



**Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de  
Guayaquil**

**Facultad de Ingeniería Industria y Construcción.**

**Carrera Ingeniería Civil**

**PROYECTO DE INVESTIGACION PREVIO A LA  
OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO (DEMANDA  
BIOQUIMICA DE OXIGENO) EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL DE  
FLUJO SUBSUPERFICIAL TRATANDO AGUA RESIDUAL  
DOMESTICA.**

**Tutor**

**Mg. ING. CIVIL. Pablo Mario Paredes Ramos**

**Autor**

**Alexis Gustavo Franco Loor**

**Guayaquil, 2018**

## REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO) EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.

**AUTOR/ES:**

Alexis Gustavo Franco Loor

**REVISORES:**

Mg. ING. CIVIL. 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 PÁGS:**

123

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Arquitectura y Construcción.

**PALABRAS CLAVE:**

Contaminante, Agua residual, Bioquímicos, Humedad del suelo

**RESUMEN:**

En nuestra vida cotidiana nos encontramos rodeado de un gran problema ecológico sobre la carga de aguas residuales doméstica, por ende, se realizó el estudio del comportamiento de la dbo (demanda bioquímica de oxígeno) en el humedal artificial de flujo subsuperficial tratando agua residual doméstica, la cual nos ayudara a que la descarga llegue a su destino final con un porcentaje mínimo de contaminación.

La investigación experimental consiste en crear una planta a escala en la cual podemos realizar los estudios y comportamientos de la de descarga del agua residual doméstica, para lo cual vamos a necesitar gravilla  $\frac{3}{4}$ " arena gruesa, Junco de río.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Llenar la planta piloto con una capa inferior de 5cm de piedra chispa de  $\frac{3}{8}$ "
- Colocación de los juncos del río en 2 filas separados parcialmente.
- Luego rellenar con una capa de 30cm, 40cm y 50cm, secuencialmente de arena gruesa.

- Humedecer con agua potable la capa de arena, antes de iniciar la descarga de agua servida en la planta piloto.
- Instalar la tubería de distribución agua residual doméstica en el humedal artificial subsuperficial horizontal.
- Se definió realizar con tubería perforadas, diámetro de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ", secuencialmente, el tubo de diámetro de  $\frac{3}{4}$ " y de  $\frac{1}{2}$ " tuvo una separación de 3cm.
- Una vez que se hubieron efectuadas todas las modificaciones, se procedió abrir la llave de paso de las aguas servidas domesticas proveniente del tanque de PVC con una capacidad de 55 galones.
- El agua residual se introdujo en la capa de arena y viaja de forma horizontal a través de esta hasta el fondo, pasa luego con la pendiente de fondo de la planta piloto (1%), el agua tratada es recolectada a través de una tubería de diámetro de  $\frac{1}{2}$ " (ubicada en el extremo opuesto inferior), el agua descarga a través de esta tubería hacia un punto de toma de muestra. En donde se llevó a realizar las pruebas en el laboratorio expulsando un índice bajo de contaminación, hacia donde se realice la descarga final.

**SUMMARY:**

In our daily life we are surrounded by a big ecological problem about the domestic wastewater load, therefore, the study of the behavior of the dbo (biochemical oxygen demand) in the artificial subsurface flow wetland treating domestic wastewater was carried out, which will help us to get the discharge to its final destination with a minimum percentage of contamination.

The experimental research consists of creating a scale plant in which we can carry out the studies and behaviors of the discharge of domestic wastewater, for which we will need gravel  $\frac{3}{4}$ " coarse sand, rushes of river.

The procedure to be followed is as follows:

- Fill the pilot plant with a 5cm lower layer of  $\frac{3}{8}$ " spark stone
- Placement of river reeds in 2 partially separated rows.

- Then fill with a layer of 30cm, 40cm and 50cm, sequentially of coarse sand.
- Moisten the sand layer with potable water before initiating the discharge of water served in the pilot plant.
- Install the distribution pipe for domestic wastewater in the horizontal subsurface artificial wetland.
- It was defined to perform with perforated pipes, ½ "diameter and ¾", sequentially, the de "and ½" diameter pipes had a separation of 3cm.
- Once all the modifications had been made, we proceeded to open the stopcock of the domestic wastewater from the PVC tank with a capacity of 55 gallons.
- The wastewater was introduced into the sand layer and travels horizontally through it to the bottom, then passes with the bottom slope of the pilot plant (1%), the treated water is collected through a pipeline ½ "diameter (located at the opposite lower end), the water discharges through this pipe to a sampling point. Where it was carried out to carry out the tests in the laboratory, expelling a low contamination index, towards where the final discharge takes place.

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: ALEXIS GUSTAVO FRANCO LOOR	Teléfono: 0983385408	E-mail: Gusfranco_87@hotmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MSC. JULY HERRERA, DECANA Teléfono: 2596500 EXT. 213 DECANATO <b>E-mail: <a href="mailto:jherrerav@ulvr.edu.ec">jherrerav@ulvr.edu.ec</a></b>  ING.MSC. ALEX SALVATIERRA, DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERIA CIVIL Teléfono: 2596500 EXT. 213 <b>E-mail: <a href="mailto:asalvatierrae@ulvr.edu.ec">asalvatierrae@ulvr.edu.ec</a></b>	

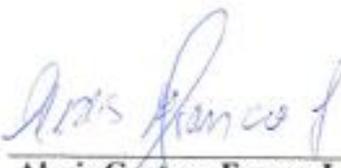
## **CERTIFICACION DE ACEPTACION DEL AUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación, nombrado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

**CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y analizado el Proyecto de Investigación con el tema: "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO) EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMESTICA.", presentado como requisito previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar al título de: **INGENIERO CIVIL.**

**Presentado por:**

  
\_\_\_\_\_  
**Alexis Gustavo Franco Loor**

  
\_\_\_\_\_  
**Mg. ING. CIVIL. Pablo Paredes Ramos**

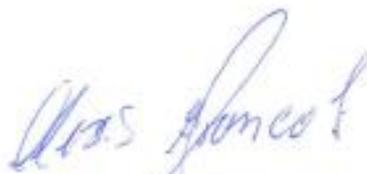
**Tutor**

## DECLARACION DE AUTORIA Y CESION DE DERECHOS DE AUTOR

El señor Alexis Gustavo Franco Loor, declara juramento que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente a la suscrita y se responsabiliza de los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo mi derecho de autor a la Universidad LAICA VICENTE Rocafuerte de Guayaquil, según lo establece por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y normatividad institucionalidad vigente.

Este proyecto se ha ejecutado con el propósito de elaborar el "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO) EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMESTICA."



Alexis Gustavo Franco Loor

C.C. 1205619271

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a Dios por darme la salud que tengo, sabiduría para darle solución al obstáculo que la vida nos pone y además un cuerpo sano y una mente de bien. Estoy seguro que mis metas planteadas darán fruto en el futuro y por ende me debo esforzar cada día para ser mejor y en todo lugar sin olvidar el respeto y la humildad.

En segundo lugar quiero agradecer a mis padres a mi esposa y mi suegra gracias a ellos soy lo que ahora soy y con el esfuerzo de ellos y mi esfuerzo ahora puedo ser un gran profesional. Y seré un gran orgullo para ellos y para todos los que confiaron en mí.

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Él es mi ser supremo que me ayudo en todo momento aun cuando creía darme por vencido él estuvo a mi lado. Recuerdo esos momentos de estrés, cuando perdía la paciencia pero Dios me dio la fortaleza para culminar con éxito mi tesis.

### **A mi madre Cecilia.**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

### **A mi padre Joaquín.**

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

### **A mi esposa Priscila.**

Gracias a su empuje, apoyo incondicional y amor en mis últimos escalones, para alcanzar con éxito mi título académico.

### **A mis familiares.**

A mi suegra Dora por ese apoyo desinteresado, que ha estado en mis días buenos y principalmente en mis días malo, mi hermana Joselyn por sus consejos y sus oraciones ; a mi Tía Raquel y mi Tía Gloria que han sido más que unas madres para mí, parte de mi educación y valores se los debo a ellas que me enseñaron a distinguir entre el bien y el mal, a mis Abuelos Gustavo Franco y Georgina Troya aunque no estén en vida y a mi lado para compartir este triunfo saben que se los prometí y aunque tarde pero les cumplí. Y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

### **A mis maestros.**

Ing. Pablo Paredes por su guía y motivación para la elaboración de esta tesis, y al Ing. Fausto Cabrera por su apoyo moral y consejos profesionales.

### **A mis amigos.**

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Mauricio castillo, Diego Gómez.

Finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

## ÍNDICE GENERAL

Repositorio del Senescyt.....	II
Certificación de Aceptación del Autor.....	IV
Declaración de Autoría y Cesión de Derechos de Autor.....	VI
Agradecimiento.....	VII
Dedicatoria.....	VIII
Índice General.....	X
Índice de Tablas.....	XIII
Índice de Figuras.....	XIV
Abreviatura.....	XVI
Introducción.....	1
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>Diseño de la Investigación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Formulación del Problema.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Sistematización del Problema.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Objetivos del Proyecto de Investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1. Objetivo General.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2. Objetivo Específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Justificación del Proyecto.....</b>	<b>5</b>
<b>1.6. Hipótesis .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Marco Teórico .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1. Tratamiento de Agua Residual Domésticas.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2. Tipos de Tratamientos de Agua Residuales Domesticas.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.2.1. Tratamiento preliminar.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.2.2. Tratamientos primarios.....</b>	<b>13</b>

2.1.2.3. Tratamiento secundario.....	14
2.1.2.4. Tratamiento terciario.....	16
2.1.2.5. Parámetros de tratamiento de agua residuales doméstica.....	17
2.1.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	19
2.1.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	22
2.1.5. Humedales artificiales. ....	23
2. 1.6. Tipos de humedales artificiales.....	27
2.1.6.1. Humedales artificiales de flujo libre o superficial (FLS).....	28
2.1.6.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (FSS).....	34
2.1.7. Tipos de Humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	36
2.1.7.1. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.....	36
2.1.7.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.....	38
2.1.8. Componentes de un humedal artificial.....	41
2.1.9. Mecanismos de remoción del humedal artificial.....	50
2.1.9.1. Remoción de DBO.....	50
2.1.9.2. Remoción de Nitrógeno.....	51
2.1.9.3. Remoción de organismos patógenos.....	51
2.1.10. Ventajas del humedal artificial.....	53
2.1.11. Diseño del humedal artificial.....	54
2.1.12. Diseño de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperfial.....	54
2.2. Marco Conceptual.....	61
2.2.1. Aguas residuales domésticas.....	61
2.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	61
2.2.3. Densidad.....	62
2.2.4. Lixiviado.....	62
2.2.5. Tratamiento primario.....	62
2.2.6. Tratamiento secundario.....	62
2.2.7. Tratamiento terciario.....	62

2.2.8. Aguas residuales domésticas.....	63
2.2.9. Línea de agua.....	63
2.2.10. Junco.....	63
2.2.11. Humedales Artificiales de Flujo Superficial.....	63
2.2.12. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial.....	63
2.3. Marco Legal.....	64
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>77</b>
3.1. Metodología.....	77
3.2. Tipos de Investigación.....	77
3.2.1. Metodología Científica Experimental.....	77
3.2.2. Técnica Implementada en el Proyecto de Investigación.....	78
3.3. Técnica e Instrumentos.....	80
3.3.1. Descripción de la Planta Piloto Rehabilitada. ....	80
3.4. Muestra.....	90
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>92</b>
<b>Análisis de Resultados.....</b>	<b>92</b>
4.1. Resultados del Límite Permitido por las Normas Tulas.....	92
4.2. Cálculos del Caudal.....	92
4.3. Analizar el efecto de la variación de las alturas del lecho filtrante en la remoción del parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). ....	94
4.3.1. Cálculo de los % de remoción de la DBO.....	94
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>99</b>
<b>RECOMENDACIÓN.....</b>	<b>100</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Composición típica de las aguas residuales domesticas.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 2. Características de la DBO con muestras tomada de 5 días.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 3. Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residual.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 4. Parámetros de diseño del humedal artificial.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 5. Ecuaciones para el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial con base en remoción de DBO<sup>(5días)</sup>.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 6. Parámetros de diseño humedales de flujo subsuperficial.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 7. Criterio para humedales de flujo subsuperficial .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 8. Características típicas del medio para humedales de flujo Subsuperficial .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 9. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 11. Comparativa entre resultados obtenidos de DBO con los límites permitibles de la normas.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 12. Cargas Superficiales.....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Esquema de tratamiento de aguas residuales domesticas.....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2. Tratamiento de aguas residuales .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 3. Reja de barrote para tratamiento de aguas residuales.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4. Microfiltros.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 5. Canal desarenado.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 6. Tratamiento primario.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 7. Tratamiento secundario.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 8. Tratamiento terciario.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 9. Curva demanda bioquímica de oxígeno.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 10. Esquema general del funcionamiento y elementos de un humedal artificial.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 11. Humedal artificial de flujo subsuperficial.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 12. Tipos de humedales artificiales.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 13. Humedal artificial de flujo superficial (FLS).....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 14. Humedales artificiales de flujo subsuperficial.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 15. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 16. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 17. Humedales artificiales.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 18. Esquema típico de una planta emergente.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 19. Typha.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 20. Scirpus validus.....</b>	<b>46</b>

<b>Figura 21. Junco de río.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 22. Desechando Aguas Grises de la Planta Piloto.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 23. Material a retirar de la planta piloto .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 24. Retiro de Sistema de Distribución .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 25. Retiro de Lecho Filtrante .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 26. Planta Piloto Limpia .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 27. Retiro de Junco de Río .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 28. Material Filtrante (Arena Gruesa, Piedra 3/8").....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 29. Agua Residual Domestica .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 30. Capa de Piedra Chispa .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 31. Plantación de Junco de Río en la Planta Piloto .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 32. Capas de Arena gruesa en la Planta Piloto .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 33. Humectación de Capas de Arena gruesa en la Planta Piloto.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 34. Tubería de distribución la Planta Piloto .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 35. Tubería de distribución la Planta Piloto con perforación de 3/4".....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 36. Tubería de distribución la Planta Piloto con perforación de 1/2".....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 37. Tanque de 55 galones llenado con Agua Residual Domestica.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 38. Recorrido del Agua Residual Atraves de las Capas de Filtración.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 39. Muestra Tomada a la Entrada de la Planta Piloto.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 40. Muestra Tomada a la Salida de la Planta Piloto.....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 41. Diagrama de % de remoción.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 42. Diagrama de caudal.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 43. Diagrama de variación de altura .....</b>	<b>97</b>

## ABREVIATURAS

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**UPS:** Unidad Práctica de Salinidad

**SNDGA:** Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental.

**HSS:** Humedal Artificial Subsuperficial.

**AR:** Aguas Residuales.

**Ce:** concentración media diaria.

**Cr:** concentración del contaminante en el tramo aguas arriba de la descarga.

**Qr:** caudal crítico de cuerpo receptor.

**Qe:** Caudal de la descarga en condiciones futuras.

**CHONS:** Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre.

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:** ácido sulfúrico.

**SS:** Solidos suspendidos.

**SD:** Solidos Disueltos.

**SV:** Solidos Volátiles.

**SSED:** Solidos Sedimentables.

**SST:** sólidos suspendidos totales.

**TAR:** Tratamiento de Aguas Residual.

**FLS:** Humedales artificiales de flujo libre o superficial.

**FSS:** Humedales artificiales de flujo subsuperficial.

**CH:** Carga hidráulica.

**Q:** Caudal.

**As:** Área superficial del humedal.

## INTRODUCCIÓN

Ecuador posee una población aproximada de 16.792,213 millones de habitantes y una tasa de crecimiento que bordea el 2,6% INEC (2018), el consumo promedio es de 1 800 m<sup>3</sup> /año de agua, donde se generan altos consumos de agua y altas descargas de aguas residuales (AR). La ley de prevención y control ambiental, capítulo VI, de la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas, adopta nuevas medidas para prevenir la contaminación de los recursos hídricos y manifiesta lo siguiente: “queda prohibido descargar AR a las redes de alcantarillado, quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en aguas marítimas sin sujetarse a las normas técnicas y regulaciones.

Así como infiltrar aguas residuales en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades privadas”. La zona urbana que comprende el 48,1% de viviendas son atendidas por un sistema de alcantarillado público, el 13,6% tiene pozos ciegos, el 24% utiliza pozos sépticos y el 14,3% elimina las Aguas Residuales de otras formas INEC (2004), pero ninguna de estas cumplen las normativas de descarga.

En la investigación se aplica , con 3 tratamientos y 3 repeticiones, se realizan tres evaluaciones (2 en diciembre y 1 en enero del 2018), se determinan los niveles de DBO<sub>5</sub>, DQO, aluminio, nitrógeno total, índice de coliformes totales, fósforo total y sólidos totales, además se realizó un Análisis Físico-Químico a la entrada y salida del humedal.

Para el cumplimiento de la investigación se plantea cuatro capítulos. En el primer capítulo se trata sobre el diseño de la investigación que comprende Planteamiento del proyecto, Formulación del problema, Sistematización del problema, Objetivos del

proyecto de investigación, Justificación de la investigación. En el capítulo dos se estudia los marco teórico, marco legal, marco conceptual, que se rigen a las normas vigentes de nuestra república.

En el capítulo tres que es la metodología de la investigación se realiza el proceso constructivo del proyecto y análisis obtenidos de prueba del laboratorio. Finalmente en el capítulo cuatro se muestran los resultados de los análisis del DBO y el porcentaje de límites permitidos del tratamiento de descargas de aguas residuales domésticas en la planta piloto de la Universidad Laica Vicente de Rocafuerte de Guayaquil. Mediante un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial con vegetación JUNCO de RIO”.

# **CAPÍTULO I**

## **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

El agua se considera un recurso indispensable para la vida y el desarrollo de los seres humanos por lo tanto el manejo y la eliminación de residuos sólidos domésticos son problemas críticos en las áreas urbanas, por lo general, el grado final de estos residuos terminan en rellenos sanitarios. Aunque los rellenos que existen en la actualidad poseen diversidad de problemas operativos, encontrándose con mayor frecuencia el inadecuado tratamiento de los lixiviados

Una de las principales causas de la contaminación de los diferentes cuerpos de agua es la cantidad de nutrientes y materia orgánica que son vertidos en ellos como resultado de las diferentes actividades. Por esta razón, se acentúan las necesidades de tratamiento y la falta de recursos. Los sistemas naturales de tratamiento surgen como alternativa para suplir dichas necesidades.

