás sistemas de humedales artificiales. El sistema de vertido del sistema de humedal artificial de flujo vertical es de tipo lineal y radial, estas se presentan en las siguientes figuras:



**Figura No. 22** Sistema de vertido lineal.

**Fuente:** (UN-HABITAT , 2010)



**Figura No. 23** Sistema de vertido lineal.

**Fuente:** (UN-HABITAT , 2010)

Ambos sistemas de vertido ayudan a que el flujo se distribuya homogéneamente en la superficie de la celda, ubicadas encima del material granular, para que el vertido sea adecuado es necesario el empleo del sistema de bombeo y sifones.

De tal forma que se soportan mayor cantidad de cargas, optimizando el espacio del sistema, pero para que el flujo sea óptimo necesita de la implementación de un sistema de bombeo, es eficiente debido a que elimina más 90% de SST, DBO y nitrógeno existente en las aguas.

El proceso del humedal artificial del flujo vertical consiste en lo siguiente:

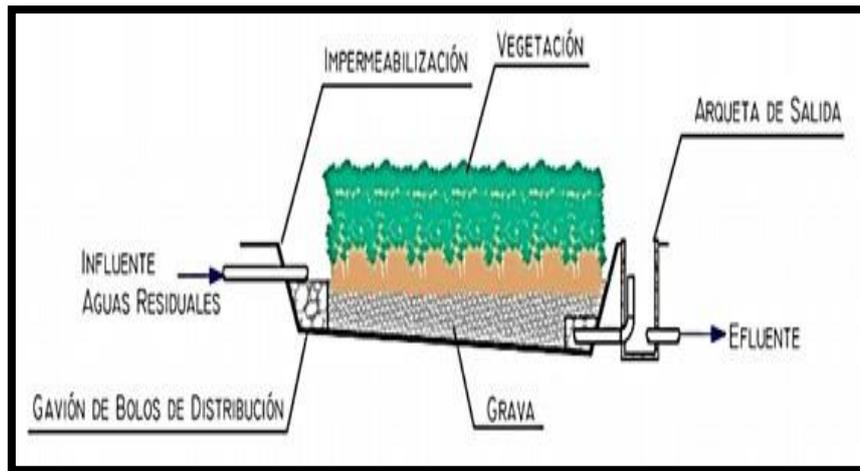
- Inicia desde la recogida de las aguas residuales doméstica.
- Se filtra el flujo de forma vertical mediante el material granular seleccionado.
- El flujo pasa a la red de drenaje ubicada en el fondo de la estructura del humedal artificial.
- Se ajusta para que el flujo del agua sea constante.
- Se realiza control para mantener las condiciones aerobias en el sistema.
- Se planta la vegetación emergente seleccionada junto con el material granular.
- Colocar tuberías tamizadas con salidas al exterior, deben ser tipo chimeneas, esto permite mantener de forma eficaz las condiciones aerobias deseadas.
- Colocar el material en capas, es decir, que en la profundidad se colocan las más gruesas y las finas en la parte superior.

Las ventajas de este sistema de humedal artificial se basa en primera instancia con la transferencia de grandes cantidades de oxígeno que ayudan a la nitrificación de elementos existentes en las aguas residuales domésticas, para esto se utiliza sistema de tuberías de entrada y salida, es así que en la salida se tiene drenaje que se encuentra en la parte inferior del lecho que por la acumulación de gran cantidad de oxígeno hace que el flujo se evacúe de forma rápida por la gravedad, es decir mediante aireación.

### ***2.2.2.3 Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.***

Para el (Observatorio del Agua , 2015), el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal abarca lo siguiente:

*Este tipo de humedal se basa en un sistema de tratamiento, en la cual el agua fluye de forma subterránea por un lado y sale por el lado opuesto a través de la utilización de filtros, los cuales se forman de grava y raíces de la vegetación (plantas), es así que las plantas ayudan a degradar la materia orgánica y desnitrificar (eliminar nitrógeno), lo cual incide en el tratamiento óptimo de las aguas.*



**Figura No. 24** Humedal de flujo subsuperficial horizontal.

**Fuente:** (Akvopedia, 2014)

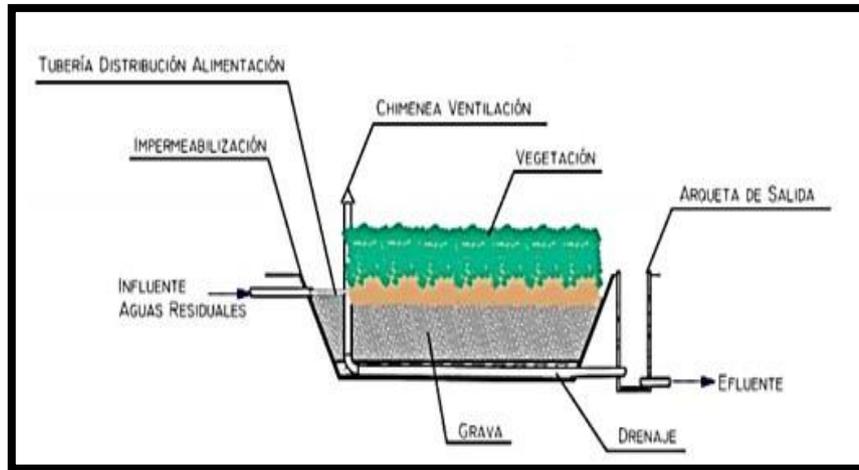
Además, se utilizan tubos para controlar la salida del agua, pues, ayuda a revisar la forma adecuada del embalse del sustrato utilizado para la filtración, estas se ubican a 5 cm debajo de la superficie, esto facilita la biodegradación de los elementos contaminantes de la materia orgánica, adicionalmente para la distribución se utiliza tuberías perforadas y la descarga final en una distancia entre 50-100 mm en la zona sin vegetación.

#### **2.2.2.4 Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.**

Según el (Observatorio del Agua , 2015), el humedal artificial de flujo subsuperficial vertical abarca lo siguiente:

*Este tipo de humedal se basa en un sistema de tratamiento, en la cual el agua fluye de forma subterránea de arriba-abajo a través de la utilización de filtros de arena y grava, añadiendo en la misma vegetación, en la parte inferior (fondo) se colocan una conjunto de red de drenajes, esto recolecta las aguas tratadas, siendo conectada a una forma de chimenea que facilitan la oxigenación por medio de la ventilación que otorga la misma, es así que las*

*plantas ayudan a degradar la materia orgánica y desnitrificar (eliminar nitrógeno), lo cual incide en el tratamiento óptimo de las aguas.*



**Figura No. 25** Humedal de flujo subsuperficial vertical.

**Fuente:** (Akvopedia, 2014)

De acuerdo a (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010), para que la distribución del agua en el sistema sea de manera continua mediante un sistema de bombeo, con desniveles de 1,5 m y sifones que permite el control de la descarga del agua, para esto el lecho debe estar ubicado a una profundidad entre 0,45 m y 1 m con una pendiente de 0,5%-1%, incluso la efectividad de las condiciones aerobias con la forma de chimenea que llega a la parte externa y el sustrato adicionado para la filtración son muy finas en la parte superior y mientras llegan a la parte interna o abajo la grava aumenta de tamaño.

### 2.2.3 Componentes.

Los componentes principales de los humedales artificiales son: el material granular, la vegetación, los microorganismos y el agua a tratar, los mismos se detallan en los siguientes incisos.

### 2.2.3.1 *Material granular.*

A decir de (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010), el material granular se refiere a lo siguiente:

Los componentes de los humedales artificiales son: las rocas, suelo, arena, grava o sustrato, los mismos que permiten dar soporte a la vegetación y con la fijación del conjunto de microorganismos que forman parte del proceso de degradación de sólidos y por ende la depuración de agentes contaminantes provenientes de las aguas que se van a tratar (residuales).



**Figura No. 26** Material granular (rocas, suelo, sustrato)

**Fuente:**(Andrade et al., 2010)

El sustrato es importante para facilitar la permeabilización, al mismo tiempo dan soporte a los organismos existentes en el humedal, incluso es un componente que permite la transformación tanto químicas como biológicas para almacenar los elementos contaminantes del agua a tratar, en la materia granular se van formando anóxido para eliminar la contaminación (nitrógeno-metales), es decir, que extrae las sustancias contaminantes, siendo un modelo inicial de filtración y el desempeño adecuado de la conductividad hidráulica.

Otro tipo de material granular es la arena, la misma que se encuentra formado por pequeños tamaños de rocas, el tamaño individual de cada material granular de este tipo es entre 0.063 cm y 2 mm, estas se clasifican en limo y grava, denominadas de esta forma debido a que la primera es inferior al tamaño establecido y la segunda porque es superior a la misma.



**Figura No. 27** Material granular (arena)

**Fuente:**(Andrade et al., 2010)

Además, el tamaño de la arena depende de la zona en la que se encuentre, siendo naturales, de mina o playa, incluyendo los componentes como: cuarzosas, silíceas, y calcáreas, utilizadas principalmente como parte de materiales para la construcción, inclusive para el proceso de tratamiento de aguas residuales doméstica, siendo parte del proceso para filtrar las mismas.

El medio granular es el componente que ayuda a la construcción de humedales, puesto que facilitan la ejecución de los procesos de retención y sedimentación de la materia o elementos en suspensión, además de la degradación, transformación e inactivación de microorganismos patógenos. Este componente se coloca en entradas y salidas de las aguas, para esto se debe encontrar limpio, además de seleccionar el material granular en base a su

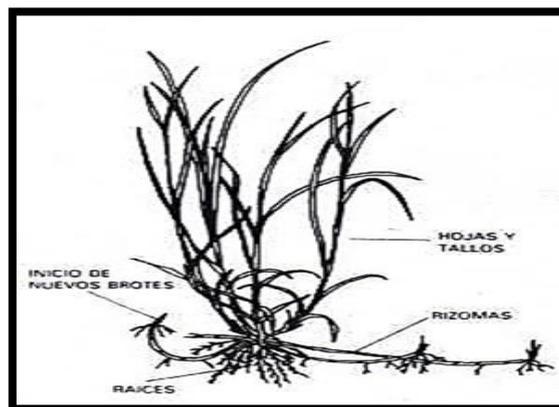
durabilidad, dureza, forma y capacidad de soporte a largo plazo. (García & Corzo, 2010)

Otros aspectos que se consideran son la facilidad que tiene el componente granular para los procesos de desarrollo de las plantas, siendo entre 5 y 8 mm, conductividad del flujo.

### 2.2.3.2 *Vegetación.*

De acuerdo a (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010), la vegetación se define de la siguiente manera:

Uno de los componentes de los humedales artificiales son las plantas emergentes de tipo acuáticas (macrófitas), utilizando mecanismo de absorción de contaminantes a través de las raíces, es así que generan oxígeno al material granular para que el conjunto de microorganismos pueda desarrollarse, estos así vez degradan la materia orgánica, puesto que las plantas convierten el carbono inorgánico en orgánico.



**Figura No. 28** Planta emergente.

**Fuente:**(Andrade et al., 2010)

La vegetación (planta emergente) es un componente para tratar aguas debido a que permiten que el agua fluya adecuadamente por medio de raíz y tallo con velocidad media-baja para oxigenar el entorno, esto facilita a la propagación de microorganismos con el fin de que eliminen los elementos contaminantes, adicionalmente tanto el tallo como la raíz son utilizados por los microorganismos para adherirse a la misma.

Entre las plantas emergentes más utilizadas en los humedales artificiales son: la espadaña, totora y carrizo, para la selección de estas plantas se debe considerar las principales características, distancia de siembra, penetración de raíces en el material granular, temperatura, salinidad y pH.

En la siguiente tabla se detalla cada una de las plantas emergentes empleado en los humedales artificiales:

**Tabla No. 12** Plantas emergentes para humedales artificiales

Nombre de plantas	Descripción
<p data-bbox="188 315 312 347">Espadaña</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desarrolla en diversas condiciones.</li> <li>• Crece rápidamente sin ningún inconveniente.</li> <li>• Produce una gran cantidad de materia orgánica.</li> <li>• No se utiliza para el sistema de tratamiento de flujo subsuperficial.</li> <li>• Distancia: 60 cm.</li> <li>• Penetración: 30 cm.</li> <li>• Temperatura: 10°-30° C.</li> <li>• Salinidad: 30 ppt.</li> <li>• pH: 4-10.</li> </ul>
<p data-bbox="188 741 277 772">Totora</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desarrolla en diversas condiciones y grupos.</li> <li>• Crece rápidamente en aguas costeras a una profundidad de 5 cm a 3 m.</li> <li>• Utilizado para el sistema de tratamiento de flujo subsuperficial.</li> <li>• Distancia: 30 cm.</li> <li>• Penetración: 60 cm.</li> <li>• Temperatura: 18°-27° C.</li> <li>• Salinidad: 20 ppt.</li> <li>• pH: 4-9.</li> </ul>
<p data-bbox="188 1137 288 1169">Carrizo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecen en un año, altas, extensas.</li> <li>• Transfieren oxígeno de forma eficaz.</li> <li>• Utilizado para el sistema de flujo subsuperficial.</li> <li>• Distancia: 60 cm.</li> <li>• Penetración: 40 cm.</li> <li>• Temperatura: 12°-23° C.</li> <li>• Salinidad: 45 ppt.</li> <li>• pH: 2-8.</li> </ul>

---

**Junco de Río**


- Se denominan juncos de laguna o lacustre
- Generalmente crecen cerca de ríos, lagunas, etc.
- Llegan a superar los 2 metros de altura.
- Contienen espigas entre 1 y 8 con una longitud máxima de 1 cm.
- Son plantas acuáticas perennes.
- Tallo con un diámetro de 2cm en la parte de la base
- Las hojas se forman fuera del agua, pero tienen un diámetro inferior a los tallos.
- Distancia: 30 cm.
- Penetración: 60 cm.
- Temperatura: 18°-37° C.
- Salinidad: 20 ppt.
- pH: 4-8.

---

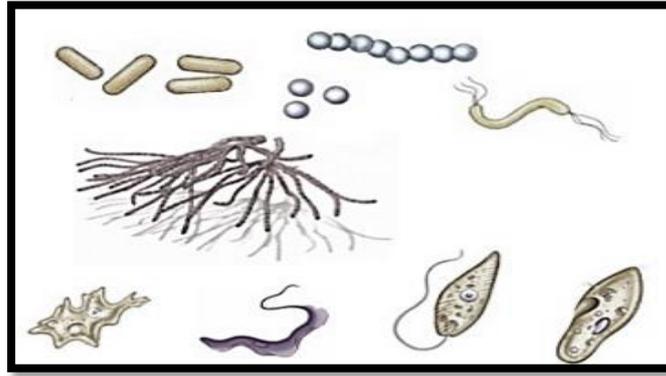
**Fuente:** (Andrade et al., 2010), (Castroviejo, 2013)

**Elaborado por:** Autores

### **2.2.3.3 *Microorganismos.***

Según varios autores como: Andrade et al. (2010), el componente denominado microorganismos se refiere a lo siguiente:

El componente de los humedales artificiales son las bacterias, levaduras, hongos y protozoarios, los mismos que ayudan a efectuar el tratamiento biológico dentro de este sistema, estas se ubican en la parte superior del humedal en el cual se distribuye el oxígeno generado por la vegetación, pues, se a través de la oxigenación se desarrollan grandes cantidades de microorganismos aerobios mientras que en el material granular se encuentran los microorganismos anaerobios, es así que se encargan de degradar al máximo la materia orgánica proveniente de las aguas a tratar.



**Figura No. 29** Microorganismos.

**Fuente:**(Andrade et al., 2010)

Este componente se encarga de la degradación de la materia orgánica, desinfecta, elimina nutrientes etc., para la propagación o desarrollo necesitan una adecuada oxigenación tanto de las plantas del humedal como del resto del entorno. Por lo tanto, los microorganismos son capaces de transformar la materia orgánica en inorgánica y estas al mismo tiempo en gases que fluyen al entorno.

