



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

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

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

TEMA

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COLIFORMES FECALES
EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL GRIS”**

TUTOR

Ing, Civ. PABLO MARIO PAREDES RAMOS, MSc.

AUTOR

CARLOS ALFREDO MOGRO MEJIA

GUAYAQUIL – ECUADOR

2018

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS		
TÍTULO Y SUBTÍTULO: “Estudio del comportamiento de los coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratamiento de agua residual gris”		
AUTOR/ES: Mogro Mejia Carlos Alfredo	REVISORES O TUTORES: Ing, Civ. PAREDES RAMOS PABLO MARIO	
INSTITUCIÓN: Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil	
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2018	N. DE PAGS: 163	
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción.		
PALABRAS CLAVE: Tratamiento, Humedal, Artificial, Coliformes, Subsuperficial		
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 coliformes fecales en el humedal artificial de flujo subsuperficial tratando agua residual doméstica gris, la cual nos ayudara a que la descarga llegue a su destino final con un porcentaje mínimo de contaminación.		
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Mogro Mejia Carlos Alfredo	Teléfono: 0992255711	E-mail: Cmogro90@hotmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	ING.MSC. ALEX SALVATIERRA, DECANO Teléfono: 2596500 EXT. 213 DECANATO E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec DIR Teléfono: 2596500 EXT. 213	

Urkund Analysis Result

Analysed Document: 7TESIS 11 agosto (2).docx (D40882801)
Submitted: 8/20/2018 4:20:00 PM
Submitted By: pparedesr@ulvr.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

capitulo1,2,3 01062018.docx (D39926847)
2A_EGOAVIL_GUILLERMO_GEORGE_LUIS_TESIS_2018.docx (D40084942)
5344-Vilca Felix, Frank Roy_.pdf (D32035017)
Tesis Sanitaria-Arturo Pincay.pdf (D14975788)
<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/91446>
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13001>
<https://www.monografias.com/trabajos89/determinacion-coliformes-totales-fecales/determinacion-coliformes-totales-fecales.shtml>
http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1606/T_063.pdf?sequence=1&isAllowed=y
<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-11/art2.pdf>
<http://www.calidadmicrobiologica.com.co/microbiologia/coliformes-fecales>
http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17588/1/Tesis_Jos%C3%A9_Lima.pdf
<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11987/1/TESIS%20LOPEZ%20JOSE%2021-11-2015%20CORRECCIONES%2014-12-2015.pdf>
https://otoruno.files.wordpress.com/2012/05/hidro-edar_tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-humedales-artificiales.pdf
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4813/333918P227.pdf?sequence=1>
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27335/1/Tesis.pdf>
<https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/09/tratamiento-de-aguas-residuales.pdf>

Instances where selected sources appear:

30


ING. CIV. PABLO MARIO PAREDES RAMO
C.I. 0911828150

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado Carlos Alfredo Mogro Mejía, declara bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente al suscrito y se responsabiliza con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo mi derechos patrimoniales y de titularidad a la UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, según lo establece la normativa vigente.

Este proyecto se ha ejecutado con el propósito de estudiar el: “Estudio del comportamiento de los coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratamiento de agua residual gris”

Autor

Firma: 
Carlos Alfredo Mogro Mejía

C.I. 0924406564

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación “Estudio del comportamiento de los coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratamiento de agua residual gris”, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN de la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “Estudio del comportamiento de los coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratamiento de agua residual gris”, presentado por los estudiantes Carlos Alfredo Mogro Mejia como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación

Firma: -----



Ing, Civ. PABLO MARIO PAREDES RAMOS, MSc.

C.I. 0911828150

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme cada día más fuerza para seguir adelante.

Agradecer a mi Padre por estar siempre a mi lado apoyándome en todo lo que he necesitado y de la presente tesis, porque sin el no hubiera conseguido llegar a mis objetivos.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades, docentes y personal que hacen la Universidad laica Vicente Rocafuerte, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, gracias por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento.

De manera especial, al Master Pablo Paredes tutor de mi proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

Agradecer a todos los docentes por sus enseñanzas, consejos, experiencias y los ánimos de seguir investigando.

Agradecer a todas las amistades que formaron parte de mi vida universitaria.

DEDICATORIA

A Dios primeramente por guiarme y darme luz en el largo camino de mi vida.

A mi padre por su apoyo incondicional, por darme la oportunidad de estudiar, por confiar en mí, por aconsejarme, por estar ahí siempre. Sin el no sería lo que soy.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi esposa y a mis hijas Melissa y Sophie, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre las llevo en mi corazón.

RESUMEN

En la actualidad en el Ecuador, existe un gran desperdicio de agua potable que podría estar siendo usada como agua de riego y para el uso de la misma en los tanques de los inodoros. Se estima que esto es prácticamente un 20% del consumo total de agua potable en una vivienda.

El agua residual gris originada como producto de desecho en las duchas, en los lavamanos, en las lavadoras, en la cocina y mezclada, convenientemente tratada puede ser reutilizada como agua de riego y para el uso en los tanques de los inodoros. El promover un tratamiento en sitio en la propia vivienda de parte de los organismos gubernamentales, haría que los consumos de agua potable se reduzcan en un buen porcentaje aliviando la necesidad de tratar y captar más agua de los ríos para su posterior tratamiento.

Con este estudio se pretende realizar un Sistema de tratamiento de agua residual gris para una vivienda, que sirva para obtener un agua de una calidad que cumpla con las Normas nacionales o internacionales en cuanto a su reutilización como agua de riego y agua para el tanque de los inodoros.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.7 DELIMITACIÓN O ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.8 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN O IDEAS A DEFENDER.....	5
1.8.1 HIPÓTESIS GENERAL:.....	5
1.8.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICO:.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1 MARCO CONCEPTUAL	6
2.1.1 Aguas residuales domésticas.....	6
2.1.2 Humedal artificial de flujo subsuperficial.	6
2.1.3 Coliformes fecales.	6
2.1.4 Aguas grises.	7
2.2 MARCO TEORICO TECNICO	7
2.2.1 AGUAS RESIDUALES.....	7
2.2.2 AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.....	8
2.2.3 AGUAS GRISES	8

2.2.4	AGUAS NEGRAS	8
2.2.5	FUENTE DE AGUAS RESIDUALES	9
2.2.6	CONTAMINACIÓN DE AGUAS.	10
2.2.7	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	10
2.2.8	HUMEDALES ARTIFICIALES	12
2.2.9	PARTES DE LOS HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	23
2.2.10	VENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES SUBSUPERFICIALES	30
2.2.11	PARÁMETROS PRINCIPALES DE CONTROL EN AGUAS GRISES DOMÉSTICAS	32
2.2.12	MECANISMO DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES ARTIFICIALES	40
2.2.12	FORMULAS DE DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL.....	49
2.3	MARCO METODOLÓGICO	56
2.3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
2.3.2	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	57
2.3.3	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	57
2.3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	57
2.4	MARCO LEGAL.....	58
2.4.1.	Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado	58
2.4.2.	Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce ...	61
2.4.3.	Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua marina.	65
CAPITULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL		69
3.1	DESCRIPCION DE PLANTA PILOTO REHABILITADA	69
3.1.1	Introducción	69

3.1.2	<i>Metodología</i>	91
3.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	121
3.2.1	<i>Analizar la influencia de la variación de alturas de lechos de arena en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto</i>	121
3.2.2	<i>Estudiar la influencia del caudal de entrada de agua residual gris en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto</i>	124
3.2.3	<i>Comparar los resultados de los coliformes fecales del agua residual doméstica gris de una vivienda tratadas con el humedal artificial con los límites máximos permisibles de este tipo de vertimiento vigente en la legislación ecuatoriana.</i>	132
	CONCLUSIONES.....	134
	RECOMENDACIONES	136
	BIBLIOGRAFÍA.....	137
	ANEXOS	142

Lista de Tablas

Tabla 1 Contaminantes de interés en el tratamiento de las guas residuales.....	24
Tabla 2 Características de las especies vegetales mas utilizadas en un humedales artificiales.....	29
Tabla 3 Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.	31
Tabla 4 Comparación entre humedales artificiales de flujo superficial horizontal y vertical.....	32
Tabla 5. Calidad de agua según NMP de Coliformes.....	34
Tabla 6 Limites máximos para la descarga de coliformes en aguas residuales.	39
Tabla 7 Mecanismo de remoción en los sistemas de tratamiento basados en micrófitos.	40
Tabla 8. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales.	53
Tabla 9. Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	55
Tabla 10. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	60
Tabla 11. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	64
Tabla 12. Límite de descarga a un cuerpo de agua marina.....	68
Tabla 13 Resultados de coliformes fecales.....	121
Tabla 14. Porcentaje de remoción de coliformes fecales.....	123
Tabla 15. Diagrama de Caudal.....	130
Tabla 16. Porcentaje de remoción de coliformes fecales.....	130
Tabla 17. Comparacion de resultados de coliformes fecales con los limites maximos permisibles	132

Lista de figuras

Figura 1. Tratamiento preliminar de aguas residuales.	11
Figura 2. Tratamiento primario de aguas residuales.	11
Figura 3. Tratamiento secundario de aguas residuales.	12
Figura 4. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas. .	17
Figura 5. Humedal artificial de flujo superficial.	18
Figura 6. Humedal subsuperficial de flujo horizontal (vista corte sección).	20
Figura 7. Humedal superficial de flujo vertical (vista corte sección)	22
Figura 8. Distintos grupos de coliformes.	36
Figura 9. Determinación del numero de bacterias por el método conteo directo.	37
Figura 10. Técnica de cultivo en placa Petri.	38
Figura 11. Técnica de la membrada filtrante para la determinación de bacterias.	39
Figura 12. Diagrama del metabolismo del nitrógeno (Cooper et al., 1996).	43
Figura 13. Material a retirar de la planta piloto existente.	69
Figura 14. Retiro de Lecho Filtrante.	70
Figura 15. Desechando Aguas Negras de la Planta Piloto existente.	70
Figura 16. Limpieza de salida de agua del humedal artificial, se encontraba tapado	71
Figura 17. Planta Piloto y tanque limpios.	71
Figura 18. Sacos de piedra chispa y arena para humedal	72
Figura 19. Colocacion de piedra chispa 3/8''	72
Figura 20. Colocacion de piedra chispa 3/8''	73
Figura 21. Colocacion de malla en salida de agua del humedal	73
Figura 22. Nivelacion de piedra chispa 3/8'' a 5cm de altura	74

Figura 23. Vista superior de piedra chispa 3/8''	74
Figura 24. Colocacion de arena gruesa	75
Figura 25. Colocacion de arena gruesa	75
Figura 26. Colocacion de arena gruesa	76
Figura 27. Nivelacion de arena a 50cm de altura.....	76
Figura 28. Nivelacion de arena a 50cm de altura.....	77
Figura 29. Colocacion de tuberias y tanque de agua.....	77
Figura 30. Colocacion de nudo	78
Figura 31. Punto de entrada de humedal.....	78
Figura 32. Elaboracion de rosca para tuberia.....	79
Figura 33. Perforacion en tuberia de entrada	79
Figura 34. Tuberia de entrada humedal	80
Figura 35. Junco de rio a orillas del rio Guayas	80
Figura 36. Junco de Rio en habitad natutal.....	81
Figura 37. Extraccion de junco de rio	81
Figura 38. Extraccion de junco de rio sin danar raices	82
Figura 39. Limpieza de raices de junco de rio	82
Figura 40. Humectacion de humedal para sembra junco de rio.....	83
Figura 41. Humedal humectado	83
Figura 42. Sembrado de junco de rio en el humedal artificial.	84
Figura 43. Sembrado de junco de rio en el humedal artificial.	84
Figura 44. Sembrado de junco de rio en el humedal artificial.	85
Figura 45. Sembrado de junco de rio en el humedal artificial.	85