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. Por esta razón es necesario considerar el agua como un recurso finito y vulnerable, esencial para la vida y el desarrollo de la población y tomar las medidas necesarias para la conservación de la misma a través de proyectos que permitan la recuperación de tal vital elemento de la naturaleza.

## **1.2. Formulación del Problema**

- Debido al incremento de la población existe mayor cantidad de descarga en los cuerpos receptores.
- Mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial, prevenir y controlar la contaminación de las aguas de origen natural.

## **1.3. Sistematización del Problema**

- ¿Qué tipo de vegetación es la más adecuada para ser utilizada en el humedal?
- ¿Cuál son las alturas más factible del material para ser utilizado como filtro del humedal?
- ¿Cuál sería el tiempo que debe pasar el agua por el proceso del humedal para que esta sea factible de regresar a la naturaleza?

## **1.4. Objetivos del Proyecto de Investigación**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Evaluar el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), mediante la implementación de una planta piloto para encontrar la mejor eficiencia de remoción de materia orgánica en término de la DBO, para tratar aguas residuales domésticas y con esto evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento.

### **1.4.2. Objetivo Específicos**

- Analizar el efecto de la variación de las alturas del lecho filtrante en la remoción del parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

- Evaluar la influencia del caudal de entrada de agua residual doméstica en la remoción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- Verificar la influencia de la variación de altura de la tubería de entrada de agua residual doméstica en la remoción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

### **1.5. Justificación del Proyecto**

Se busca un sistema de planteamiento a nivel de hogar, el cual puede ser operado y mantenido por cualquier dueño, con el fin de que las aguas residuales tratadas puedan ser reusada para el riego de las propias áreas verde de las viviendas y con esto reducir el caudal de descarga de agua residual.

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales, son económicamente viables, de gran capacidad para la remoción de contaminantes, reconocidos como sistemas adecuados para la depuración de DBO. Consisten en un sistema simple y eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

### **1.6 Hipótesis**

El uso del JUNCO DEL RIO en humedales subsuperficiales de flujo horizontal reducen la concentración de contaminantes químicos y biológicos en las aguas residuales.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco Teórico.**

La purificación de aguas residuales es un tema de gran importancia para controlar los riesgos de contaminación y por lo tanto es necesario buscar alternativas que permitan mejorar las condiciones de los líquidos para ser vertidos a fuentes naturales.

Existen diferentes tecnologías que presentan ventajas y desventajas, entre las opciones tecnológicas se encuentran los humedales artificiales o construidos y humedales naturales.

Los humedales artificiales son ecosistemas en los cuales conviven diferentes especies que permiten mantener un equilibrio en el cual se remueven contaminantes de aguas residuales por medio de un conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos depurando un agua de una mejor calidad que puede ser reutilizada en otros procesos dependiendo de sus contenidos.

Los humedales naturales presentan caracteres y funciones que benefician al medio ambiente particularmente a la sociedad y a las especies animales. Las funciones físicas que tienen estos sistemas permanecen en la regulación del ciclo del agua, las funciones químicas apoyan la regulación de ciclos de nutrientes y descomposición de biomasa, y las funciones bioecológicas apuntan a la productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas y retención de óxido de carbono. **(JHOAN PABLO - MARÍN MONTOYA, 2010).**

### **2.1.1. Tratamiento de Agua Residual Domésticas.**

El proceso de tratamiento inicia por la recolección del agua residual a través de fosas sépticas en las cuales se realiza el primer paso de depuración, en esta parte se lleva a cabo un efecto anaeróbico en el cual se asientan los residuos sólidos del agua, formando un material lodoso producto del asentamiento de los residuos, que facilita su filtrado posterior.

Durante, se efectúa la recolección de las aguas servidas por medio de tuberías para ser llevadas a plantas de tratamiento especializadas en las cuales se realizará el proceso de descontaminación a nivel físico, químico y biológico que permitirán una depuración total de las aguas residuales.

En las fases posteriores del tratamiento a nivel bioquímico se libera el agua de los contaminantes a un nivel más profundo, con lo que se puede lograr una purificación del líquido, necesaria para permitir un uso posterior de este sin que represente riesgos a la salud o daños al medio ambiente.

Debido a la gran cantidad de usos que se puede hacer del agua en los hogares, el nivel de contaminación de esta suele requerir de procesos de purificación más extensos en el tratamiento de aguas residuales para liberarla de residuos como heces, grasas o minerales nocivos. Equipos tecnológicos altamente certificados son utilizados por las plantas de tratamiento para realizar la descontaminación del líquido.

Las aguas residuales producidas en los hogares son de las que presentan mayor número de contaminantes y realizar un efectivo tratamiento previo a su liberación en los afluentes naturales se ha vuelto uno de los puntos más importantes actualmente en la prevención del deterioro ambiental provocado por el ser humano.

(ADMINISTRACION, Tratamiento de aguas residuales domésticas, 2018)

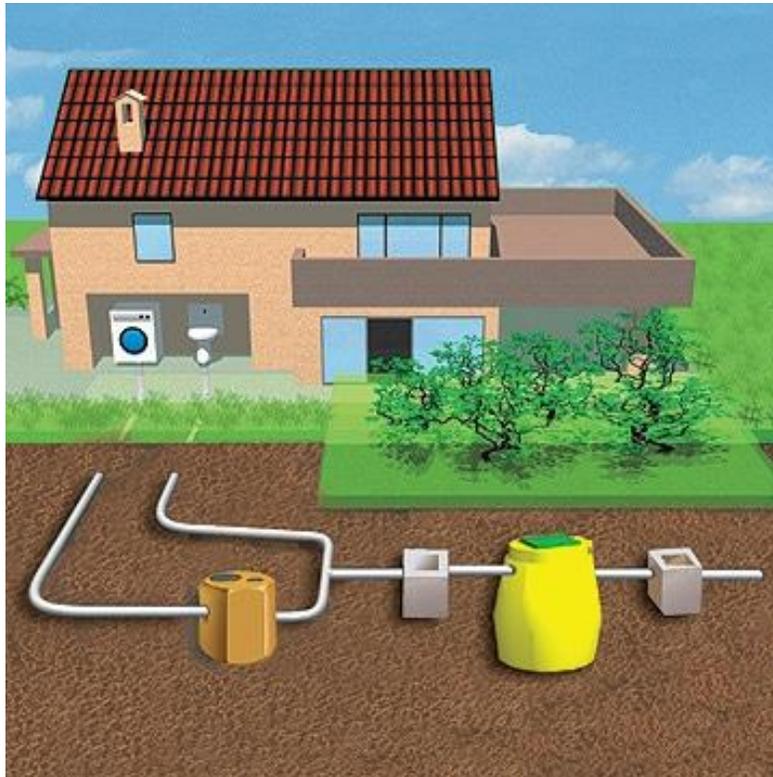


Figura 1. Esquema de tratamiento de aguas residuales domésticas

Fuente:(ADMINISTRACION, Tratamiento de aguas residuales domésticas, 2018)

- **Definición**

Las aguas residuales domésticas son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

Comúnmente se les conoce también como aguas servidas o aguas negras y la importancia de su tratamiento y descontaminación radica en la posibilidad de devolver el líquido a afluentes naturales, sin que represente un peligro para los seres vivos que tengan contacto con él, lo que constituye una forma de aprovechamiento del vital líquido, sobre

todo en países que presentan escasez del mismo, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.(ADMINISTRACION, Tratamiento de aguas residuales domésticas, 2018)

## **2.1.2. Tipos de Tratamientos de Agua Residuales Domesticas.**

### **2.1.2.1. Tratamiento preliminar**

Se hacen como antecedentes a los tratamientos primarios, secundarios, o terciarios, pues las aguas residuales pueden venir con desechos muy grandes y voluminosos que no pueden llegar a las plantas de tratamiento y sirven de igual manera para aumentar la efectividad de estos procesos. Para estos procesos son utilizadas las rejillas, los tamices y los microfiltros. **Fuente:** <http://tratamientodeaguasresiduales.net/tipos/>

**Las Rejillas:** Con éstas se retiene todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, etc. Se utilizan solamente en los desbastes previos, y sirven para que los desechos no dañen las maquinas. Se construyen

con barras de 6 mm de grosor y son acomodadas aproximadamente a 100 mm de distancia. **Fuente:** <http://tratamientodeaguasresiduales.net/tipos/>



Figura 2. Tratamiento de aguas residuales  
**Fuente:** [fluidos.eia.edu.co](http://fluidos.eia.edu.co).

- **Los tamices:** Luego de las rejillas se colocan Tamices, con aberturas menores para remover un porcentaje más alto de sólidos, con el fin de evitar atascamiento de tuberías, filtros biológicos, con una abertura máxima de 2.5 mm. Tienen una inclinación particular que deja correr el agua y hace deslizar los desechos por fuera de la malla. Necesita un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida.



Figura 3. Reja de barrote para tratamiento de aguas residuales

Fuente:<https://www.google.com.ec/search?q=TAMICES+para+tratamiento+de+aguas+residuales+domesticas&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewj->

- **Los microfiltros:** Son planillas giratorias plásticas o de acero por las cuales circula el agua y recogen los desechos y las basuras en su interior, los microfiltros tiene sistemas de lavado para que así puedan mantener las mallas limpias. Dependiendo de la aplicación que tengan se selecciona el tamaño de las mallas.

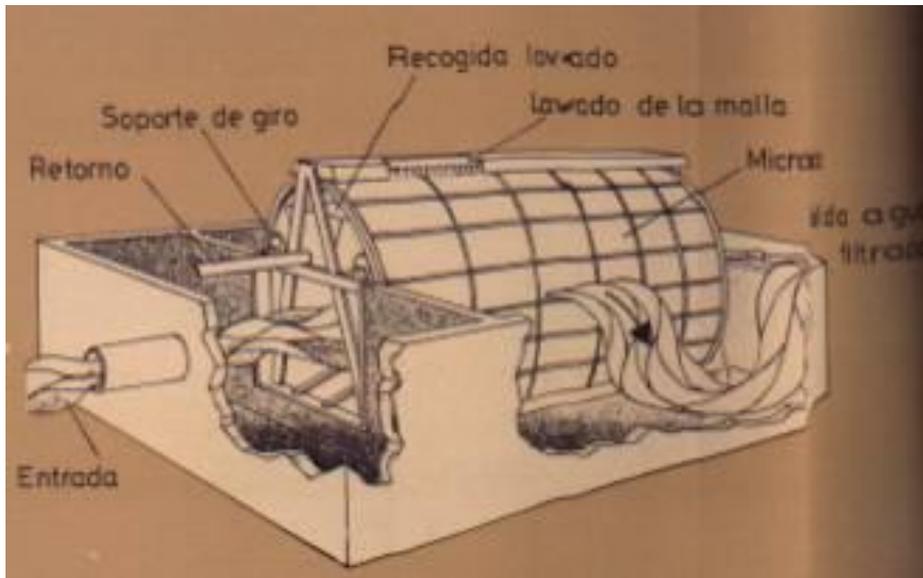


Figura 4. Microfiltros

Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>

- **Desarenadores:** Son unidades encargadas de retener arenas, guijarros, tierra y otros elementos vegetales o minerales que traigan las aguas.



Figura 5. Canal desarenador

Fuente: <http://eco-sar.com/plantas-de-tratamiento/>

### **2.1.2.2. Tratamientos primarios**

En este tipo de tratamiento lo que se busca es remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamientos físicos o físico-químicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas quemantes (La precipitación química o coagulación es un proceso por el cual se agregan sustancias químicas para que así se dé una coagulación de los desechos y poder retirar así los sólidos) que hacen más rápida y eficaz la sedimentación.

También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción). Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción.

La sedimentación física es el proceso mediante el cual se dejan asentar por gravedad los sólidos en suspensión en las aguas residuales. Las bacterias que crecen en este medio, junto con otros sólidos, se retiran en un tanque de sedimentación secundario y se hacen entrar de nuevo al tanque de ventilación. En este tipo de tratamiento se pueden retirar de un 60 a un 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

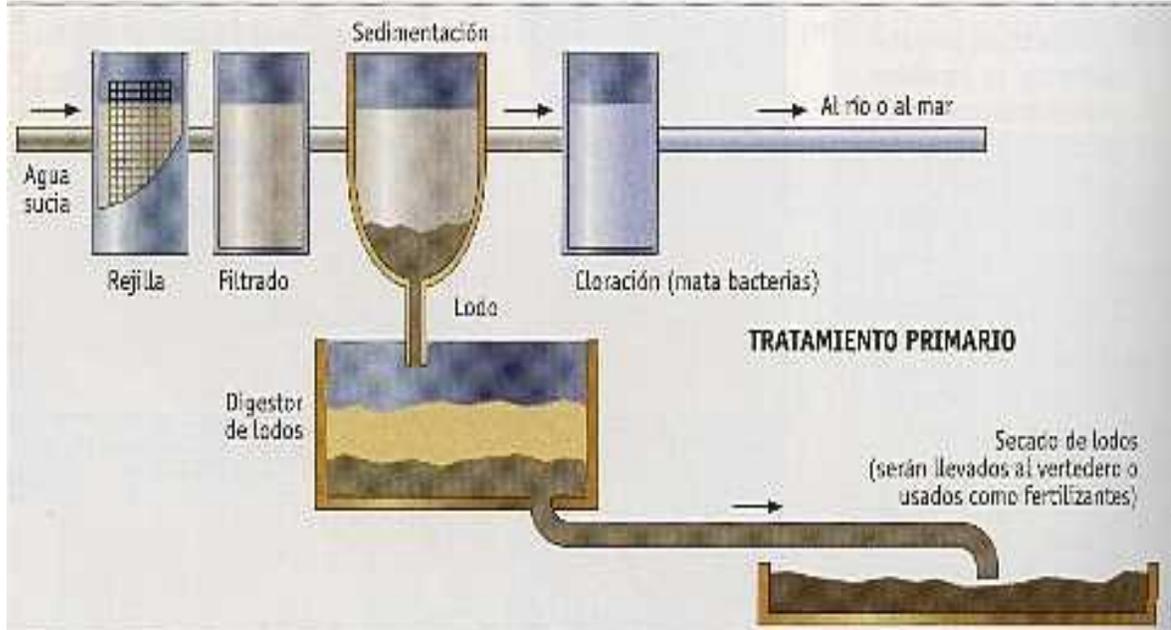


Figura 6. Tratamiento primario

Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm>

### 2.1.2.3. Tratamiento secundario

Se da para eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron y para remover las demandas biológicas de oxígeno. Con estos tratamientos secundarios se pueden expeler las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos.

Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos. El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de

burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos.

Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas. Una parte de estos lodos son devueltos al tanque para que así haya una mayor oxidación de la materia orgánica.

Se utilizan también los biodiscos que están contruidos con un material plástico por el que se esparce una película de microorganismos que se regulan su espesor con el paso y el rozamiento del agua. Puede estar sumergido de un 40 a un 90 % y la parte que queda en la superficie es la encargada de aportar el oxígeno a la actividad celular. El lagunaje es utilizado en terrenos muy extensos y su duración es de 1/3 días en el proceso de retención. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

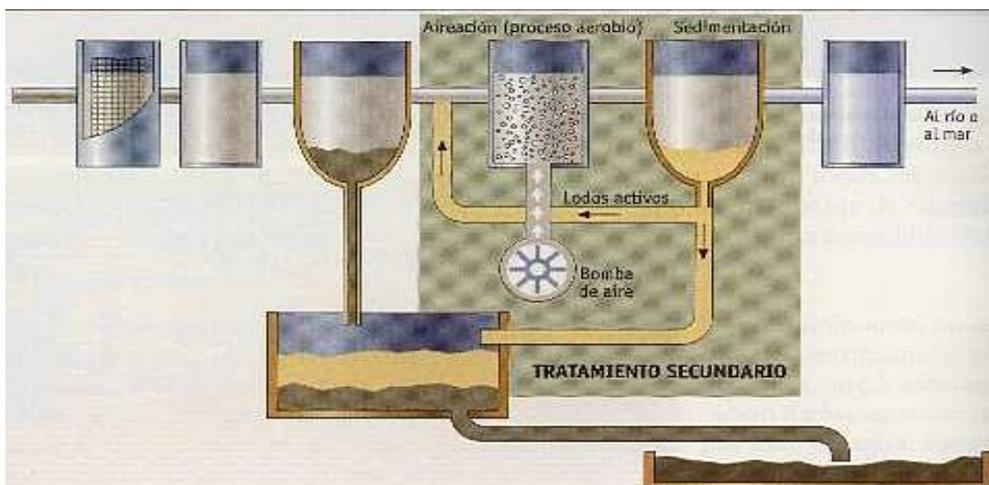


Figura 7. Tratamiento secundario

Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm>.

#### **2.1.2.4. Tratamiento terciario.**

Consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias.

Algunas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno.

Una mejor posibilidad para el tratamiento terciario consiste en agregar uno o más estanques en serie a una planta de tratamiento convencional. El agregar esos estanques de "depuración" es una forma apropiada de mejorar una planta establecida de tratamiento de aguas residuales, de modo que se puedan emplear los efluentes para el riego de cultivos o zonas verdes y en acuicultura.

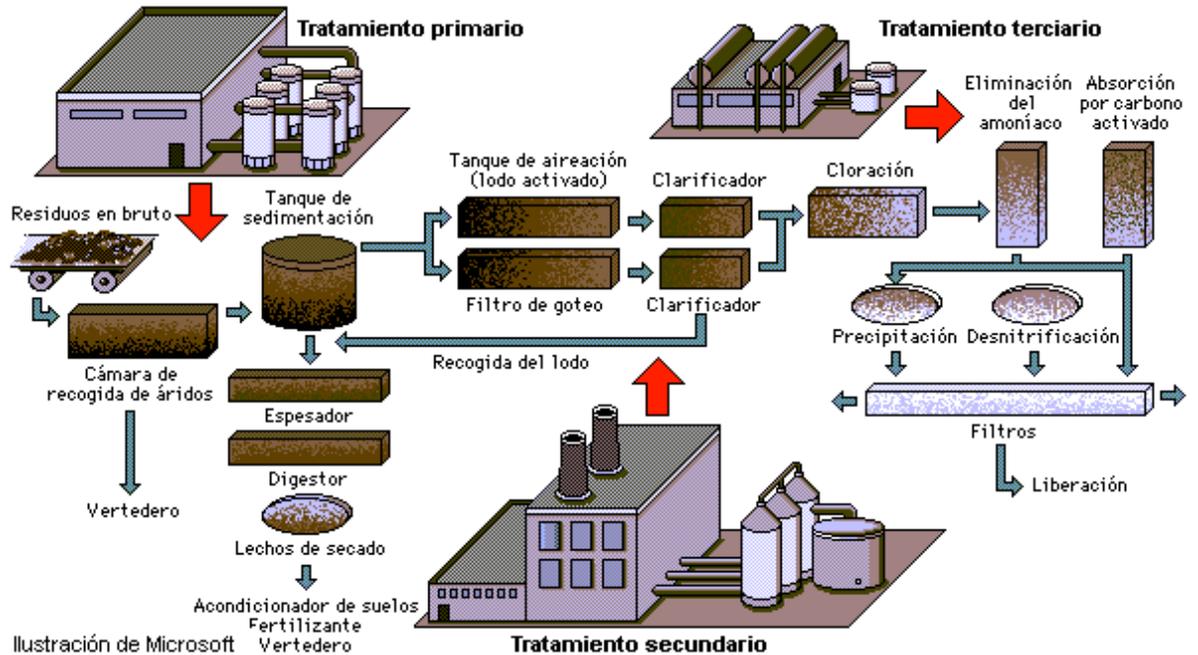


Figura 8. Tratamiento terciario

Fuente: <http://spenagroup.com/tratamiento-terciario-del-agua-aguas-residuales-sistemas-reciclaje/>

### 2.1.2.5. Parámetros de tratamiento de agua residuales doméstica.

Las aguas residuales presentan diferentes características Físicoquímicas las cuales se pueden tener en cuenta para poder tener un manejo del agua para ser tratadas, de acuerdo a esto si no se emplea manejo obedecería a una mala caracterización de las aguas, ya que impide seleccionar correctamente los tratamientos y aplicar criterios adecuados para el diseño. Fuente: <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>

TABLA 1. COMPOSICION TIPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Todas las unidades en mg/L menos los sólidos sedimentales.