#### **2.2.3.4 Agua a tratar.**

Según (Silva, 2013), el componente denominado aguas a tratar se refiere a lo siguiente:

En este caso el agua a tratar son los provenientes de distintas acciones realizadas en el hogar, es así que este componente es fundamental para la ejecución del sistema de tratamiento de humedales artificiales, que se ubican en una extensión de terreno con filtraciones en el subsuelo, adicionalmente en este fluye por medio del material granular, vegetación y microorganismos.



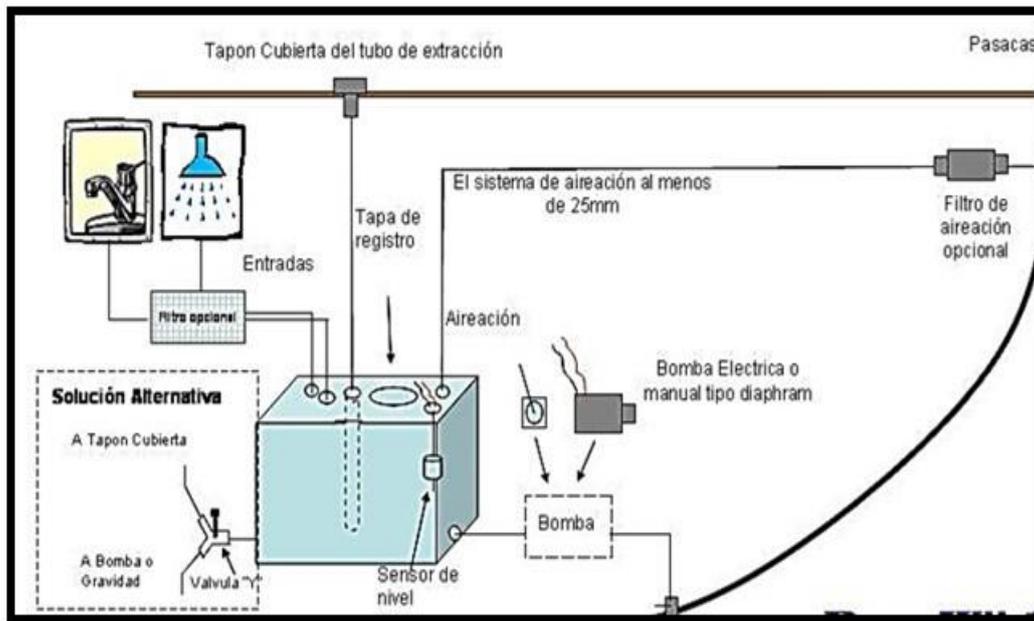
**Figura No. 30** Agua a tratar.

**Fuente:** (Silva, 2013)

De tal modo que las aguas a tratar establecen condiciones y parámetros para diseñar los humedales artificiales en diferentes lugares con una extensión de terreno apropiado para este sistema, es así que en este punto el terreno es previamente modificado, pues, lo que se requiere es la recolección y retención de las aguas.

#### ***2.2.3.5 Otros componentes.***

Para (UN-HABITAT , 2010), en la implementación de humedales artificiales se encuentran como componente complementario el sistema de tubería de entrada y salida de aguas.



**Figura No. 31** Estructura de entrada y salida.

**Fuente:** (UN-HABITAT, 2010)

Ambos sistemas de tubería ayudan a el flujo de las aguas residuales domésticas sean uniformes con un rendimiento óptimo requerido, es así que se emplean tuberías de tamaño pequeño y mediano que facilitan la recolección y disposición final de las aguas. En este sistema se incluyen tuberías perforadas de recogida de agua, atravesando el humedal artificial hasta llegar a la salida.

Utilizando un colector de entrada para la recolección de las aguas, a este se realiza varios ajustes con el fin de controlar el flujo que atraviesa el sistema, el tamaño de la tubería debe tener un diámetro entre 100 y 200 mm, tipo PVC, forma de T ubicada cada 3m en arco vertical acorde al tipo de humedal artificial diseñado, es así que se realiza ajustes necesarios del tipo de caudal especificado. (García D. , 2010)

Además, se considera que la ubicación de la tubería debe estar en el fondo del lecho y alrededor con material granular, esta debe estar debidamente

perforada, mientras que para el sistema de salida del sistema de tubería se coloca al culminar la celda y en el fondo del lecho, dependiendo de la necesidad se realiza una zanca de poca profundidad, colocando material granular debajo de la celda, esto ayuda a que el drenaje de las aguas residuales domésticas sea la adecuada.

#### **2.2.4 Mecanismos de remoción.**

Según varios autores como: (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010), los mecanismos de remoción de contaminantes en los humedales artificiales son en base a los parámetros de sólidos suspendidos, DBO, nitrógeno amoniacal, patógenos, fósforo y metales.

A continuación, se describe cada uno de los mecanismos de remoción en los humedales artificiales con base a parámetros ya mencionados:

- **Remoción de Sólidos suspendidos:** Para remoción de sólidos suspendidos se emplean mecanismos como: la filtración y la sedimentación, esto es un complemento del tratamiento preliminar, es así que las raíces de las plantas emergentes y material granular se encargan de disminuir la velocidad del agua, esto facilita a que tanto la filtración como la sedimentación se realicen adecuadamente, además ayuda a evitar obstrucciones para que el flujo del agua llene el humedal construido. (Andrade et al., 2010)
- **Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** El mecanismo de remoción utilizado bajo este parámetro es mediante la degradación y sedimentación de la materia orgánica, utilizando acciones anaeróbicas-aeróbicas, incluyendo la acumulación de la misma en la parte superior, es así que para esto se emplea material granular para el desarrollo de los microorganismos

que se ubican en las raíces y tallo principal subterráneo, mediante este mecanismo se obtiene mayor concentración de oxígeno en el lecho del humedal. (Comisión Nacional del Agua, 2014)

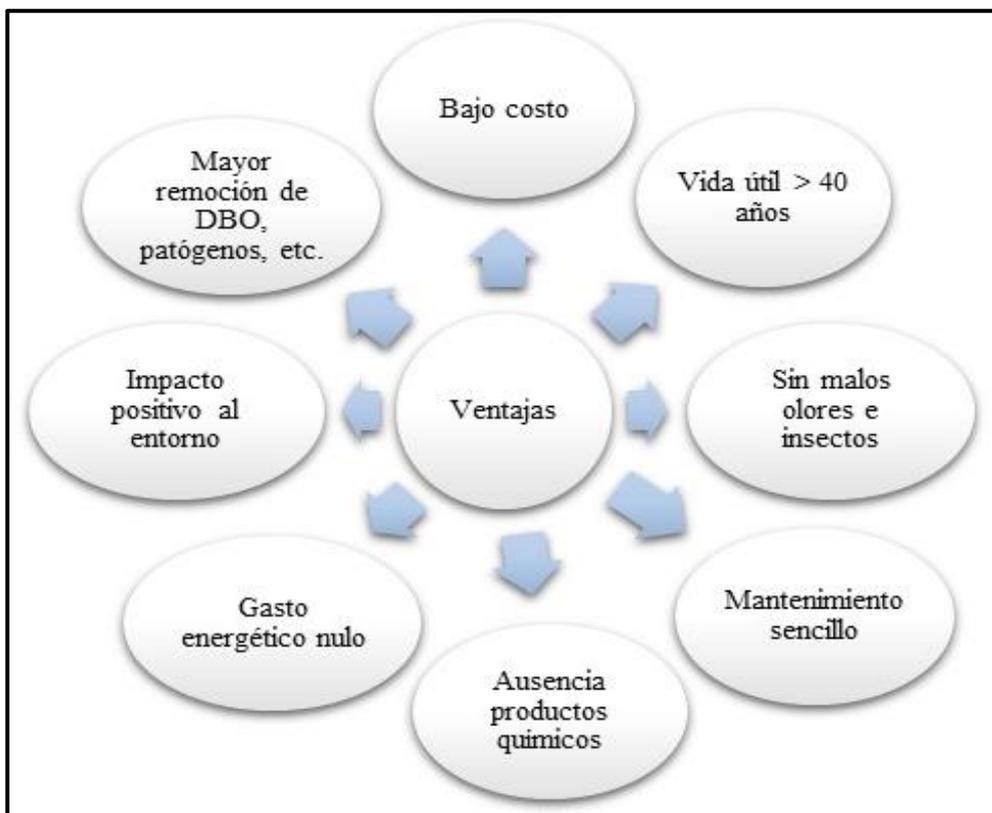
- **Remoción de Nitrógeno amoniacal:** El mecanismo de remoción utilizado bajo este parámetro es la amonificación, nitrificación y desnitrificación amoniacal, incluyendo el captado por la planta emergente. En este sentido, la amonificación se basa en procesos aeróbicos-anaeróbicos, pues, se encarga de mineralizar el nitrógeno en la materia orgánica, posteriormente continúa la nitrificación basado en el proceso aeróbico, la cual necesita de oxígeno y carbono para la oxidación de la materia orgánica mientras que, con la desnitrificación, en la cual no existe oxígeno en el agua, siendo un nivel máximo menor al 2%. (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010)
- **Remoción de Patógenos:** El mecanismo de remoción utilizado bajo este parámetro es la sedimentación-filtración, declinación o muerte, radiación ultravioleta y excreción de antibióticos por medio de las raíces de la planta emergente, es así que los mecanismos de remoción se basan en procesos químicos y biológicos que mediante las condiciones ambientales eliminan los elementos patógenos existentes en las aguas. (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010)
- **Remoción de fósforo:** El mecanismo de remoción utilizado bajo este parámetro se considera la absorción, precipitación, formación de complejos y la captada por la planta emergente, es así que para que la absorción de los elementos contaminantes depende de la existencia de hierro, calcio, arcilla materia orgánica, aplicado mediante procesos aeróbicos y pH neutro, incluso se puede

acumular la materia orgánica durante un tiempo estimado, esto hace que se cumpla con el proceso de remoción. (Silva, 2013)

- **Remoción de metales:** El mecanismo de remoción utilizado bajo este parámetro que se considera es la sedimentación, absorción sobre la superficie de la planta emergente, sedimentación, precipitación química (descomposición de la masa o elemento sólido), y la captada por la planta, es así que para la remoción de los metales se espera un tiempo estimado para que cumpla con el proceso de oxidación. (Silva, 2013)

### 2.2.5 Ventajas.

El tratamiento de aguas mediante el sistema de humedales artificiales se presenta diversas ventajas, las mismas que se especifican en la siguiente figura:



**Figura No. 32** Ventajas del sistema de humedales artificiales.

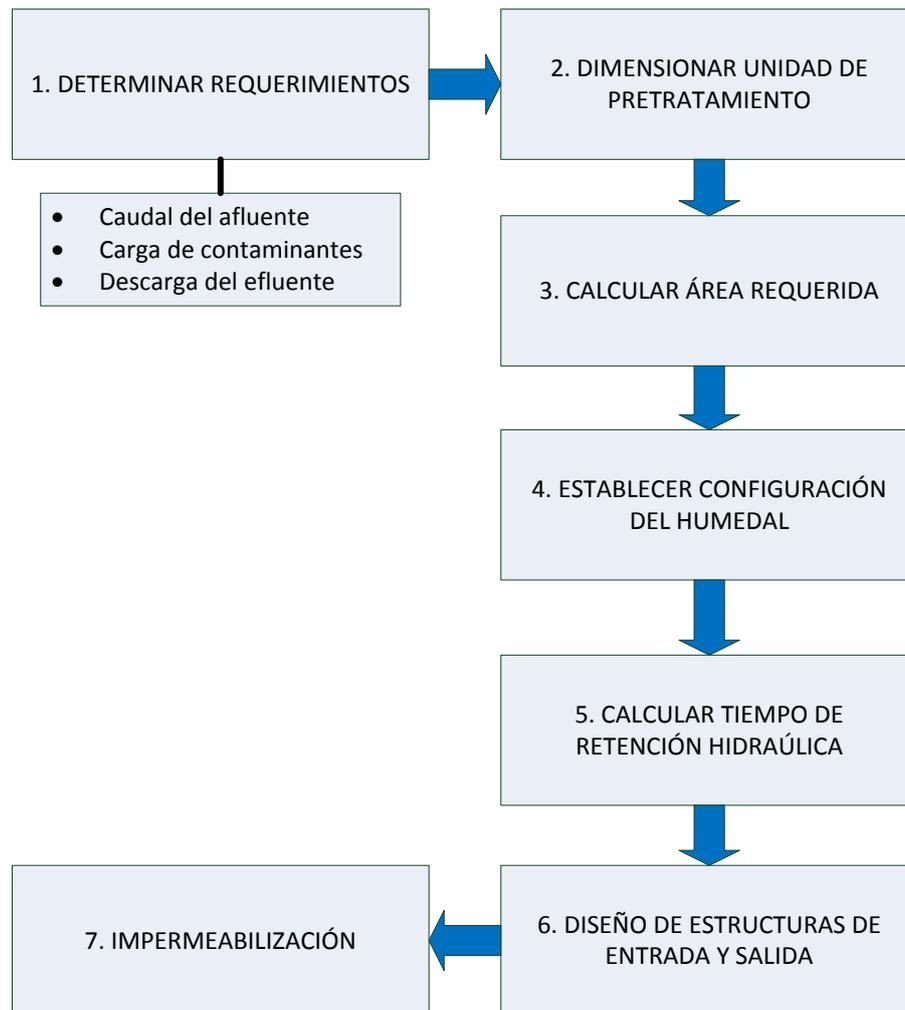
**Fuente:** (Andrade et al., 2010)

Por lo tanto, al utilizar al sistema de humedales artificiales como mecanismo para tratar las aguas residuales domésticas se obtiene varias ventajas relacionadas desde lo económico y social, puesto que la inversión no es costosa, puede durar hasta más de 40 años si se mantiene adecuadamente, es así que el gasto en energía nulo, puesto que utiliza rayo ultravioleta.

Además no perjudica al entorno, al contrario se acopla a la misma debido a que no utiliza productos químicos para tratar las aguas sino material granular, y vegetación, con lo cual se degrada la materia orgánica y al mismo tiempo elimina factores como los sólidos suspendidos, DBO, patógenos entre otros, incluso este sistema no produce malos olores, lodos ni se propaga insectos (mosquitos), a través de la filtración se mejoran la calidad de las aguas, siendo parte del tratamiento tanto secundario como terciario.

#### **2.2.6 Diseño del humedal artificial.**

Como premisa de este punto se considera el criterio de diseño de humedales artificiales, los mismos que se detallan en la siguiente figura:



**Figura No. 33** Criterios de diseño-humedales artificiales

**Fuente:** (Iowa Department of Natural Resources, 2007)

A continuación, se presentan las fórmulas empleadas para el diseño de humedales artificiales:

- **Caudal:**

$$Q = \frac{Q_e + Q_0}{2}$$

Donde:

- $Q$  = Caudal medio del humedal en m<sup>3</sup>/día
- $Q_e$  = Caudal de entrada o efluente
- $Q_o$  = Caudal de salida o afluente.