Figura 46. Humedal artificial con juncos de rio	86
Figura 47. Transporte de agua residual gris.....	86
Figura 48. Agua proveniente de lavadoras de ropa.....	87
Figura 49. Colocacion de agua residual gris.....	87
Figura 50. Colocacion de agua residual gris.....	88
Figura 51. Colocacion de agua residual gris.....	88
Figura 52. Obtencion de agua de cocina.....	89
Figura 53. Agua proveniente de cocina	89
Figura 54. Tanque lleno de agua residual gris	90
Figura 55. Obtención de muestra inicial	91
Figura 56. Obtención de muestra inicial	91
Figura 57. Flauta de perforaciones de 7/32''	92
Figura 58. Valvula de entrada.....	92
Figura 59. Valvula abierta.....	93
Figura 60. Muestra #1 de 50cm de altura de lecho.....	93
Figura 61. Muestra #1 de 50cm de altura de lecho	94
Figura 62. Cambio de Flauta.....	94
Figura 63. Flauta de 3/4''.....	95
Figura 64. Valvula abierta Para toma de muestra #2	95
Figura 65. Altura de agua.....	96
Figura 66. Muestra #2	96
Figura 67. Muestra #1 y #2 de ensayo #1	97
Figura 68. Humedal	98

Figura 69. Altura de lecho de humedal de 60cm	98
Figura 70. Altura de agua inicial de 32cm para ensayo#2	99
Figura 71. Muestra inicial	99
Figura 72. Muestra inicial	100
Figura 73. Flauta de perforaciones de 7/32''	100
Figura 74. Valvula abierta.....	101
Figura 75. Altura de agua 47cm de muestra #1	101
Figura 76. Tiempo de espera de 20 minutos.....	102
Figura 77. Valvula de salida abierta.	102
Figura 78. Obtención de muestra #1	103
Figura 79. Obtención de muestra #1	103
Figura 80. Muestra inicial y muestra #1	104
Figura 81. Cambio de Flauta.....	104
Figura 82. Flauta con perforaciones de 3/4''	105
Figura 83. Valvula entrada abierta.....	105
Figura 84. Altura final de agua 62cm	106
Figura 85. Tiempo de espera de 20 minutos.....	106
Figura 86. Valvula de salida abierta.	107
Figura 87. Obtención de muestra #2	107
Figura 88. Obtención de muestra #2	108
Figura 89. Muestra inicial, muestra #1 y Muestra #2	108
Figura 90. Humedal	109
Figura 91. Altura de lecho de humedal de 70cm.	109

Figura 92. Altura de agua inicial de 62cm para ensayo#3	110
Figura 93. Muestra inicial	110
Figura 94. Muestra inicial	111
Figura 95. Flauta de perforaciones de 7/32''	111
Figura 96. Flauta de perforaciones de 7/32''	112
Figura 97. Valvula abierta.....	112
Figura 98. Altura de agua 77cm de muestra #1	113
Figura 99. Tiempo de espera de 20 minutos.....	113
Figura 100. Valvula de salida abierta.	114
Figura 101. Obtención de muestra #1	114
Figura 102. Obtención de muestra #1	115
Figura 103. Muestra inicial y muestra #1	115
Figura 104. Cambio de Flauta.....	116
Figura 105. Cambio de Flauta.....	116
Figura 106. Flauta con perforaciones de 3/4''	117
Figura 107. Valvula entrada abierta.....	117
Figura 108. Altura final de agua 62cm	118
Figura 109. Tiempo de espera de 20 minutos.....	118
Figura 110. Valvula de salida abierta.	119
Figura 111. Obtención de muestra #2	119
Figura 112. Obtención de muestra #2	120
Figura 113. Muestra inicial, muestra #1 y Muestra #2	120

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de remoción de coliformes fecales.....	123
Gráfico 2. Diagrama de Caudal	131
Gráfico 3. Límites máximos permisibles	133

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se hace necesario controlar los vertidos de descarga de coliformes fecales a los cuerpos de agua. La complejidad del tratamiento anaeróbico y la menor experiencia con estos procesos (en comparación con sistemas aeróbicos) son las razones para que existan variaciones entre los modelos propuestos, no habiendo aún uniformidad de criterios en relación con algunos aspectos de la modelización de dichos procesos. Evaluar la remoción del parámetro indicador de coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratar agua residual gris de una vivienda es el objetivo general de la investigación.

Se debe destacar que para controlar este fenómeno se deben implementar las acciones tendientes a reducir la descarga de este contaminante, más aun teniendo en cuenta que se han incrementado los niveles de exigencia en la normatividad ambiental vigente en muchos países, de ahí su importancia de estudio.

Teniendo en cuenta la problemática expuesta anteriormente, los humedales artificiales de flujo subsuperficial constituyen una innovación tecnológica de carácter versátil en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, adquiriendo la eliminación de coliformes fecales.

Los coliformes fecales constituyen un subgrupo de coliformes totales, son de tipo bastoncitos de 0,002 a 0,003 mm, son aerobios/anaerobios facultativos no esporulados. Se diferencian de los coliformes totales por ser tolerantes a temperaturas elevadas lo que les permite estar mejor adaptados a la vida interior del ser humano o animal.

CAPITULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aplicación de tecnologías ambientalmente sostenibles para el tratamiento del agua residual gris doméstica en el Ecuador en la actualidad está a niveles incipientes. Se han probado tecnologías para el caso de tratar agua residual doméstica completa, es decir, conteniendo ambas aguas negras y aguas grises con algún relativo éxito. El poder separar las aguas residuales domésticas en aguas negras y grises, y luego a través de un tratamiento ambiental sostenible poder tratar las aguas grises y reusar éstas como agua de los tanques de los inodoros o para riego, y con esto evitar el uso innecesario del agua potable es de gran utilidad.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cual es la capacidad de remoción del parámetro indicador de los coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratamiento de agua residual gris de una vivienda?

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cual es la influencia de la variación de alturas de lechos de arena en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto?
- ¿Cual es la influencia del caudal de entrada de agua residual gris en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto?

- ¿Cuánto influye la configuración de la tubería de entrada de agua residual gris en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto?
- ¿Las aguas tratadas de los humedales artificiales se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles en cuanto al parámetro coliformes fecales?

1.4 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la remoción del parámetro indicador de coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratar agua residual gris de una vivienda.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la influencia de la variación de alturas de lechos de arena en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto.
- Estudiar la influencia del caudal de entrada de agua residual gris en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto.
- Valorar la influencia de la configuración de la tubería de entrada de agua residual gris en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto.
- Comparar los resultados de los coliformes fecales del agua residual doméstica gris de una vivienda tratadas con el humedal artificial con los límites máximos permisibles de este tipo de vertimiento vigente en la legislación ecuatoriana.

1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad en el Ecuador, existe un gran desperdicio de agua potable que podría estar siendo usada como agua de riego y para el uso de la misma en los tanques de los inodoros. Se estima que esto es prácticamente un 20% del consumo total de agua potable en una vivienda.

El agua residual gris originada como producto de desecho en las duchas, en los lavamanos, en las lavadoras, en la cocina y mezclada, convenientemente tratada puede ser reutilizada como agua de riego y para el uso en los tanques de los inodoros. El promover un tratamiento en sitio en la propia vivienda de parte de los organismos gubernamentales, haría que los consumos de agua potable se reduzcan en un buen porcentaje aliviando la necesidad de tratar y captar más agua de los ríos para su posterior tratamiento.

Con este estudio se pretende realizar un Sistema de tratamiento de agua residual gris para una vivienda, que sirva para obtener un agua de una calidad que cumpla con las Normas nacionales o internacionales en cuanto a su reutilización como agua de riego y agua para el tanque de los inodoros.

1.7 DELIMITACIÓN O ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El horizonte de este proyecto de investigación, es el estudio del comportamiento de los coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratamiento de agua residual gris. Se plantea en este año 2017, el acondicionamiento de la Planta Piloto existente en el Laboratorio de elaboración de bloques. Este acondicionamiento

incluirá la revisión del estado de la estructura existente, la extracción y vuelta a poner de la arena de río necesaria para usarla de filtro, la implantación de la vegetación más aplicable para el tratamiento del agua residual gris, y finalmente la colocación de válvula al ingreso del humedal para verificar el funcionamiento del humedal. Este proyecto pertenece al área de ciencias Ambientales.

1.8 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN O IDEAS A DEFENDER

1.8.1 HIPÓTESIS GENERAL:

El humedal artificial utilizado, removerá los coliformes fecales de las aguas residuales domésticas grises para su reusó en riego de áreas verdes y tanques de inodoros.

1.8.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICO:

- Los humedales artificiales removerá el parámetro microbiológico indicador (Coliformes Fecales)de las aguas residuales domesticas grises.
- Los humedales artificiales será eficiente para tratar el agua residual doméstica gris.
- Las aguas tratadas de los humedales artificiales en cuanto a su parámetro microbiológico indicador (Coliformes Fecales)cumplirá con el Límite Máximo Permisible que se indica en el texto unificado de la legislación Ecuatoriana.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Aguas residuales domésticas.

Las aguas residuales son aguas contaminadas, que salen de las residencias e industrias, estas aguas son tóxicas y dañinas para la salud y el medio ambiente, porque generalmente vienen acompañadas de ciertos elementos o sustancias que contaminan la pureza del agua, como pueden ser materia fecal, grasas, sustancias químicas, como pueden ser los detergentes, cloro, o productos de cocina y Todo residuo que salen de las diferentes industrias de producción como, ganaderas, lácteas, químicas, etc. (Florencia Ucha, 2012)

2.1.2 Humedal artificial de flujo subsuperficial.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial son canales o zanjas excavadas con rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie de grava. Se usan especies vegetales como typha, espadaña, juncos, pastos en este tipo de humedales.

2.1.3 Coliformes fecales.

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las

heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal.

2.1.4 Aguas grises.

Las aguas grises son las aguas residuales provenientes de los baños, duchas, lavadoras y fregadero de cocina de una vivienda. Son de menor carga orgánica que las aguas residuales domésticas.

2.2 MARCO TEORICO TECNICO

2.2.1 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son las aguas usadas y los solidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado. (Romero Rojas, 2004)

Estas son generadas inevitablemente de actividades humanas y sus características son muy diversas, dependiendo de sus orígenes, a la vez los alcances de su tratamiento depende del uso específico a los cuales esta destinada. En las aguas residuales para tener un mejor conocimiento y control de estas, es importante conocer sus características, algunas de ellas son las que se definen a continuación. (Romero Rojas, 2004)

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. (Espigares García, Gálvez and Pérez López, 1986).

2.2.2 AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Se consideran aguas residuales domesticas a los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. (Romero Rojas, 2004).

Comúnmente son aguas residuales generadas por las viviendas o actividades antrópicas domesticas tales como: Lavado de ropa, lavado de plato, limpieza de vehículos, etc. Las aguas residuales domesticas son de dos formas, aguas grises y aguas negras o fecales. Estas aguas presentan altos contenidos de materia orgánica, patógenos, detergentes, nutrientes de fósforo y nitrógeno. (Romero Rojas, 2004)

2.2.3 AGUAS GRISES

Las aguas grises son las aguas residuales provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de DBO, solidos suspendidos, fosforo, grasas y coliformes fecales, excluyendo las de inodoros. (Romero Rojas, 2004).

Las aguas grises tienen como característica principal su color que es propiamente dicha “Gris”. Son generadas por las actividades domesticas del hombre tales como el lavado de ropa, duchas y bañeras. No se considera a los inodoros. (Romero Rojas, 2004).

2.2.4 AGUAS NEGRAS

Aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en solidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. (Romero Rojas, 2004).

Las aguas negras tienen como característica principal de color negro originada por los inodoros, lavaplatos y fregaderos con alta presencia de contaminantes orgánicos y patógenos. (Romero Rojas, 2004).

2.2.5 FUENTE DE AGUAS RESIDUALES.

Existen 3 fuentes de aguas residuales las cuales son:

AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O URBANA

Se consideran aguas residuales domesticas a los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. (Romero Rojas, 2004).

AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Aguas residuales municipales los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratadas en una planta de tratamiento municipal. (Romero Rojas, 2004).

AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Aguas residuales industriales las aguas provenientes de las descargas industriales de manufactura. (Romero Rojas, 2004).