CONSTITUYENTE	CONCENTRACION		
	FUERTE	MEDIA	DEBIL
SÓLIDOS TOTALES	1200	720	350
Disueltos SD	850	500	250
SD fijos SDF	525	300	145
SD volátiles SDV	325	200	105
En suspensión SS	350	220	100
SS fijos SSF	75	55	20
SS volátiles SSV	275	165	80
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/L	20	10	5
DBO5	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
NITROGENO (Total como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacó libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
FOSFORO (Total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
CLORUROS	100	50	30
ALCALINIDAD (como Co <sub>3</sub> Ca)	200	100	50
GRASA	150	100	50

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo, 1995.

- **Materia orgánica:** Son fracciones relevantes que se dan de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales debido a esto se refleja como la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua. La Materia Orgánica está compuesta principalmente por CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos

de origen animal y vegetal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y los surfactantes (detergentes). **Fuente:** <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>

- **Oxígeno disuelto:** Es un parámetro fundamental que se contempla en el ecosistema acuático y su valor debería estar por encima de los 4 mg/L para así mismo asegurar la sobrevivencia de los organismos superiores. El oxígeno se usa como indicador de la contaminación para los cuerpos hídricos. Para el correcto funcionamiento de los tratamientos aerobios de las aguas residuales, es necesario asegurar una concentración mínima de 1 mg/L. **Fuente:** <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>

### **2.1.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de dioxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO5) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/l).

El método de ensayo se basa en medir el dioxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de dioxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. La curva de consumo de dioxígeno suele ser al principio débil y

después se eleva rápidamente hasta un máximo sostenido, bajo la acción de la fase logarítmica de crecimiento de los microorganismos.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras.

No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato de potasio. Según McKinney (1962), «El test de la DBO fue propuesto por el hecho de que en Inglaterra ningún curso de agua demora más de cinco días en desaguar (desde su nacimiento a su desembocadura). Así la DBO es la demanda máxima de dioxígeno que podrá ser necesaria para un curso de agua inglés».

El método pretende medir, en principio, exclusivamente la concentración de contaminantes orgánicos. Sin embargo, la oxidación de la materia orgánica no es la única causa del fenómeno, sino que también intervienen la oxidación de los nitritos y de las sales amoniacales, susceptibles de ser también oxidadas por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-aliltiourea como inhibidor. Además, influyen las necesidades de dioxígeno originadas por los fenómenos de asimilación y de formación de nuevas células.

También se producen variaciones significativas según las especies de gérmenes, la concentración de estos y su edad, y la presencia de bacterias nitrificantes y de protozoos consumidores propios de dioxígeno que se nutren de las bacterias, entre otras causas. Por

todo ello este test ha sido constantemente objeto de discusión: sus dificultades de aplicación, interpretación de los resultados y reproductibilidad se deben al carácter biológico del método.

**Tabla #2. Características de la DBO con muestras tomadas de 5 días**

No. de muestra	BIOQUÍMICA				BIOLOGÍA		Bions.de inh. Elong.de un vegetal No resultó toxica se muestra una estimulación en el crecimiento de la raíz
	Inorgánica		Orgánica		Indic. Microbiológicos		
	Nitrato mg/l	Sulfato mg/L	DBO <sub>5</sub> Mg/L	DQO Mg/L	Coliformes Totales NMP/100 mL	Coliformes fecales NMP/100mL	
1	0.86	37.66	30	41.6	3500000	2400000	
2	0.52	21.50	40	110.0	5400000	3500000	
3	0.39	33.36	48	53.76	350000	220000	
4	0.39	16.14	40	20.8	1100000	790000	
5	0.06	37.6	160	114.4	1700000	790000	

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda\\_biol%C3%B3gica\\_de\\_ox%C3%ADgeno](https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_biol%C3%B3gica_de_ox%C3%ADgeno)

## Demanda Bioquímica de Oxígeno (BDO<sub>5</sub>)

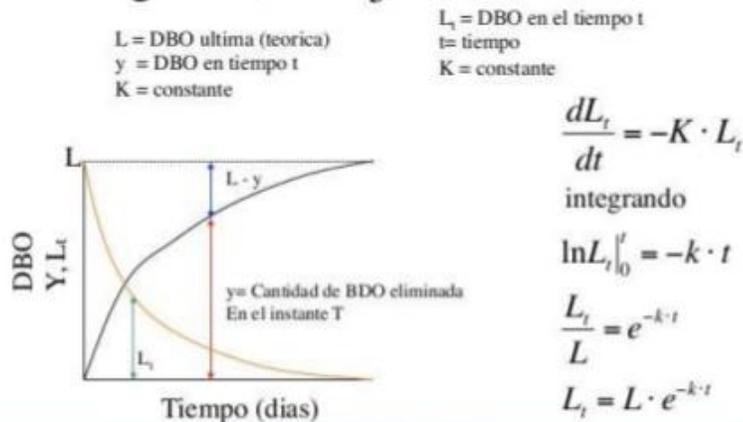


Figura 9. Curva demanda bioquímica de oxígeno  
 Fuente: <https://es.slideshare.net/MarcosDalmasi/demanda-biolgica-y-quimica-de-oxgeno-y-oxgeno-disuelto>

#### 2.1.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

También una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra. A diferencia de la DBO, esta prueba emplea un oxidante fuerte (dicromato de potasio –  $K_2Cr_2O_7$ ) en un medio ácido (ácido sulfúrico –  $H_2SO_4$ ) en vez de microorganismos.

Por lo anterior se obtiene la siguiente relación:

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

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

- **Sólidos:** La materia orgánica se presenta en forma de sólidos. Estos sólidos pueden ser suspendidos (SS) o disueltos (SD), los que también pueden ser volátiles (SV), los cuales se presumen orgánicos, o fijos (SF) que suelen ser inorgánicos. Parte de los sólidos suspendidos. Pueden ser también sedimentables (SSed). Lo anterior ellos se determinan gravimétricamente (por peso).
- **Potencial de hidrógeno (pH):** Controla los procesos biológicos del tratamiento de las aguas residuales (TAR). La mayoría de los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales se desarrollan en un rango de pH óptimo entre 6,5 y 8,5 unidades.
- **Nitrógeno:** Componente principal de las proteínas y es un nutriente esencial para las algas y bacterias que intervienen en la depuración del agua residual. Puede

presentarse en forma de nitrógeno orgánico, amoniacal y formas oxidadas como nitritos y nitratos. Los valores excesivamente altos de nitrógeno amoniacal (>1500 mg/L) se consideran inhibitorios para los microorganismos responsables del TAR.

- **Fósforo:** Es un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos. No obstante, valores elevados pueden causar problemas de hipereutrofización en los cuerpos de agua loticos como en lagos, embalses, lagunas. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

#### **2.1.5. Humedales artificiales.**

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

El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por: el confinamiento del humedal, el cual se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, el empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas y la selección de las plantas que van a colonizar el humedal.

**(Remtavares, 2013).**

**Figura.10** Esquema general del funcionamiento y elementos de un Humedal Artificial.



**(Remtavares, 2013)**

Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas, mediante el empleo de humedales artificiales son:

- Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.
- Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizan esta materia orgánica como sustrato. A lo largo del humedal existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.

- Eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, principalmente mediante mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación.
- Eliminación de patógenos mediante adsorción, filtración o depredación.
- Eliminación de metales pesados como cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc.

**Definición.-** El concepto del uso de los sistemas de Humedales Artificiales plantados con vegetación propia de los humedales naturales empezó hace más de 50 años con el trabajo de la Doctora Seidel del Instituto Max-Planck en Alemania. Seidel observó que la arena común (*Schoenoplectus lacustris*) era capaz de reducir gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas existentes en aguas contaminadas. Por otro lado, observó que determinadas bacterias (Coliformes, Salmonella y Enterococos) desaparecían pasando a través de la plantación de arenas. Así mismo observaba una eliminación de metales pesados e hidrocarburos.

Sin embargo, se puede decir que fue el trabajo del Doctor Kickuth en las décadas de los 70 y los 80 el que realmente estimuló el interés en la tecnología de Humedales Artificiales en Europa. Estos estudios se basaban en los procesos de tratamiento del agua que ocurren en la zona de la raíz del carrizo común (*Phragmites australis*) y en el suelo en el que las plantas crecen.

Durante los años 70 y 80 la principal utilización de los humedales Artificiales fue como estaciones de depuración de aguas residuales urbanas. Pero es a partir de la década de los 90 cuando los Humedales Artificiales, además de los usos mencionados, se han utilizado con éxito en el tratamiento de distintas aguas residuales industriales.

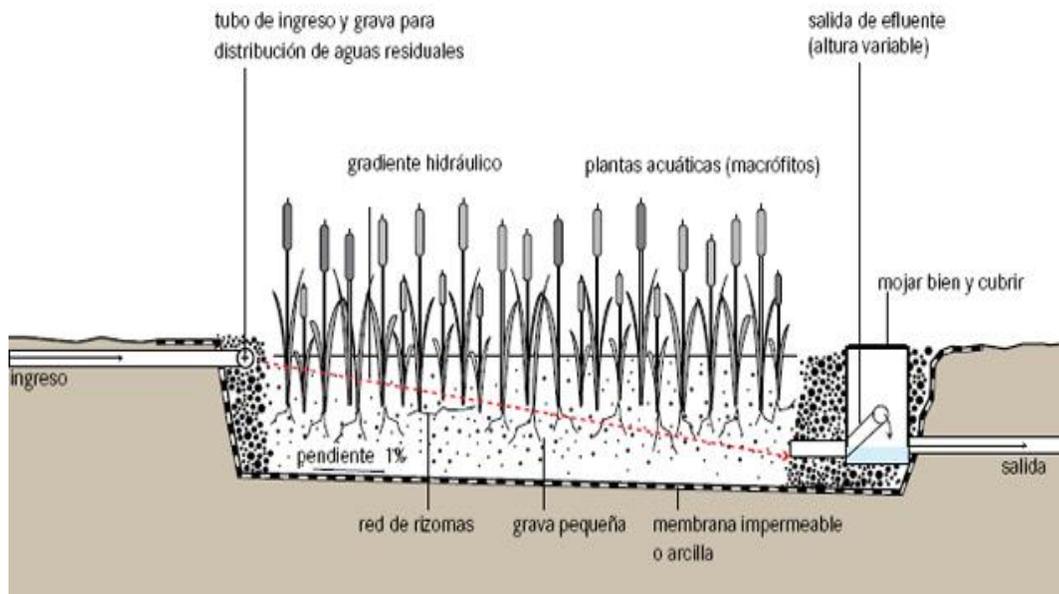
En la actualidad, en muchos pueblos, las plantas de tratamiento ya no cumplen sus objetivos por obsolescencia y/o por mayor carga debido a la actividad industrial. El construir nuevas plantas de depuración o el conectarse plantas lejanas ya existentes implica un elevado coste, con lo que conectar las antiguas plantas con humedales artificiales puede ser una alternativa económica y ecológicamente aceptable, ya que este tipo de sistemas son de construcción fácil, bajo costo, mantenimiento reducido y con una depuración confiable, incluso cuando hay altas variaciones en el caudal. (Remtavares, 2013).

Se consideran humedales, "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". En los humedales crecen y se desarrollan diferentes tipos de vegetales, animales y microorganismos adaptados a estas condiciones de inundaciones temporales y/o permanentes.

En este tipo de ecosistema se desarrollan también determinados procesos físicos y químicos capaces de depurar el agua ya que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo e incluso productos tóxicos.

Básicamente, los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales. (Durango, 2018 )

Figura.11. Humedal artificial de flujo subsuperficial



Fuente: <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>

### 2.1.6. Tipos de humedales artificiales

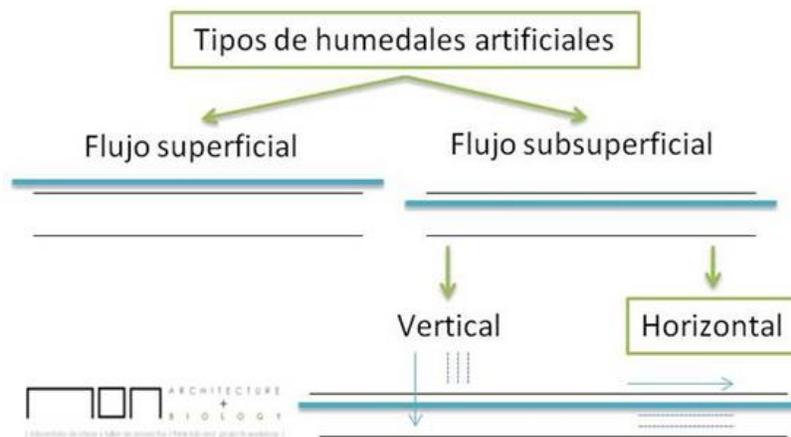


Figura.12. Tipos de humedales artificiales.

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>

### **2.1.6.1. Humedales artificiales de flujo libre o superficial (FLS).**

Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS, free water surface wetlands) aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. La mayoría de los humedales naturales son sistemas FLS entre los que se incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y macrófitas emergentes).

La observación de la mejora en la calidad del agua en humedales naturales llevó al desarrollo de humedales artificiales para tratar de reproducir en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat. La mayoría de los humedales artificiales FLS son praderas inundadas, pero se tienen también algunos ejemplos de fangales y zonas pantanosas. En los humedales FLS el agua fluye sobre la superficie del suelo con Vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga. En algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal.

Un diagrama de un humedal FLS se presenta en la Figura 14. Existen pocos ejemplos del uso de humedales naturales para tratamiento de aguas residuales en los Estados Unidos. Dado que toda descarga a humedales naturales debe cumplir con los requisitos del permiso de descarga del Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES), estos humedales se usan normalmente para tratamiento avanzado o refinamiento terciario.

Las metas de diseño de Fuente: Adaptado de un dibujo de S.C. Reed, 2000 figura 14 humedal de flujo libre superficial los humedales construidos van desde un uso dedicado exclusivamente a las funciones básicas de tratamiento hasta sistemas que proporcionan

tratamiento avanzado y/o en combinación con mejoras del hábitat de la vida silvestre y oportunidades para la recreación pública. El tamaño de los sistemas de humedales FLS va de pequeñas unidades para tratamiento en el sitio de efluentes de tanques sépticos hasta grandes unidades de más de 16,888 hectáreas (40,000 acres). En la actualidad un extenso sistema es utilizado para tratar el fósforo en escorrentía pluvial agrícola en Florida.

Los humedales en operación en los Estados Unidos diseñados para United States Office of Water EPA 832-F-00-024 Environmental Protection Washington, D.C. Septiembre de 2000 Agency Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo libre superficial vegetación entrada de tubería múltiple membrana de recubrimiento o suelo impermeable capa de suelo para la zona de raíces superficie del agua tubería múltiple de descarga el tratamiento de aguas residuales tienen un rango de menos de 3,785 litros por día (1,000 galones por día) hasta más de 75,708 m<sup>3</sup> /d (20 millones de galones por día).

Los humedales artificiales FLS consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a contaminación, y una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación macrófita emergente seleccionada. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección.

La vegetación emergente más comúnmente utilizada en humedales FSL incluye las espadañas y aneas (*Typha* spp.), los juncos (*Scirpus* spp.) y los carrizos (*Phragmites* spp.). En sistemas diseñados principalmente para tratamiento, es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra. La cubierta vegetal producida por la

vegetación emergente da sombra a la superficie del agua, previene el crecimiento y persistencia del agua y reduce la turbulencia inducida por el viento en el agua que fluye por el sistema.

Quizás aún más importante son las porciones sumergidas de las plantas vivas, los ramales erguidos de las plantas muertas, y los detritos acumulados del crecimiento vegetal previo. Estas superficies sumergidas proporcionan el sustrato físico para el crecimiento de organismos perifíticos adheridos que son responsables por la mayoría del tratamiento biológico en el sistema. La profundidad del agua en las porciones con vegetación de estos sistemas va desde unas pocas pulgadas hasta más de dos pies. El afluente a estos humedales se distribuye sobre un área extensa de agua somera y vegetación emergente. La lenta velocidad que se produce y el flujo esencialmente laminar proporcionan una remoción muy efectiva del material particulado en la sección inicial del sistema.

Este material particulado, caracterizado como sólidos suspendidos totales (SST), contiene componentes con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO), distintos arreglos de nitrógeno total y fósforo total, y trazas de metales y compuestos orgánicos más complejos. La oxidación o reducción de esas partículas libera formas solubles de DBO, nitrógeno total y fósforo total al medio ambiente del humedal en donde están disponibles para la absorción por el suelo y la remoción por parte de las poblaciones microbianas y vegetales activas a lo largo del humedal.