- **Dimensionamiento hidráulico:**

$$Q = K_s * A_s * S$$

Donde:

- $Q$  = caudal, en m<sup>3</sup>/d
- $k_s$  = conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo (en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)
- $A_s$  = sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo (m<sup>2</sup>)
- $S$  = gradiente hidráulico o pendiente ( $dh/dL$ ), en m/m

- **Dimensiones del humedal:**

Ancho

$$W = \frac{A_s}{h}$$

Donde:

- $W$  = ancho (m)
- $h$  = profundidad (m)
- $A_s$  = Área Superficial

Longitud

$$L = \frac{S}{W}$$

Donde:

- $L = longitud (m)$
- $W = ancho (m)$
- $S = pendiente$

• **Área requerida:**

$$As = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- $As = \text{Área Superficial}$
- $Q = \text{Caudal}$
- $\ln (DBO5) e = \text{Concentración de DBO5 al ingreso}$
- $\ln (DBO5) s = \text{Concentración de DBO5 a la Salida}$
- $KT = \text{constante de temperatura en el humedal}$
- $y = \text{Profundidad del Humedal}$
- $n = \text{Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal.}$

• **Constante de temperatura:**

$$K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)}$$

Donde:

- $KT = \text{constante de temperatura en el humedal}$

- **Configuración:** Mínimo dos celdas para distribución de las aguas en el sistema de humedal artificial

- **Carga hidráulica:**

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

Donde:

- $q$  = carga hidráulica en la entrada
- $Q$  = caudal
- $A$  = área superficial del humedal

- **Tiempo de retención hidráulica:**

$$TRH = \frac{As * h * n}{Q}$$

Donde:

- $TRH$  = tiempo de retención hidráulica
- $As$  = área superficial
- $h$  = altura
- $n$  = porosidad del sistema
- $Q$  = caudal

### 2.3 Marco teórico referencial

Para el desarrollo de esta investigación se utilizan varias referencias que forman parte de la premisa del estudio, en la cual se destacan las siguientes:

En la tesis denominada “Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas en el hogar”, se basa en la utilización de un sistema para el tratamiento de aguas residuales que permitan reutilizar las mismas en otros usos considerados no potables, ahorrando agua y al mismo tiempo generando mejor calidad de vida de la población. (Espinal, Ocampo, & Rojas, 2014)

En el artículo de la revista de Tecnología y Sociedad hace referencia al “Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas”, en el cual mencionan la aplicación de la demanda bioquímica de oxígeno con tiempos de retención entre 3-7 días, realizando evaluaciones continuas de al menos cuatro veces durante un año, dando como resultado que las plantas estudiadas son un mecanismo válido para tratar aguas residuales, incluso los costos son mínimos (instalación, operación, mantenimiento). (Castañeda & Flores, 2013)

En la investigación sobre “Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá”, menciona la utilización de mecanismos para medir la capacidad de reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos para emplear un control contaminación, utilizando un diseño apropiado para la construcción de este mecanismo mediante características técnicas y la forma de operar este tipo de sistemas. (Rodríguez & Ospina, 2014).

## **2.4 Marco legal**

### **2.4.1 Aspectos legales.**

De acuerdo a la Constitución del Ecuador (2008), en el artículo 3 hace referencia que el Estado es el ente encargado de garantizar la salud, educación, servicios básicos, seguridad entre otros, para el bienestar de la población y mejorar las condiciones de vida, utilizando de forma adecuada los recursos disponibles mediante la distribución

igualitaria de los mismos, cumpliendo los principios de protección del patrimonio del país.

En la misma Constitución tipificada en el artículo 14 menciona que el derecho de los habitantes a permanecer en un entorno adecuado, es decir, saludable y equilibrado, en el cual se cumpla lo plasmado en el Buen Vivir, es así que incluye la interacción de las personas con el entorno natural, a fin de cuidar y conservar el mismo. (Asamblea Nacional del Ecuador , 2008)

Asimismo en la Constitución del Ecuador (2008), señala lo siguiente:

*“Art. 15.- El Estado ayudará a promover el uso de tecnologías ambientales limpias, utilizando energías alternativas que no sean contaminantes, el cual genere el menor impacto posible”.*

En la Normativa del Libro VI de la Calidad Ambiental (2015), relacionado con el Sistema Único de Manejo Ambiental del artículo 6 hace referencia al régimen institucional, es así que señala que cualquier proyecto o actividad que cause impacto al entorno debe estar con base al cumplimiento estricto de esta normativa, bajo principios de sustentabilidad, prevención, equidad y responsabilidad para cuidar el ambiente, usando para ello tecnologías o alternativas adecuadas, asimismo en el artículo 14 indica que dese ser regularizado en el SUIA, obteniendo el certificado de intersección.

La Normativa del Libro VI de la Calidad Ambiental (2015), señala:

*“Art. 33.- La evaluación de impactos ambientales permite conocer los daños potenciales que ocasiona la ejecución del proyecto para establecer acciones oportunas de mitigación, considerando aspectos físicos, bióticos y socio-cultural”.*

Otro aspecto que menciona la normativa se basa en la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos y/o especiales, denotando que es una prioridad nacional, tipificado en el artículo 51, siendo el Estado en ente encargado de otorgar rectoría a la autoridad ambiental nacional para establecer políticas del manejo de desechos, a fin de mejorar la sustentabilidad. (Ministerio del Ambiente, 2015)

Además, la responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales se encuentra tipificado en el artículo 61 de la misma normativa, puesto que son los encargados de garantizar la gestión adecuada de residuos que se generan en diversos proyectos ubicados en el área de su competencia, para lo cual deberán implementar un plan, promoción de programas, servicios de manejo de residuos, ordenanzas, tecnologías, entre otros. (Ministerio del Ambiente, 2015)

En el artículo 78 de la Normativa del Libro VI de la Calidad Ambiental (2015), indica lo siguiente:

*“Art. 78.- Las empresa privadas o públicas tienen la responsabilidad de realizar tratamiento a los residuos con el fin de mitigar daños al entorno para la reutilización, disposición final, y cuidado de la salud de la población”.*

De acuerdo al Anexo 1 de la Normativa del Libro VI de la Calidad Ambiental (2015), menciona que para el estudio de la calidad de agua se debe basar en diversos criterios como la preservación de la vida acuática y silvestre, parámetros de las aguas, límites de descarga, etc.

Cada uno de los aspectos señalados se consideró para el desarrollo del Estudio del comportamiento del DBO en humedal artificial para tratar agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos.

## 2.5 Marco conceptual

### 2.5.1 Definición de términos

En este ámbito se detalla la definición de términos del proyecto.

- **ARD:** Agua Residual Doméstica.
- **Aguas domésticas:** Son aguas provenientes de baños, cocinas, lavanderías mediante descargas hidráulicas de la edificación, se incluye las aguas de establecimientos comerciales. (Ecured, 2012).
- **Aguas residuales:** Se refieren a las aguas provenientes de residuos domésticos o a nivel industrial, estos deben ser tratados previo a desechar en vertientes convencionales. (Ecured, 2012).
- **Aguas residuales domésticas:** Son aguas que proceden de las heces y orina humana, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos. (Lifeder, 2013).
- **Aguas residuales domésticas grises:** Son las aguas que provienen de las diferentes actividades diarias realizadas en el hogar, se derivan de lavabos, duchas, lavadoras entre otras. (Lara, 2009 ).
- **Biodiscos:** Serie de discos localizados en el reactor del tanque, cumplen los procesos de tratamiento biológico y aeróbico, desarrollando la biomasa bacteriana, absorbe oxígeno, es decir remueve la DBO. (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, 2012).
- **Desarenador:** Facilita la remoción de agentes sólidos y arenas que se encuentran suspendidas en el agua debido a que se emplea un proceso de sedimentación. (BVSDE, 2005).
- **DBO:** La demanda bioquímica de oxígeno es un bioensayo que mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en sus procesos metabólicos para

degradar la materia orgánica presente en la muestra. (Comisión Nacional del Agua, 2014).

- **Humedales artificiales:** Se relacionan con la eliminación de agentes contaminantes tanto del suelo y el resto de materia orgánica, utilizando microorganismos que se encuentran en las plantas. (Metcalf & Eddy, 2013).
- **Humedales artificiales de flujo superficial horizontal:** Utiliza filtros, formados de grava y raíces de la vegetación, ayudan a degradar la materia orgánica y desnitrificar (eliminar nitrógeno). (Observatorio del Agua , 2015).
- **Humedales artificiales de flujo superficial libre:** Se refieren a un sistema de tratamiento, es así que atraviesa los tallos de las plantas, se ubican en la parte superior, con una profundidad aproximadamente de 0,6 m. (Observatorio del Agua , 2015).
- **Humedales artificiales de flujo vertical:** El agua fluye verticalmente a través de filtro formado con raíces de las plantas acuáticas y el conjunto de microbios, para la aireación requiere tubos que facilitan la entrada del oxígeno, esto ayuda a la degradación de los agentes contaminantes. (Lara, 2009 )
- **Microfiltros:** Se encargan de receptor los desechos, las mismas quedan retenidas en el interior de este elemento, al tener un proceso automático mantiene limpias las mallas utilizadas. (Tchobanoglous & Crites, 2000)
- **Microorganismos:** Son las bacterias, levaduras, hongos y protozoarios, los mismos que ayudan a efectuar el tratamiento biológico. (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010).
- **Nitrificación:** Contienen bacterias que consumen el nitrógeno que contienen la materia orgánica e inorgánica. El amoníaco es un ejemplo de un material

inorgánico consumido por las bacterias nitrificantes. (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010).

- **Planta emergente:** Son de tipo acuáticas (macrófitas), utilizando mecanismo de absorción de contaminantes a través de las raíces, generan oxígeno al material granular para que el conjunto de microorganismos pueda desarrollarse, estos así vez degradan la materia orgánica, puesto que las plantas convierten el carbono inorgánico en orgánico. (Andrade, Delgadillo, & Pérez, 2010)
- **Rejillas:** Se emplea para retener desechos sólidos, evitando taponamientos para el funcionamiento adecuado de las bombas, válvulas, entre otros. (Tchobanoglous & Crites, 2000).
- **Tamices:** Se encargan de remover mayor cantidad de agentes contaminantes sólidos, utilizando filtros biológicos. (Tchobanoglous & Crites, 2000).
- **Tanques:** Se encargan de la sedimentación de elementos sólidos provenientes de las aguas residuales domésticas, teniendo una efectividad entre el 50%-70% de sustancias sólidas suspendidas y 25%-30% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). (Olivos, 2010).
- **Tratamiento de aguas residuales domésticas:** Se basa en la recepción de las aguas residuales para realizar diversos procesos (físicos, químicos y biológicos) con el fin de eliminar elementos contaminantes. (Ramalho, 2003).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de investigación

Para el desarrollo de este proyecto se aplicó la investigación descriptiva. Por lo tanto, con la descriptiva se detalla los aspectos relacionados con la situación actual de la planta piloto existente en el Laboratorio de elaboración de bloques de la Universidad Laica Vicente Roca fuerte.

De tal modo que este tipo de investigación abarca los aspectos relacionados con el comportamiento de la DBO, detallando las características de sus componentes, además de la revisión de la estructura de la planta piloto, y verificar el funcionamiento del humedal.

Además, De acuerdo a (Hernández, Fernández, & Baptista, 2013), el diseño de la investigación se basa en los siguientes aspectos:

- **Bibliográfica-Documental:** Con esta investigación se obtiene información de diversos documentos, artículos, tesis, libros entre otros aspectos, relacionados con el tema de estudio, contrastando la parte teórica de la misma.
- **Campo:** Mediante esta investigación se recopila información de forma directa del lugar en el que se encuentra el objeto de estudio, es decir, en la planta piloto.

#### 3.2 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es de tipo mixta (cuantitativa y cualitativa), es así que a través de las mismas permitió conocer los aspectos del proyecto de investigación para su respectiva interpretación, siendo el objeto el estudio del comportamiento del DBO en humedal artificial de flujo vertical para tratar ARD.

En este sentido, con el enfoque cuantitativo se conoce de forma directa los principales inconvenientes presentados en la Planta Piloto existente, denotando de forma estadística (numérica) los resultados, así mismo este enfoque permite especificar los cálculos de diseño, es decir las variables intervinientes antes y después del tratamiento de las aguas, analizando el comportamiento de la DBO en humedal artificial, incluyendo la evaluación de los parámetros de las ARD.

### 3.3 Sistema de tratamiento actual

El sistema de tratamiento actual es una planta piloto ubicada en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, la misma que no se encuentra en funcionamiento debido a que el proyecto para el cual fue implementado terminó; donde se procedió al análisis, se efectuó el respectivo mantenimiento y sobre todo se implementaron mejoras para su correcto funcionamiento.



**Figura No. 34** Sistema de tratamiento existente previo a las mejoras

**Fuente:** Autores

### 3.4 Implementación de mejoras en el sistema de tratamiento

Para efectuar este trabajo de titulación se consideró realizar varias mejoras en el sistema de tratamiento existente, ya que en la planta piloto el sistema de tratamiento ARD no era el

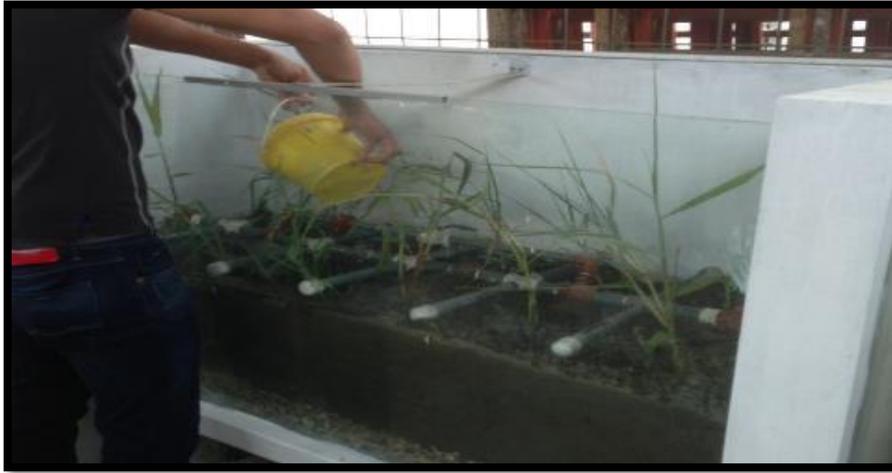
indicado en ese momento para los respectivos ensayos y tomas de muestras se procedió a lo siguiente:

- 1) Se cambió en su totalidad el lecho existente de piedra chispa (1/8") y arena.
- 2) Se limpió y se le adecentó, pintando toda la estructura.
- 3) Se instaló un tanque plástico nuevo, donde se almacenaba el ARD que iba a servir para los ensayos.
- 4) Se efectuó mantenimiento a la flauta con la que contaba la planta piloto. Se limpió y se verificó que todos los agujeros se encuentren sin taponamiento.
- 5) Se realizaron conexiones nuevas entre la tubería que conectaba a la flauta y el tanque para la toma de muestras con los distintos calados, las cuales daban mejor trabajabilidad a la hora de cambiar los mismos.
- 6) Se efectuó el sembrado de vegetación (Junco de Rio) la cual ayuda al proceso de tratamiento de ARD para su reutilización.



**Figura No. 35** Mejoras del sistema de tratamiento (1)

**Fuente:** Autores



**Figura No. 36** Mejoras del sistema de tratamiento (2)

**Fuente:** Autores



**Figura No. 37** Mejoras del sistema de tratamiento (3)

**Fuente:** Autores

### **3.5 Proceso de pruebas de laboratorio para la determinación de la DBO**

#### **3.5.1 Alcance y aplicación.**

##### ***3.5.1.1 Tipo de muestras.***

Este método es aplicable para el análisis de distintos tipos de aguas, como: aguas naturales, aguas municipales, industriales y residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

### **3.5.1.2 Rango de trabajo.**

El intervalo de trabajo será entre 10 – 3000 mg/l de DBO5.

## **3.5.2 Referencias.**

### **3.5.2.1 Método de Referencia.**

- Standard Methods, 22th edition 2012, Método de las diluciones 5210B  
Método de electrodo 4500-OG
- Norma nacional de calidad Ambiental y descarga de agua libro VI  
anexo1.

### **3.5.2.2 Documentos utilizados conjuntamente.**

- Manual de Calidad: PG-01 (Elaboración de documentos).

## **3.5.3 Interferencias.**

Los resultados pueden estar influenciados por la presencia de diversas sustancias. Valores extremos de pH y las sustancias tóxicas utilizadas frente a los microorganismos como por ejemplo bactericidas, metales tóxicos o cloro libre los que pueden inhibir la oxidación bioquímica de la materia orgánica. La presencia de algas o de microorganismos nitrificantes puede producir resultados elevados. Para este efecto el método contempla el uso de inhibidores de nitrificación y el pretratamiento de las muestras antes del análisis.