2.2.6 CONTAMINACIÓN DE AGUAS.

Es alterar el sistema hídrico de un ecosistema causado naturalmente o por actividades humanas, estas son muy frecuentes ya que cada vez la población va creciendo y a su vez genera más consumo hídrico y por ende más efluentes contaminantes.

La contaminación del agua ha existido desde siempre. Cada vez que se arroja por vías naturales o humanas un desperdicio al agua, se crea un foco de contaminación. Sin embargo, los sistemas acuáticos tienen medios efectivos de hacerle frente a estos agravios, de los cuales más importantes son la dilución y la capacidad de autopurificación. La contaminación, en cualquiera de sus formas, es cuestión de concentración. (Orozco, 2005)

2.2.7 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

- Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.

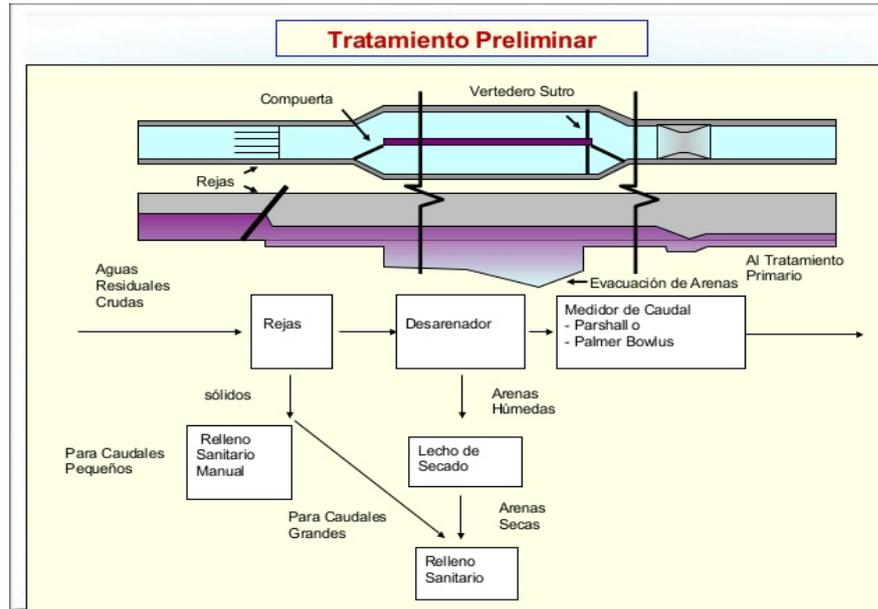


Figura 1. Tratamiento preliminar de aguas residuales.
Fuente: Iquique Barrera, Manuel (2012)

- Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado.



Tratamiento Primario o Mecánico

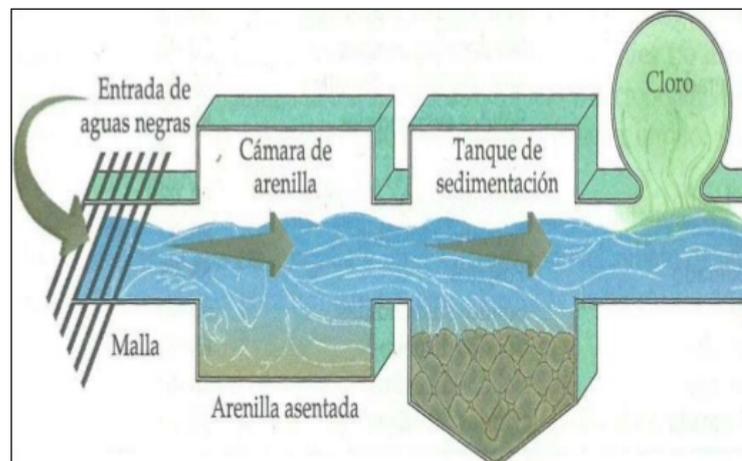


Figura 2. Tratamiento primario de aguas residuales.
Fuente: Cornejo F. y Vásquez L., (2014)

- Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.

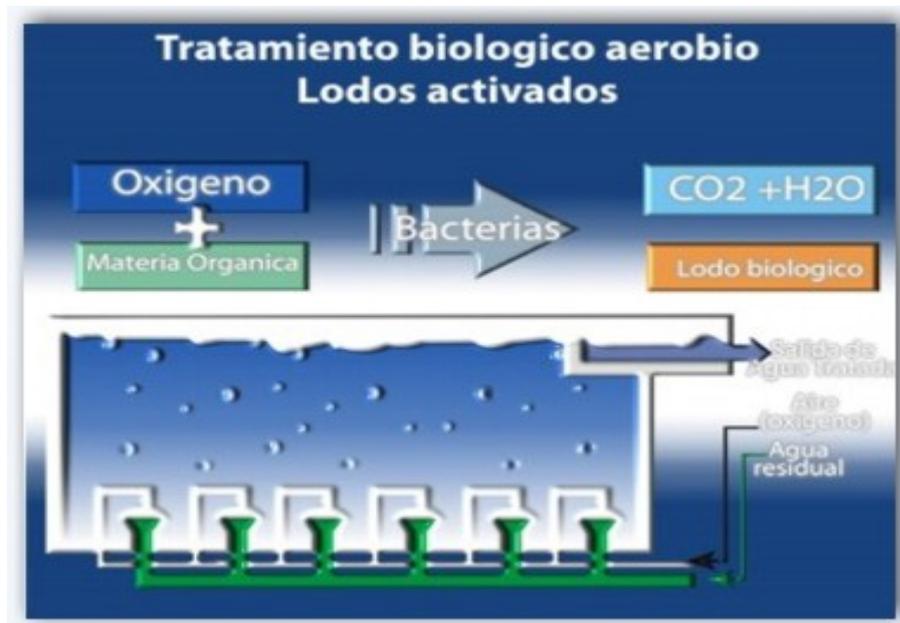


Figura 3. Tratamiento secundario de aguas residuales.
Fuente: israeltratamientobiologico.blogspot.com

- Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

(<https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/09/tratamiento-de-aguas-residuales.pdf>)

2.2.8 HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son ecosistemas construidos por el hombre y usados como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas grises. El humedal artificial es construido con especies vegetales que ayuda en la remoción de

contaminantes orgánicas mediante procesos físicos, químicos y biológicos que realiza la especie vegetal. (Mena, 2008).

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente. (Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M., 2010).

El tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución (Fernández et al., 2004).

Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales:

- Aguas domésticas y urbanas. (García et al., 2004).
- Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros. (García et al., 2004).
- Aguas de drenaje de extracciones mineras. (García et al., 2004).
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana. (García et al., 2004).

- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan (García et al., 2004).

Cuando el agua llega a una estación depuradora, pasa por una serie de tratamientos que extraen los contaminantes del agua y reducen su peligro para la salud pública. El número y tipo de tratamientos dependen de las características del agua contaminada y de su destino final. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Estos sistemas purifican el agua mediante remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química (Cooper et al., 1996).

Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Stearman et al., 2003). Reemplazan así el tratamiento secundario e inclusive, bajo ciertas condiciones, al terciario y primario de las aguas residuales. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua

residual (Reed en Kolb, 1998) y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Hu en Kolb, 1998).

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999).

La fitodepuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales. El término macrófitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos (Fernández et al., 2004). Constituyen “fotosistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes: principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema. (Cricyt, 2007).

Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas: comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fática (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos. (Cricyt, 2007).

Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes: en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos (Cricyt, 2007).

Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

En la figura 4 se sintetizan los distintos tipos de humedales artificiales:

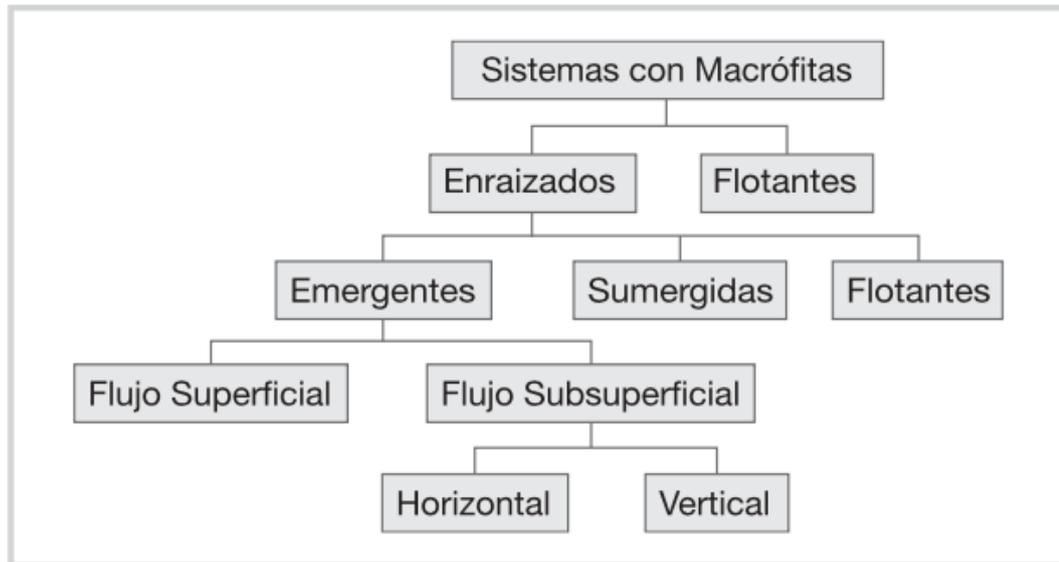


Figura 4. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.
Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

A continuación desarrollaremos las características de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial, basados en macrófitas enraizadas emergentes, por ser los que interesan en nuestro caso.

HUMEDAL SUPERFICIAL O FLUJO SUPERFICIAL

Los sistemas de flujo superficial (conocidos en inglés como Surface flow constructed wetlands o free water Surface constructed wetlands) son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de lagunas convencionales. A diferencia de éstas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m) y tienen plantas (figura 5). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

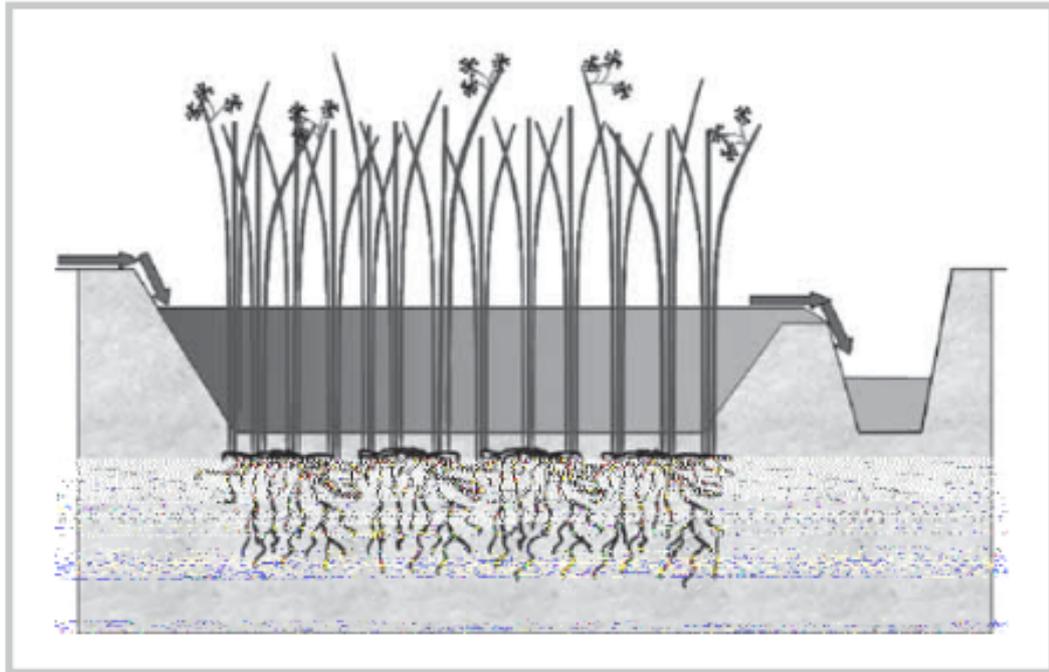


Figura 5. Humedal artificial de flujo superficial.

Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

En términos de paisaje, este sistema es bastante recomendable por su capacidad de albergar distintas especies de peces, anfibios, aves, etcétera. Pueden constituirse, en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

HUMEDAL SUBSUPERFICIAL O FLUJO SUBSUPERFICIAL

Los sistemas de flujo subsuperficial (conocidos en inglés como subsurface flow constructed wetlands), se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial

pueden ser de dos tipos: (a) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical. . Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

HUMEDALES SUBSUPERFICIALES DE FLUJO HORIZONTAL.

Son los sistemas más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel (1967) y Kickuth (1977). El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*). Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo (Brix en Kolb, 1998).

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 % (figura 6). . Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

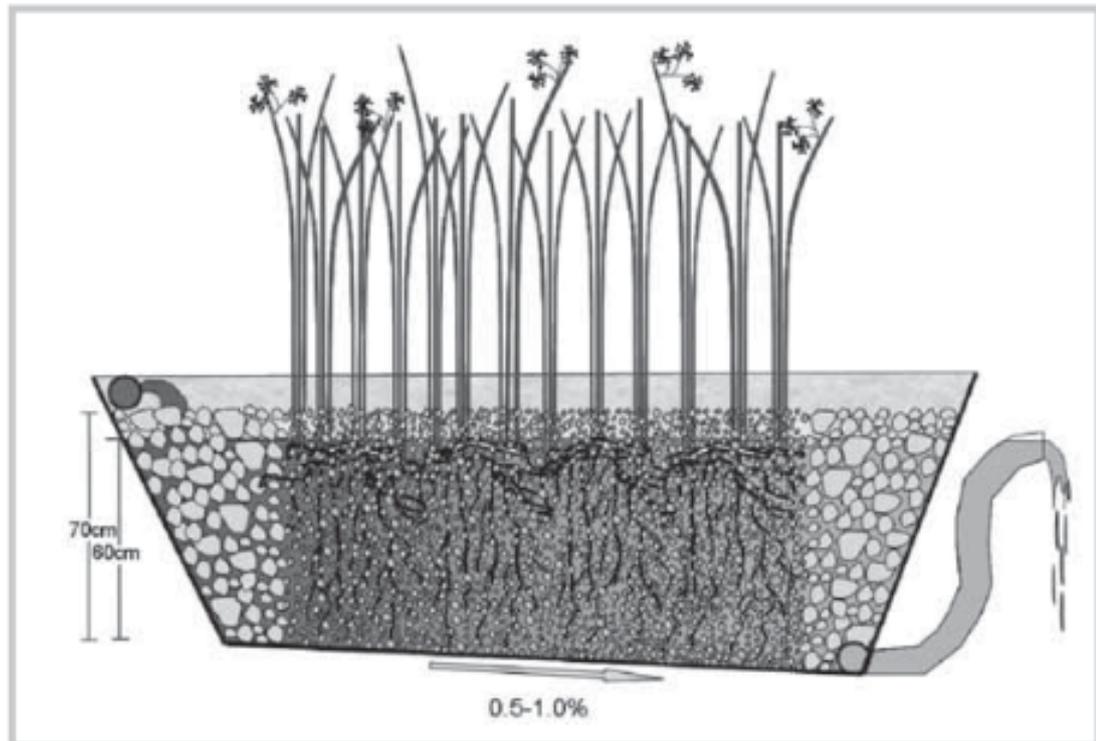


Figura 6. Humedal subsuperficial de flujo horizontal (vista corte sección).
 Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm.

La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, en entre 3 mm a 32 mm.

Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de

salida en función a este requerimiento. . Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

HUMEDALES SUBSUPERFICIALES DE FLUJO VERTICAL

Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por

periodos de instauración, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios (Kolb, 1998).

También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua (figura 7). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

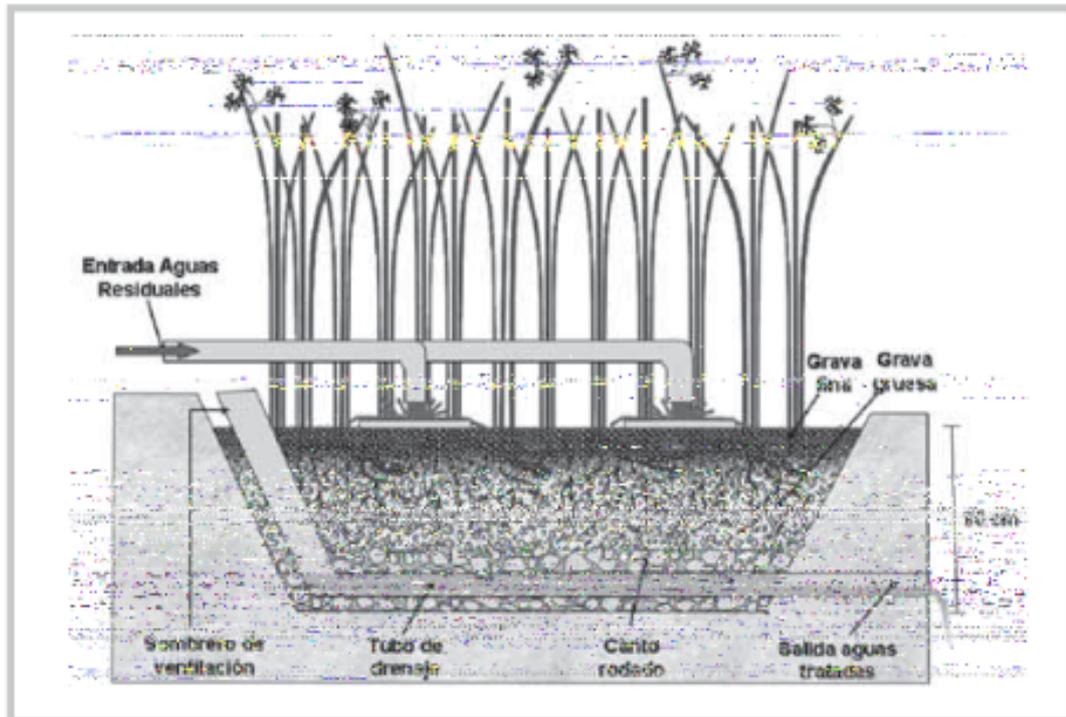


Figura 7. Humedal superficial de flujo vertical (vista corte sección)
 Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La aplicación de agua se efectúa de forma intermitente, para preservar y estimular al máximo las condiciones aerobias. La vegetación emergente se planta también en este medio granular.

Adicionalmente, para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas, que son tuberías cribadas con salidas al exterior. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo. . Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

2.2.9 PARTES DE LOS HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial están constituidos básicamente por cuatro elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal, en este caso (Mara en Rolim, 2000).

Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación (Mendonça en Rolim, 2000).

Los contaminantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales se presentan en la Tabla 1. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Tabla 1 Contaminantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales.

Contaminantes	Importancia
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son lanzados al ambiente acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de las fuentes de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas, pueden contaminar también el agua subterránea.
Compuestos tóxicos	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de esos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados mediante actividades humanas. Tienen una alta persistencia en el ambiente, lo que incrementa su posibilidad de acumulación y toxicidad.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos, como calcio, sodio y sulfato, deben ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual. por ser potenciales degradadores del suelo

Fuente: Metcalf y Eddy en Rolim, 2000.

De acuerdo a Lara (1999), la hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario decisivo en su éxito o fracaso, por los siguientes motivos. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación del suelo y transpiración de las plantas). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de raíces y rizomas y bloqueando la exposición al viento y al sol. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

SUSTRATO (MEDIO GRANULAR)

En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico.

La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal. (Lara, 1999).

- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal. (Lara, 1999).

- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato. (Lara, 1999).

- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes. (Lara, 1999).

- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal (Lara, 1999).

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Arias, 2004).

Por el contrario, si el lecho granular está formado por gravas y arenas, disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la

conductividad hidráulica. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

VEGETACIÓN

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Arias, 2004).

De acuerdo a Lara (1999), las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo. Lara (1999).
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen. Lara (1999).

- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta. Lara (1999).

- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos. Lara (1999).

- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxígeno en otros espacios dentro del sustrato. Lara (1999).

- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos. Lara (1999).

En la Tabla 2 se resumen las características de las tres especies más utilizadas en los humedales artificiales.

Para la planta piloto ubicada en el laboratorio de bloques de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, vamos a utilizar 10 juncos de río, que se los obtuvo a orillas del río Guayas.

Tabla 2 Características de las especies vegetales mas utilizadas en un humedales artificiales.

Nombre Científico	Familia	Nombre (s) común (es)	Características sobresalientes	Distancia de siembra	Penetración de raíces en grava	Temperatura C		Salinidad ppt	pH
						Deseable	Germinación de semillas		
<i>Thypha spp</i> 	Tifácea	Espadaña, Enea, Anea, Junco, Bayón, Bayunco, Bohordo, Henea, Junco de la pasión, Maza de agua	Ubicua en distribución Capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales Se propaga fácilmente Capaz de producir una biomasa anual grande Tiene potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha.	60 cm	Relativamente pequeña (30 cm) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	10-30	12-24	30	4 – 10
<i>Scirpus spp</i> 	Ciperácea	Totora	Perennes Crecen en grupo Plantas ubicuas Crecen en aguas costeras, interiores salobres y humedales Crecen bien en agua desde 5 cm hasta 3 m de profundidad	30 cm	60 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	18 -27		20	4 – 9
<i>Phragmites spp australis más común</i> 	Gramínea	Carrizo	Anuales Altos Rizoma perenne extenso Plantas acuáticas usadas más extensas Pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus rizomas penetran verticalmente y más profundamente. Son muy usadas en humedales porque ofrecen un bajo valor alimenticio	60 cm	40 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	12-23	10-30	45	2 – 8

Fuente: Extractado de Lara, 1999.

MICROORGANISMOS

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004).

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de

transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera (Lara, 1999).

2.2.10 VENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES SUBSUPERFICIALES

Para conocer las ventajas y las desventajas que tienen los diferentes tipos de humedales artificiales, se presentan a continuación dos cuadros comparativos. El primero compara humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial (Tabla 3), y el segundo compara humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal (Tabla 4).

En términos de costos, los humedales artificiales superficiales requieren menor inversión en relación a los de flujo subsuperficial ya que en los primeros no se incurren en los gastos mayores: la impermeabilización y la provisión y colocación del sustrato de grava. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Tabla 3 Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.

	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera).	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ej. Tanques IMHOFF, pozos sépticos).
Operación	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga orgánica.
Olor	Puede ser controlado	No existe
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante
Área	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
Costo	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio hasta un 30%
Valor ecosistema	Mayor valor como ecosistemas para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna.
Usos generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes.
Operación	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua)	Puede usarse como tratamiento secundario.

Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Cabe destacar que los sistemas de flujo horizontal tienen mayor riesgo de colapsar en términos de circulación del agua (taponamiento del sustrato), por tanto requieren que el agua a tratarse tenga menor material en suspensión. En cuanto a la operación, en términos generales, ambos tipos requieren baja intensidad, pero continua, aunque no debe confundirse requerimientos mínimos con ningún requerimiento. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Tabla 4 Comparación entre humedales artificiales de flujo superficial horizontal y vertical.

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado oxidación	Más reducido	Más oxidado
Eficiencia	Más superficie	Menos superficie
Carga superficial	4-6 g DBO5/m2·d	20-40 g DBO5/m2·d
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Más compleja

Fuente: Folch, s.f.

2.2.11 PARÁMETROS PRINCIPALES DE CONTROL EN AGUAS GRISES DOMÉSTICAS

COLIFORMES FECALES

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador de contaminación o, en otras palabras, como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedades.

El hombre arroja diariamente, en sus excrementos, entre 10^9 y 4×10^{11} coliformes; por tanto, su presencia puede detectarse con facilidad y utilizarse como norma de control sanitario. Las bacterias coliformes son bacilos gram-negativos, aerobios y facultativos anaerobios, no formadores de esporas, que fermentan la lactosa con producción de gas en 48 ± 3 h a 25 o 37°C. El grupo coliformes totales, grupo coli-aerogenes, incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. En general, se considera el género *Escherichia*, especie *E. Coli*, como la población de bacterias coliformes mas

representativa de contaminación fecal. El género *Aerobacter* y algunas *Escherichia* pueden crecer en el suelo, lo cual implica que la presencia de coliformes no necesariamente representa la existencia de contaminación fecal humana.