El oxígeno está disponible en la superficie del agua, en microzonas de la superficie de plantas vivas y en superficies de raíces y rizomas, lo cual permite que se produzca actividad aeróbica en el humedal. Se puede asumir, sin embargo, que la mayor parte del líquido en el humedal FLS es anóxico o anaeróbico. Esta falta general de oxígeno limita

la remoción biológica por nitrificación del amoníaco ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4 - \text{N}$ ), pero los humedales FLS sí son efectivos en cuanto a la remoción de DBO, SST, metales y algunos contaminantes orgánicos prioritarios dado que su tratamiento puede ocurrir bajo condiciones aeróbicas y anóxicas. (Agency, 2000)

- **VENTAJAS Y DESVENTAJAS:** Se enumeran a continuación algunas de las ventajas y desventajas de los humedales FLS.
- **Ventajas**
- Los humedales FLS proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores adiestrados.
- Los humedales FLS pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento.
- La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas más fríos. La operación a nivel de tratamiento terciario avanzado es posible durante todo el año en climas cálidos o semicálidos.
- Los sistemas de humedales proporcionan una adición valiosa al "espacio verde" de la comunidad, e incluye la incorporación de hábitat de vida silvestre y oportunidades para recreación pública.
- Los sistemas de humedales FLS no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.
- La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo

razonable de retención. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles puede ser también efectiva con un tiempo de retención significativamente mayor.

- **Desventajas**

- Las necesidades de terreno de los humedales FLS pueden ser grandes, especialmente si se requiere la remoción de nitrógeno o fósforo.
- La remoción de DBO, DQO y nitrógeno en los humedales son procesos biológicos y son esencialmente continuos y renovables. El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación. Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la reducción en esas tasas, pero el incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico.
- La mayoría del agua contenida en los humedales artificiales FLS es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco. El aumento del tamaño del humedal y, consecuentemente, el tiempo de retención puede hacerse en forma compensatoria, pero puede no ser eficiente en términos económicos. Métodos alternos de nitrificación en combinación con los humedales FLS han sido utilizados con éxito.
- Los mosquitos y otros insectos vectores de enfermedades pueden ser un problema.

- La población de aves en un humedal FLS puede tener efectos adversos si un aeropuerto se encuentra localizado en la vecindad.
- Los humedales artificiales FLS pueden remover coliformes fecales del agua residual municipal, al menos en un orden de magnitud. Esto no siempre es suficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades, por lo cual podría requerirse desinfección subsiguiente. La situación puede complicarse aún más debido a que las aves y otras especies de vida silvestre producen coliformes fecales. (832-F-00-023, 2016)

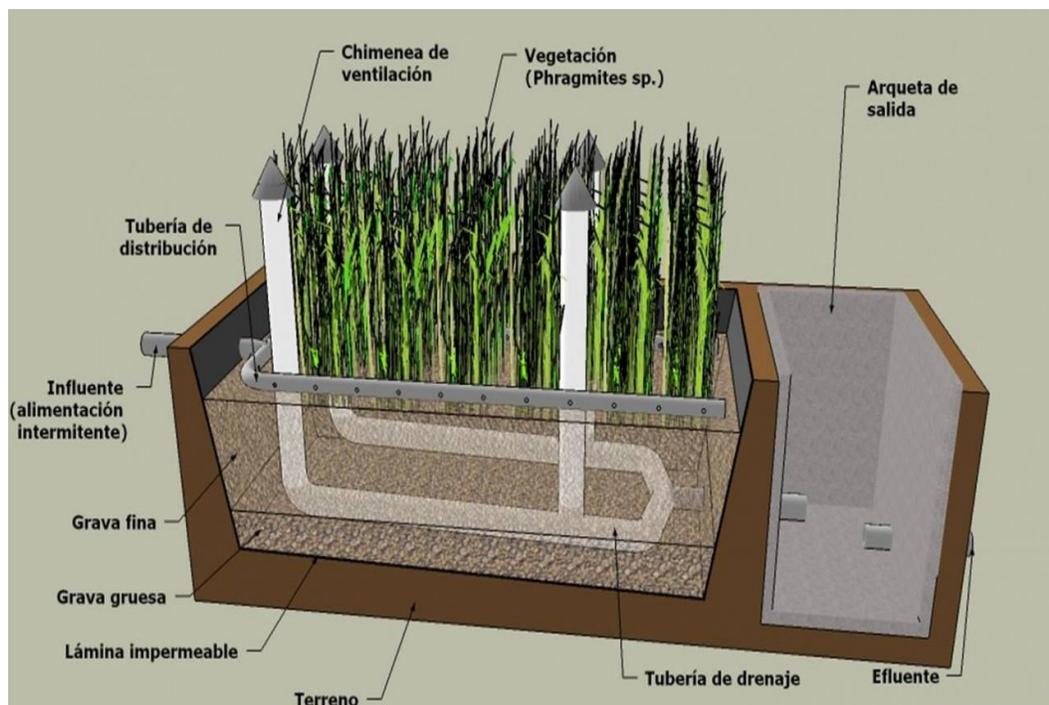


Figura.13. Humedal artificial de flujo superficial (FLS)

Fuente: <http://aquaberri.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>

### **2.1.6.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (FSS).**

Estos humedales consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular poroso, donde el agua fluye por debajo de la superficie del medio soporte sembrado de plantas emergentes. La profundidad del medio en estos humedales FSS tiene un rango de 0.3 a 0.9 metros, siendo el valor más común el de 0.6 metros.

Este sistema también es poco profundo y contiene grava suficientemente grande para permitir un flujo subterráneo a largo plazo sin obstrucciones. Las raíces y tubérculos (rizomas) de las plantas crecen en los espacios de poros en la grava. La mayoría de los datos actuales indican que estos sistemas funcionan tan bien sin plantas como con plantas, como consecuencia, la ecología de los humedales no es un factor crítico en los sistemas de FSS. Un Humedal artificial de flujo subsuperficial, puede considerarse como un reactor biológico tipo “proceso biopelícula sumergida”.

Un humedal de grava de FSS puede ser una mejor opción para recibir AR parcialmente tratada debido a que el agua no está expuesta y no es accesible a personas y animales, en el caso de viviendas individuales, parques, áreas de juego, o instalaciones públicas similares.

Estos sistemas se pueden combinar con cualquier otro método de depuración, consiguiendo la eliminación complementaria de nutrientes. Están especialmente indicados para pequeñas comunidades rurales. El nivel mínimo aceptable de tratamiento preliminar previo a un sistema de humedales FS es el equivalente al tratamiento primario. Esto puede lograrse con tanques sépticos o tanques Imhoff para los sistemas más pequeños, o lagunas profundas con un tiempo corto de retención para los sistemas de mayor tamaño.

Los sistemas FSS pueden tratar los efluentes de fosas sépticas y de sedimentación primaria, los efluentes de laguna, y efluentes secundarios y de algas de laguna. Los sistemas FSS más comunes en los EE.UU. tratan de fosas sépticas y laguna de efluentes de eliminación de DBO y SST. En Europa, los sistemas de FSS son los más utilizados para tratar los efluentes de fosas sépticas, aunque también se han utilizado extensamente en el Reino Unido para el pulido de lodos activados y de los efluentes RBC (reactores biológicos rotativos de contacto), y para el tratamiento de los caudales de derivación de alcantarillado combinado.

En estos tipos de humedales la vegetación no juega un papel tan importante como el suelo del sistema y la posibilidad de tener las reacciones bioquímicas con mejores resultados para remoción de contaminantes depende de la presencia o no de oxígeno en el medio, lo que se mostrará más adelante. (GALLEGO, 2010)



Figura 14 Humedales artificiales de flujo subsuperficial  
Fuente: <https://www.emaze.com/@ATWTCWCT/Untitled>

### **2.1.7. Tipos de Humedales artificiales de flujo subsuperficial**

Los Humedales artificiales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales. Además, pueden existir combinaciones entre estos para formar sistemas híbridos. El comportamiento del humedal depende también de si el relleno está saturado de agua (Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal) o está insaturado (Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical). (GALLEGO, 2010)

#### **2.1.7.1. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.**

Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno.

La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de 20-40 g DBO/m<sup>2</sup>×día, producen efluentes de mayor oxigenación y están libres de malos olores. Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica).

Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación. La alimentación se realiza distribuida uniformemente y habitualmente por cargas por toda la superficie, y la recogida a lo largo de todo el fondo. La tubería flexible, o no existe, o está en la posición más baja para mantener unas condiciones insaturadas en el medio poroso. Presenta los

inconvenientes de que su operación más compleja, un poco más cara y que no han sido tan estudiados como los horizontales.

En este tipo de humedal no se han realizado muchas investigaciones en Colombia, ya que, aunque puede dar muy buenos resultados en remoción de contaminantes, que no puede hacer el horizontal, la inversión en investigación y desarrollo en tratamiento de AR es muy cuestionada, pues estos sistemas son de los más costosos en cuanto a humedales artificiales. (GALLEGO, 2010)

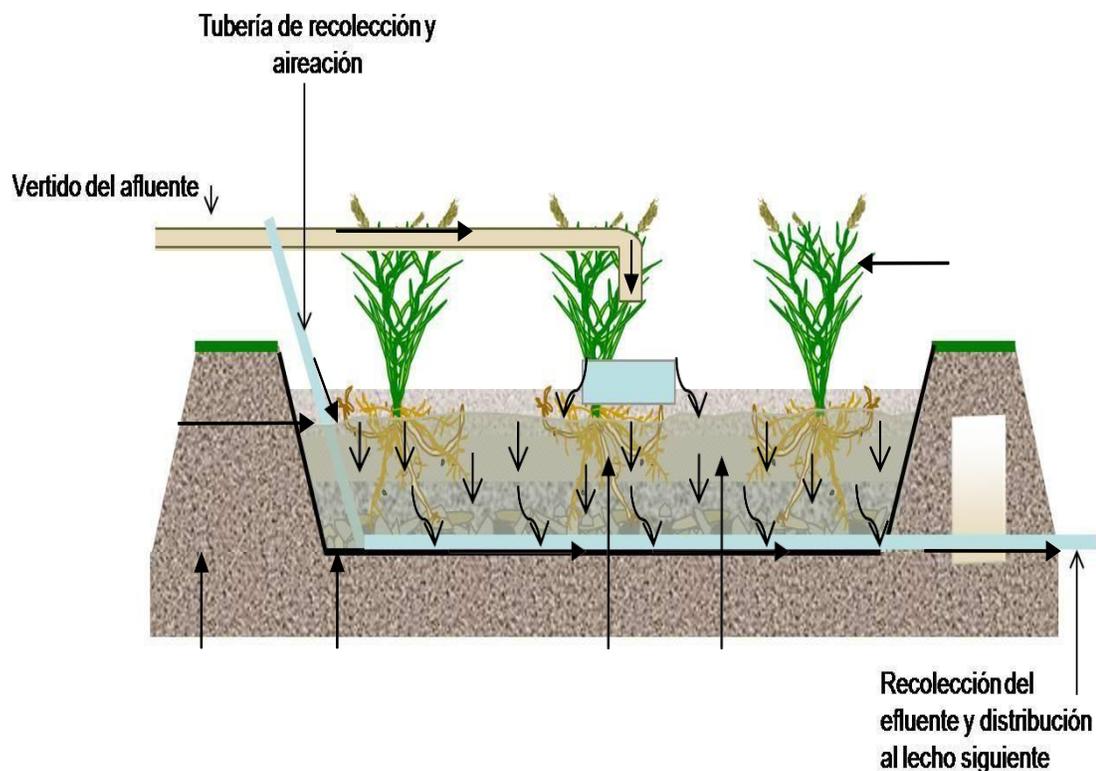


Figura 15. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.

Fuente: <https://es.slideshare.net/MauricioOrtiz6/trabajo-colaborativo-53259755>

### **2.1.7.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.**

Un Humedal Artificial de Flujo Horizontal subsuperficial es un canal grande relleno con grava y arena donde se planta vegetación acuática. Al fluir horizontalmente las aguas residuales por el canal, el material filtra partículas y microorganismos y degrada el material orgánico.

El nivel de agua en un Humedal Artificial de Flujo Horizontal Subsuperficial se mantiene entre 5 y 15 cm para asegurar el flujo de superficie. El lecho debe ser ancho y poco profundo para que el flujo de agua sea maximizado. Se debe usar una ancha zona de entrada para distribuir uniformemente el flujo. Para evitar taponamientos y asegurar un tratamiento eficiente es esencial un pretratamiento.

Se debe usar un recubrimiento impermeable (arcilla o geotextil) para evitar la infiltración. Comúnmente se usa grava pequeña, redonda y de tamaño uniforme (3-32 mm de diámetro) para rellenar el lecho hasta una profundidad de 0.5 a 1 m. La grava debe estar limpia y sin polvillo para limitar los taponamientos. También es aceptable la arena, pero es más propensa a los taponamientos. En años recientes se han usado exitosamente otros materiales de filtración como el PET.

La eficiencia de eliminación del humedal depende de la superficie (longitud multiplicada por ancho), mientras que el área transversal (ancho por profundidad), determina el máximo flujo posible. Es importante que la entrada sea bien diseñada que permita la distribución uniforme para prevenir el retroflujo. La salida debe ser variable de manera que se pueda ajustar la superficie de agua para optimizar el desempeño del tratamiento.

El medio filtrante actúa tanto como filtro para eliminar sólidos, como una

superficie fija para que las bacterias se sujeten, y como una base para la vegetación. Aunque las bacterias facultativas y anaeróbicas degradan la mayor parte de la materia orgánica, la vegetación transfiere una pequeña cantidad de oxígeno a la zona de raíces, de manera que pueden ser colonizadas por bacterias aeróbicas que también degradan el material orgánico. Las raíces de las plantas juegan un papel importante al mantener la permeabilidad del filtro.

Es apropiada cualquier planta con raíces anchas y profundas que pueda crecer en el ambiente acuático rico en nutrientes. El *Phragmites australis* (carrizo) es una elección común porque forma rizomas horizontales que penetran toda la profundidad del filtro. La eliminación de patógenos se logra por la descomposición natural, la depredación por organismos superiores, y la sedimentación.

Las obstrucciones son un problema común y por lo tanto el afluente debe estar bien sedimentado con un tratamiento primario antes de desembocar en el humedal. Esta tecnología no es apropiada para aguas residuales no tratadas (aguas negras). Este es un buen tratamiento para las comunidades que cuentan con tratamiento primario (p.ej. Fosas Sépticas (S9) o WSP (T3)) pero que buscan alcanzar una mayor calidad de efluente. Esta es una buena opción donde el terreno es barato y está disponible, aunque el humedal requerirá mantenimiento durante toda su vida útil.

Dependiendo del volumen del agua y, por lo tanto, del tamaño, este tipo de humedal puede ser adecuado para pequeñas secciones de áreas urbanas, periurbanas y comunidades rurales. También se pueden diseñar para una única vivienda. Los Humedales Artificiales de Flujo Horizontal sub - superficial son más adecuados para climas cálidos, pero pueden ser diseñados para tolerar algunos periodos de congelación

y de baja actividad biológica.

**Aspectos de Salud / Aceptación:** El riesgo de procreación de mosquitos es reducido, ya que no hay agua estancada, en comparación con el riesgo asociado con los Humedales Artificiales de Flujo Superficial Libre (T5). El humedal es agradable a la vista y se puede integrar en áreas silvestres o parques.

**Mantenimiento:** Con el tiempo se taponará la grava con los sólidos y la capa bacterial. El material del filtro requiere reemplazo entre los 8 y 15 años, o más. Las actividades de mantenimiento se deben enfocar en asegurar que el tratamiento primario es efectivo al reducir la concentración de sólidos en las aguas residuales antes de entrar en el humedal. También debe asegurar que no crezcan árboles en el área, ya que las raíces pueden dañar el recubrimiento. (AGUA, 2016).

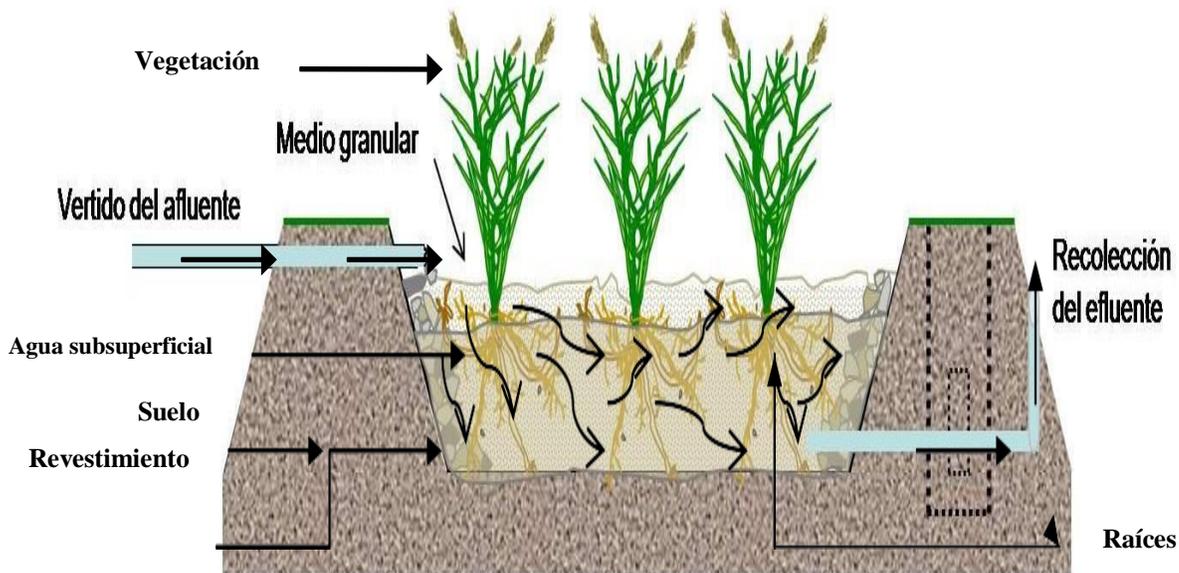


Figura 16. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.

Fuente: <https://es.slideshare.net/MauricioOrtiz6/trabajo-colaborativo-53259755>

### **2.1.8. Componentes de un humedal artificial**

- Un sustrato o material granular sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.
- Una de las ventajas del filtro lento de gravedad, además de su eficiencia en la clarificación del agua, es la facilidad y sencillez de construcción de un filtro de este tipo, cuando hay superficie o terreno disponible para su construcción. El cuerpo del filtro puede ser un tanque de concreto, el cual tiene un arreglo de tubería en el fondo de este filtro para captar el agua que fluye a través del lecho de grava y arena y llega ya filtrada al fondo del tanque, de donde es extraída después del proceso
- El agua a tratar o influente, llega al filtro a través de una tubería o canaletas que se encuentran en la parte superior del filtro. La distribución de esta tubería o canaletas debe ser hecha tratando de que el agua a tratar se distribuya uniformemente en toda el área del filtro para que el área de filtración efectiva sea el área disponible en el filtro.
- Después de que el agua cae a la parte superior del filtro, ésta inicia su trayecto a través de las diferentes capas de grava y arena. En la parte superior se encuentra la arena más fina, dispuesta así con la intención de que los sólidos se retengan en esta parte superior del lecho. De las diferentes capas del filtro, ésta primera capa de arena es la que retiene la mayoría de los sólidos suspendidos. Después de la primera capa de arena

le sigue otra capa de arena más gruesa, posteriormente una capa de grava fina y al último una capa de grava gruesa.