## **3.5.4 General.**

### **3.5.4.1 Definiciones.**

DBO: La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es un bioensayo, que mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en sus procesos metabólicos, necesaria para degradar la materia orgánica presente en la muestra.

### OD: Oxígeno Disuelto

Nitrificación: La mayoría de los fluidos residuales contienen bacterias que consumen el nitrógeno que contienen la materia orgánica e inorgánica. El amoníaco es un ejemplo de un material inorgánico consumido por las bacterias nitrificantes (es decir, bacterias que convierten el nitrógeno contenido en la materia a nitrito y nitrato).

Blancos. El propósito de los blancos es indicar la ausencia de: (1) contaminación de agua de dilución o mal lavado del material para el ensayo, (2) determinar la cantidad de semilla correcta para la inoculación de las muestras, (3) los blancos de semilla se utilizan para sacar el factor de corrección por inculo, y (4) otras fuentes de error que no puede ser relacionados con las mismas muestras. En estos cálculos no se hace corrección por el OD consumido por el blanco de agua de dilución durante la incubación. Si el agua de dilución no cumple el criterio de aceptación, los resultados serán cuestionables, pero no rechazados.

Estándares: El objetivo principal de analizar un chequeo con un DBO5 estándar, ya sea de glucosa y ácido glutámico, o algún otro material, es determinar si la técnica y todo lo que encierra el ensayo es el correcto como control de calidad, además si la semilla utilizada por el laboratorio es lo suficientemente potente para la prueba de DBO5. Si la media (promedio) después de varios análisis de valor de la glucosa y de ácido glutámico es significativamente menor que 198 mg/L, una semilla más fuerte es o necesaria. Si la media es considerablemente mayor que 198 mg/L, una semilla más débil se indica.

#### **3.5.4.2 Principio del método.**

La prueba de la DBO5 es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica biodegradable presente en las ARD o natural. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días.

La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), medida por el electrodo, durante el periodo de incubación, produce una medida de la DBO. Esto mide la materia orgánica biodegradable, expresada en mg O<sub>2</sub>/L.

Hay una cantidad limitada de oxígeno que se disuelve en la muestra (alrededor de 9 mg/L y dependiendo de la temperatura), por lo tanto, el agua de dilución se prepara con nutrientes minerales tamponados agregados al agua destilada. La prueba no determina la cantidad total de materia orgánica, ya que muchos de los compuestos no se descomponen por reacciones biológicas y bioquímicas en las condiciones establecidas como es el caso de la nitrificación que ocurre después de los 5 días.

#### **3.5.5 Medidas de seguridad.**

En este procedimiento utilizamos ácido sulfúrico en diferentes diluciones, también hidróxido de sodio en diluciones, por lo que es necesario utilizar guantes, gafas y mandiles para protegerse de las salpicaduras.

##### **3.5.5.1 Primeros auxilios.**

Hidróxido de Sodio y Ácido Sulfúrico, provocan quemaduras graves, tras contacto con la piel aclarar con abundante agua, extraer la sustancia por medio

de algodón impregnado con polietilenglicol 400, despojarse inmediatamente de la ropa contaminada. Tras inhalación llevar a respirar aire fresco y avisar al médico, tras contacto con los ojos aclarar con abundante agua manteniendo los párpados abiertos por lo menos 10 minutos, tras ingestión beber abundante agua algunos litros, evitar vómitos. No efectuar medidas de neutralización.

### 3.5.6 Equipos y materiales.

#### 3.5.6.1 Equipos.

**Tabla No. 13** Equipos

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Código del equipo</b>
Incubadora	EQ-03
Medidor portátil HQ40d	EQ-01-00
Sonda o electrodo LDO	EQ-01-02
Bomba aireadora	EQ-09

**Fuente:** Autores

#### 3.5.6.2 Materiales.

- Botellas de incubación para DBO5, de 300 mL de capacidad, con tapa.
- Frascos grandes o baldes (2 - 5 litros) para la preparación del agua de dilución y el llenado de las botellas de DBO5. Un recipiente de vidrio o plástico lo suficientemente grande como para suministrar toda el agua de dilución de un determinado lote de muestras debe ser utilizado como el depósito de agua de dilución.
- Pipetas terminales de 5 y 10 ml.
- Fiolas de 500 ml.
- Beakers.
- Pipetas volumétricas de 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 25, 50 y 100 ml.

- Barras magnéticas.
- Tapones de algodón o plástico.
- Manipulador o pera de succión.

### 3.5.7 Reactivos.

- Agua destilada.
- Glucosa. - Grado reactivo analítico.
- Ácido glutámico. - Grado reactivo analítico.
- Medio mineral (Nutrientes): Utilice los cojinetes HACH para preparación de medio mineral.

El medio mineral también puede ser preparado como se describe a continuación:

- Fosfato diácido de potasio,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .....8,50 g
- Fosfato ácido de potasio,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .....21,75 g
- Fosfato ácido de sodio dihidrato,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....33,40 g
- Cloruro de amonio,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .....1,70 g

Disolver en agua y completar hasta 1 litro.

El pH de la solución debe ser 7,2 sin posteriores ajustes. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descartar este o cualquiera de los otros reactivos.

- Cloruro de calcio dihidrato,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....36,40 g
- Sulfato de magnesio heptahidratado  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .....22,50 g

Disolver en agua y completar hasta 1 litro.

- Cloruro férrico hexahidratado,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .....0,25 g

Disolver en agua y completar hasta 1 litro.

Agregar un ml de cada una de estas soluciones por cada litro de agua de osmosis.

- Soluciones ácida y alcalina: Ácido sulfúrico 1 N o Hidróxido de sodio 1N, para neutralización de muestras cáusticas o ácidas.
- Solución de sulfito de sodio: Disolver 1,575 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> en 1000 mL de agua destilada. Esta solución no es estable y se debe preparar diariamente. Esta solución se usa en muestras que tenga valores altos de cloro.
- Inhibidor de nitrificación: 2-cloro-6-(triclorometil) piridina, para CBOD.
- Solución de cloruro de amonio: Disolver 1,15 g de NH<sub>4</sub>Cl en 500 mL de agua destilada, ajustar el pH a 7,2 con solución de NaOH, y diluir a 1 L. La solución contiene 0,3 mg de N/mL.
- Inoculo: semilla o inoculo natural proveniente de aguas residuales domésticas.
- **Preparación de Semillas:**
  - *Preparación de la semilla agua residual doméstica*

Es necesario tener presente una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable de la muestra.

Las ARD, no cloradas o efluentes sin aplicación de cloro, plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas y aguas superficiales que reciben descargas de aguas residuales doméstica contienen poblaciones microbianas satisfactorias.

Algunas muestras no contienen una población microbiana suficiente (por ejemplo, algunos residuos industriales no tratados, residuos desinfectados, desechos de alta

temperatura, o residuos con valores extremos de pH). Para que estas ARD utilicen agua de dilución sembrada o adicione a la muestra una población de micro organismos.

El material de semilla de bacterias, debe recogerse con una hora de anticipación, para colocarlo en la incubadora a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , recoger el líquido sobrenadante y agitar antes de su uso. No utilizar la semilla después de 36 horas de almacenamiento.

- **Preparación del Estándar:**

Solución de glucosa-ácido glutámico: Secar a  $103^{\circ}\text{C}$  aproximadamente por 1 h la glucosa y el ácido glutámico. Disolver 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico en agua destilada y diluir a 1 L. Preparar inmediatamente antes de su uso si se deja en refrigeración puede durar 15 días. No preservar.

- **Preparación del agua de dilución:**

Para la preparación utilice los cojinetes de buffer nutritivo HACH o las soluciones buffer. Calcule la cantidad a preparar de acuerdo al número de botellas a usar en el ensayo. Cada cojinete sirve para preparar 300 ml de medio mineral. Prepare disolviendo los cojinetes en la cantidad requerida de agua en las botellas de 2–5 L mencionadas arriba. Si se utilizan las soluciones buffer colocar 1 ml de cada una para cada litro de agua.

Mantenga el agua de dilución aireando y tapada con plástico o algodón a las condiciones ambientales del laboratorio.

### 3.5.8 Operaciones previas.

#### 3.5.8.1 Limpieza del material de vidrio.

La limpieza y lavado del material de vidrio y diferentes envases de las muestras, debe ser realizado según lo descrito en el Instructivo de Lavado de Material IG-1.1

#### 3.5.8.2 Identificación, manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de las muestras.

Como referencia para la identificación, manipulación, transporte y almacenamiento de las muestras, se ha tomado en consideración los criterios establecidos en el siguiente documento: PG 5.8 Manejo de Objetos de Ensayo, IG-1.2 Desechos de muestras.

Las muestras deben analizarse lo más pronto posible luego de haber realizado la toma de muestra.

- **Pre-tratamiento de la muestra:**

- Homogenización: Homogenice las muestras previo al análisis.
- Temperatura: Registre la temperatura inicial de la muestra. Antes del análisis la muestra debe estar a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- Ajuste del pH: Registre el pH inicial de la muestra. Debe estar en el rango de 6 a 8. Ajuste a 7 – 7.2 con Ácido sulfúrico 1 N o Hidróxido de sodio 1N, para neutralización de muestras ácidas o alcalinas.
- Desinfección con cloro: Si es necesario, el cloro residual es destruido mediante la adición de la solución de sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ).
- Otras sustancias tóxicas: Las muestras de aguas residuales provenientes de industrias, por ejemplo, electroquímicas, contienen metales tóxicos.

Estas muestras requieren de estudios especiales y deben ser tratadas antes de medirles la DBO5 con el método de las diluciones se resuelve esta interferencia.

- Muestras Sobresaturadas: La sobresaturación puede resultar cuando la muestra se ha agitado con fuerza justo antes de la lectura de OD sin dar oportunidad a que las burbujas de aire en la muestra se escapen, o cuando la muestra está experimentando fotosíntesis.
- Inhibición de la nitrificación: Si se determinara la DBO5 carbonácea (CBOD5) en lugar de DBO5, es necesario inhibir las bacterias nitrificantes presentes en la muestra y / o semillas. Esto se hace mediante la adición de 2-cloro-6-(metil-tricloro) piridina (TCMP). Agregue 0.16 gramos de TCMP a cada botella.

### ***3.5.8.3 Criterios de aceptación de las muestras.***

- Las muestras deben tomarse en recipientes plásticos o vidrio color ámbar, mínimo un litro por cada muestra. Si el recipiente de vidrio o plástico es incoloro, se le puede colocar una funda o papel oscuro, para evitar reacciones fotosintéticas.
- El envase debe llenarse lentamente, hasta que reboce, para que cuando se proceda al taponamiento se evite la inserción de aire en la botella.
- Preservación: Las muestras para determinación de la DBO5 se deben analizar con prontitud; si no es posible, refrigerarlas a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , ya que se pueden degradar durante el almacenamiento, dando como resultado valores bajos. Sin embargo, es necesario mantenerlas el mínimo tiempo posible en almacenamiento, incluso si se llevan a bajas temperaturas. Antes del análisis atemperarlas a  $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Las muestras adecuadas para la prueba de DBO5 se deben obtener antes de la cloración. Cuando los efluentes están clorados se debe probar que estén sin cloro (sulfito de sodio, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).

- Muestras simples: Si el análisis se inicia en el intervalo de 2 h después de la recolección no es necesario refrigerarlas; de lo contrario, guardar la muestra a 4°C +/- 2° C. Bajo ningún concepto iniciar el análisis después de 24 h de haber tomado la muestra.
- Muestras compuestas: Mantener las muestras a 4°C +/- 2° C durante el proceso de composición, que se debe limitar a 24 h. Aplicar los mismos criterios que para las muestras simples, contando el tiempo transcurrido desde el final del período de composición.

#### ***3.5.8.4 Control de condiciones ambientales.***

Las condiciones del laboratorio deben encontrarse a una temperatura aproximada de 25°C ± 5°C y una humedad relativa no mayor a 70%. Se anotarán en el Registro de Condiciones Ambientales F PG 5.3-01.

#### ***3.5.8.5 Preparación de los equipos.***

- Prenda la incubadora con 24 horas de anticipación, para que esta se estabilice y para mantener el material preparado a 20 ± 1 °C.
- Verifique el funcionamiento del equipo EQ-01-00 y su sonda EQ-01-02.
- Preparar el agua de dilución aireada como mínimo 30 minutos antes de su utilización.

### 3.5.9 Procedimiento.

Separe y rotule las botellas de la siguiente manera:

**Tabla No. 14** Procedimiento

	# de botellas	Sustancia	Inoculo	Rotulo
<b>Blanco -1 control/agua dilución</b>	1	Medio mineral	No	B -1+ fecha
<b>Blanco -2 control/agua dilución inoculada</b>	1	Medio mineral	0.5 a 2 ml semilla de agua residual doméstica	B-2 + fecha
<b>Blanco -3 inoculo</b>	1	Medio mineral	5 a 25 ml semilla de agua residual doméstica	B-3 + fecha
<b>Blanco - 4 Estándar</b>	1	Medio mineral + estándar	0.5 a 2 ml semilla de agua residual doméstica	B-4 + fecha
<b>Muestras</b>	2 dilución/ dos por muestra	Medio mineral + muestra	0.5 a 2 ml semilla de agua residual doméstica	Código de la Muestra + fecha

**Fuente:** Autores.

#### 3.5.9.1 Técnica de dilución.

Los resultados más acertados se obtienen con diluciones de muestra en las que los valores de OD residual son por lo menos 1 mg/L y un consumo de OD de por lo menos 2 mg/L después de los 5 días de incubación.

La experiencia con muestras de diferente origen permite optimizar el número de diluciones requeridas; la correlación de la DQO con la DBO puede constituir una guía efectiva para la selección de las diluciones más convenientes.

Si no se dispone de esta metodología, se pueden emplear las diluciones de 0,0 a 1,0 % para efluentes líquidos industriales, 1 a 5 % efluentes industriales

no tratados y decantados, 5 a 25 % para efluentes con tratamiento secundario o biológico, y 25 a 100 % para corrientes contaminadas.

Es recomendable realizar primero la determinación de la DQO para tener un mejor criterio para determinar la dilución del análisis, también se puede obtener datos del origen de las muestras.

**Tabla No. 15** Diluciones de DBO<sub>5</sub>

<b>Diluciones de DBO<sub>5</sub></b>			
<b>Muestra (ml) añadido a 300ml de una botella de DBO.</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mínimo esperado.</b>	<b>Rango máximo (mg/L)</b>	<b>Factor de Dilución</b>
0.5	1,200	3,400	600
1	630	1,800	300
2	210	560	150
5	105	280	60
10	70	187	30
25	26	70	12
50	11	28	6
100	8	22	3
150	4	12	2
300	2	6	1

**Fuente:** Autores.

Se hacen diluciones, cuando la muestra de ARD, se encuentra exenta de oxígeno disuelto, pero cuando la presencia de oxígeno está en el orden de 3 – 8 ppm o mg/l, no es necesaria la dilución, es factible sembrar directamente la muestra.

En las muestras de agua naturales no contaminadas no son necesarias las diluciones, por cuanto estas son ricas en oxígeno disuelto.

Las muestras deben mezclarse en forma homogénea, para evitar la pérdida de sólidos, sin producir aireación.

Antes de empezar diluciones, las muestras deben estar aclimatadas a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

### ***3.5.9.2 Diluciones preparadas directamente en las botellas.***

Prepare las diluciones directamente en las botellas DBO5. Con una pipeta volumétrica agregue el volumen de muestra deseado en las botellas para DBO5 y la semilla/inoculo; luego llene las botellas con suficiente agua de dilución, tape y agite suavemente invirtiendo la botella de arriba hacia abajo y evitando el ingreso de burbujas de aire.

Determine y Registre el OD inicial de cada botella, se tapa herméticamente con sello de agua, y se incuba por 5 días a  $20^{\circ}\text{C}$ . Enjuague el electrodo entre determinaciones para prevenir la contaminación cruzada de las muestras.