El ensayo de coliformes fecales (CF) se estableció con base en la capacitación de las bacterias coliformes fecales, *E. Coli*, de producir gas, en medio EC, al ser incubadas a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 2 horas. También se usa la capacidad de las bacterias coliformes fecales para producir gas en medio a-1 a ser incubadas por tres horas a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y por $21 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. (Romero Rojas, 2004).

Los coliformes son grupos de bacterias que incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. Por constituir un grupo muy numeroso, 2×10^{11} organismos por persona por día, en los excrementos humanos, se usan como indicadores de contaminación, por organismos patógenos, en el agua. El hecho de que los *Aerobacter* y ciertos *Escherichia* pueden crecer en el suelo, no permite afirmar siempre que la presencia de coliformes cause la contaminación fecal. Sin embargo, en aguas de consumo humano la presencia de coliformes se usa como un indicador de contaminación, puesto que el agua debe tener contacto con el suelo. En aguas residuales se usa el ensayo de coliformes fecales, bacterias que producen gas en medio EC a $44,5^{\circ}\text{C}$, en 24 ± 2 horas, como indicador de contaminación, los cuales constituyen los mejores indicadores de la presencia posible de patógenos.

Dentro del grupo coliforme se considera a la *Escherichia coli* de origen fecal exclusivamente, y por ello es el organismo indicador preferido de contaminación fecal. En la práctica todos los coliformes –se supone– no crecen fuera del huésped, lo cual

cumple generalmente en climas templados; sin embargo, existe evidencia de que se multiplican en aguas de clima cálido, lo cual debería investigarse para establecer normas bacteriológicas de descarga de agua residuales. Con base en el ensayo de coliformes, un agua puede clasificarse como se indica en la tabla. (Romero Rojas, 2004).

Tabla 5. Calidad de agua según NMP de Coliformes

Clase	NMP / 100 mL
1. Agua apta para purificación con solo desinfección.	<50
2. Agua apta para purificación con tratamiento convencional.	50 – 5.000
3. Agua contaminada que requiere tratamiento especial.	5.000 – 50.000
4. Agua contaminada que requiere tratamiento muy especial.	>50.000

Fuente: Romero Rojas, 2004.

Coliformes

Los coliformes son bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. Cada persona evacúa alrededor de 100.000 a 400.000 millones de coliformes por gramo de heces (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Durante varios años y en la actualidad, se considera a los coliformes fecales como organismos indicadores de bacterias patógenas. Aunque nuevos estudios están demostrando que los coliformes no reflejan la presencia de bacterias patógenas, por lo que se sugiere buscar otros organismos que sean mejores indicadores de la presencia

de estos patógenos. Entre los organismos alternativos sugeridos están los estreptococos fecales, enterococos, colifagos y hongos.

Mendonça (2000) clasifica a los coliformes en dos grupos:

- Coliformes totales, que son bacterias aerobias y anaerobias facultativas no esporulados. La capacidad de reproducción de estos bacilos, fuera de los intestinos de los animales homeotérmicos (de sangre caliente), es favorecida por las condiciones adecuadas de temperatura, materia orgánica, pH, y humedad. También se pueden reproducir en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable.

- Coliformes fecales. Constituyen un subgrupo de los coliformes totales, son de tipo bastoncitos de 0.0002-0.0003 mm por 0.002 a 0.003 mm, son aerobios/anaerobios facultativos no esporulados. Se diferencian de los coliformes totales por ser tolerantes a temperaturas elevadas (creciendo a 44,5 oC), lo que les permite estar mejor adaptados a la vida al interior del animal.

Del total de coliformes fecales presentes en las heces humanas, entre el 90% y el 100% corresponden a *Escherichia Coli* (*E. coli*), y que un gramo de excremento humano contiene entre cinco mil millones y cincuenta mil millones de coliformes fecales; es decir que más del 40% del peso húmedo de los excrementos humanos son células bacterianas (San Vicente, 2003).

En la figura 8 se observan distintos coliformes, según la clasificación mencionada.

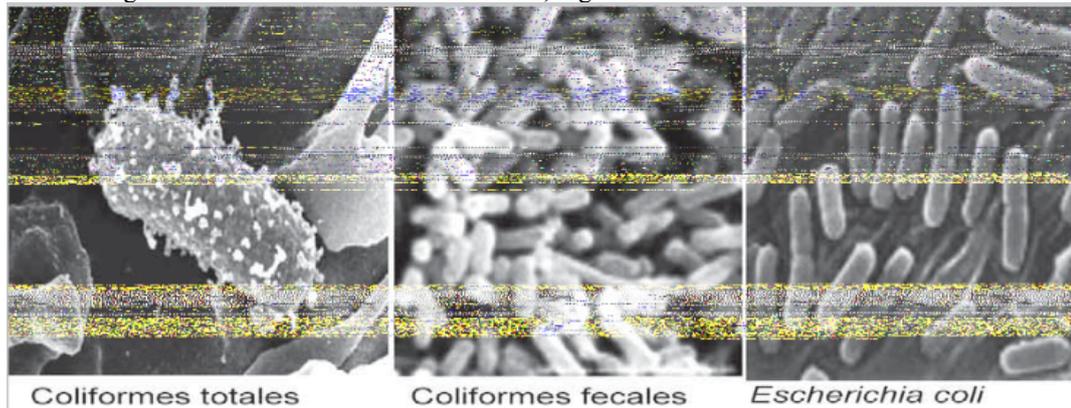


Figura 8. Distintos grupos de coliformes.

Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Existen cuatro métodos para el conteo e identificación de bacterias:

- Conteo directo
- Cultivo en placa
- Método de la Membrana Filtrante, que cuantifica los coliformes como: Unidades Formadoras de Colonia (UCF) por cada 100 ml.
- Fermentación en tubos múltiples

El conteo directo se realiza mediante microscopio y con ayuda de una cámara de conteo Petroff – Hauser. Las celdas de conteo están diseñadas para que cada cuadrado de la cámara corresponda a un volumen específico, ya que la profundidad es conocida. El ensayo reporta el resultado como conteo total; la desventaja es que incluye a las bacterias vivas como a las muertas (Crites y Tchobanoglous, 2000).

La figura 9 muestra en forma resumida el procedimiento para el conteo directo de bacterias.

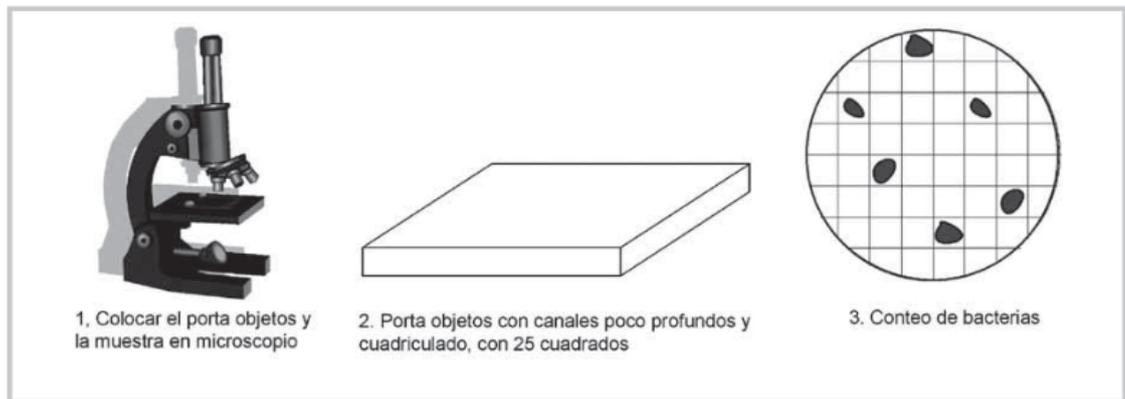


Figura 9. Determinación del número de bacterias por el método conteo directo.
Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Cultivo en placa. El vertido en placa y el esparcido en placa son métodos que incluyen siembra, identificación y conteo de bacterias. En el método de vertido en placa, la muestra de agua residual a ser analizada se somete a diluciones sucesivas y una pequeña muestra de cada dilución se coloca en una caja para la siembra de bacterias. Las colonias que aparecen después de la incubación son contadas, asumiendo que cada colonia se formó de una sola bacteria; el número total de bacterias se establece de acuerdo con la dilución (Crites y Tchobanoglous, 2000). El resultado se expresa como Número Más Probable por 100 ml (NMP/100 ml).

La figura 10 muestra en forma resumida el procedimiento para la cuantificación de bacterias por el método de cultivo en placa Petri.

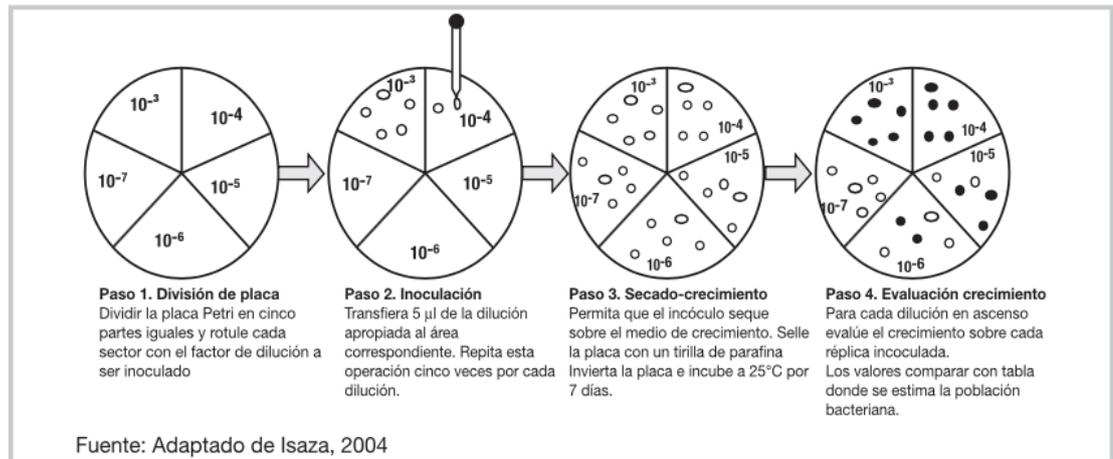


Figura 10. Técnica de cultivo en placa Petri.
Fuente: Adaptado de Isaza, (2004)

La técnica de la membrana filtrante (MF) es descrita por de Castro y Curtis (2002) de la siguiente manera. Un volumen conocido de muestra se pasa a través de un filtro de placa de membrana que tiene poros de 0,45 micras (0.00045 mm). Las bacterias son retenidas en el filtro, que luego se pone en contacto con agar, el cual contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento de las bacterias. Después de la incubación, las bacterias se cuentan y se calcula la concentración de las mismas en la muestra original de agua. El resultado se expresa en Unidades Formadoras de Colonia por litro ó 100 ml de agua (UCF/100 ml).

Esquemáticamente el método se observa en la figura 11.



Figura 11. Técnica de la membrada filtrante para la determinación de bacterias.
Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

La fermentación en tubos múltiples se basa en el principio de dilución hasta la extinción (Crites y Tchobanoglous, 2000). Las concentraciones determinadas por éste método suelen expresarse como Número Más Probable por 100 ml (NMP/100 ml).

Éste es un método probabilístico cuyo objetivo es diluir el organismo en diferentes soluciones; el proceso se realiza en tres fases: presunción, confirmación y terminación de la prueba (García, 2004).

El Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de Bolivia considera como bacterias de contaminación hídrica a los coliformes fecales (en el Reglamento se los denomina califcales) y tiene los siguientes parámetros máximos admisibles:

Tabla 6 Límites máximos para la descarga de coliformes en aguas residuales.

Unidad	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Diaria
NMP/100 ml	<50 y <5	<1000 y <200	<5000 y <1000	<50000 y <5000	1000

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Planificación, 1999.