- Estas capas más internas casi no captan sólidos, pero se encuentran ahí para soportar la capa de arena y generar un gran número de huecos para que realmente se presente un vacío y se manifieste el flujo descendente del agua por acción de la gravedad.
- El número de capas, la granulometría del material y la altura de cada una de las diferentes capas son factores de diseño y no existe una forma única de filtro de gravedad. Cada uno de estos aspectos depende de factores tales como: disponibilidad del material empleado para construir los diferentes lechos de material filtrante, la relación Q/A que se empleará, la calidad de agua a tratar y la deseada en el efluente, la experiencia previa en la operación de filtros de éste tipo y también es muy importante evaluar en pruebas piloto los coagulante y floculantes empleados, así como las diferentes capas de material filtrante que se desea emplear en una operación a gran escala. **(Durango, COMPONENTES DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL, 2018)**

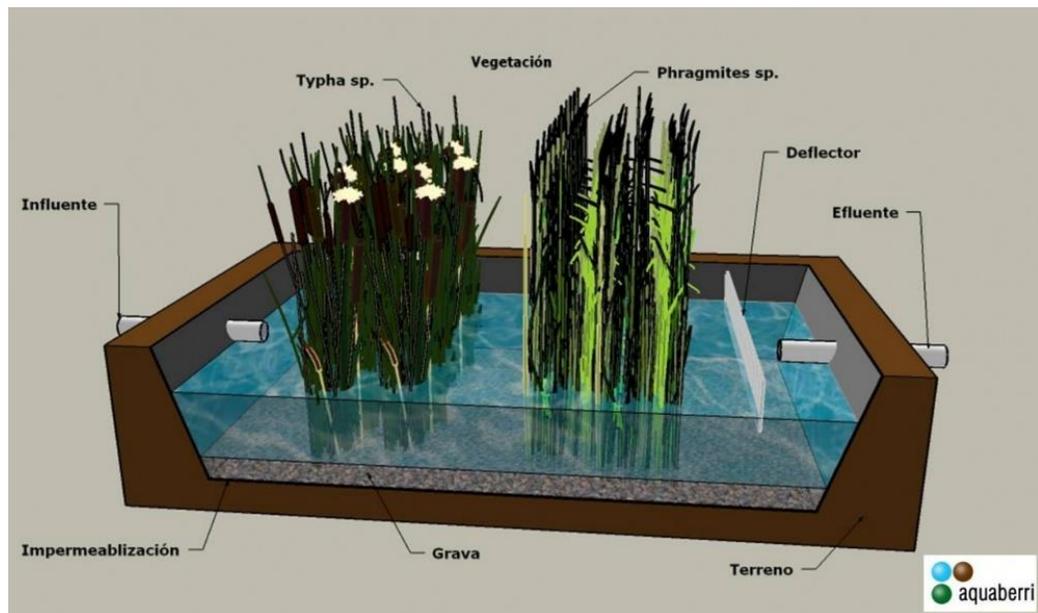


Figura 17. Humedales artificiales.

Fuente: <http://aquaberri.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>

**La vegetación:** El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los humedales FWS es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirven como sustrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escurrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.

- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación. **(LARA, Componentes del humedal, 2016)**

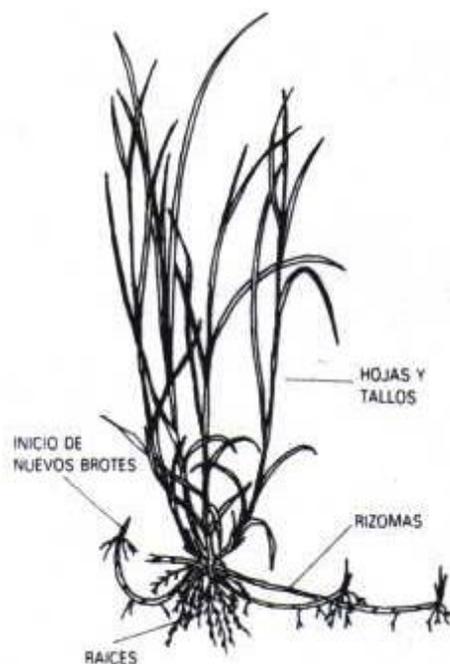


Figura 18. Esquema típico de una planta emergente.  
**(LARA, Componentes del humedal, 2016)**

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos, y juncos de laguna. Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies, son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales en los Estados Unidos. También existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos.

Cuando se diseñan sistemas que específicamente buscan un incremento en los valores del hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, usualmente incluyen una gran variedad de plantas, especialmente para proporcionar alimentación y nido a las aves y otras formas de vida acuática. (**LARA, Componentes del humedal, 2016**).

- **Typha:** La TYPHA es ubicua en distribución, robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, por lo que representa una especie de planta ideal para un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha. Los rizomas de Espadaña plantados a intervalos de aproximadamente 0.6m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una relativamente baja penetración en grava (0.3m) por lo que no es recomendable para sistemas SFS.



Figura 19. typha.  
(LARA, Componentes del humedal, 2016)

- **Scirpus:** Son de la familia de las ciperáceas, son perennes y crecen en grupos. Son plantas ubicuas que crecen en un rango diverso de aguas interiores y costeras, pantanosava aproximadamente 0.6m por lo que son muy usadas en humedales SFS. Existen muchas variedades de Scirpus. A continuación se pueden ver fotografías y esquemas de algunas de las más usadas en humedales.



Figura 20. Scirpus validus.  
(LARA, Componentes del humedal, 2016)

- **Los juncos:** Tiene tallos que alcanzan un tamaño de hasta 85 cm de altura, con 11-30 estrías bien marcadas sobre todo debajo de la inflorescencia y médula continua, rodeados en la base por vainas de color pardo claro a rojizo, mates. Inflorescencia compacta. Bráctea inferior más larga que la inflorescencia, con una vaina ancha. Tépalos de 2-2,8 mm, de lanceolados a ovados, acuminados; los externos tan largos o ligeramente más largos que los internos. Androceo con 3 estambres de 1/2-2/3 de la longitud del periantio. Anteras de 0,4-0,6 mm, generalmente más cortas que los filamentos. Cápsulas tan largas o ligeramente más cortas que el periantio, de obovadas a elipsoideas, generalmente emarginadas, mucronadas, reticuladas. Tiene un número de cromosomas de  $2n = 40, 42$ .
1. Los desechos cloacales desembocan en el humedal, que es una cava llena de arena que funciona como aislante para que los olores no salgan a la superficie.
  2. El filtro del humedal consiste en una gran plantación, en este caso de juncos con sus raíces dentro de la arena, que se alimentan del agua.
  3. Los nutrientes del agua son absorbidos por los juncos, que los atrapan en sus tejidos y los utilizan para su crecimiento.
  4. Los nutrientes absorbidos se eliminan con el cambio de tallo del junco. Esos restos forman una capa aislante.
  5. El agua, ya libre de nutrientes, desemboca desde el humedal hacia la laguna.
  6. El tamaño del humedal: La superficie necesaria se calcula en base a la cantidad de habitantes de la ciudad que produce los desechos, según la siguiente relación: 1 persona = alrededor de 5 m<sup>2</sup>. **(LARA, Componentes del humedal, 2016).**

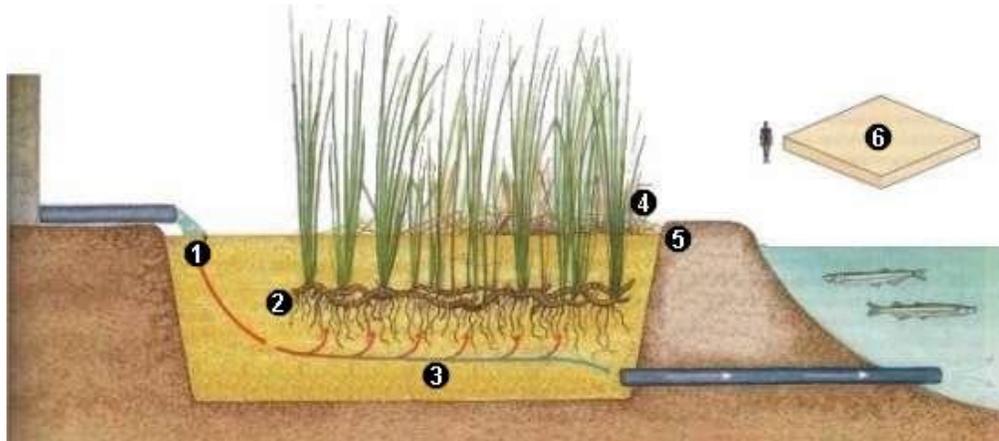


Figura 21. Juncos de río  
(LARA, Componentes del humedal, 2016)

**Tabla 3. Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales.**

Familia	Nombre latino	Nombres comunes más usuales	Temperatura, ° C		Máxima salinidad tolerable, ppt	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
<b>Ciperáceas</b>	Carex sp.	-	14-32		20	5-7.5
	Eleocharis sp.	-	18-27			4-9
	Scirpus lacustris L.(*)	Junco de laguna				
<b>Gramíneas</b>	Glyceria fluitans (L.) R. Br. Phragmites australis (Cav) Trin. ex Steudel (*)	Hierba del maná Carrizo	12-23	10-30	45	2-8
<b>Iridáceas</b>	Iris pseudacorus L.	Lirio amarillo, espadaña fina				
<b>Juncáceas</b>	Juncus sp.	Juncos	16-26		20	5-7.5
<b>Tifáceas</b>	Thypha sp (*).	Eneas, aneas, espadañas.	10-30	12-24	30	4-10

(LARA, Componentes del humedal, 2016)

- **El agua a tratar o influente:** circula a través del sustrato y la vegetación.
- **El agua:** Es probable que se formen humedales en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua. (LARA, Componentes del humedal, 2016)

### **2.1.9. Mecanismos de remoción del humedal artificial.**

#### **2.1.9.1. Remoción de DBO.**

El suelo es un biofiltro que contiene una gran cantidad de bacterias. La remoción de DBO se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacterial, ya que las capas superiores del suelo contienen microorganismos en abundancia. Los valores más comunes que se estiman respecto a la cantidad de microorganismos son: 107 bacterias, 106 actinomices y 105 hongos por gramo de tierra. Estos microorganismos los responsables de la remoción de DBO en el agua residual aplicada. Para flujo superficial, el crecimiento bacterial que se presenta en la capa superior del suelo y en el humus de las plantas son responsables de la remoción.

- El crecimiento biológico de organismos es sensible a la temperatura. Los organismos alcanzan un crecimiento óptimo a temperaturas relativamente altas, pero su

reproducción continúa inclusive a temperaturas muy bajas (Crites y Tchobanoglous, 2000).

#### **2.1.9.2. Remoción de Nitrógeno.**

En los sistemas de tasa baja o flujo subsuperficial, la remoción de nitrógeno ocurre como resultado de la incorporación del nitrógeno a los tejidos vegetales de los cultivos, por nitrificación/denitrificación, y en menor proporción por volatilización de amonio e incorporación de este en el suelo (almacenamiento en suelo). La nitrificación y la denitrificación son dos procesos que ocurren inclusive en suelos aerobios, ya que estas condiciones promueven la nitrificación y las zonas anóxicas del suelo permiten la denitrificación (Crites y Tchobanoglous, 2000).

#### **2.1.9.3. Remoción de organismos patógenos**

La remoción de microorganismos, incluyendo bacterias patógenas, virus y helmintos, se efectúa por filtración en el suelo, adsorción, desecación, radiación, predación y exposición a otras condiciones ambientales adversas. Debido a su gran tamaño los helmintos y protozoos se remueven en la superficie del suelo mediante filtración. Las bacterias se remueven del agua residual por filtración y adsorción, alcanzando valores habituales de remoción de 99.9% o más. La remoción de virus se presenta principalmente por adsorción (Crites y Tchobanoglous, 2000). **(MONTROYA, 2010).**

- Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.

- Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizan esta materia orgánica como sustrato. A lo largo del humedal existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.
- Eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, principalmente mediante mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación.
- Eliminación de patógenos mediante adsorción, filtración o depredación.
- Eliminación de metales pesados como cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc. **(Remtavares, Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales., 2013).**
- Eliminación de sólidos en suspensión gracias a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.
- Eliminación de materia orgánica gracias a la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O<sub>2</sub>) o anaerobios (sin O<sub>2</sub>).
- Eliminación de nitrógeno bien por acción directa de las plantas, bien por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.
- Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.

- Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos. (**Durango, COMPONENTES DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL, 2018**)

#### **2.1.10. Ventajas del humedal artificial.**

- Son menos costosos que otros sistemas de tratamiento.
- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos (energía y suministros).
- Las operaciones y mantenimiento no requieren un trabajo permanente en la instalación.
- Los humedales soportan bien las variaciones de caudal.
- Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.
- Proporcionan un hábitat para muchos organismos.
- Pueden construirse en armonía con el paisaje.
- Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como el ser un hábitat para la vida salvaje y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos. Son una aproximación sensible con el medio ambiente que cuenta con el favor público. (**MONTOYA, 2010**).

### 2.1.11. Diseño del humedal artificial

TABLA #4 PARAMETROS DE DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

Tipo flujo	Horizontal	Subsuperficial	Vertical
Carga orgánica afluente	$< 112 \text{ DBO}_5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$< 150 \text{ DBO}_5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$< 112 \text{ DBO}_5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$
Carga hidráulica	$< 5 \text{ cm d}^{-1}$	$< 5 \text{ cm d}^{-1}$	$< 5 \text{ cm d}^{-1}$
Tiempo de retención hidráulica	5 – 15 días	> 5 días	1-2 días
Area específica por PE,	De 5 m <sup>2</sup> a 20 m <sup>2</sup> PE	De 5 m <sup>2</sup> a 20 m <sup>2</sup> PE	De 1 m <sup>2</sup> a 5 m <sup>2</sup> PE
Relación largo ancho	10:01	03:01	NA
Profundidad	< 0.60 cm	< 0.60 m	> 1.00 m
Pendiente del fondo	< 0.1%	< 0.1%	NA
Tipo de relleno	NA	Arenas y gravas	Arenas y gravas
Vegetación	Variable	Variable	Variable

Fuente: <https://humedalesconstruidos.wordpress.com/vcvc/>

### 2.1.12. Diseño de Humedales Artificiales de Flujo Ssubsuperfial.

En la tabla N°4 se compilan las principales ecuaciones de diseño para el dimensionamiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con base en remoción de DBO.

Donde:

Ce: Concentración de DBO en el efluente, (mg/L)

Co: Concentración de DBO en el afluente, (mg/L)

C\*: Concentración de fondo, (g/m3)

As: Área superficial del humedal, (m<sup>2</sup>)

T: Temperatura (°C)

K<sub>T</sub>: Constante de primer orden dependiente de la temperatura, (d<sup>-1</sup>) η

e: Porosidad promedio del sistema, en fracción decimal

h: Profundidad promedio del sistema, (m)

CH: Carga hidráulica, (m<sup>3</sup> /ha. d)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/d)

K<sub>A</sub>: Constante de primer orden dependiente de la temperatura, (d<sup>-1</sup>) <sup>(10)</sup>

A<sub>t</sub>: Área de la sección transversal del lecho, (m<sup>2</sup>)

K<sub>s</sub>: Conductividad hidráulica, (m/d)

S: Pendiente del lecho, (fracción)

a: Ancho del humedal, (m)

l: Longitud del humedal, (m)

y: Profundidad del agua, (m)

t: Tiempo de retención hidráulico, (d)

V: Volumen humedal, (m<sup>3</sup>)

V<sub>v</sub>: Volumen de vacíos, (m<sup>3</sup>)

K<sub>R</sub>: Constante de remoción, (d<sup>-1</sup>)

K<sub>20</sub>: Constante de primer orden a 20°C, (d<sup>-1</sup>)

**Tabla 5.** Ecuaciones para el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con base en remoción de DBO <sup>(21, 22, 23, 24, 25)</sup>.

Autor / Referencia	Remoción de DBO
Reed <sup>(21)</sup>	$A_s = \frac{QLn\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T(h)(\eta)}$
Kadlec <sup>(22)</sup>	$A_s = \frac{Q}{K_A} Ln\left(\frac{C_o - C^*}{C_e - C^*}\right)$
EPA, 1988 <sup>(23)</sup>	$A_s = \frac{QLn\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T(h)(\eta)}$ $A_t = \frac{Q}{K_s + S}; \text{ (Ley de Darcy)}$ $a = \frac{A_t}{h}; l = \frac{A_s}{a}$ $t = \frac{V_p}{Q} = \frac{l * a * h}{Q}$
Romero <sup>(24)</sup>	$C_e = C_o * e^{(-K_R * t)}$ $A_s = \frac{V}{y}; \quad V = Q * t$ $A_t = \frac{Q}{K_s + S}; \text{ (Ley de Darcy)}$ $a = \frac{A_t}{y}; \quad l = \frac{A_s}{a}$
RAS 2000 <sup>(25)</sup>	$A_s = \frac{Q \cdot (LnC_o - LnC_e)}{(K_T \cdot h \cdot n)}$ $A_s \leq 0,032 \text{ m}^2/(\text{L/d})$ $A_t = \frac{Q}{K_s + S}; \text{ (Ley de Darcy)}$

Fuente: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISENO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%2030000%20HABITANTES.pdf>.

- Cálculo de  $K_T$  según Reed :

$$K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1}$$

$$K_T = K_{20}(1,06)^{(T-20)} \text{ (Para remoción de DBO)}$$

- Cálculo de  $K_A$  según Kadlec:

$$K_A = (K_A,20)$$

$K_{A,20}$ : constante de reacción a 20°C, según tabla 11

- Factor de corrección por temperatura, según tabla 11.

**Tabla 6.** Parámetros de diseño humedales de flujo subsuperficial.

Parámetro	$K_{A, 20}$ , m/año	$\theta$	Concentración de fondo, $C^*$ , mg/L
DBO	117	1,057	3
SST	43,4	1	6
Nitrógeno orgánico	35	1,05	1,5
Nitrógeno amoniacal	34	1,05	0
Nitrógeno NOx	50	1,05	0
Nitrógeno total	10	1,05	1,5
Fósforo total	9,1	1,09	0
Coliformes totales	100	1,003	200 cfu/100 mL

Fuente: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISENO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%203000%20HABITANTES.pdf>

- Valores  $K_T$ ,  $K_s$  y  $\eta$  para ecuaciones de la EPA :

$$K_T = K_{20} (1,1)^{(T-20)}$$

$K_{20}$ : Se determina mediante la tabla 6.