Para diluciones mayores de 0.5:300 hacer una dilución preliminar en un matraz aforado de 100 ml antes de hacer la dilución final en la botella.

### ***3.5.9.3 QC 1: Blanco del agua de dilución (Blanco -1).***

Llenar completamente 1 botella con el agua de dilución, para control de la calidad del agua de la misma y de la limpieza de los frascos de incubación. Determinar el oxígeno disuelto inicial.

**3.5.9.4 QC 2: Blanco inoculado (Blanco -2).**

Se adiciona el volumen de semilla seleccionado en cada botella y llenar completamente con el agua de dilución hasta completar los 300 ml. Determinar el oxígeno disuelto inicial.

**3.5.9.5 QC 3: Control de la semilla (Blanco-3).**

- Determinar la DBO5 del material inoculante como si se tratara de una muestra.
- Agite suavemente la semilla y tome cualquiera de las alícuotas de 15, 20, 25 y 30 ml.
- Coloque los volúmenes en las botellas de DBO5 y agregue agua de dilución hasta llenar las botellas. Determinar el oxígeno disuelto inicial

**3.5.9.6 QC 4: Solución de Glucosa + Acido Glutámico (Blanco-4).**

- Prepare la solución de glucosa y acido glutámico de acuerdo al apartado 7.11.
- Llenar 1 botella con agua de dilución aproximadamente las 2 terceras partes, agregar la semilla y 6 ml de la solución de G/GA de Glucosa + Acido Glutámico a 2 botellas de DBO.
- Determinar el oxígeno disuelto inicial.

**3.5.9.7 QC 5: Duplicado de la Muestra.**

Preparar un duplicado de cualquiera de las muestras que comprendan un lote de 1 o 20 muestras y determine su oxígeno disuelto inicial.

#### **3.5.9.8 Inoculación.**

- Semilla agua residual doméstica: Agregue de 0.5 a 2 ml de inóculo de agua residual doméstica a cada botella de DBO5 que contenga la muestra, el blanco inoculado y el estándar.
- Se inocula en el caso de muestras desconocidas, residuales industriales, ríos, esteros contaminados, que no tengan suficiente cantidad de bacterias, para degradar su materia orgánica

#### **3.5.9.9 Determinación del OD inicial.**

- Si la muestra contiene materiales que reaccionan rápidamente con OD, determinar el OD inicial inmediatamente.
- Después de llenar la botella de DBO con la muestra diluida. Si la absorción del OD inicial es insignificante, el tiempo de periodo entre la preparación de la dilución y la medición de OD inicial no es crítico, pero no debe exceder de 30 minutos.

#### **3.5.9.10 Incubación.**

Incube las botellas de los blancos, del control de la semilla, estándar y las muestras a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  en la incubadora.

Para evitar la entrada de aire en la botella de dilución durante la incubación, se debe utilizar un sello de agua, que se puede lograr satisfactoriamente invirtiendo las botellas en un baño de agua o adicionando agua en el reborde cóncavo de la boca de las botellas especiales para la DBO5. Además, coloque una copa de papel, plástica o un capuchón metálico sobre la boca de la botella para reducir la evaporación del sello de agua durante la incubación.

### 3.5.9.11 *Determinación del OD final.*

Determine el OD en las muestras diluidas, el control de la semilla, los blancos y el estándar o patrón después de 5 días de incubación. Registre el OD final de cada botella.

Para ser una prueba válida para una botella de DBO, la incubación debe dar lugar a una deflexión de OD de al menos 2,0 mg/L, con un mínimo de 1,0 mg/L al final del periodo de incubación.

### 3.5.10 Cálculos.

#### 3.5.10.1 *Cálculos de la DBO5.*

$$DBO_5 \text{ mg/l} = \frac{(D_1 - D_2) - (S)V_s}{P}$$

Dónde:

- **D1** = OD inicial en mg/L.
- **D2** = OD Final en mg/L.
- **S**= La captación o deflexión de Oxígeno en el control de la semilla.

Delta OD/ml, volumen de semilla en el control (S=0, si no se agrega semilla a las muestras).

- **Vs**= Volumen de semilla en ml, agregada a cada botella en el análisis
- **P** = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada; 1/P=factor de dilución.

### **3.5.11 Reporte de resultados.**

#### **3.5.11.1 Toma de datos.**

Todos los datos necesarios, para la identificación de la muestra y sus resultados se reportarán en la hoja de datos de análisis del área de aguas, según F PE 1.3-01.

#### **3.5.11.2 Criterios para reporte de Resultados.**

- Si tenemos resultados en las 2 diluciones se reportará la menor dilución.
- En el caso del duplicado se reportará el primer valor.
- Se expresan en mg/L.
- Se reporta en números enteros con un decimal.
- Si se ha inhibido la nitrificación, reportar los resultados como CDBO5.

#### **3.5.11.3 Cálculo de incertidumbre.**

La incertidumbre expandida relativa UDBO5 del método:

- Para el Rango de  $\geq 10 - \leq 100$ mg/L es de 13%
- Para el Rango de  $> 100 - \leq 500$ mg/L es de 17%
- Para el Rango de  $> 500 - \leq 3000$ mg/L es de 13 %

La manera de reportar sería:

- 100 mg/L  $\pm$  13% (K=2)
- 1000 mg/L  $\pm$  13% (K=2)

#### **3.5.11.4 Criterios de aceptación y rechazo de los resultados.**

Se aceptarán los resultados del lote de muestras, cuando por lo menos tres de los controles de calidad QC indicados en el punto 12.0 de este procedimiento

estén dentro de los rangos de aceptación, en caso de no cumplir con los criterios establecidos se rechaza los resultados del lote y se vuelve a repetir el análisis.

### **3.5.12 Precisión y exactitud.**

#### **3.5.12.1 *Batch o lote de análisis.***

Cada lote de muestras estará compuesto por 1 a 20 muestras y debe incluir los siguientes controles de calidad:

#### **3.5.12.2 *QC 1: Blanco del agua de dilución (Blanco 1).***

No debe exceder de 0.2 mg/L y de preferencia 0.1 mg/L.

#### **3.5.12.3 *QC 2: Blanco inoculado/agua de dilución sembrada (Blanco 2).***

Debe de estar en el rango de 0.60 – 1.0 mg/l.

#### **3.5.12.4 *QC 3: Control de la semilla.***

Su porcentaje de deflexión debe de estar en el rango de 40 – 80%

#### **3.5.12.5 *QC 4: Control de la Veracidad (Patrón).***

El control de la glucosa – ácido glutámico, es un punto de referencia, para evaluar la calidad del agua de dilución y la eficacia del inóculo y la técnica analítica.

La prueba del DBO es un Bio-ensayo y sus resultados pueden estar alterados por la presencia de sustancias tóxicas o por el uso de material de siembra de baja calidad.

Para comprobar la efectividad del inóculo, la técnica se realiza mediante una mezcla de 0.150 g. de glucosa/L y 0.150 g. Ácido glutámico/L como solución de control.

Determina la DBO por 5 días a 20°C de esta solución. La incubación debe dar lugar a una caída de DO de al menos 2,0 mg/L, con un mínimo de 1,0 mg/L al final del periodo de incubación. El valor del estándar debe estar entre 198 mg/l  $\pm$  30.5 mg/l DBO5 (167.5 mg/l y 228.5 mg/l). Este criterio para el patrón de glucosa ha sido tomado del Standard Methods y en la Validación se demostró que el laboratorio cumple con el mismo.

La carta de control se grafica con el valor 198 mg/l como valor medio y 30.5 mg/l se divide para 3, para establecer el valor de la desviación estándar y poder determinar los límites de advertencia con  $\bar{x} \pm 2 S$  y límites de control  $\bar{x} \pm 3 S$ .

Los resultados se registrarán en la carta control FPG5.9-01.

Reglas de Alerta: si los límites de advertencia están dentro del 95 % del nivel de confianza (si esto ocurre, a continuación, los datos requieren más control):

- 1 de cada 20 datos del QC excede los límites de advertencia.
- Reglas de rechazo: (cuando se produzca esto, los datos son rechazados):
- Uno de los datos del QC excede los límites de control
- Dos de cada 20 datos del QC exceden los límites de advertencia

### 3.5.12.6 QC 5: Control de precisión (duplicado).

- La diferencia de los duplicados % RPD  $\leq 10$  %.

$$\%RPD = 100 * \frac{D_1 - D_2}{D}$$

- Se registra el duplicado de cada lote de muestras en la carta control FPG5.9-04.

### 3.5.13 Anexos.

No aplica.

### 3.5.14 Registros.

**Tabla No. 16** Registros.

REGISTRO	RESPONSABLE	INDEXACIÓN	ACCESO	UBICACIÓN	SOPORTE	TIEMPO DE VIGENCIA
F PE 1.3-01 Hoja de Trabajo DBO <sub>5</sub>	AN	Por Fecha	JL/ AN	Carpeta Hojas de Trabajo de ensayos	Físico	Anual
F PG5.9-01 Carta control de patrón de la DBO <sub>5</sub>	AN	Por Fecha	JL/ AN	Carpeta Hojas de Trabajo de ensayos	Físico	Anual
F PG5.9-04 Carta control de duplicados de la DBO <sub>5</sub>	AN	Por Fecha	JL/ AN	Carpeta Hojas de Trabajo de ensayos	Físico	Anual

**Fuente:** Autores

#### 3.5.14.1 Proceso de pruebas en la entrada de aguas residuales doméstica.

En el proceso de ensayos y toma de muestras para las respectivas pruebas de laboratorio, se realizó de la siguiente manera:

1. Se abre la llave de paso y se dejó que por gravedad el agua (ARD) del tanque se vacié en su totalidad en el sistema de tratamiento aprovechando

su carga de agua, así de esta manera se humedece la arena y sobre todo la vegetación (Junco de Rio) sembrada en la misma; esto se realiza unos días antes para que la vegetación pueda estar acondicionada para cumplir su función en el tratado del ARD.

2. Una vez vaciado el agua del tanque se procede a abrir la llave de jardín instalada a la salida del sistema para así de esta manera dejar salir las primeras aguas.
3. El día del muestreo se llenó el tanque con agua residual doméstica para su respectivo vaciado.
4. En este vaciado se procede a tomar en una botella la muestra de agua residual doméstica sin ser tratada en el sistema de tratamiento.
5. En este ensayo el calado de la flauta estará a 5cm de altura del nivel de arena, donde la arena en conjunto con la piedra estaría a un calado de 40cm para la primera toma de pruebas (h= 10cm de piedra 1/8'') (h= 30cm de arena).
6. La toma de muestras se realizó a distintos calados y en distintos días con un reposo de 2 días, con la siguiente programación:

- **Miércoles 26 de Julio:**

H= 40cm (h= 10cm de piedra 1/8'') (h= 30cm de arena).

- **Viernes 28 de Julio:**

H= 55cm (h= 10cm de piedra 1/8'') (h= 45cm de arena).

- **Lunes 31 de Julio:**

H= 70cm (h= 10cm de piedra 1/8'') (h= 60cm de arena).

### **3.5.14.2      *Proceso de pruebas en la salida de agua residual doméstica.***

1. Una vez que se dejó salir las primeras aguas, se procedió a vaciar una vez más el tanque para la toma de la primera muestra a la salida del sistema de tratamiento por medio de la llave de jardín, la cual se la almacenó en un recipiente.
2. Para la toma de muestras de los calados siguientes del sistema de tratamiento se tuvo en consideración dejar que el agua de la toma anterior se vaciara por completo del sistema, así de esta manera se tuvo en mayor porcentaje la variación de resultados en las distintas tomas.

## CAPÍTULO IV

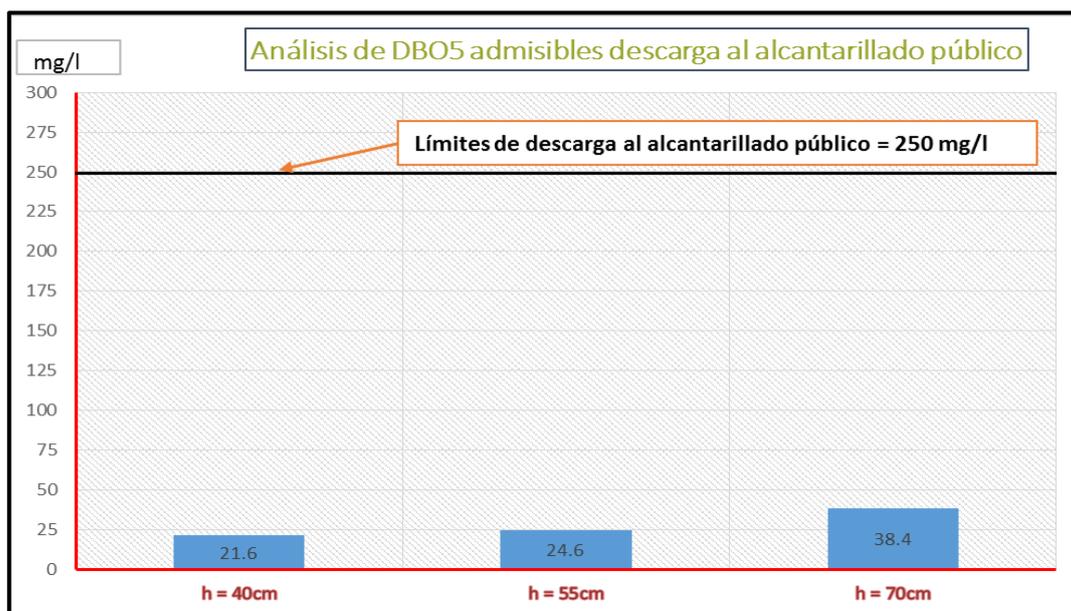
### 4. INFORME FINAL

Las Aguas Residuales Domésticas provenientes de lavamanos duchas, fregaderos y lavarropas son conocidas en el campo de la construcción como aguas grises. Para efecto del análisis y del tratamiento, a estas aguas se las denominaran Aguas Residuales Domésticas (ARD). No se utiliza agua de los inodoros, ya que el agua a tratar será reutilizada para riego y tanques de inodoros.

#### 4.1 Análisis de DBO5 admisibles

De acuerdo a lo datos obtenidos en los ensayos de laboratorio luego del proceso del tratamiento de agua residual doméstica mediante el humedal artificial se afirma lo siguiente:

- Para la altura del lecho de 40 cm tenemos un DBO5 de salida de 21.6 mg/l que está dentro del rango del límite de descarga al alcantarillado público que de 250mg/l.
- Para la altura del lecho de 55 cm tenemos un DBO5 de salida de 24.6 mg/l que está dentro del rango del límite de descarga al alcantarillado público que de 250mg/l.
- Para la altura del lecho de 70 cm tenemos un DBO5 de salida de 38.4 mg/l que está dentro del rango del límite de descarga al alcantarillado público que de 250mg/l.



**Figura No. 38** Análisis de DBO5 admisibles para descarga en alcantarillado

**Fuente:** Autores

**Tabla No. 17** Parte de la tabla 9 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria: Límite de descarga al sistema de alcantarillado público.