2.2.12 MECANISMO DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES ARTIFICIALES

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Evidentemente, un amplio rango de procesos biológicos, químicos y físicos tiene lugar. Por lo tanto, la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

En el siguiente cuadro, se muestran los principales procesos y mecanismos que ocurren en los humedales construidos.

Tabla 7 Mecanismo de remoción en los sistemas de tratamiento basados en micrófitos.

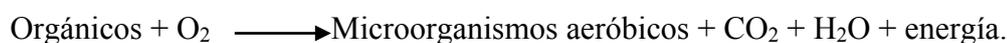
Parámetro evaluado	Mecanismos de remoción
Sólidos suspendidos	- Sedimentación/filtración
DBO	- Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica). - Sedimentación (Acumulación de material orgánica/lodo en la superficie del sedimento)
Nitrógeno Amoniacal	- Amonificación seguida por nitrificación y desnitrificación amoniacal - Captado por la planta
Patógenos	- Sedimentación/filtración - Declinación - Radiación ultravioleta - Excreción de antibióticos por las raíces de las macrófitas

Fuente: Brix, 1993; citado por Kolb, 1998

A continuación se explican los mecanismos de remoción de contaminantes que ocurren en los humedales construidos, cuyo contenido está basado principalmente en el texto de Kolb (1998).

REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Aunque la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción. En efecto, las raíces de las mácrófitas y el sustrato reducen la velocidad del agua, favoreciendo ambos procesos. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal. Kolb (1998).



La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos (Brix en Kolb, 1998).

Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, en cambio, los autótrofos no utilizan materia orgánica sino dióxido de carbono como fuente de carbono (Gray en Kolb, 1998).

Ambos grupos usan luz o una reacción química de oxidación - reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos, respectivamente (Cooper, 1996). Dos clases diferentes de biodegradación microbial, la aeróbica o la anaeróbica, tienen lugar en los humedales construidos, dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

En la degradación aeróbica, dos grupos de microorganismos participan en este proceso de degradación: aeróbicos quimioheterótrofos, oxidando compuestos orgánicos y liberando amonio; y aeróbicos quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato. El último proceso es llamado nitrificación. Sin embargo, debido a la tasa de metabolismo más alta, los heterótrofos son principalmente responsables para la remoción del material orgánico; por lo tanto, la presencia de oxígeno disuelto es un factor limitante. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

La degradación anaeróbica puede ser resumida como sigue:

Orgánicos \rightarrow alcohol, ácidos + nuevas células \rightarrow CH₄, H₂S, NH₃, H₂ nuevas células.

Éste es un proceso de cuatro pasos, realizado por heterótrofos anaeróbicos. Es menos eficiente comparado a la degradación aeróbica, pero predominará si el oxígeno no está disponible (Cooper, 1996).

REMOCIÓN DE NITRÓGENO

Al momento que ingresa agua residual al humedal construido, la mayor parte del nitrógeno está presente como amonio o en forma de un compuesto inestable, que es fácilmente transformado a amonio. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la denitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la amonificación, seguido por la nitrificación y denitrificación. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

La amonificación ocurre en las zonas aeróbicas, como también en zonas anaeróbicas, por la mineralización del nitrógeno contenido en los orgánicos (figura 9). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

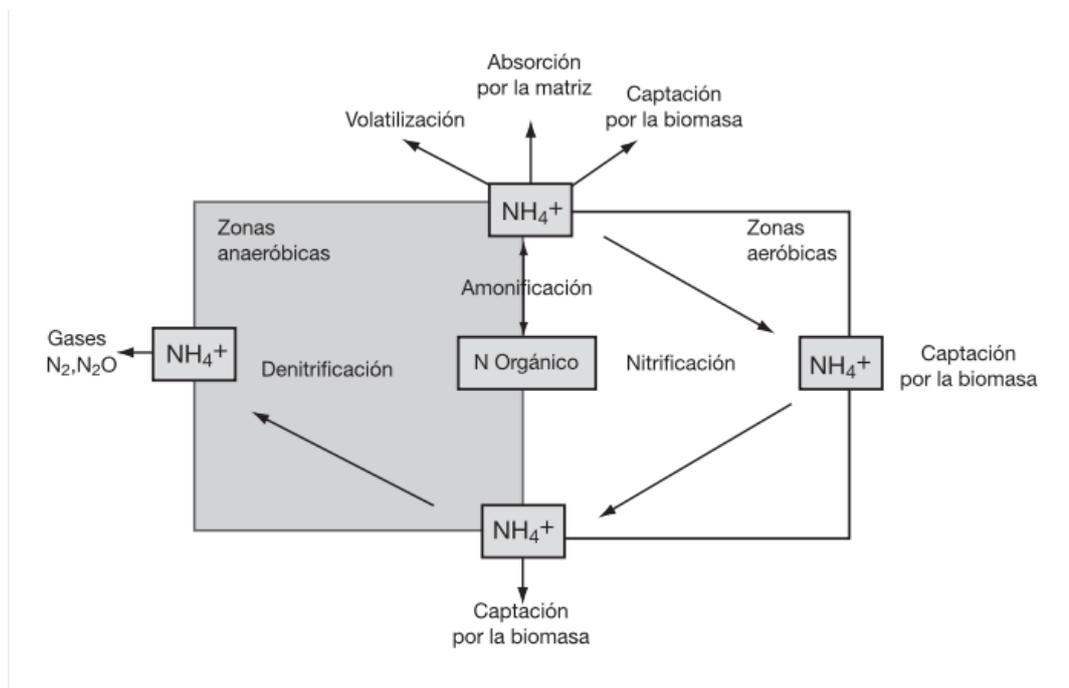


Figura 12. Diagrama del metabolismo del nitrógeno (Cooper et al., 1996).

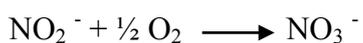
La nitrificación requiere la presencia de oxígeno disuelto (condiciones aeróbicas), amonio o nitrito como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono. La oxidación en sí ocurre en dos estadios, cada uno involucra diferentes especies de bacterias nitrificantes quimioautótrofas. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

El primer paso es la oxidación de iones amonio a nitrito (nitrosificación).



En este paso, la liberación de iones de hidrógeno baja el pH, por lo que es necesario un medio fuertemente alcalino para mantener un pH en el rango de 7.5 a 8.6 (Cooper, 1996).

El género bacterial que es considerado para catalizar esta reacción es Nitrosomas, en cambio el género Nitrobacter es responsable para la transformación de nitrito a nitrato.



Toda la reacción necesita un alto ingreso de oxígeno: alrededor de 4.5 kg por cada kg de amonio-nitrógeno (NH_4^{+-}N) oxidado. Las bacterias son sensibles a un amplio rango de inhibidores; así, altas concentraciones de nitrógeno amoniacal son inhibidores. También concentraciones de oxígeno disuelto por más de 1 mg O_2/l son requeridos y temperaturas por debajo de 100 °C reducen el desempeño significativamente.

La denitrificación es el paso final en la remoción de nitrógeno. Ocurre bajo condiciones anóxicas, esto significa, que no hay oxígeno disuelto presente (o con una concentración < a 2% de saturación) pero donde el oxígeno está disponible en fuentes tales como el nitrato, nitrito o incluso sulfato. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Un amplio rango de bacterias anaeróbicas facultativas, siendo las más comunes *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp. y *Aerobacter* sp., realizan el proceso. Toda la reacción que incluye como primer paso la conversión de nitrato a nitrito, seguida por la producción de óxido nítrico y gas nitrógeno, puede ser resumida como sigue:



Los tres productos son gaseosos, pero mayormente el gas nitrógeno es perdido en la atmósfera debido a que los primeros dos productos son pasajeros en la mayoría de los casos. Similar al proceso de nitrificación, la denitrificación es también fuertemente dependiente de la temperatura y es necesario suficiente carbono como fuente de energía para que la bacteria realice la conversión. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

REMOCIÓN DE FÓSFORO

El fósforo está presente en la alcantarilla en tres distintas formas: como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El último es un constituyente menor de la alcantarilla y como los polifosfatos, requieren una posterior descomposición a una forma de ortofosfato más asimilable. Cerca del 25% del fósforo total fijado en la alcantarilla

está presente como ortofosfatos tales como: P_043 , HP_042 - H_2PO_4 H_3PO_4 , que están disponibles para el metabolismo biológico inmediato. Por lo tanto, en términos de utilización, en la planta de tratamiento lo que importa es la concentración de fosfato orgánico antes que la concentración de fósforo total (Gray, 1989).

La remoción de ortofosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con Al, Fe, Ca y materiales arcillosos en la matriz del sustrato. El consumo de fósforo por la planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción, valores de alrededor del 3% de la carga anual han sido reportados (Boerner en Kolb, 1998). Dependiendo del valor de pH dentro del sustrato, el fósforo está presente en la forma de sal soluble o minerales insolubles, lo cual significa que el fósforo puede ser transferido dentro de un humedal construido. Debido al contenido de óxidos metálicos en el sustrato, la fijación de fósforo como fosfatos por medio de la adsorción varía (Wissing en Kolb, 1998).

REMOCIÓN DE METALES PESADOS

Los metales traza tienen una alta afinidad para la adsorción y complejización con material orgánico y se acumulan en la matriz de un humedal construido. Los metales pueden encontrarse en formas solubles o como partículas asociadas, siendo las primeras las formas más biodisponibles. (Cooper, 1996).

Los procesos físico químicos tales como la adsorción, precipitación, complejación, sedimentación, erosión y difusión, determinan la distribución entre las partículas y las

fases disueltas. Los parámetros específicos que controlan la sedimentación en el agua incluyen la relación de flujo/sólidos suspendidos, condiciones óxicas/anóxicas, fuerza iónica, pH, contenidos de carbono orgánico particulados y disueltos, concentraciones de ligantes inorgánicos y orgánicos y movilización de metales mediante reacciones bioquímicas. Desafortunadamente, la resolubilización de metales desde los humedales construidos es una causa de preocupación (Cooper, 1996).

La adsorción involucra la unión de las partículas (o sustancias disueltas en solución), en partes de la planta o a la superficie de la matriz. En una reacción de intercambio catiónico, los iones metálicos positivamente cargados en solución se unen a los sitios negativamente cargados en la superficie del material adsorbente. (Cooper, 1996).

La fuerza atractiva para el intercambio catiónico es electrostática y la medida de esta fuerza depende de un amplio rango de factores. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un material es una medida del número de puntos de unión por masa o volumen.

En cuanto a los procesos microbianos mediados, es necesario tener en cuenta que en un humedal construido se pueden distinguir dos zonas: la zona aeróbica, que contiene una alta proporción de material orgánico y la zona anaeróbica, dominada por materia inorgánica. Entre estas dos principales zonas también existen zonas anóxicas. La presencia de bacterias que oxidan metales en las zonas aeróbicas y bacterias que reducen sulfatos en las zonas aeróbicas, que causaran la precipitación de óxidos de metal y sulfatos respectivamente, ha sido establecida por Cooper (1996).

REMOCIÓN DE BACTERIAS

Los organismos importantes, desde el punto de vista de la salud pública son las bacterias patógenas y los virus. Todos los patógenos son capaces de sobrevivir al menos un corto tiempo en agua natural, y más aún, en agua con temperaturas más frías y con presencia de polución orgánica (como en las aguas residuales). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

La remoción de estos microorganismos está basada en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. Los factores físicos incluyen la filtración, sedimentación, agregación y acción de la radiación ultravioleta. Los mecanismos biológicos incluyen, como se mencionó antes, predación y ataque por bacteriófagos y también la muerte (declinación die-off). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas (aunque la cantidad de estos antibióticos causa dudas respecto a su efectividad para afectar a los patógenos). Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Vymazal et al. (en Kolb 1998) reportaron remoción de bacterias (coliformes fecales) y entero bacterias en varios humedales en la República Checa, siendo la eficiencia de remoción entre 98% a 99% para estos indicadores bacterianos. En los

casos en que se registraron las tasas más bajas, fue debido a tiempos de retención menores.

2.2.12 FORMULAS DE DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón.

Para llegar a poder intentar acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico y los métodos constructivos apropiados.