- Valores de  $K_R$ ,  $K_s$  y  $\eta$ , además de criterios de diseño según Romero <sup>(24)</sup>:

$$K_R = K_0 (37,31 * \eta^{4,4172})$$

$K_0 = 1,839 \text{ d}^{-1}$  para aguas residuales municipales

$K_0 = 0,198 \text{ d}^{-1}$  para aguas residuales industriales con DQO alta

Los valores de conductividad hidráulica  $K_s$  y la porosidad  $\eta$ , además de algunos criterios de diseño, se determinan utilizando las tablas 7 y 8.

**Tabla 7.** Criterios para humedales de flujo subsuperficial.

Criterio	Valor
Tiempo de retención (t), d	3 – 4 (DBO), 6 – 10 (N); 4 – 15
Carga hidráulica superficial (CH), $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{D}$	470 – 1.870
Carga orgánica (CO), $\text{kg DBO}/\text{ha} \cdot \text{d}$	< 112
Carga SST, $\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{d}$	390
Profundidad del agua (y), m	0,3 – 0,6
Profundidad del medio (h), m	0,45 – 0,75
Control de mosquitos	No requiere
Programa de cosecha	No requiere
Calidad esperada del efluente DBO/SST/NT/PT/, $\text{mg}/\text{L}$	< 20/20/10/5

Fuente:<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISENO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%2030000%20HABITANTES.pdf>

**Tabla 8.** Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial.

<b>Medio</b>	<b>Tamaño efectivo, mm</b>	<b>Porosidad (<math>\eta</math>)</b>	<b>Conductividad Hidráulica (<math>K_s</math>), m/d</b>
Arena media	1	0,30	500
Arena gruesa	2	0,32	1.000
Arena y grava	8	0,35	5.000
Grava media	32	0,40	10.000
Grava gruesa	128	0,45	100.000

Fuente: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISEÑO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%203000%20HABITANTES.pdf>

- Cálculo de KT según RAS 2000:

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios: conductividad hidráulica, granulometría y flujo sumergido para todas las condiciones de caudales. El valor de KT se puede calcular por la ecuación siguiente:

Así mismo el RAS 2000 establece:

- Los humedales artificiales de flujo subsuperficial deben localizarse aguas debajo de un tanque séptico.
- La conductividad utilizada para el diseño nunca puede ser mayor que la del medio de soporte. Se debe reducir dicha conductividad en un orden de magnitud para

tener en cuenta los efectos de atascamiento asociados a la retención de sólidos en los humedales.

- Se recomienda no usar la pendiente de fondo para ganar cabeza pues se corre el riesgo de dejar la entrada seca cuando haya condiciones de bajo caudal. Usar máximo 1% de pendiente.
- Usar piedra entre 50 y 100 mm para una longitud de 0,6 m alrededor del influente distribuidor y de las tuberías colectoras del efluente para reducir el taponamiento.
- Usar solo sustrato lavado para eliminar los granos finos que puedan taponar los poros del sustrato y, posiblemente, causen flujo superficial.
- Construir la berma al menos 150 mm por encima del sustrato y al menos 150 mm por encima de la superficie de la tierra.
- Pendiente exterior 3H: 1V
- Pendiente interior 2H: 1V
- Ancho mínimo de la berma = 0.60 m
- Carga orgánica máxima = 4 m<sup>2</sup>/ (kg de DBO5/día)
- Tiempo de llenado del lecho con agua = 1 - 2 días (3)
- Profundidad. Se recomienda que la profundidad media del lecho sea 0,6 m y que la profundidad en la entrada no debe ser menor de 0,3 m. Con profundidades mayores a 0,6 m, las raíces más profundas y los rizomas empiezan a debilitarse. Se recomienda que los lechos se construyan con al menos 0,5 m de cabeza sobre la superficie del lecho. Para lechos pequeños, esta puede reducirse medio. Cuando

se utilice grava como medio que carece de nutrientes, se recomienda que las semillas se planten en un medio fértil con el fin de evitar problemas posteriores.

Para la operación y mantenimiento se recomienda que la superficie del humedal se cubra con vegetación. La elección de la vegetación depende del tipo de residuos, de la radiación solar, la temperatura, la estética, la vida silvestre deseada, las especies nativas y la profundidad del humedal. Se deben usar dos celdas en serie. Las celdas deben ser impermeabilizadas para evitar la infiltración. Es esencial que las raíces tengan siempre acceso a agua en el nivel de los rizomas en todas las condiciones de operación. Para medios muy permeables con alta conductividad hidráulica (tales como la grava), se recomienda que el nivel de agua se mantenga alrededor de 2 a 5 cm por debajo de la superficie del lecho).

**Fuente:**<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISENO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%2030000%20HABITANTES.pdf>.

## **2.2. Marco Conceptual**

**2.2.1. Aguas residuales domésticas:** Son las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

**2.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Oxígeno disuelto y requerido por los organismos para la descomposición aeróbica de la materia orgánica presente en el agua. Da la proporción en que desaparece el oxígeno de una muestra de agua y es utilizado como un indicador de la calidad del agua de efluentes residuales. Los datos utilizados para

los propósitos de esta clasificación deberán ser medidos en 20 grados Celsius y por un periodo de 5 días.

**2.2.3. Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

**2.2.4. Lixiviado:** Fracción líquida que se genera por la descomposición o putrefacción de la materia orgánica o bien por el agua que ha percolado a través de material contaminado, por ejemplo, a través de fangos o desechos de un vertedero.

**2.2.5. Tratamiento primario:** Es el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico y/o químico que incluye la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO5 de las aguas residuales se reduzca por lo menos en un 20% antes del vertido y el total de sólidos en suspensión se reduzca por lo menos en un 50%.

**2.2.6. Tratamiento secundario:** Es el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluye un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso en el que se cumplen los requisitos siguientes:

- Reducción mínima en DBO5: 70% - 90%, o bien que la concentración en DBO5 a la salida del tratamiento sea de 25mg/l O2.
- Reducción mínima en DQO: 75%, o bien que la concentración en DQO a la salida del tratamiento sea de 125mg/l O2.

**2.2.7. Tratamiento terciario:** Son los procesos adicionales de tratamiento que permiten una mayor purificación de la que se obtiene con la aplicación de los tratamientos primario y secundario.

- **Agua gris.** - Es el agua residual doméstica.

**2.2.8. Aguas residuales domésticas.** - Constituyen el conjunto de líquidos residuales de usos domésticos y comerciales provenientes de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Orgánica en putrefacción que contienen, conservan una porción de oxígeno libre.

**2.2.9. Línea de agua.-** En el tratamiento de las aguas residuales engloba a todas las operaciones que permiten reducir los Contaminantes presentes en las aguas a tratar.

**2.2.10. Junco.-** Planta de la Familia de las Juncáceas, con tallos de 0,6 a 0,8 m, lisos, cilíndricos, flexibles, puntiagudos y duros. De color verde oscuro por fuera y esponjosos y blancos en el interior. Se cría en parajes húmedos.

**2.2.11. Humedales Artificiales de Flujo Superficial.-** Modalidad de la tecnología de Humedales Artificiales, en la que las aguas, generalmente ya tratadas, discurren en forma de una lámina de agua de poco espesor.

**2.2.12. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial.-** Modalidad de la tecnología de Humedales Artificiales en las que las aguas a tratar atraviesan un sustrato inerte (arena, gravilla), en el que enraízan plantas emergentes. En función de la dirección del flujo de agua, se distingue entre Humedales de Flujo Vertical y de Flujo Horizontal.

- **Lodos.** Subproductos del tratamiento biológico o físico - químico de las aguas residuales. También se les denomina fangos.

### **2.3. Marco Legal.**

#### **Acuerdo Ministerial No. 028 Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria.**

Que, los numerales 3 y 6 del artículo 83 de la Constitución de la República del Ecuador, establecen como deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y. La Ley el defender la integridad territorial del Ecuador y sus recursos naturales; y respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Que, el artículo 395 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce los siguientes principios ambientales: el Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional; el Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales; y

en caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Que, el artículo 397 de la Constitución de la República del Ecuador establece que en caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas; además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca; la responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental; para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

El Estado se compromete a permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio.

La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.

Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones

ecológicas de los ecosistemas; el manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

## **Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:**

### **Recurso Agua.**

#### **Introducción.**

La presente norma técnica ambiental revisada y actualizada es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- 1.** Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua;
- 2.** Las definiciones de términos importantes y competencias de los diferentes actores establecidas en la ley;
- 3.** Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos;
- 4.** Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- 5.** Permisos de descarga;
- 6.** Los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua y sistemas, de alcantarillado de actividades industriales o productivas, de servicios públicas o privadas;

7. Métodos y procedimientos para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación del agua.

### **1. Objeto.**

La norma tiene como objeto la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua. El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.

### **2. Definición.**

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, y las que a continuación se indican:

**2.1. Afluente:** Es el agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un cuerpo de agua receptor, reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

**2.2. Agua dulce:** Es aquella que no contiene importantes cantidades de sales. En general se consideran valores inferiores a 0.5 UPS (unidad práctica de salinidad que representa la cantidad de gramos de sales disueltas por kg de agua).

**2.4. Agua residual:** Es el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

**2.5. Agua residual industrial:** Agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales.

**2.6. Agua residual doméstica:** Mezcla de desechos líquidos de uso doméstico evacuados de residencias, locales públicos, educacionales, comerciales e industriales.

**2.24. Cuerpo receptor:** Río, cuenca, cauce o cuerpo de agua que sea susceptible de recibir directa o indirectamente el vertido de aguas residuales.

**2.28. Descarga de aguas residuales:** Acción de verter aguas residuales a un sistema de alcantarillado o cuerpo receptor.

**5.2.2.2 Obligaciones del sujeto de control:** a) El sujeto de control, adicionalmente del cumplimiento de las obligaciones que devengan de la autorización ambiental correspondiente, cuando la Autoridad Ambiental lo requiera, deberá realizar monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua que se encuentren influenciados por su actividad.

b) Todos los sujetos de control deberán mantener un registro de los efluentes generados, indicando:

(1) coordenadas; (2) elevación; (3) caudal de descarga; (4) frecuencia de descarga; (5) tratamiento existente; (6) tipo de sección hidráulica y facilidades de muestreo; y, (7) lugar de descarga, lo cual debe estar acorde a lo establecido en el Plan de manejo ambiental y reportado en la Auditoria Ambiental de Cumplimiento. Es mandatorio que el caudal reportado de los efluentes generados sea respaldado con datos de producción. Documento con posibles errores digitalizado de la publicación original. Favor verificar con imagen. No imprima este documento a menos que sea absolutamente necesario.

c) El regulado deberá disponer de sitios adecuados para muestreo y aforo de sus efluentes y proporcionarán todas las facilidades para que el personal técnico encargado del control pueda efectuar su trabajo de la mejor manera posible. A la salida de las descargas de los

efluentes no tratados y de los tratados, deberán existir sistemas apropiados, para medición de caudales.

d) Los regulados que amplíen o modifiquen su producción, de tal manera que puedan alterarse las características declaradas de sus descargas actualizarán la información entregada a la Entidad Ambiental de Control de manera inmediata, y serán considerados como regulados nuevos con respecto al control de las descargas que correspondan al grado de ampliación y deberán obtener las autorizaciones administrativas correspondientes.

e) Los sujetos de control que exploren, exploten, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias peligrosas susceptibles de contaminar cuerpos de agua deberán contar y aplicar un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, el cual deberá ser aprobado y verificado por la Entidad Ambiental de Control.

### **5.2.3 Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.**

**5.2.3.1** Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillados provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas. Las descargas tratadas deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 1.

**5.2.3.2** Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en

implementación. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental competente que corresponda.

**5.2.3.3** Cuando los sujetos de control, aun cumpliendo con las normas de descarga, contribuyan con una concentración que afecte a la planta de tratamiento, la Entidad Prestadora de Servicio podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos que deberán realizar para justificar esta decisión.

**5.2.3.4** Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

- a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
- b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
- c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, aceites minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
- e) Cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno y sustancias tóxicas.

**5.2.3.5** La EPS podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de

alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma.

La EPS deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.

**5.2.3.6** Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la TABLA 1, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

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
Explosivos o inflamables.	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	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

(Edición Especial N° 270 - Registro Oficial - Viernes 13 de febrero de 2015)

#### 5.2.4 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

5.2.4.1 Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras.

Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga.

Si el sujeto de control es un municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas, las cuales deben estar justificadas técnicamente; y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Competente.

5.2.4.2 La determinación de la carga máxima permisible para una descarga determinada se efectúa mediante la siguiente relación desarrollada a través de un balance de masa, en el punto de descarga, en cualquier sistema consistente de unidades:

**C<sub>e</sub>** = concentración media diaria (del contaminante) máxima permitida en la descarga (o efluente tratado), para mantener el objetivo de calidad en el tramo aguas abajo de la descarga, en condiciones futuras.

**C<sub>e</sub>** = concentración media diaria igual al criterio de calidad para el uso asignado en el tramo aguas abajo de la descarga.

**C<sub>r</sub>** = concentración del contaminante en el tramo aguas arriba de la descarga, cuyo valor debe ser menor que la concentración que el criterio de calidad **C<sub>e</sub>**.

**Q<sub>r</sub>** = caudal crítico de cuerpo receptor, generalmente correspondiente a un período de recurrencia de 10 años y siete días consecutivos o caudal con una garantía del 85%, antes de la descarga o caudal ambiental.

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

**5.2.4.3** Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Autoridad Ambiental Nacional deberá establecer los criterios de calidad en el cuerpo receptor para los caudales mínimos y cargas contaminantes futuras. La carga máxima permisible que deberá cumplir el sujeto de control será determinada mediante balance de masa del parámetro en consideración.

La Entidad Ambiental de Control determinará el método para el muestreo del cuerpo receptor en el área de afectación de la descarga, esto incluye el tiempo y el espacio para la realización de la toma de muestras.

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

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

**5.2.4.6** En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, falta de definición de usos del agua (como es el caso de pequeñas municipalidades que no pueden afrontar el costo de los estudios), se utilizarán los valores de la TABLA 2 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

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

**5.2.4.8** Las aguas provenientes de la explotación petrolífera y de gas natural, podrán ser reinyectadas de acuerdo a lo establecido en las leyes, reglamentos y normas específicas, que se encuentren en vigencia, para el sector hidrocarburífero.

**5.2.4.9** Cuando los regulados, aun cumpliendo con las normas de descarga, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor, que excedan los criterios de calidad para el uso o los usos asignados al agua, la Autoridad Ambiental Competente podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a la evaluación técnica realizada por la Autoridad Ambiental Competente para justificar esta decisión.

**5.2.4.10** Las aguas residuales que no cumplan, con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia.

**5.2.4.11** Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia los cuerpos receptores, canales de conducción de agua a embalses, canales de riego o canales de drenaje pluvial, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

T ABLA 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
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	5,00
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbon cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,00
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliforme fecales	NMP	NMP/100ml	10000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilucion: 1/20
Compuesto fenolítico	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
Fosforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
idrocarburos Totales de Petroleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Material Flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Niquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrogeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrogeno total kjedahi	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organoclorados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrogeno	Ph		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Solidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Solidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,05
Temperatura	°C		Condicion natural ±3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

(Edición Especial N° 270 - Registro Oficial - Viernes 13 de febrero de 2015)

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA.**

#### **3.1. Metodología.**

La metodología es el instrumento que enlaza el sujeto con el objeto de la investigación, sin la metodología es casi imposible llegar a la lógica que conduce al conocimiento científico.

Por lo que podemos deducir que método significa que es el camino más adecuado para lograr un fin.

También podemos decir que el método es el conjunto de procedimiento lógico a través de las cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a pruebas las hipótesis y los instrumentos de trabajos investigados.

El método es un elemento necesario en la ciencia; ya que sin él no sería fácil demostrar si un argumento es válido.

Método deductivo: parte de una premisa general para obtener las conclusiones de un caso particular. Pone el énfasis en la teoría, modelos teóricos, explicación y abstracción, antes de recoger datos empíricos, hacer observaciones o emplear experimentos.

#### **3.2. Tipo de investigación**

##### **3.2.1. Metodología científica experimental**

Es un conjunto de técnicas que se utilizan para investigar fenómenos, adquirir nuevos conocimientos o corregir e integrar conocimientos previos.

Se utiliza en la investigación científica y se basa en la observación sistemática, la toma de mediciones, la experimentación, la formulación de pruebas y la modificación de hipótesis. Este método general se lleva a cabo en muchas ciencias.

Mediante el método científico experimental, los científicos intentan predecir y quizás controlar eventos futuros basados en el conocimiento presente y pasado.

### **3.2.2. Técnicas Implementadas en el Proyecto de Investigación.**

Dentro de los tipos de investigación tenemos los:

- **Estudios descriptivos:** Describen los hechos como son observados.
- **Estudios explicativos:** Este tipo de estudio busca el porqué de los hechos, establecimiento relaciones de causa – efecto.

**Hernandez, fernandez y batista (2003)** establecen estos cuatro tipos de investigación, basándose en la estrategia de investigación, que se emplea, ya que el diseño, los datos que se recolectan, la manera de obtenerlos, el muestreo y otros componentes del proceso de investigación son distintos métodos y técnicas de investigación.

- **Técnicas de la Investigación**
- **Técnica:** Es el conjunto de instrumentos y medios a través de los cual se efectúa el método y solo se aplica a una ciencia.

La diferencia entre métodos y técnicas es que el método es el conjunto de pasos y etapas q debe cumplir una investigación y esta se aplica a varias ciencias mientras que la técnica es el conjunto de instrumentos en el cual se efectúa el método.

La técnica es indispensable en el proceso de la investigación científica, ya que se integra la estructura por medio de la cual se organiza la investigación, la técnica pretende los siguientes objetivos:

- Ordenar la etapa de la investigación.
- Aportar instrumento para manejar la información.
- Llevar un control de los datos.
- Orientar la obtención de los conocimientos.

En cuanto a la técnica de la investigación, se estudiarán dos formas generales: técnica documental y técnica de campo.