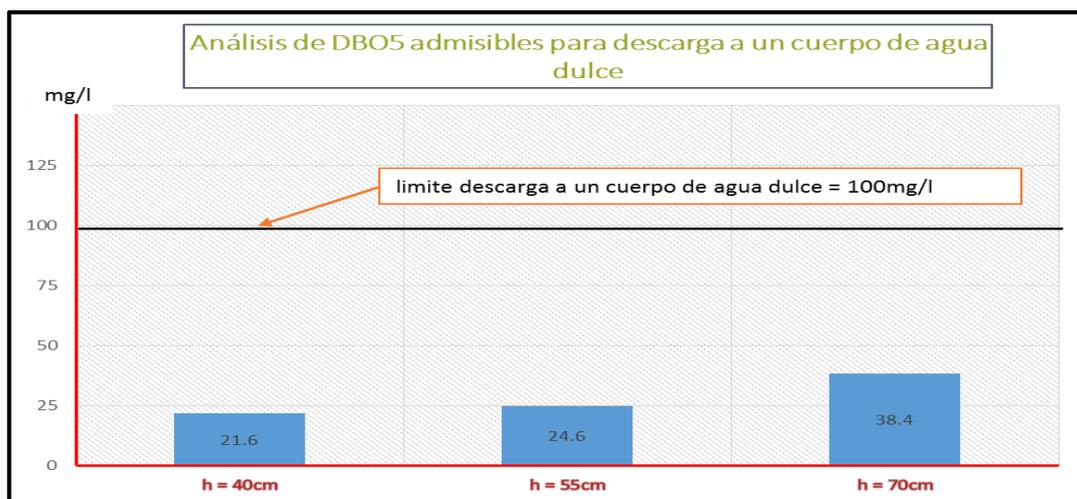
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub>	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		<b>Ausencia</b>
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio		mg/l	0,5
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2015)

Asimismo, acorde a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio luego del proceso del tratamiento de agua residual doméstica mediante el humedal artificial se señalan lo siguiente:

- Para la altura del lecho de 40 cm tenemos un DBO5 de salida de 21.6 mg/l que está dentro del rango del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce que es 100mg/l.
- Para la altura del lecho de 55 cm tenemos un DBO5 de salida de 24.6 mg/l que está dentro del rango del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce que es 100mg/l.
- Para la altura del lecho de 70 cm tenemos un DBO5 de salida de 38.4 mg/l que está dentro del rango del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce que es 100mg/l.

**Figura No. 39** Análisis de DBO5 admisibles para descarga en agua dulce



Fuente: Autores

**Tabla No. 18** Parte de la tabla 10 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria: Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>8</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

#### 4.2 Análisis de los resultados de la influencia del caudal de entrada

El diseño de un humedal depende del tipo y concentración de los contaminantes presentes (materia orgánica medida en DBO<sub>5</sub>, nitrógeno y fósforo, entre otros). Existen diferentes metodologías de diseño según el contaminante que se trate y el autor que lo propone; en el presente trabajo se empleó la materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) como parámetro de diseño y la metodología propuesta por Sherwood Reed en su libro *Natural Systems for Waste Management and Treatment*.

Esta metodología se basa en que la remoción de materia orgánica (Ce/Co) en los humedales artificiales, por ser reactores biológicos.

#### 4.2.1 Calado en planta piloto (40cm).

Tabla No. 19 Datos preliminares calado 40cm

PARÁMETROS	Símbolo	Unidad	Cantidad
Altura del lecho	h	cm	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno Entrada	(DBO5)e	mg/l	168.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno Salida	(DBO5)s	mg/l	21.6

Fuente: Autores

- **Constante de temperatura**

Constante de temperatura en el humedal Se determinó la aplicando la fórmula:

$K_T$  = constante de temperatura en el humedal

$$K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)}$$

$$K_T = 1.104 * (1.06)^{(25.3-20)}$$

$$K_T = 1.50$$

- **Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal (n):**

La porosidad del lecho, n, se mide en laboratorio o se estima de acuerdo con las características típicas del sustrato. Características típicas de material granular:

**Tabla No. 20** Características de material granular

Tipo de material	Tamaño efectivo D <sub>10</sub> (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, Ks (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	1.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

**Fuente:** (Mott, 2006)

Como se observa en la tabla 20, la porosidad ( $n$ ) de la arena gravosa está entre el 30-35%, para el presente proyecto se tomó el valor medio del rango permitido, como es 32,5%.

$$n = 32,5 \%$$

$$n = 0.325$$

- **Conductividad Hidráulica Ks:**

El valor de Ks se obtiene de la tabla de Características típicas de material granular, acuerdo al tipo de material, en este se utiliza un valor de Ks=4500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d

- **Gradiente hidráulico S:**

Se realiza el cálculo del gradiente hidráulico, necesario para determinar el cálculo área transversal.

$$m = 1\% = 0.01$$

$$h=0.40$$

$$L=8.71\text{m}$$

$$S = \frac{m * h}{l}$$

$$S = \frac{0.01 * 0.40}{8.71}$$

$$S = 0.0005 \text{ m/m}$$

- **Pendiente hidráulica m:**

Se toma en cuenta lo mencionado por Reed, Middlebrooks y Crites, los cuales mencionan entre 1% y 3%; al igual que lo señalado el manual de construcción de humedales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, pues, determina que la pendiente es el 11% o mayor. Es así que se considera  $m=1\%$ .

- **Cálculo del tiempo de vaciado en el depósito de recolección:**

$$\text{Baja} = 0.45\text{m}; t = 5\text{min } 37''$$

$h =$  altura

$t =$  tiempo de vaciado

$$h = 0.45 \text{ m}$$

$$t = 337 \text{ seg}$$

- **Cálculo del Volumen del depósito de recolección V:**

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

$$V = \pi * 0.30^2 * 0.45\text{m}$$

$$V = 0.13 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del caudal Teórico usado:**

Mediante mediciones directas del gasto de agua residual a tratar o la estimación indirecta a partir de las dimensiones de los depósitos de agua potable o estadísticas de la zona se deberá fijar el gasto de diseño, “Q” [m<sup>3</sup> /día]

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0.13 \text{ m}^3}{337 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.00039 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 33.70 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **Cálculo del porcentaje de remoción de materia orgánica (%R):**

**So** = Concentración del DB05 al ingreso

**Se** = Concentración del DB05 a la Salida

$$E = \frac{S_o - S_e}{S_o} * 100$$

$$E = \frac{168.8 - 21.6}{168.8} * 100$$

$$E = \frac{168.8 - 21.6}{168.8} * 100$$

$$E = 87.20 \%$$

- **Cálculo del área superficial teórica:**

$$A_s = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- $A_s$  = Área Superficial del humedal ( $\text{m}^2$ )
- $Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{día}$ )
- $\ln(DBO_5)_e$  = Concentración del DB05 al ingreso
- $\ln(DBO_5)_s$  = Concentración del DB05 a la Salida
- $K_T$  = constante de temperatura en el humedal
- $y$  = Profundidad del Humedal (m)
- $n$  = Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal. (%)

Datos:

$$Q = 33.70 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\ln(\text{DBO5})_e = 168.8 \text{ mg/l}$$

$$\ln(\text{DBO5})_s = 21.6 \text{ mg/l}$$

$$KT = 1.50$$

$$y = 0.40$$

$$n = 32,5\%$$

$$As = \frac{33.70(\ln(168.8) - \ln(21.6))}{1.50 * (0.40)(0.325)}$$

$$As = 355.32 \text{ m}^2$$

$$As = 355 \text{ m}^2$$

El área necesaria para el caudal teórico de  $33.70 \text{ (m}^3/\text{día)}$ , es de  $355 \text{ (m}^2)$ . Sin embargo el área del humedal existente es de  $0.8 \text{ (m}^2)$ , lo que indica que la concentración de DBO pudiera reducirse aún más en el caso de disponer de un área de  $355 \text{ m}^2$ .

- **Cálculo del tiempo de retención Hidráulico:**

$$Q = 33.70 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$As = 355 \text{ m}^2$$

$$h = 0.40 \text{ m}$$

$$n = 32,5\%$$

$$TRH = \frac{As * h * n}{Q}$$

$$TRH = \frac{355 * 0.40 * 0.325}{33.70}$$

$$TRH = 1.37 \text{ dias}$$

- **Cálculo del ancho teórico del humedal w:**

W = Ancho del Humedal

Q = Caudal

As = Área Superficial

m = Pendiente del Lecho = 1%

Ks = Conductividad Hidráulica promedio

h = 0.40 m

$$w = \frac{1}{h} * \left[ \frac{Q * As}{mKs} \right]^{0.5}$$

$$w = \frac{1}{0.40} * \left[ \frac{33.70 * 355}{0.01 * 4500} \right]^{0.5}$$

$$w = 40.76 \text{ m}$$

- **Cálculo del largo teórico del humedal:**

L = Largo del humedal

As= Área superficial

W= Ancho del Humedal

$$L = \frac{As}{w}$$

$$L = \frac{355}{40.76}$$

$$L = 8.71 \text{ m}$$

- **Cálculo del área transversal del humedal Ac:**

$$Q = 33.70 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$K_s = 4500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

$$S = 0.0005 \text{ m/m}$$

$$Ac = \frac{Q}{K_s * S}$$

$$Ac = \frac{33.70}{4500 * 0.0005}$$

$$Ac = 14.98 \text{ m}^2$$

**Tabla No. 21** Resultados de cálculo calado 40cm

PARÁMETROS	Símbolo	Unidad	Cantidad
Caudal de ingreso	Q	m <sup>3</sup> /día	33.70
Constante de temperatura Humedal	KT		1.5
Porosidad del material del Humedal	n	%	32,5
Conductividad Hidráulica	Ks	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	4500
Pendiente del Humedal	m	%	1
Porcentaje de remoción de DBO		%	87,20
Área superficial teórica		m <sup>2</sup>	355
Tiempo de retención hidráulico		días	1,37
Ancho teórico		m	40.76
Largo teórico		m	8,71

**Fuente:** Autores

#### 4.2.2 Calado en planta piloto (55cm).

**Tabla No. 22** Datos preliminares calado 55 cm

PARÁMETROS	Símbolo	Unidad	Cantidad
Altura del lecho	h	cm	55
Demanda Bioquímica de Oxígeno Entrada	(DBO5)e	mg/l	114.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno Salida	(DBO5)s	mg/l	24.6

**Fuente:** Autores

- **Constante de temperatura**

Constante de temperatura en el humedal se determinó la aplicando la fórmula:

$K_T$  = constante de temperatura en el humedal

$$K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)}$$

$$K_T = 1.104 * (1.06)^{(25.3-20)}$$

$$K_T = 1.50$$

- **Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal (n):**

La porosidad del lecho, n, se mide en laboratorio o se estima de acuerdo con las características típicas del sustrato. Características típicas de material granular:

**Tabla No. 23** Características de material granular

Tipo de material	Tamaño efectivo D <sub>10</sub> (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, Ks (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	1.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

**Fuente:** (Mott, 2006)

Como se observa en la tabla 23, la porosidad (n) de la arena gravosa está entre el 30-35%, para el presente proyecto se tomó el valor medio del rango permitido, como es 32,5%.

$$n = 32.5 \%$$

$$n = 0.325$$

- **Conductividad Hidráulica  $K_s$ :**

El valor de  $K_s$  se obtiene de la tabla de Características típicas de material granular, acuerdo al tipo de material, en este se utiliza un valor de  $K_s=4500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .

- **Gradiente hidráulico  $S$ :**

Se realiza el cálculo del gradiente hidráulico, necesario para determinar el cálculo área transversal.

$$m = 1\% = 0.01$$

$$h=0.55$$

$$L=8.83 \text{ m}$$

$$S = \frac{m * h}{l}$$

$$S = \frac{0.01 * 0.55}{8.83}$$

$$S = 0.0006 \text{ m/m}$$

- **Pendiente hidráulica  $m$ :**

Se toma en cuenta lo mencionado por Reed, Middlebrooks y Crites, los cuales mencionan entre 1% y 3%; al igual que lo señalado el manual de construcción de humedales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, pues, determina que la pendiente es el 11% o mayor. Es así que se considera  $m=1\%$ .

- **Cálculo del tiempo de vaciado en el depósito de recolección:**

$$\text{Baja} = 0.60\text{m}; t = 8 \text{ min } 16''$$

$$h = \text{altura}$$

$$t = \text{tiempo de vaciado}$$

$$h = 0.6 \text{ m} \quad t = 496 \text{ seg}$$

- **Cálculo del Volumen del depósito de recolección V:**

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

$$V = \pi * 0.30^2 * 0.60m$$

$$V = 0.17m^3$$

- **Cálculo del caudal Teórico usado:**

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0.17 m^3}{496 seg}$$

$$Q = 0.00034 m^3 / seg$$

$$Q = 29.38 m^3 / d$$

- **Porcentaje de remoción de materia orgánica (%R):**

**So**= Concentración del DB05 al ingreso

**Se** = Concentración del DB05 a la salida

$$E = \frac{S_o - S_e}{S_o} * 100$$

$$E = \frac{114.3 - 24.6}{114.3} * 100$$

$$E = 78.48 \%$$

- **Cálculo del área superficial teórica:**

$$A_s = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- $A_s$  = Área Superficial del humedal ( $m^2$ )
- $Q$  = Caudal ( $m^3/día$ )
- $\ln (DBO5)_e$  = Concentración del DB05 al ingreso
- $\ln (DBO5)_s$  = Concentración del DB05 a la Salida
- $KT$  = constante de temperatura en el humedal
- $y$  = Profundidad del Humedal (m)
- $n$  = Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal. (%)

Datos:

$$Q = 29.38 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\ln (DBO5)_e = 114.3 \text{ mg/l}$$

$$\ln (DBO5)_s = 24.6 \text{ mg/l}$$

$$KT = 1.50$$

$$y = 0.55$$

$$n = 32.5\%$$

$$A_s = \frac{29.38(\ln(114.3) - \ln(24.6))}{1.50 * (0.55)(0.325)}$$

$$A_s = 168.32 \text{ m}^2$$

El área necesaria para el caudal teórico de  $29.38 \text{ (m}^3/\text{día)}$ , es de  $168 \text{ (m}^2)$ . Sin embargo el área del humedal existente es de  $0.8 \text{ (m}^2)$ , lo que indica que la concentración de DBO pudiera reducirse aún más en el caso de disponer de un área de  $168 \text{ m}^2$ .

- **Cálculo del tiempo de retención Hidráulica:**

$$Q = 29.32 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$A_s = 168 \text{ m}^2$$

$$h = 0.55 \text{ m}$$

$$n = 32.5\%$$

$$TRH = \frac{A_s * h * n}{Q}$$

$$TRH = \frac{168 * 0.55 * 0.325}{29.38}$$

$$TRH = 1.02 \text{ dias}$$

- **Cálculo del ancho teórico del humedal w:**

W = Ancho del Humedal

Q = Caudal

A<sub>s</sub> = Área Superficial

m = Pendiente del Lecho = 1%

K<sub>s</sub> = Conductividad Hidráulica promedio

h = 0.55 m

$$w = \frac{1}{h} * \left[ \frac{Q * A_s}{m K_s} \right]^{0.5}$$

$$w = \frac{1}{0.55} * \left[ \frac{29.38 * 168}{0.01 * 4500} \right]^{0.5}$$

$$w = 19.04 \text{ m}$$

- **Cálculo del largo Teórico del humedal:**

L= Largo del humedal

As= Área superficial

W= Ancho del Humedal

$$L = \frac{As}{w}$$

$$L = \frac{168}{19.04}$$

$$L = 8.83 \text{ m}$$

- **Cálculo del área transversal del humedal Ac:**

Q = 27.87 m<sup>3</sup>/día

Ks= 4500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d

S= 0.0006 m/m

$$Ac = \frac{Q}{Ks * S}$$

$$Ac = \frac{29.38}{4500 * 0.0006}$$

$$Ac = 10.88 \text{ m}^2$$

**Tabla No. 24** Resultados de cálculo calado 55 cm

PARÁMETROS	Símbolo	Unidad	Cantidad
Caudal de ingreso	Q	m3/día	29.38
Constante de temperatura Humedal	KT		1.5
Porosidad del material del Humedal	n	%	32.5
Conductividad Hidráulica	Ks	m3/m2/d	4500
Pendiente del Humedal	m	%	1
Porcentaje de remoción de DBO		%	78,48
Área superficial teórica		m2	168
Tiempo de retención hidráulico		días	1,02
Ancho teórico		m	19.04
Largo teórico		m	8,83

Fuente: Autores

### 4.2.3 Calado en planta piloto (70cm).

**Tabla No. 25** Resultados de cálculo calado 70 cm

PARÁMETROS	Símbolo	Unidad	Cantidad
Altura del lecho	h	cm	70
Demanda Bioquímica de Oxígeno Entrada	(DBO5)e	mg/l	183.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno Salida	(DBO5)s	mg/l	38.4

Fuente: Autores

- **Constante de temperatura**

Constante de temperatura en el humedal se determinó la aplicando la fórmula:

$K_T$  = constante de temperatura en el humedal

$$K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)}$$

$$K_T = 1.104 * (1.06)^{(25.3-20)}$$

$$K_T = 1.50$$

- **Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal (n):**

La porosidad del lecho, n, se mide en laboratorio o se estima de acuerdo con las características típicas del sustrato. Características típicas de material granular:

**Tabla No. 26** Características de material granular

Tipo de material	Tamaño efectivo D <sub>10</sub> (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, K <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	1.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

Fuente: (Mott, 2006)

Como se observa en la tabla 26, la porosidad ( $n$ ) de la arena gravosa está entre el 30-35%, para el presente proyecto se tomó el valor medio del rango permitido, como es 32,5%.

$$n = 32,5 \%$$

$$n = 0.325$$

- **Conductividad Hidráulica K<sub>s</sub>:**

El valor de K<sub>s</sub> se obtiene de la tabla de Características típicas de material granular, acuerdo al tipo de material, en este se utiliza un valor de K<sub>s</sub>=4500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d

- **Gradiente hidráulico S:**

Se realiza el cálculo del gradiente hidráulico, necesario para determinar el cálculo área transversal.

$$m = 1\% = 0.01$$

$$h=0.70$$

$$L=10.05 \text{ m}$$

$$S = \frac{m * h}{l}$$

$$S = \frac{0.01 * 0.70}{10.05}$$

$$S = 0.0007 \text{ m/m}$$

- **Pendiente hidráulica m:**

Se toma en cuenta lo mencionado por Reed, Middlebrooks y Crites, los cuales mencionan entre 1% y 3%; al igual que lo señalado el manual de construcción de humedales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, pues, determina que la pendiente es el 11% o mayor. Es así que se considera  $m=1\%$ .