El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias creadas por la vegetación, capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en los humedales.

La energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal, para dar esta energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable.

Para el diseño de humedales se deben considerar los siguientes criterios:

1. Se consideran reactores biológicos.
2. Se considera que el flujo a través del medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme.
3. La ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso.

Existen dos tipos de humedales de flujo subsuperficial:

- Humedal subsuperficial de flujo horizontal.
- Humedal subsuperficial de flujo vertical.

Humedales sub superficiales de flujo Horizontal

Para el diseño de este tipo de humedales los pasos a seguirse son:

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente.
- Sustrato.
- Relación largo – ancho

Cálculo del área superficial

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de la DBO5.

El área superficial se calcula a través de la ecuación 1:

Ecuación 1: Determinación del área superficial

$$AS = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T \cdot h \cdot \eta}$$

Donde:

Q= caudal de diseño del humedal (m³/día)

C= concentración efluente (mg/l)

C₀= concentración afluente (mg/l)

K_T= Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d⁻¹) h= profundidad del humedal (m)

η= porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la Ecuación 2:

Ecuación 2: Constante de reacción de primer orden

$$K_T = 1,104 \cdot 1,06^{T_2 - 20}$$

Donde:

T₂= temperatura del agua (°C)

La profundidad del humedal generalmente varia de 0,3 a 1 m (valor usual 0,6m), con una pendiente de 0,1 a 1%, siendo el valor usual de 0,5%.

Sustrato

Es el medio donde crecen las plantas, los microorganismos y se realizan los principales procesos de depuración.

Para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro que parece ser la que funciona mejor.

Si se utiliza grava con diámetros muy grandes de sustrato, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultando en un flujo turbulento y que no se cumpla la ley de Darcy para el diseño.

Caso contrario ocurre con grava de tamaño demasiado pequeño, esta reduce la velocidad del paso de agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos preferenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar una mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción.

En algunos casos se utiliza ciertos tipos de suelo (arcillas) para adsorber metales pesados, fosfatos, etcétera. El inconveniente es la gran reducción de la velocidad de paso del agua.

Antes del inicio del diseño se recomienda realizar pruebas de conductividad y porosidad del sustrato (grava), esto para definir exactamente el tipo de material a emplearse. Asimismo, se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 1/3

o bien por 0.1 (10%) para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos, raíces y otros.

Con relación a la uniformidad del material este debe tener un coeficiente de uniformidad entre 1 y 6.

En la Tabla 8 se muestra las características principales de los substratos usados en los humedales.

Tabla 8. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales.

Tipo de material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Conductividad hidráulica, ks (m3/m2/d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100-1.000	28-32
Arena gravosa	8	500-5.000	30-35
Grava fina	16	1.000-10.000	35-38
Grava media	32	10.000-50.000	36-40
Roca gruesa	128	50.000-250.000	38-45

Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

Relación Largo – Ancho

Para calcular el ancho del humedal consideramos la ley de Darcy (ecuación 3), para flujo en medio poroso.

Ecuación 3: Principio de Darcy para flujo en medios porosos

$$A_c = \frac{Q}{(k_s * S)}$$

Donde:

A_c = área vertical en m^2

Q = caudal medio en m^3/s

K_s = Conductividad hidráulica (m/s) S = pendiente (m/m)

El ancho del humedal (m) se determina en función al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar (ver ecuación 4)

Ecuación 4: Cálculo del ancho del humedal

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

El largo del humedal se determina en función al ancho y al área superficial como se muestra en la ecuación 5:

Ecuación 5: Cálculo del largo humedal

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

Donde:

A_s = Área superficial del humedal (m²) W = ancho del humedal (m)

Posteriormente calculamos la relación largo-ancho (L/A). Mientras mayor es la relación largo-ancho se tiene mejor depuración de las aguas, pero se tiene problemas de cortocircuitos, flujos preferenciales, presencia de agua sobre el lecho de grava y otros.

Por ello se recomienda relación largo – ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1

En el Tabla 9 se muestra un resumen de los principales parámetros de diseño de los humedales sub superficiales de flujo horizontal.

Tabla 9. Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo horizontal

Parámetros	Unidad	Intervalo	Valor usual
Tiempo de retención hidráulico	Días	4-15	7
Profundidad agua	M	0,1-0,8	0.6
Área	m ² /heq	2,5-5	
Carga orgánica	gDBO ₅ /m ² .dia	3-7,5	<11
Carga orgánica	kg DBO ₅ /heq.di	<70	
Carga hidráulica	m ³ /m ² .dia	0,1-0,2	
Características constructivas			
Grava ingreso salida	mm	50-100	50
Grava media	mm	3-6	19
		5-10	
		6-12	
Coefficiente uniformidad		3-5	<5
Profundidad medio	m	0.70-1.5	0.7
Pendiente	%	0-1	0.5
Relación largo - ancho		2:1 – 7:1	3:1
Drenaje			
Tubería perforada- tamaño	pulgada	3-4	4
Distribución de agua			
Tubería perforada - canal	pulgada	2-4	3

Fuente: Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010).

2.3 MARCO METODOLÓGICO

Como parte inicial del Trabajo, se buscará la información de la literatura técnica que existe acerca del tema propuesto, luego se empezará a obtener el agua residual gris característico en una vivienda de estrato medio, para finalmente probar la mejor configuración posible en términos de alturas de medio filtrante, caudal de ingreso y de configuración de tubería de ingreso en la Planta Piloto existente para obtener los mejores porcentajes de remoción de coliformes fecales.

2.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es un estudio **cuantitativo**, porque se midieron las variables antes y después del tratamiento.

Experimental, porque se evalúa los parámetros coliformes fecales en las aguas residuales domésticas grises.

De **campo**, porque la toma de muestra del agua residual doméstica gris es en una vivienda unifamiliar.

Longitudinal, porque una vez habilitada la planta piloto los estudiantes de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte (Carrera de Ingeniería Civil) podrán seguir evaluando los parámetros del humedales construidos dos veces al año. (Una vez cada semestre).

Aplicada, porque se pone en practica todos los conocimientos adquiridos

2.3.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Es probar que los humedales artificiales es un sistema de bajo costo y efectivo, el cual utiliza la interacción de plantas y microorganismos que se adhieren a las raíces, en la remoción de los contaminantes.

2.3.3 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Las técnicas que se van a utilizar para la investigación son las siguientes:

La búsqueda del material: Las principales fuentes del trabajo científico son los libros, las obras de consulta, las enciclopedias y los diccionarios, los índices y los resúmenes, las publicaciones periódicas y los bancos de información.

La lectura: Es un importante instrumento en la investigación durante la fase de recopilación de información, la lectura se convierte en un instrumento necesario que permite obtener información relacionada con el tema. Por lo que el interés intelectual nos obliga a mantener un tipo de atención especial sobre lo que se está leyendo, ya que se analiza objetivamente el material con el propósito de seleccionar lo que realmente es de utilidad.

2.3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

El proyecto de investigación se va a realizar tomando una muestra de agua residual gris generada en una vivienda donde habitan dos personas.

2.4 MARCO LEGAL

2.4.1. Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

2.4.1.1. Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado proveniente 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 9.

2.4.1.2. Las descargas líquidas de sistemas de potabilización de aguas no deberán disponer en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación. En implementación de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental competente que corresponda.

2.4.1.3. 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.

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

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

2.4.1.5. 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 efluente, 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.

2.4.1.6. Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la TABLA 10, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 10. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado	Unidad	Límite
Aceites y Explosivos o Alkil mercurio	Solubles en Sustancias	mg/l	70,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos	Expresado	mg/l	0,2
Compuestos	Organoclorad	mg/l	0,05
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fosforo total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso	Mn	mg/l	10,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno	N	mg/l	60,0
Organofosfora	Especies	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólido		mg/l	20,0
Sólidos		mg/l	220,0
Sólidos totales		mg/l	1600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias	mg/l	2,0
Tetradoruro de	Tetracloruro	mg/l	1,0
Tricloetileno	Tetraclorilen	mg/l	1,0

Fuente: (Ambiente, 2015, pág. 97)

2.4.2. Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

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.

2.4.2.1. 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

$$Q_e \cdot C_e = (Q_e + Q_r) C_c - Q_r C_r$$

En donde:
unidades:

C_e = 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_c = concentración media diaria igual al criterio de calidad para el uso asignado en el tramo aguas abajo de la descarga.

C_r = 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_e .

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

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.

2.4.2.4. 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.

2.4.2.5. 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.

2.4.2.6. 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 11 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.

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

Tabla 11. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado	Unidad	Límite máximo
Aceites y	Sust. Solubles	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes	NMP	NMP/100 ml	10000
Color real	Color real	Unidades de	Inapreciable en
Compuestos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda	DBQ ₅	mg/l	100
Demanda	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Manganeso	Mn	mg/l	2,0
Materia	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno	N	mg/l	30,0
Nitrógeno total	N	mg/l	50,0
Compuestos	Organoclorado	mg/l	0,05
Compuestos	Organofosfora	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición
Tensoactivos	Activas al azul	mg/l	0,5
Tetracloruro	Tetracloruro de	mg/IL	1,0

Fuente: (Ambiente, 2015, pág. 98)

2.4.2.8. 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.

2.4.2.9. 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.

2.4.2.10. 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.

2.4.2.11. 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.

2.4.3. Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua marina

2.4.3.1. Se prohíbe la descarga de aguas residuales domésticas e industriales a cuerpos de agua salobre y marina, sujetos a la influencia de flujo y reflujos de mareas. Todas las descargas a cuerpos de agua estuarinos, sin excepción, deberán ser interceptadas para tratamiento y descarga de conformidad con las disposiciones de

esta norma. Las Municipalidades deberán incluir en sus planes maestros o similares, las consideraciones para el control de la contaminación de este tipo de cuerpos receptores, por efecto de la escorrentía pluvial urbana.

2.4.3.2. Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina, se efectuarán teniendo en cuenta la capacidad de asimilación del medio receptor y de acuerdo al uso del recurso que se haya fijado para cada zona en particular.

2.4.3.2.1. Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina para zonas del litoral consideradas de interés turístico y donde se priorice la defensa de la calidad del agua para recreación con contacto primario, deberán ser dispuestas previo tratamiento, mediante emisarios submarinos y en estricto cumplimiento de los límites fijados en la columna B de la tabla 4 de la presente norma, cuyas concentraciones corresponden a valores medios diarios. Para la instalación de emisarios submarinos se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Se aplicará de forma obligatoria y como mínimo, un tratamiento primario antes de la cámara de carga del emisario submarino.
- b) Los diseños e instalaciones de los emisarios submarinos que propongan los regulados, serán sometidos a aprobación de la Autoridad Ambiental Nacional y deberán contar con el respectivo proceso de licenciamiento ambiental.
- c) Para los sujetos de control que actualmente descargan sus efluentes tratados en la línea de Playa y que por las consideraciones de la presente Norma, deban instalar emisarios submarinos, se concederá un plazo de 12 meses para presentar los respectivos proyectos e iniciar el proceso de licenciamiento

ambiental. Una vez aprobado el proyecto y obtenida la Licencia Ambiental se concederá un plazo de dos años para la instalación y puesta en marcha de los mismos. Para nuevos sujetos de control, los proyectos de diseño e instalación de emisarios submarinos deberán contemplarse como parte integral del proceso de obtención de la licencia ambiental con los plazos que la Autoridad Ambiental Nacional fije en el respectivo Plan de Manejo

2.4.3.2.2. Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina para sectores no considerados en el artículo 5.2.5.2.1, deberán cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la columna A de la tabla 12 de la presente Norma, cuyas concentraciones corresponden a valores medios diarios.

2.4.3.3. Se prohíbe la descarga en zonas de playa, de aguas de desecho de eviscerado y de todo desecho sólido proveniente de actividades de transformación de peces y mariscos, sean a nivel artesanal o industrial. Las vísceras, conchas y demás residuos sólidos deberán disponerse como tal y las aguas residuales deberán tratarse y disponerse según lo dispuesto en la presente Norma.