- **La Técnica Documental:** Permite la recopilación de la información para enunciar la teoría que sustenta el estudio de los fenómenos y procesos. Incluye el uso de instrumentos definidos según la fuente documental a que hacen referencia.
- **La Técnica de Campo:** Permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonio que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad objetiva.
- **Técnica Estadísticas:** La estadísticas es la ciencia que estudia cómo debe emplearse la información y como dar una guía de acción en situaciones prácticas que entrañan incertidumbre. **(Gutierrez, p.23).**

La estadística es la ciencia de los datos, la cual implica la recolección, clasificación, síntesis, organización, análisis e interpretación, para la toma de decisiones frente a la incertidumbre. **(Angel, p.28).**

Estadística es una ciencia que facilita la toma de decisiones mediante la presentación ordenada de los datos observadas en la tabla y gráficos estadísticos que

permitirán la comparación entre diferentes series de datos y estimando la probabilidad de éxitos que tiene cada uno de las decisiones posibles. **(Fernández et.al, p.18).**

Objetivos de las estadísticas es mejorar la comprensión de hechos a partir de datos. **(MOORE, p.267).**

### **3.3. Técnicas e Instrumentos.**

#### **3.3.1. Descripción de la Planta Piloto Rehabilitada.**

Se realizó la adecuación de la planta piloto, para trabajar en el estudio del comportamiento de la DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) en el humedal artificial de flujo subsuperficial tratando agua residual doméstica, para esto se realizaron los siguientes pasos:

- Limpieza integral de la planta piloto existente (bloquera).



Figura 22. Desechando Aguas Grises de la Planta Piloto existente.



Figura 23. Material a retirar de la planta piloto existente.

- Retiro del sistema de distribución de agua residual de la planta piloto existente.



Figura 24. Retiro de Sistema de Distribución.

- Retiro de las Capas de Lecho Filtrante Existente.



Figura 25. Retiro de Lecho Filtrante



Figura 26. Planta Piloto Limpia

- Adquisición del nuevo material a implementar en la planta piloto de humedal artificial subsuperficial horizontal.



Figura 27. Retiro de Junco de Rio



Figura 28. Material Filtrante (Arena Gruesa, Piedra 3/8")



Figura 29. Obtención de Agua Residual Domestica.

- Llenar la planta piloto con una capa inferior de 5cm de piedra chispa de 3/8”.



Figura 30. Capa de 5cm de Piedra Chispa de 3/8”

- Colocación de los juncos del rio en 2 filas separados parcialmente.



Figura 31. Plantación de Junco de Rio en la Planta Piloto.

- Luego rellenar con una capa de 30cm, 40cm y 50cm, secuencialmente de arena gruesa.



Figura 32. Capas de Arena gruesa en la Planta Piloto

- Humedecer con agua potable la capa de arena, antes de iniciar la descarga de agua servida en la planta piloto.



Figura 33. Humectación de Capas de Arena gruesa en la Planta Piloto

- Instalar la tubería de distribución agua residual doméstica en el humedal artificial subsuperficial horizontal.



Figura 34. Tubería de distribución la Planta Piloto

- Se definió realizar con tubería perforadas, diámetro de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ", secuencialmente, el tubo de diámetro de  $\frac{3}{4}$ " y de  $\frac{1}{2}$ " tuvo una separación de 3cm.

Ingreso de agua residual domestica – tubería de  $\frac{3}{4}$ "

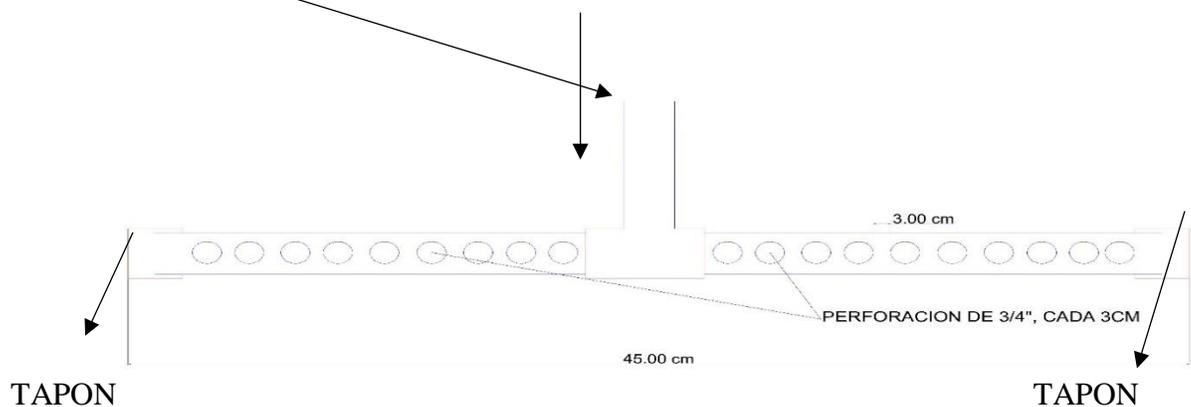


Figura 35. Tubería de distribución la Planta Piloto con perforación de  $\frac{3}{4}$ "

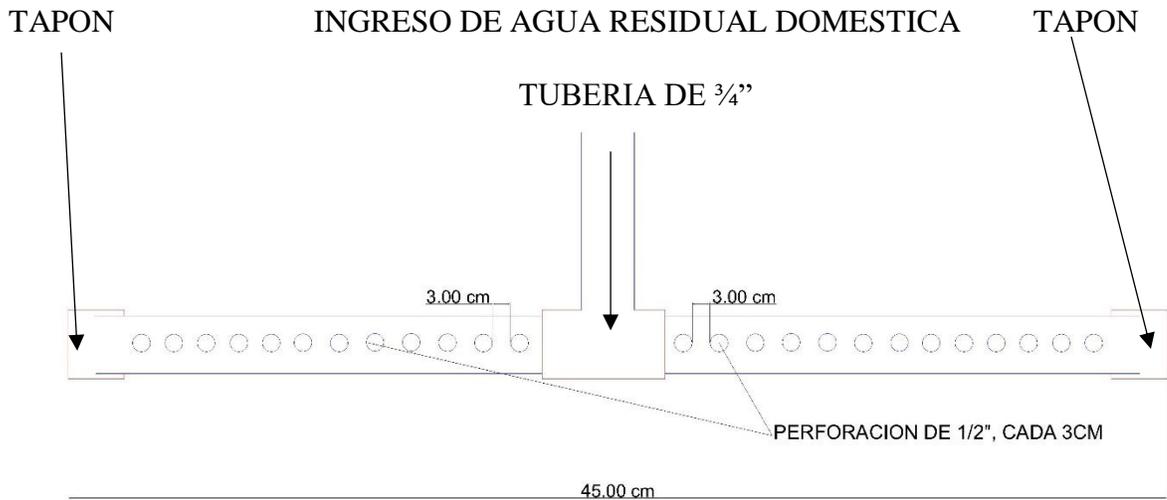


Figura 36. Tubería de distribución la Planta Piloto con perforación de 1/2"

- Una vez que se hubieron efectuadas todas las modificaciones, se procedió abrir la llave de paso de las aguas servidas domesticas proveniente del tanque de PVC con una capacidad de 55 galones.

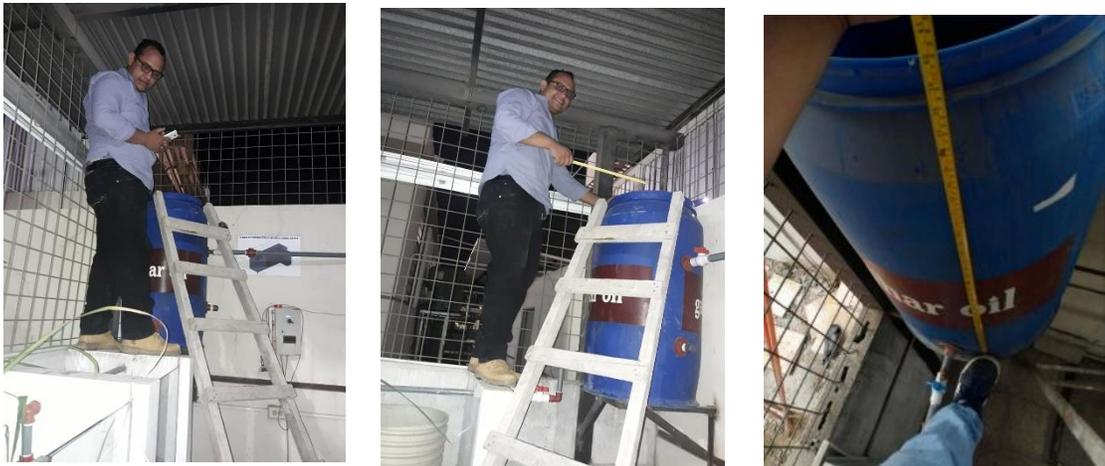


Figura 37. Tanque de 55 galones llenado con Agua Residual Domestica

- El agua residual se introdujo en la capa de arena y viaja de forma horizontal a través de esta hasta el fondo, pasa luego con la pendiente de fondo de la planta piloto (1%), el agua tratada es recolectada a través de una tubería de diámetro de ½" (ubicada en el extremo opuesto inferior), el agua descarga a través de esta tubería hacia un punto de toma de muestra.



Figura 38. Recorrido del Agua Residual Atraves de las Capas de Filtración.

### 3.4. MUESTRAS.

A continuación, se indica los días de muestreo para cada análisis:

- El día 21 de septiembre se efectuó los muestreos del DBO para la planta piloto usando una altura de arena de 30 cm y variando el diámetro de la perforación de 3/4" y de 1/2".
- El día 26 de septiembre se efectúa los muestreos del DBO para la planta piloto usando una altura de arena de 40 cm y variando el diámetro de la perforación de 3/4" y de 1/2".
- El día 27 de septiembre se efectúa los muestreos del DBO para la planta piloto usando una altura de arena de 50 cm y variando el diámetro de la perforación de 3/4" y de 1/2".



Figura 39. Muestra Tomada a la Entrada de la Planta Piloto



Figura 40. Muestra Tomada a la Salida de la Planta Piloto.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados del Límite Permitido por las Normas Tulas.

**TABLA #11.** Comparativa entre resultados obtenidos de DBO con los límites permitibles de las normas.

Altura del Lecho Filtrante	DBO en el Efluente del Humedal (mg/l). Con un sistema de tubería de 3/4" y perforación de 3/4"	DBO en el Efluente del Humedal (mg/l). Con un sistema de tubería de 3/4" y perforación de 1/2"	Límite de descarga a un cuerpo de Agua Dulce. (NORMA TULAS)
30 cm	22,8	12,6	100
40 cm	5,2	4,1	100
50 cm	9,5	6,4	100

#### 4.2. Cálculos del Caudal.

**DATOS del 1er-2da-3er día - muestra con tubería de 3/4" con perforaciones de 3/4 mm, cada 3cm de separación, trabajando con la misma altura para mantener la misma velocidad de descarga para los 3 días de pruebas.**

$$t = 3.30 \text{ min} * 60 \text{ seg}/1\text{min} = 198 \text{ seg}$$

$$\varnothing = 0.50 \text{ m}$$

$$h = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{AREA} = \pi * (\varnothing)^2/4$$

$$A = 3.1416 * (0.50 \text{ m})^2 = 0.1964 \text{ m}^2$$

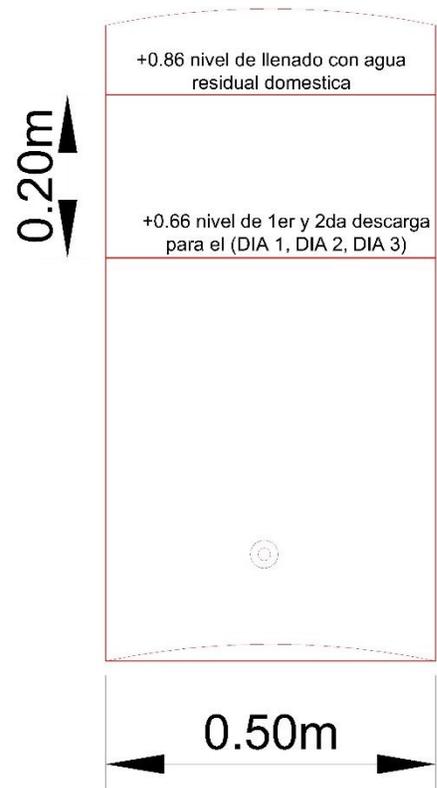
$$\text{VOLUMEN} = \text{AREA} * \text{ALTURA}$$

$$V = 0.1964 * 0.20 = 0.04 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

$$Q = 0.04\text{m}^3/198 \text{ seg} = 0,0002 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 0.0002 \text{ m}^3/\text{seg} * 86400 \text{ seg}/ 1 \text{ día} = 17.45\text{m}^3/\text{día}$$



**DATOS del 1er-2da-3er día – 2 muestra con tubería de 3/4” con perforaciones de 1/2 mm, cada 3cm de separación, trabajando con la misma altura para mantener la misma velocidad de descarga para los 3 días de pruebas.**

$$t = 3.38 \text{ min} * 60 \text{ seg/1min} = 202.80 \text{ seg}$$

$$\varnothing = 0.50 \text{ m}$$

$$h = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{AREA} = \pi * (\varnothing)^2 / 4$$

$$A = 3.1416 * (0.50 \text{ m})^2 = 0.1964 \text{ m}^2$$

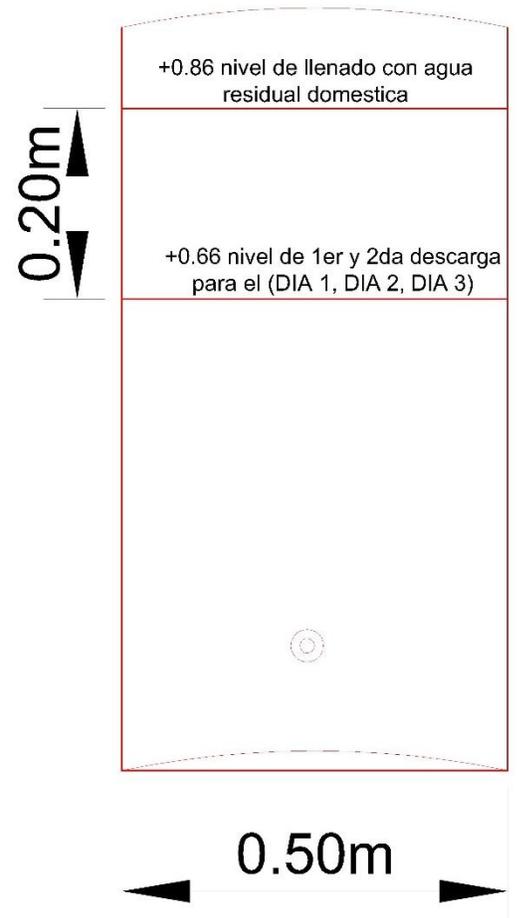
$$\text{VOLUMEN} = \text{AREA} * \text{ALTURA}$$

$$V = 0.1964 * 0.20 = 0.039 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

$$Q = 0.039 \text{ m}^3 / 202.80 \text{ seg} = 0,00019 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 0.00019 \text{ m}^3/\text{seg} * 86400 \text{ seg/ 1 día} = 16.42 \text{ m}^3/\text{día}$$



**4.3. Analizar el efecto de la variación de las alturas del lecho filtrante en la remoción del parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).**

**4.3.1. Calculo de los % de remoción de la DBO.**

- Usando una altura de lecho filtrante (arena 30 cm y 5cm de gravilla de 3/8".)

$$\frac{51.80 - 22.80}{51.80} = 0,559 \times 100 = 55.98\% \longrightarrow \text{perforacion de } 3/4''$$

$$\frac{51.80 - 12.60}{51.80} = 0.756 \times 100 = 75.67\% \longrightarrow \text{perforacion de } 1/2''$$

- Usando una altura de lecho filtrante (arena 40cm y 5cm de gravilla de 3/8".)

$$\frac{51.80 - 5.20}{51.80} = 0.899 \times 100 = 89.90\% \longrightarrow \text{perforacion de } 3/4''$$

$$\frac{51.80 - 4.10}{51.80} = 0.9208 \times 100 = 92.08\% \longrightarrow \text{perforacion de } 1/2''$$

- Usando una altura de lecho filtrante (arena 50cm y 5cm de gravilla de 3/8".)

$$\frac{51.80 - 9.50}{51.80} = 0.8166 \times 100 = 81.66\% \longrightarrow \text{perforacion de } 3/4''$$

$$\frac{51.80 - 6.40}{51.80} = 0,876 \times 100 = 87.64\% \longrightarrow \text{perforacion de } 1/2''$$