- **Cálculo del tiempo de vaciado en el depósito de recolección:**

$$\text{Baja} = 0.75\text{m}; t = 11 \text{ min } 31''$$

$h =$  altura

$t =$  tiempo de vaciado

$$h = 0.75 \text{ m}$$

$$t = 691 \text{ seg}$$

- **Cálculo del Volumen del depósito de recolección V:**

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

$$V = \pi * 0.30^2 * 0.75\text{m}$$

$$V = 0.21 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del caudal Teórico usado:**

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0.21 \text{ m}^3}{691 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.0003 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$Q = 25.92 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

- **Porcentaje de remoción de materia orgánica (%R):**

**So**= Concentración del DBO5 al ingreso

**Se** = Concentración del DBO5 a la salida

$$E = \frac{S_o - S_e}{S_o} * 100$$

$$E = \frac{183.3 - 38.4}{183.3} * 100$$

$$E = 79 \%$$

- **Cálculo del área superficial teórica:**

$$A_s = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- $A_s$  = Área Superficial del humedal ( $m^2$ )
- $Q$  = Caudal ( $m^3/día$ )
- $\ln(DBO_5)_e$  = Concentración del DBO5 al ingreso
- $\ln(DBO_5)_s$  = Concentración del DBO5 a la Salida
- $K_T$  = constante de temperatura en el humedal
- $y$  = Profundidad del Humedal (m)
- $n$  = Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal. (%)

Datos:

$$Q = 25.92 \text{ m}^3/día$$

$$\ln(DBO_5)_e = 183.3 \text{ mg/l}$$

$$\ln(DBO_5)_s = 38.4 \text{ mg/l}$$

$$KT = 1.50$$

$$y = 0.70$$

$$n = 32.5\%$$

$$As = \frac{25.92(\ln(183.3) - \ln(38.4))}{1.50 * (0.70)(0.325)}$$

$$As = 118.72 \text{ m}^2$$

El área necesaria para el caudal teórico de  $25.92 \text{ (m}^3/\text{día)}$ , es de  $119 \text{ (m}^2)$ . Sin embargo el área del humedal existente es de  $0.8 \text{ (m}^2)$ , lo que indica que la concentración de DBO pudiera reducirse aún más en el caso de disponer de un área de  $119 \text{ m}^2$ .

- **Cálculo del tiempo de retención Hidráulico:**

$$Q = 25.92 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$As = 118.72 \text{ m}^2$$

$$h = 0.70 \text{ m}$$

$$n = 32.5\%$$

$$TRH = \frac{As * h * n}{Q}$$

$$TRH = \frac{119 * 0.70 * 0.325}{25.92}$$

$$TRH = 1.04 \text{ días}$$

- **Cálculo del ancho Teórico del humedal w:**

W = Ancho del Humedal

Q = Caudal / N° de Unidades

$A_s$  = Área Superficial / N° de Unidades

$m$  = Pendiente del Lecho = 1%

$K_s$  = Conductividad Hidráulica promedio

$h$  = 0.70 m

$$w = \frac{1}{h} * \left[ \frac{Q * A_s}{m K_s} \right]^{0.5}$$

$$w = \frac{1}{0.70} * \left[ \frac{25.92 * 119}{0.01 * 4500} \right]^{0.5}$$

$$w = 11.83 \text{ m}$$

- **Cálculo del largo teórico del humedal:**

$L$  = Largo del humedal

$A_s$  = Área superficial

$W$  = Ancho del Humedal

$$L = \frac{A_s}{w}$$

$$L = \frac{119}{11.83}$$

$$L = 10.05 \text{ m}$$

- **Cálculo del área transversal del humedal  $A_c$ :**

$Q$  = 25.92 m<sup>3</sup>/día

$K_s$  = 4500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d

$S$  = 0.0007 m/m

$$A_c = \frac{Q}{K_s * S}$$

$$Ac = \frac{25.92}{4500 * 0.0007}$$

$$Ac = 8.23 \text{ m}^2$$

**Tabla No. 27** Resultados de cálculo calado 70 cm

PARÁMETROS	Símbolo	Unidad	Cantidad
Caudal de ingreso	Q	m3/día	25.92
Constante de temperatura Humedal	KT		1.5
Porosidad del material del Humedal	n	%	32.5
Conductividad Hidráulica	Ks	m3/m2/d	4500
Pendiente del Humedal	m	%	1
Porcentaje de remoción de DBO		%	79,00
Área superficial teórica		m <sup>2</sup>	119
Tiempo de retención hidráulico		días	1,04
Ancho teórico		m	11,83
Largo teórico		m	10,05

**Fuente:** Autores.

**Tabla No. 28** Variación de altura de lechos de arena

PARÁMETROS	Símbolo	Unidad	Altura del lecho		
			0.4	0.55	0.7
Caudal de ingreso	Q	m3/día	33.70	29.38	25.92
Porcentaje de remoción de materia orgánica	E	%	87.2	78.48	79
Constante de temperatura Humedal	KT		1.5	1.5	1.5
Porosidad del material del Humedal	n	%	32.5	32.5	32.5
Área Superficial del Humedal	As	m2	355	168	119
Tiempo de Retención Hidráulica	TRH	días	1.37	1.02	1.04
Conductividad Hidráulica	Ks	m3/m2/d	4500	4500	4500
Ancho del Humedal	w	m	40.76	19.04	11.83
Largo del Humedal	L	m	8.71	8.83	10.05
Pendiente del Humedal	m	%	1	1	1
Gradiente Hidráulico	s	m/m	0.0005	0.0006	0.0007
Área transversal del Humedal	Ac	m2	14.98	10.88	8.23

**Fuente:** Autores

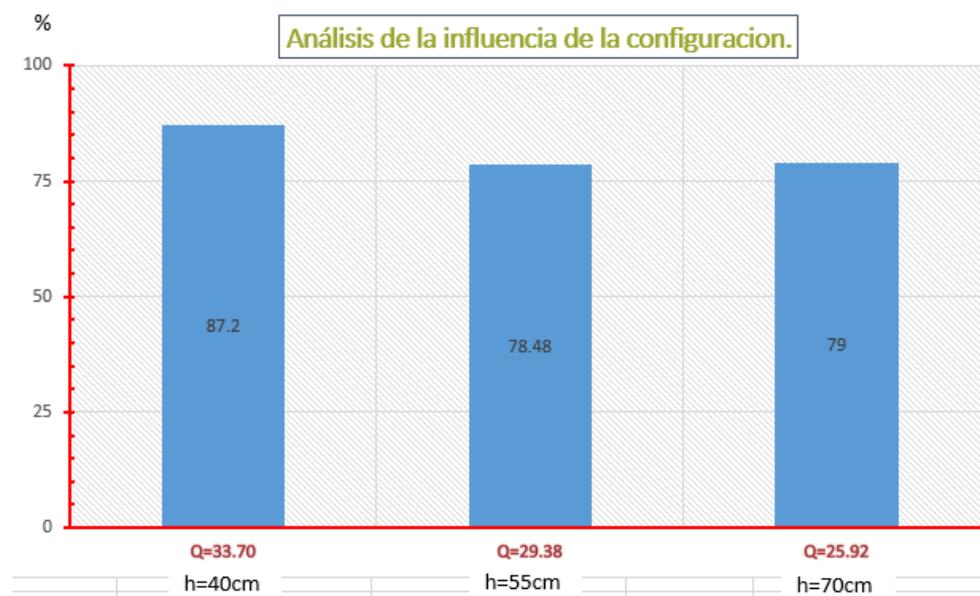
### 4.3 Análisis de la influencia de la configuración

Luego del proceso del cálculo se puede señalar lo siguiente:

- El diseño hidráulico de un humedal es tan importante como el de los modelos que calculan la remoción de contaminantes, ya que estos modelos están basados en que

se asume flujo a pistón con un flujo uniforme a través de la sección del humedal y con mínimos flujos preferenciales.

- El procedimiento es usualmente iterativo donde se varió la profundidad del agua para resolver las ecuaciones cinéticas de esta forma, se puede predecir el área de humedal necesaria para la remoción de un contaminante.
- El contaminante DB05 que requiera la mayor área para su remoción, será el factor limitante en el diseño y controlará el tamaño del humedal.
- Se pudo observar que en el diseño que se ejecutó, el área era mucho menor al área teórica requerida por lo que en los ensayos nuestro humedal se inundó llegando a tener un espejo de agua de 5cm sobre la superficie del lecho del humedal, aun así obtuvimos resultados menores a 250mg/l que es el valor límite máximo permisible de acuerdo a la tabla 9 del texto Unificado de Legislación Ambiental secundaria por ende si nuestra área hubiese sido igual a la teórica los resultados obtenidos hubiesen sido más bajos que los valores obtenidos y a la vez más óptimos para su reutilización.



**Figura No. 40** Análisis de influencia de la configuración

**Fuente:** Autores

#### 4.4 Análisis de fórmulas teóricas

En el desarrollo del análisis de los resultados de utilizó las siguientes fórmulas:

- **Volumen**

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

- **Cálculo del caudal Q:**

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

- **Constante de temperatura:**

$$K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)}$$

- **Área Superficial del humedal:**

$$As = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

- **Tiempo de retención Hidráulica:**

$$TRH = \frac{As * h * n}{Q}$$

- **Ancho del humedal w:**

$$w = \frac{1}{h} * \left[ \frac{Q * As}{mKs} \right]^{0.5}$$

- **Largo del humedal L:**

$$L = \frac{As}{w}$$

- **Gradiente hidráulico S:**

$$S = \frac{m * h}{l}$$

- **Área transversal del humedal  $A_c$ :**

$$A_c = \frac{Q}{K_s * S}$$

- **Cálculo de la eficiencia de remoción de materia orgánica en el humedal %R:**

$$E = \frac{S_o - S_e}{S_o} * 100$$

## CONCLUSIONES

- Mediante el uso del humedal artificial se obtuvieron concentraciones de DBO en el efluente de 21.6, 24.6 y 38.6 mg/l usando alturas de lecho de 40, 55 y 70cm, respectivamente. Como las aguas residuales provenientes de baños, lavabos y fregaderos tienen inicialmente una concentración entre 114,3 a 183,3 mg/l no se las comparó con el límite de descarga permisible a un alcantarillado público (250 mg/l), lo que si se observó es que las concentraciones de DBO obtenidas en el efluente de 21.6, 24.6 y 38.4 mg/l se encuentran dentro del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce que es 100 mg/l. Lo anterior indica que tratando las aguas residuales provenientes de baño, lavadoras y fregaderos con un humedal artificial de flujo vertical se podría descargar sin ningún problema a un cuerpo de agua dulce.
- A pesar de que el área del humedal existente es de 0.8 m<sup>2</sup>, que es un área menor en relación a las áreas necesarias calculadas con el caudal teórico de 33.70 m<sup>3</sup>/día, 29.38 m<sup>3</sup>/día, 25.92 m<sup>3</sup>/día para los calados de 40cm, 55cm, 70cm, respectivamente, se encontró que las eficiencias de reducción en la concentración de DBO fueron superiores al 80%. Este porcentaje de reducción en la concentración de DBO alcanzado concuerda con la literatura técnica especializada.
- La configuración de tubería de entrada al humedal artificial mostró de acuerdo a los resultados obtenidos que opero más satisfactoriamente a un calado de 70cm, donde obtuvo un porcentaje de reducción en la concentración de DBO de 38.4 mg/l.
- Este tipo de tratamiento de aguas residual doméstica (humedal artificial) tiene un costo mucho menor a las plantas de tratamiento tradicionales por m<sup>2</sup>, siendo así de acuerdo a los resultados obtenidos se pudo determinar que a mayor calados vamos a tener un menor tiempo de retención hidráulica y menor dimensionamiento de diseño.

## RECOMENDACIONES

- Preparar un plan de mantenimiento oportuno del sistema de tratamiento de la planta piloto, especificando el tipo de equipos y materiales que se necesitan para mejorar la estructura, así como los lechos de arena, válvulas, utilizando plantas como junco del río, lo cuales son efectivos para la implantación del humedal artificial.
- Se debe profundizar el análisis de la eficiencia de este tipo de humedal con respecto a otros parámetros como coliformes fecales, metales pesados, etc., teniendo en cuenta el tipo de clima, es decir, para épocas de lluvias y de sequedad.
- Se recomienda emplear niveles de control electrónicos, o a su vez válvulas de accionamiento automáticos que permita el control del nivel del agua en el interior del humedal para evitar el colapso del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akvopedia. (11 de Junio de 2014). *Humedal Artificial de Flujo Vertical*. Recuperado el 7 de Octubre de 2017, de [http://akvopedia.org/wiki/Humedal\\_Artificial\\_de\\_Flujo\\_Vertical](http://akvopedia.org/wiki/Humedal_Artificial_de_Flujo_Vertical)
- Akvopedia. (11 de Junio de 2014). *Humedal Artificial de Flujo Superficial*. Recuperado el 7 de Octubre de 2017, de [http://akvopedia.org/wiki/Humedal\\_Artificial\\_de\\_Flujo\\_Superficial\\_Libre](http://akvopedia.org/wiki/Humedal_Artificial_de_Flujo_Superficial_Libre)
- Andrade, M. C., Delgadillo, O., & Pérez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia : UMSS.
- Anzola, M., Oliveira, A., & Zaiat, M. (2008). *Actividad metatogénica específica en un reactor Anaerobio-Aerobio aplicado al tratamiento de agua residual doméstica*. Caracas : ProQuest Central.
- Asamblea Nacional del Ecuador . (2008). *Constitución de la República del Ecuador* . Quito: ANE.
- Biotanks. (2017). *Ficha Técnica: Desarenador*. Alicante, España: ACW-Water Systems. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <http://biotanks.es/wp-content/uploads/2016/12/catalogo-biotanks-2017.pdf>
- Buenfil, J. (2004). *Biofiltro: La Jardinera que filtra las aguas grises para reciclarlas*. CDMX: UNAM. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <http://ecotec.unam.mx/Ecotec//wp-content/uploads/Gu--a-Explicativa-del-Biofiltro.pdf>
- BVSDE. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentos*. Lima, Perú: CEPIS. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- Calles, j. (22 de Marzo de 2017). *El agua en el Ecuador: Cambio climático, agua y ecosistemas*. Recuperado el 5 de Agosto de 2017, de <http://agua-ecuador.blogspot.com/>
- Castañeda, A., & Flores, H. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Revista Tecnológica y Sociedad*(5), 3.
- Castroviejo, S. (2013). *Plantas Vasculares*. Madrid, España: Real Jardín.
- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. (2012). *Residuos: Gestión, tratamiento y almacenamiento*. Madrid, España: Cidta. Recuperado el 7 de Octubre de 2017
- Comisión Nacional del Agua. (2014). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Humedales Artificiales*. CDMX, México: CONAGUA.