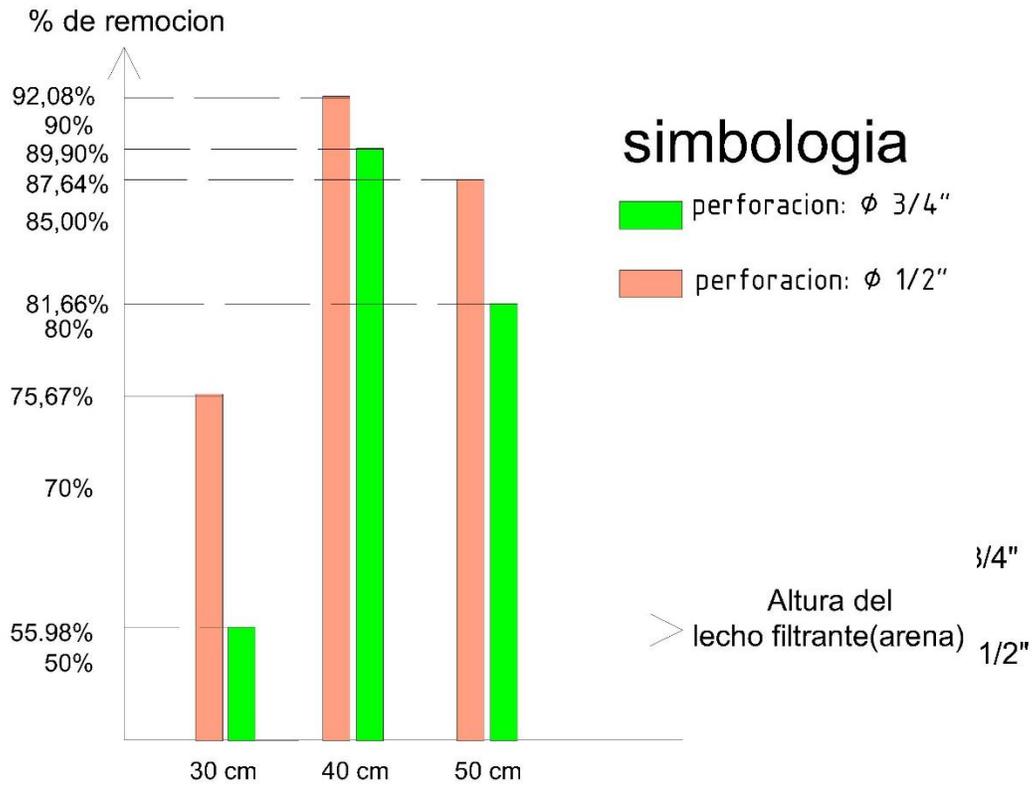
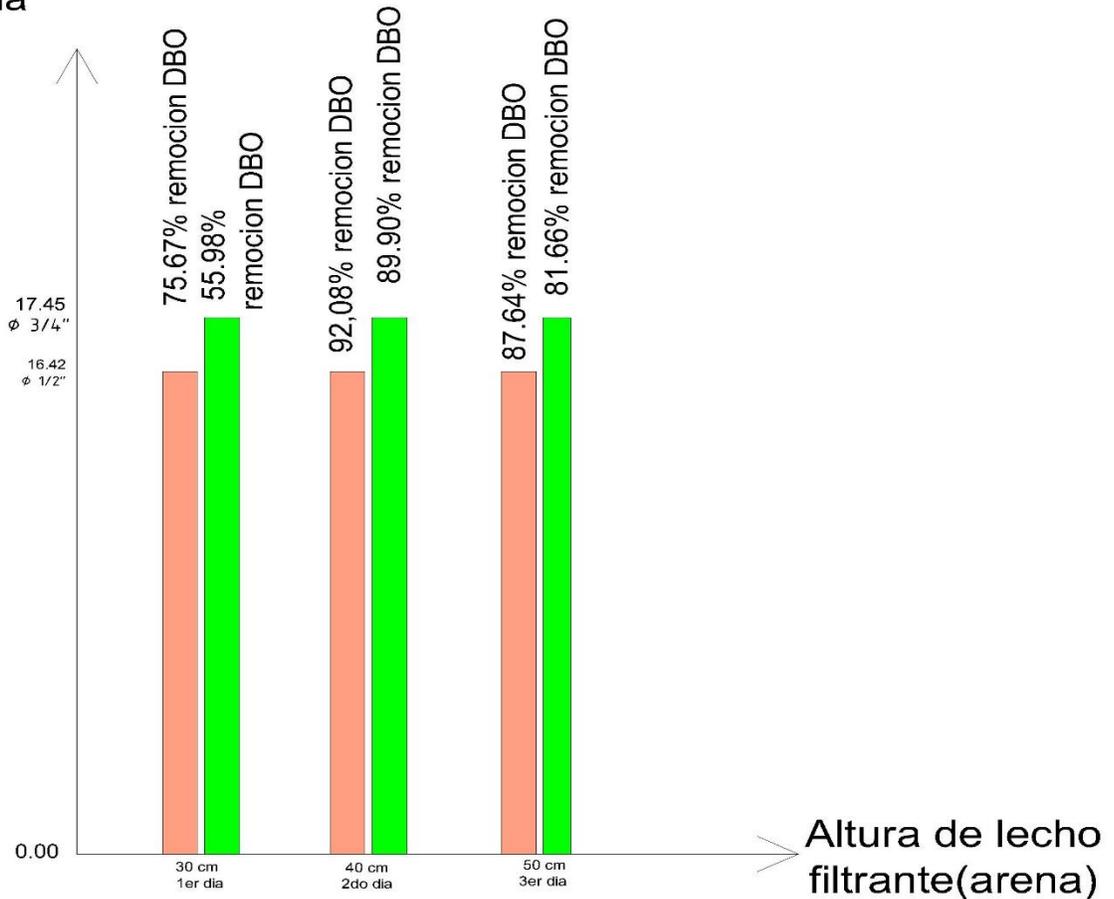


Figura 41. Diagrama de % de remoción

Como podemos observar en nuestro diagrama, que el mayor % de remoción lo obtuvimos con una altura del lecho filtrante de 40cm. Mientras que con un lecho filtrante de 30cm no obtuvimos mucha remoción de la materia organica.

- Evaluar la influencia del caudal de entrada de agua residual doméstica en la remoción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Q de entrada  
m<sup>3</sup>/día



## simbología

perforación:  $\phi$  3/4"

perforación:  $\phi$  1/2"

**Figura 42.** Diagrama de caudal

En este estudio utilizamos un nivel de caudal constante para los 3 días de pruebas, a pesar de utilizar una misma altura del reservorio con agua residual doméstica notamos la variación del % de remoción en los 3 días, siendo así el segundo día con una capa de 40 cm de material filtrante, el más factible para trabajar, consiguiendo un mayor % de remoción.

- Verificar la influencia de la variación de altura de la tubería de entrada de agua residual doméstica en la remoción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

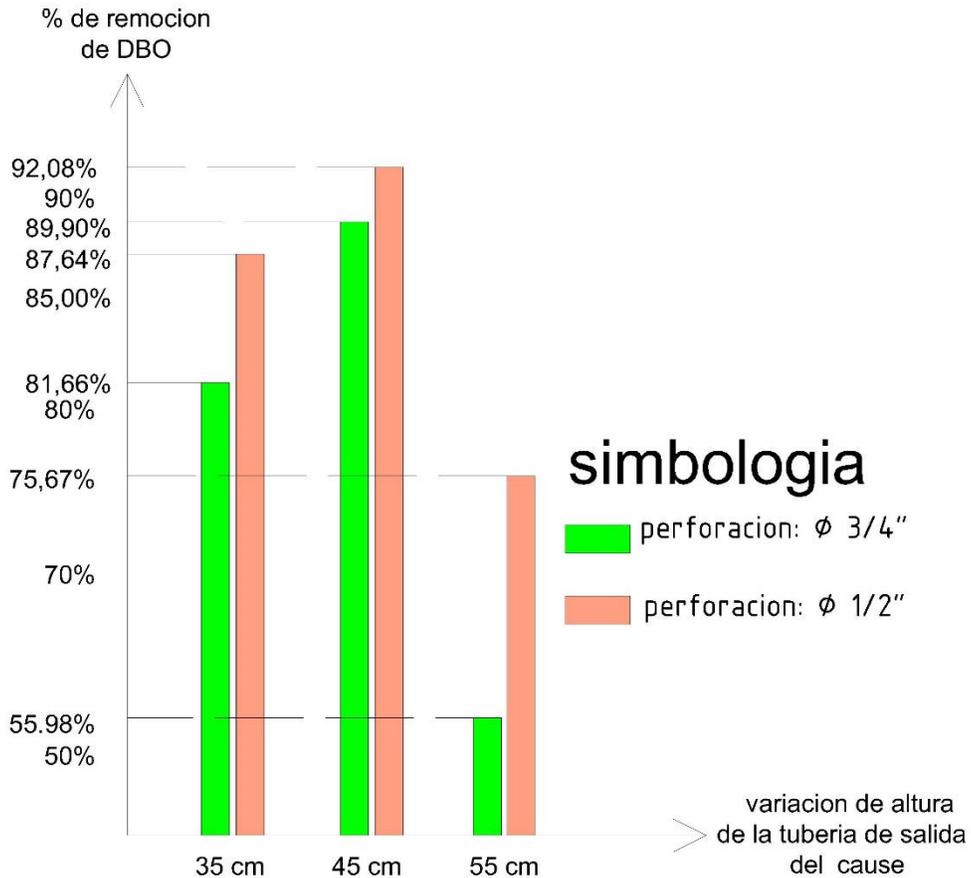


Figura 43. Diagrama de variación de altura

Utilizando variación de altura de la tubería para la descarga del agua residual doméstica, obtuvimos que la altura de 0.45m, es la más recomendada al darnos como resultado 92.08% de remoción cuyo porcentaje está dentro del parámetro de la DBO.

**TABLA #12. CARGAS SUPERFICIALES.**

<b>Ø de perforacion en tuberia de descarga</b>	<b>caudal(m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>area del lecho filtrante m<sup>2</sup></b>	<b>constante (m/l)</b>	<b>cargas superficiales(l/m<sup>2</sup>/dias)</b>
<b>1/2" - 1er dia</b>	16,42	1,08	1000	15203,7
<b>1/2" - 2do dia</b>	16,42	1,08	1000	15203,7
<b>1/2" - 3er dia</b>	16,42	1,08	1000	15203,7
<b>3/4" - 1er dia</b>	17,45	1,08	1000	16157,41
<b>3/4" - 2do dia</b>	17,45	1,08	1000	16157,41
<b>3/4" - 3er dia</b>	17,45	1,08	1000	16157,41

**Alexis Franco Loor – 2018.**

## CONCLUSIÓN

- Se observó concentraciones en el efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial de 12.60 mg/l, 4.10 mg/l, y 6.40 mg/l, usando una altura del lecho de arena de 30 cm, 40 cm y 50 cm, respectivamente. Estas concentraciones obtenidas están debajo de los límites permisibles de descarga cuyos parámetros son 100 mg/l en cuerpo de aguas dulce y 250 mg/l en alcantarillado.
- Se encontró porcentajes de remoción de DBO en el efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial de 75.67 %, 92,08 % y 87.84%, usando un diámetro de perforación en la tubería de descarga de ½” y una altura del lecho de arena de 30 cm, 40 cm y 50 cm, respectivamente. Estos porcentajes obtenidos están acordes a lo que indica la literatura técnica de un rango de remoción de DBO entre 70 a 90 %.
- Se obtuvo porcentajes de remoción de DBO en el efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial de 55.98 %, 89.90 % y 81.66%, usando un diámetro de perforación en la tubería de descarga de ¾ ” y una altura del lecho de arena de 30 cm, 40 cm y 50 cm, respectivamente. Estos porcentajes obtenidos están también acordes a lo que indica la literatura técnica de un rango de remoción de DBO entre 70 a 90 %.
- Las cargas superficiales usadas fueron de 15203.7 l/m<sup>2</sup>/día y 16157.41 l/m<sup>2</sup>/día, en el humedal artificial de flujo subsuperficial usando una altura del lecho de arena de 30 cm, 40 cm, y 50 cm, respectivamente.

## **RECOMENDACIÓN**

- Implementar nuevos estudios en variaciones de diámetro de tuberías, y diámetros de perforaciones en el sistema de fluidos, intentando aumentar la cantidad de capas para el lecho filtrante.
- Evaluar la posibilidad de usar otro tipo de vegetación, verificando la cantidad de la misma por metro cuadrado.

## GLOSARIO

**Desechos.** - Son las sustancias (sólidas, semi-sólidas, líquidas, o gaseosas), por materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, cuya eliminación o disposición final procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional e internacional aplicable.

**Eliminación de desechos peligrosos y/o especiales.** - Abarcan tanto las operaciones que dan como resultado la eliminación final del desecho peligroso y/o especial, como las que dan lugar a la recuperación, el reciclaje, la regeneración y la reutilización.

**Agua residual.**- Es el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

**Agua residual doméstica.**- Mezcla de desechos líquidos de uso doméstico evacuados de residencias, locales públicos, educacionales, comerciales e industriales.

**Agua superficial.**- Es la masa o cuerpo de agua que se encuentran sobre la superficie de la tierra.

**Descarga de aguas residuales.**- Acción de verter aguas residuales a un sistema de alcantarillado o cuerpo receptor.

**Impacto ambiental.**- Cambio o consecuencia al ambiente que resulta de una acción específica o proyecto.

**Junco.-** Planta de la Familia de las Juncáceas, con tallos de 0,6 a 0,8 m, lisos, cilíndricos, flexibles, puntiagudos y duros. De color verde oscuro por fuera y esponjosos y blancos en el interior. Se cría en parajes húmedos.

**Humedales Artificiales de Flujo Superficial.-** Modalidad de la tecnología de Humedales Artificiales, en la que las aguas, generalmente ya tratadas, discurren en forma de una lámina de agua de poco espesor.

**Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial.-** Modalidad de la tecnología de Humedales Artificiales en las que las aguas a tratar atraviesan un sustrato inerte (arena, gravilla), en el que enraízan plantas emergentes.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).-** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

**Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.-** Un Humedal Artificial de Flujo Horizontal subsuperficial es un canal grande relleno con grava y arena donde se planta vegetación acuática.

## BIBLIOGRAFIA

- iAgua©. (2018). HUMEDALES ARTIFICIALES. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>.
- Fundación Wikimedia. (2018). Demanda biológica de oxígeno. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda\\_biol%C3%B3gica\\_de\\_ox%C3%ADgeno](https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_biol%C3%B3gica_de_ox%C3%ADgeno)
- © aquaberri S.L. (2013). Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. Obtenido de <http://aquaberri.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>
- © aquaberri S.L. (2013). Humedales Artificiales. Obtenido de <http://aquaberri.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>
- 832-F-00-023, E. (18 de DICIEMBRE de 2016). Folletos Informativos de Tecnología de Aguas Residuales de la EPA : Humedales de flujo libre superficial. parte 1 . Obtenido de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1997>
- ADMINISTRACION. (s.f.).
- ADMINISTRACION. (2018). Tratamiento de aguas residuales domésticas. Obtenido de <http://tratamientodeaguasresiduales.net/tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas/>
- Agency, U. S. (SEPTIEMBRE de 2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo libre superficial . Obtenido de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs\\_00\\_024.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf)
- AGUA, A. P. (2016). Humedal Artificial de Flujo de Horizontal Subsuperficial. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>
- Arias, C. y. (2015). DISEÑO Y MANEJO DE HUMEDALES ARTIFICIAL. Obtenido de <https://humedalesconstruidos.wordpress.com/vcvc/>
- CAMILO EDUARDO ESPINOSA ORTIZ, E. C.-J. ( 2014). CALCUL DE HUMEDAL UTILIZANDO EL MODELO DE DISEÑO DE REED Y RAS. Obtenido de CALCUL DE HUMEDAL UTILIZANDO EL MODELO DE DISEÑO DE KADLEC: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20D>

EL% 20DISEÑO% 20DE% 20UN% 20HUMEDAL% 20DE% 20FLUJO% 20SUBS  
UPERFICIAL% 20PARA% 2030000% 20HABITANTES.pdf

- Copyright. All Rights Reserved. (2017 ). Tipos de tratamientos de aguas residuales.  
Obtenido de  
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm>
- CRISTIAN, F. (2015). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Obtenido de <http://www.ecojoven.com/Ecologia/aresiduales.html>
- Durango, Á. G. (2018 ). HUMEDALES NATURALES.
- Durango, Á. G. (2018). COMPONENTES DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/aguada-garcia-durango/humedales-artificiales-solucion-basada-naturaleza-dia-mundial-agua>
- ECO - SAR. (2017). PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Obtenido de <http://eco-sar.com/planta-de-tratamiento/>
- El estanque. (2015). Scirpus validus. Obtenido de  
[http://www.elestanque.com/plantas/fichas\\_plantas\\_palustres/scirpus\\_validus.html](http://www.elestanque.com/plantas/fichas_plantas_palustres/scirpus_validus.html)
- EMAZE. (2017). Humedal artificial de flujo subsuperficial. Obtenido de <https://www.emaze.com/@ATWTCWCT/Untitled>
- España, H. T. (2018). TAMICES PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICOS. Obtenido de <https://www.google.com.ec/search?q=TAMICES+para+tratamiento+de+aguas+residuales+domesticas&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj->
- GALLEGO, I. Y. (2010). HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1833/333918E82.pdf>
- GALLEGO., I. Y. (2010). HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HAFSS). Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1833/333918E82.pdf?sequence=1>
- JHOAN PABLO - MARÍN MONTOYA. (2010). EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1801/6283M337.pdf>
- JHOAN PABLO MARÍN MONTOYA JUAN CARLOS CORREA RAMÍREZ, E. D. (2015). Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) . Obtenido de PARÁMETROS

## IMPORTANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1801/6283M337.pdf?sequence=1>

- LARA, J. (2016). Componentes del humedal. Obtenido de <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/2-componentes-del-humedal>
- LARA, J. (2016). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales . Obtenido de <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/2-componentes-del-humedal>
- LinkedIn Corporation © . (2018). Obtenido de <https://es.slideshare.net/MarcosDalmasi/demanda-biolgica-y-quimica-de-oxgeno-y-oxgeno-disuelto>.
- M., C. H. (28 de DICIEMBRE de 2017). DEMANDA QUÌMICA DE OXÌGENO POR REFLUJO. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Mara, D. (2013). Humedal Artificial de Flujo de Horizontal Subsuperficial. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>
- Marsilli, A. (Diciembre de 2005). Tratamiento de aguas residuales. Obtenido de <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>
- METCALF & EDDY. (2016). INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION. Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>
- Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium. (2018). clases de lecho del rio. Obtenido de <http://jcho.masgc.org/frames/data/typhadomingensis.html>
- MONTOYA, J. P.-M. (2010). EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1801/6283M337.pdf?>
- POLPRASERT, C.. (2001). Humedal artificial de flujo subsuperficial . Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>.
- Remtavares . (16 de mayo de 2013). Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/>
- Remtavares. (16 de MAYO de 2013). Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

Remtavares. (16 de MAYO de 2013). Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

United States Environmental Protection Agency . (2000). Humedales de flujo libre superficial . Obtenido de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs\\_00\\_024.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf)

watersupply. (2017). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Obtenido de <http://tratamientodeaguasresiduales.net/tratamiento-de-aaguas-residual-domesticas/>

WebMaster - copyright © Todos los Derechos Reservados. (2016). Tratamiento Terciario del Agua y Aguas Residuales y Sistemas de Reciclaje. Obtenido de <http://spenagroup.com/tratamiento-terciario-del-agua-aguas-residuales-sistemas-reciclaje/>

WebMaster-copyright. (2016). tipos de tratamiento de aguas residuales. Obtenido de <http://tratamientodeaguasresiduales.net/tipos/>

wikipedia. (27 de Noviembre de 2016). DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda\\_biol%C3%B3gica\\_de\\_ox%C3%ADgeno](https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_biol%C3%B3gica_de_ox%C3%ADgeno)

# ANEXOS

## Urkund Analysis Result

Analysed Document: tesis corregida (2).docx (D37642163)  
Submitted: 4/17/2018 1:33:00 AM  
Submitted By: pparedesr@ulvr.edu.ec  
Significance: 5 %

### Sources included in the report:

TFT-C.BARRAZUETA.pdf (D36538341)  
TESIS SANDRA APOLO-1.pdf (D8438692)  
TESINA FINAL EXAMEN COMPLEXIVO COLOBÓN.docx (D32569241)  
<https://es.slideshare.net/MarcosDalmasi/demanda-biologica-y-quimica-de-oxgeno-y-oxgeno-disuelto>  
<https://es.slideshare.net/MauricioOrtiz6/trabajo-colaborativo-53259755>

### Instances where selected sources appear:

28