- Corredor, C. (2013). *Determinación de DBO DQO*. CDMX, México: UNAM.
- Ecured. (12 de Marzo de 2012). *Aguas residuales*. Recuperado el 17 de Octubre de 2017, de [https://www.ecured.cu/Aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Aguas_residuales)
- Espinal, C., Ocampo, D., & Rojas, J. (2014). *Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Franco, M. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017, de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco\\_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Galán, P., & Hernández, A. (2012). *Desarenado*. Madrid, España: Cidta. Recuperado el 7 de Septiembre de 2017
- Gandarillas, J. (2016). *Módulo de Gestión de Aguas y Reutilización: Lagunaje*. Madrid, España: EOI.
- García, D. (2010). *Fitodepuración sostenible de aguas mediante utilización de humedales artificiales*. Cuenca, Ecuador: UCuenca.
- García, J., & Corzo, A. (2010). *Guía práctica de diseño, construcción, y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Cataluña, España: FI-IQUC.
- Glosario Net. (3 de Septiembre de 2007). *Sólidos suspendidos*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2017, de <http://ciencia.glosario.net/medio-ambiente-acuatico/s%F3lidos-suspendidos-10451.html>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2013). *Metodología de la Investigación*. CDMX, México: McGraw Hill.
- Iowa Department of Natural Resources. (2007). *Constructed Wetlands Technology Assessment*. Pleasant Hill: MSA.
- Karabelnik, K. (2012). *Advanced design and management of hybrid constructed wetlands: environmental and water purification effects*. Estonia : TARTUENSIS .
- Lara, J. (2009 ). *Introducción a Sistemas Naturales* . Quito : PUJ.
- Lifeder. (5 de Junio de 2013). *¿Qué son las aguas domésticas y las aguas industriales?* Recuperado el 20 de Octubre de 2017, de <https://www.lifeder.com/aguas-domesticas-industriales/>
- Lynn, H., Heinke, G., Escalona, H., & García, H. (2013). *Ingeniería Ambiental*. CDMX, México: Pearson Educación.

- Metcalf, & Eddy. (2013). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. CDMX, México: McGraw Hill.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente*. Quito, Ecuador: MinAmbiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Calidad Ambiental*. Quito, Ecuador: MA.
- Moreno L. (2003). *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno*. Madrid, España: IGME.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta ed.). CDMX, España: Pearson Educación.
- Observatorio del Agua . (2015). *Taller de Aguas: Humedales Artificiales*. San Salvador : Marn .
- Olivos, O. (2010). *Tratamiento de Aguas*. Lima, Perú: UAP. Recuperado el 9 de Octubre de 2017, de <http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102BT240224E10240108011/20102BT240224E1024010801120946.pdf>
- Parker, S. (2010). *Diccionario de química*. CDMX, México: McGraw Hill.
- Paulo, P., Boncz, M., Asmus, A., & Jonsson, H. (2011). *Greywater Treatment in Constructed Wetland at Household Level*. Uppsala: Department of Biometry.
- Ramallo, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales* (Segunda ed.). Madrid, España: Reverté S.A.
- REITEC. (17 de Marzo de 2013). *Turbidez*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de <http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf>
- Rodríguez, T., & Ospina, I. (2014). *Humedales Artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá* . Bogotá : Universidad Militar Nueva Granada .
- Russell, D. (2012). *Tratamiento de Aguas Residuales: Un enfoque práctico*. Georgia, EE. UU.: Reverté S.A.
- Secretariado Alianza por el Agua, Ecología y Desarrollo. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Madrid, España: Ideasmares. Recuperado el 17 de Septiembre de 2017, de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- SEDAQUA. (Noviembre de 2014). *Distintas Tipologías de Humedales*. Recuperado el 7 de Octubre de 2017, de <http://sedaqua.com/soluciones/tipos-humedales>
- Seoanez, M., & Gutiérrez, A. (2010). *Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

- Shihab, A.-B. (2010). *Decentralized wastewater use for urban agriculture in peri-urban areas: An imminent option for OIC countries*. Amman : Head of Services and Programs Section .
- Sierra, J. (2013). *Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales* . Guayaquil : JBSM.
- Silva, J. P. (2013). *Humedales Construídos*. Bogotá: BVSDE.
- Soliclima. (15 de Abril de 2013). *Tratamiento de aguas grises en Penedés*. Recuperado el 5 de Agosto de 2017, de <http://www.soliclima.es/instalaciones/lista/245-tratamiento-de-aguas-grises-en-el-penedes.html>
- Tchobanoglous, G., & Crites, R. (2000). *Sistema de Manejo de Aguas Residuales: Para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- ULPGC. (2010). *Ficha Técnica de análisis de aguas*. Gran Canaria: ULPGC.
- UN-HABITAT . (2010). *Constructed Wetlands Manual* . Kathmandu: United Nations Human Settlements Programme.

# ANEXOS

## Anexo No. 1 Tabla 9 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

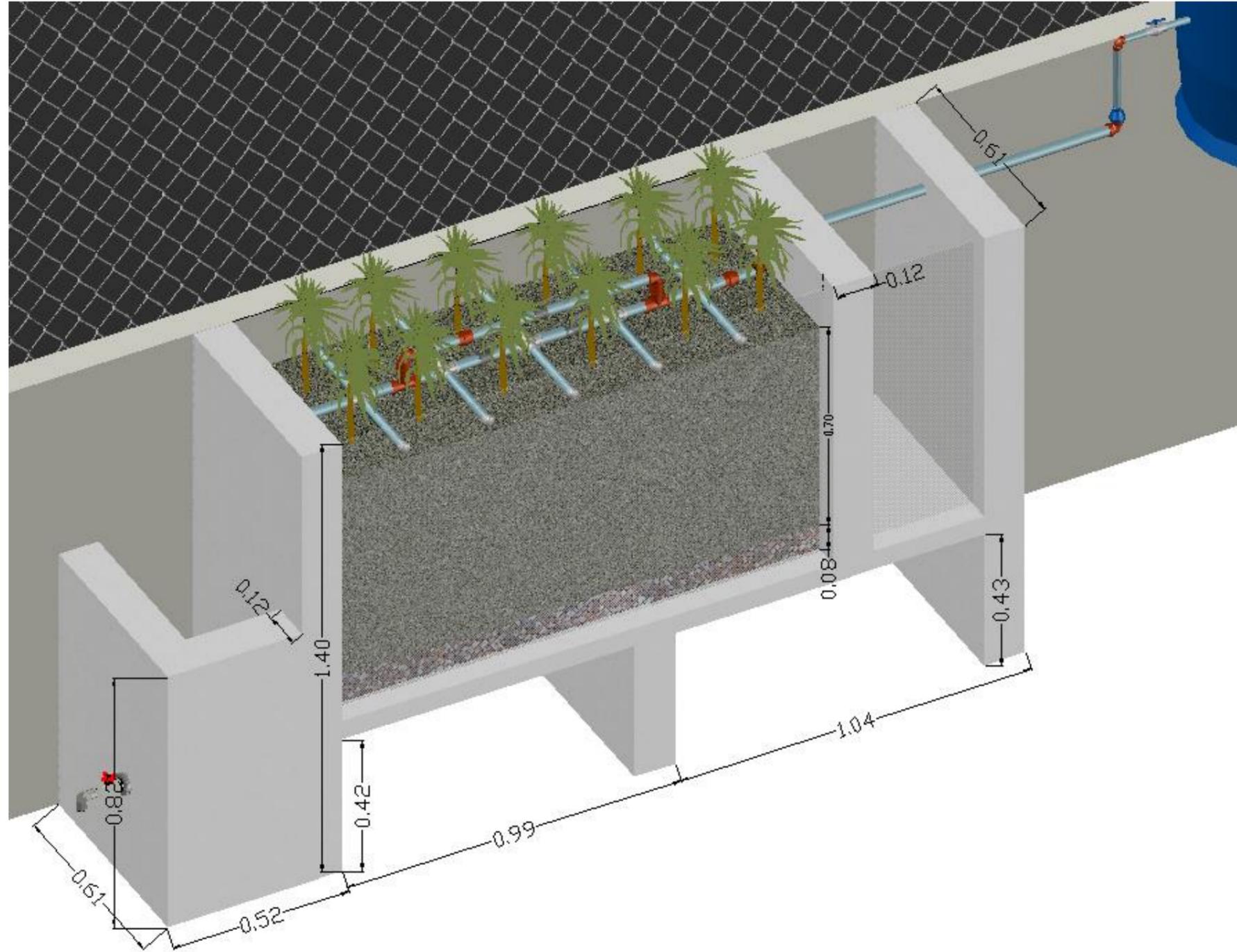
TABLA 9. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivas o inflamables.	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr <sup>6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables		ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220,0
Sólidos totales		mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

## Anexo No. 2 Tabla 10 del texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0	
Alkil mercurio		mg/l	No detectable	
Aluminio	Al	mg/l	5,0	
Arsénico total	As	mg/l	0,1	
Bario	Ba	mg/l	2,0	
Boro Total	B	mg/l	2,0	
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1	
Cinc	Zn	mg/l	5,0	
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5	
Cloroformo	Est. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1	
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000	
Cobre	Cu	mg/l	1,0	
Cobalto	Co	mg/l	0,5	
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10000	
Color real <sup>1</sup>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20	
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100	
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200	
Estaño	Sn	mg/l	5,0	
Fluoruros	F	mg/l	5,0	
Fósforo Total	P	mg/l	10,0	
Hierro total	Fe	mg/l	10,0	
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0	
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0	
Materia flotante	Visibles		Ausencia	
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005	
Níquel	Ni	mg/l	2,0	
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0	
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0	
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05	
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1	
Plata	Ag	mg/l	0,1	
Plomo	Pb	mg/l	0,2	
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	
Selenio	Se	mg/l	0,1	
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130	
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600	
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000	
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5	
Temperatura	°C		Condición natural ± 3	
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5	
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0	

Anexo No. 3 Plano



**Anexo No. 4 Fotos**

**MATERIALES**



**HERRAMIENTAS**



*Piedra 3/8" y 3/4"*



*Tanque Recolector*



*Arena Gruesa*

## IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO



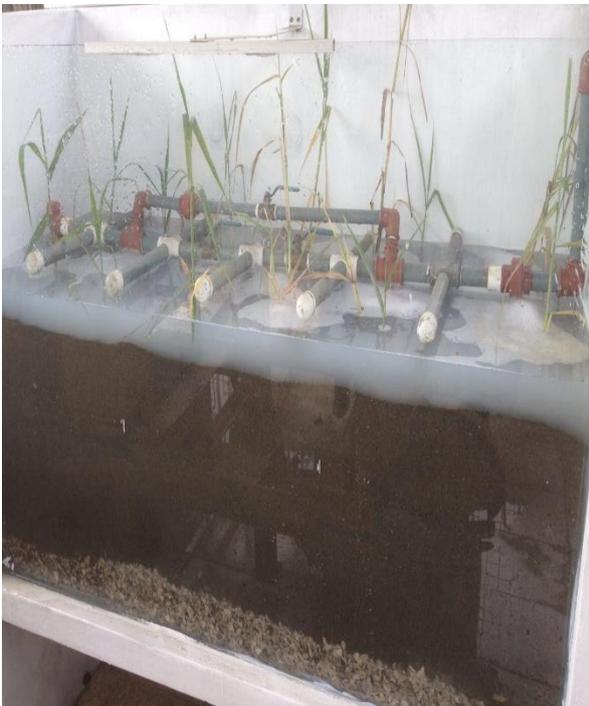
**TRANSPORTE DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA Y VEGETACIÓN (JUNCO DE RIO)**



## PRIMER ENSAYO



## SEGUNDO ENSAYO



# TERCER ENSAYO



## Anexo No. 5 Reporte Informe de laboratorio



INFORME DE RESULTADOS						No. 0183-17
<b>FECHA DEL INFORME:</b> 16/08/2017 <b>INFORMACIÓN DEL CLIENTE</b> Empresa : Universidad Dirección : Av. Américas Solicitado por : Alisther Antonio Moreira <b>CONDICIONES DEL ANÁLISIS</b> F.Inicio del Análisis : 02/08/2017 T °C : 25,3 F.Fin del Análisis : 12/08/2017 %H : 57,8			<b>DATOS DEL MUESTREO</b> Tipo de Muestra : Simple Lugar de Toma : Planta piloto Universidad Laica Fecha de Toma : 2-4-7 Agosto Responsable Muestreo : Ing. Kleber Moscoso Hora : 10H00 Simple Fecha de Recibo : 2-4-7 Agosto			
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados			U (k=2)	Método de referencia
		2 de Agosto	4 de Agosto	7 de Agosto		
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) ENTRADA	mg/l	168.8	114.3	183.3	12%	SM 5210B PE-1.3
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) SALIDA	mg/l	21.6	24.6	38.4	12%	SM 5210B PE-1.3

Firma Jefe del Laboratorio  
 Qca. Esmeralda Quintero

**NOTAS:**

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
2. No se debe reproducir el informe de manera parcial solo en su totalidad
3. las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al OAE

\*Parametro incluido en el alcance de acreditación solicitado al OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano)

\*\*Parametro subcontratado

## Anexo No. 6 Certificado del SAE



### SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO - SAE

### ALCANCE DE ACREDITACIÓN

#### **LABORATORIO INGEESTUDIOS S.A.**

Km 11,5 vía a la Costa Cdma. Torres del Salado Mz Q S 45  
• Teléfono: 0998416022 • E-mail: [laboratorioingestudios@gmail.com](mailto:laboratorioingestudios@gmail.com)  
Guayaquil - Ecuador

**Sector  
Ensayos**

Certificado de Acreditación N°: **SAE-LEN-16-003**  
Actualización N°: **01**  
Resolución N°: **SAE DE 16-072**  
Vigencia a partir de: **2016-02-04**  
Acreditación Inicial: **2016-02-04**  
Responsable(s) Técnico(s): **Ing. Mario Márquez**

Está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración", los Criterios Generales de Acreditación para laboratorios de ensayo y calibración (CR GA01), Guías y Políticas del SAE en su edición vigente, para las siguientes actividades:

**CATEGORIA: 0.** Ensayos en el laboratorio permanente

**CAMPO DE ENSAYO:** Análisis Físico – químicos en aguas

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR	ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS	MÉTODO DE ENSAYO
Aguas naturales Aguas residuales	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5), Método de las Diluciones 10 mg/L – 3000 mg/L	PE 1.3 Método de referencia: Standard Methods, Ed. 22 edición, 2012. 5210 B
Aguas naturales Aguas residuales	Demanda química de oxígeno (DQO), espectrofotometría UV/ Vis, 26 mg/L – 1000 mg/L	PE 1.4 Método de referencia: Standard Methods Ed. 22, 2012. 5220D
Aguas naturales Aguas de consumo Aguas residuales Agua potable	pH, Electrometría, 4 – 10 unidades de pH	PE 1.1 Método de referencia: Standard Methods Ed. 22, 2012. 4500 H

#### Control de Cambios en Alcance

Fecha	Modificaciones
2016-02-04	Acreditación Inicial, Otorgar la acreditación.

La versión aprobada y más reciente de este documento puede ser revisada en el web [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)

F PA01 01 R02