2.4.3.4. Se prohíbe la descarga de residuos líquidos no tratados, provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, hacia los sistemas de alcantarillado, o cuerpos receptores. Se observarán las disposiciones en las normas correspondientes.

2.4.3.5. Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y Manejo

para los residuos sólidos y líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte, registrados por la Dirección Nacional de los Espacios Acuáticos

Tabla 12. Límite de descarga a un cuerpo de agua marina

Parámetros	Expresado	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A)Descar	(B)
Aceites y	Sust.	mg/l	30,0	30,0
Arsénico	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Cianuro	CN	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto	Cu	mg/l	0,5	0,5
Coliformes	NMP	NMP/100	10000	10000
Color	Color	Unidades	Inapreciabl	Inapreciabl
Cromo	Cr+6	mg/l	0,5	0,5
Compuest	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda	DBO ₅	mg/l	200,0	400,0
Demanda	DQO	mg/l	400,0	600
Hidrocarb	TPH	mg/l	20,0	20,0
Materia	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno	N	mg/l	40,0	40,0
Potencial	pH		6-9	6-9
Solidos		mg/l	250,0	250,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuest	Organoclo	Ug/l	50,0	50,0
Compuest	Organofos	Ug/l	100,0	100,0
Carbonato	Especies	mg/l	0,25	0,25
Temperatu	°C		< 35	< 35
Tensoactiv	Activas al	mg/l	0,5	0,5

Fuente: (Ambiente, 2015, pág. 101).

CAPITULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL

3.1 DESCRIPCION DE PLANTA PILOTO REHABILITADA

3.1.1 Introducción

Se realizó la adecuación de la planta piloto, para trabajar en el estudio del comportamiento de los coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de agua residual gris, para esto se realizaron los siguientes pasos:

1. Limpieza integral de la planta piloto existente ubicado en el laboratorio de Bloques de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil



Figura 13. Material a retirar de la planta piloto existente.



Figura 14. Retiro de Lecho Filtrante.



Figura 15. Desechando Aguas Negras de la Planta Piloto existente.

2. Retiro de las Capas de Lecho Filtrante Existente.



Figura 16. Limpieza de salida de agua del humedal artificial, se encontraba tapado



Figura 17. Planta Piloto y tanque limpios.

3. Adquisición de material filtrante para planta piloto.



Figura 18. Sacos de piedra chispa y arena para humedal

4. Colocacion de medio filtrante en el humedal



Figura 19. Colocacion de piedra chispa 3/8''



Figura 20. Colocacion de piedra chispa 3/8''



Figura 21. Colocacion de malla en salida de agua del humedal



Figura 22. Nivelacion de piedra chispa 3/8'' a 5cm de altura



Figura 23. Vista superior de piedra chispa 3/8''



Figura 24. Colocacion de arena gruesa



Figura 25. Colocacion de arena gruesa



Figura 26. Colocacion de arena gruesa



Figura 27. Nivelacion de arena a 50cm de altura



Figura 28. Nivelacion de arena a 50cm de altura

5. Colocacion de tuberias



Figura 29. Colocacion de tuberias y tanque de agua



Figura 30. Colocacion de nudo



Figura 31. Punto de entrada de humedal



Figura 32. Elaboracion de rosca para tubería



Figura 33. Perforacion en tubería de entrada



Figura 34. Tuberia de entrada humedal

6. Obtencion de medio vegetal y colocacion en el humedal artificial



Figura 35. Junco de rio a orillas del rio Guayas



Figura 36. Junco de Rio en habitat natatal



Figura 37. Extraccion de junco de rio



Figura 38. Extracción de junco de río sin danar raíces



Figura 39. Limpieza de raíces de junco de río



Figura 40. Humectación de humedal para sembra junco de río



Figura 41. Humedal humectado



Figura 42. Sembrado de junco de río en el humedal artificial.



Figura 43. Sembrado de junco de río en el humedal artificial.



Figura 44. Sembrado de junco de río en el humedal artificial.



Figura 45. Sembrado de junco de río en el humedal artificial.

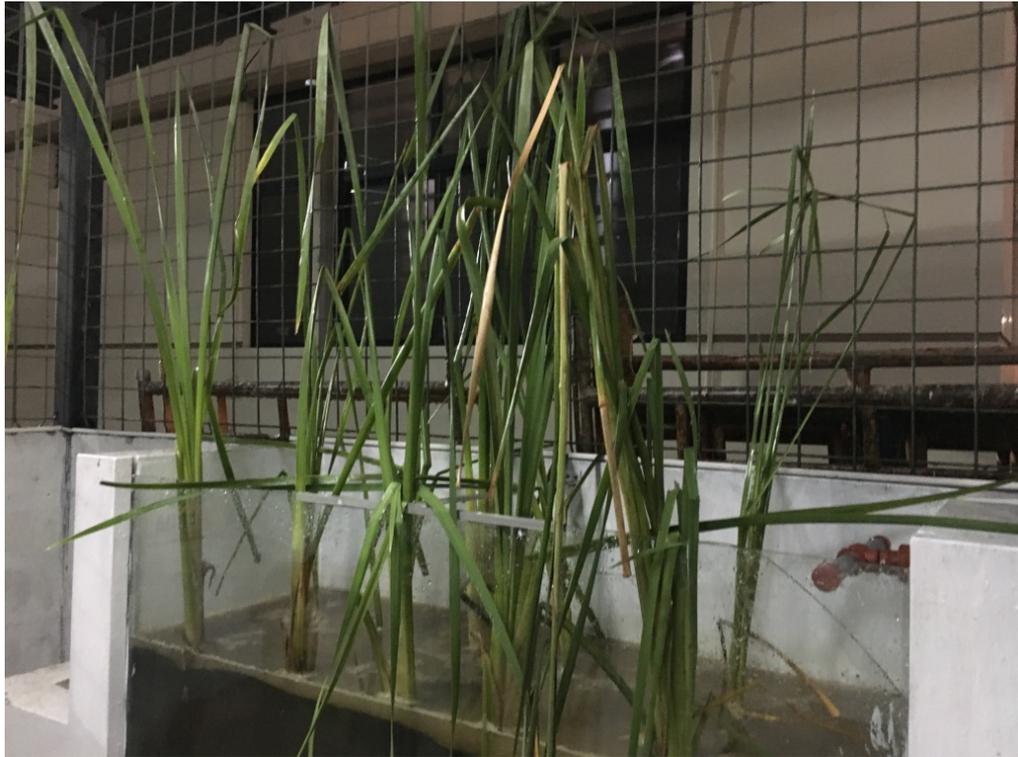


Figura 46. Humedal artificial con juncos de río

7. Obtecion y colocacion de agua residual gris.



Figura 47. Transporte de agua residual gris.



Figura 48. Agua proveniente de lavadoras de ropa.



Figura 49. Colocacion de agua residual gris



Figura 50. Colocacion de agua residual gris.



Figura 51. Colocacion de agua residual gris



Figura 52. Obtencion de agua de cocina.



Figura 53. Agua proveniente de cocina



Figura 54. Tanque lleno de agua residual gris

3.1.2 Metodología

Ensayo #1 dia 7 de marzo del 2018

1. Abrir llave de paso y obtener muestra de agua residual gris inicial



Figura 55. Obtención de muestra inicial



Figura 56. Obtención de muestra inicial

2. Colocar Flauta con perforaciones de 7/32''



Figura 57. Flauta de perforaciones de 7/32''

3. Abrir valvula de entrada hasta que baje 15 cm de altura de agua por un lapso tiempo de 1 min 52 segundos



Figura 58. Valvula de entrada



Figura 59. Valvula abierta.

4. Despues de 15 minutos se obtiene la muestra #1



Figura 60. Muestra #1 de 50cm de altura de lecho.



Figura 61. Muestra #1 de 50cm de altura de lecho

5. Se cambio la flauta por la que tiene perforaciones de $\frac{3}{4}$ mm, se espero un lapso de tiempo de 1 hora para abrir la valvula de entrada y humedecer el humedal, por una altura de agua de 15cm y un tiempo de 2 minutos 45 segundos.



Figura 62. Cambio de Flauta



Figura 63. Flauta de $\frac{3}{4}$ "



Figura 64. Valvula abierta Para toma de muestra #2



Figura 65. Altura de agua

6. Luego de 15 minutos se obtiene la muestra #2



Figura 66. Muestra #2



Figura 67. Muestra #1 y #2 de ensayo #1

Ensayo #2 dia 9 de marzo del 2018

1. Llenar lecho de arena a 60cm de altura



Figura 68. Humedal



Figura 69. Altura de lecho de humedal de 60cm



Figura 70. Altura de agua inicial de 32cm para ensayo#2

2. Desconectar nudo y abrir llave de paso y obtener muestra de agua residual gris inicial



Figura 71. Muestra inicial



Figura 72. Muestra inicial

3. Colocar Flauta con perforaciones de 7/32''



Figura 73. Flauta de perforaciones de 7/32''

4. Abrir valvula de entrada por hasta que baje 15 cm de altura de agua por un lapso tiempo de 2 min 53 segundos



Figura 74. Valvula abierta



Figura 75. Altura de agua 47cm de muestra #1

5. Después de 20 minutos abrimos la válvula de salida y obtenemos la muestra #1



Figura 76. Tiempo de espera de 20 minutos.



Figura 77. Válvula de salida abierta.



Figura 78. Obtención de muestra #1



Figura 79. Obtención de muestra #1



Figura 80. Muestra inicial y muestra #1

6. Se Procede al cambio de la flauta de $7/32''$ por la que tiene perforaciones de $3/4''$, se espero un laspso de tiempo de 1 hora para abrir la valvula de entrada y humedecer el humedal, por una altura de agua de 15cm y un tiempo de 3 minutos 31 segundos.



Figura 81. Cambio de Flauta.



Figura 82. Flauta con perforaciones de $\frac{3}{4}$ "



Figura 83. Valvula entrada abierta.



Figura 84. Altura final de agua 62cm

7. Después de 20 minutos abrimos la válvula de salida y obtenemos la muestra #2



Figura 85. Tiempo de espera de 20 minutos.



Figura 86. Valvula de salida abierta.



Figura 87. Obtención de muestra #2



Figura 88. Obtención de muestra #2



Figura 89. Muestra inicial, muestra #1 y Muestra #2

Ensayo #3 dia 12 de marzo del 2018

1. Llenar lecho de arena a 70cm de altura



Figura 90. Humedal



Figura 91. Altura de lecho de humedal de 70cm.



Figura 92. Altura de agua inicial de 62cm para ensayo#3

2. Desconectar nudo y abrir llave de paso y obtener muestra de agua residual gris inicial



Figura 93. Muestra inicial



Figura 94. Muestra inicial

3. Colocar Flauta con perforaciones de 7/32''



Figura 95. Flauta de perforaciones de 7/32''



Figura 96. Flauta de perforaciones de 7/32''

4. Abrir válvula de entrada por hasta que baje 15 cm de altura de agua por un lapso tiempo de 4 min 12 segundos



Figura 97. Valvula abierta



Figura 98. Altura de agua 77cm de muestra #1

5. Después de 20 minutos abrimos la válvula de salida y obtenemos la muestra #1



Figura 99. Tiempo de espera de 20 minutos.



Figura 100. Valvula de salida abierta.



Figura 101. Obtención de muestra #1



Figura 102. Obtención de muestra #1



Figura 103. Muestra inicial y muestra #1

6. Se Procede al cambio de la flauta de $7/32''$ por la que tiene perforaciones de $3/4''$, se espero un laspso de tiempo de 1 hora para abrir la valvula de entrada y humedecer el humedal, por una altura de agua de 15cm y un tiempo de 3 minutos 31 segundos.



Figura 104. Cambio de Flauta.



Figura 105. Cambio de Flauta.



Figura 106. Flauta con perforaciones de $\frac{3}{4}$ "



Figura 107. Valvula entrada abierta.



Figura 108. Altura final de agua 62cm

7. Después de 20 minutos abrimos la válvula de salida y obtenemos la muestra #2



Figura 109. Tiempo de espera de 20 minutos.



Figura 110. Valvula de salida abierta.



Figura 111. Obtención de muestra #2



Figura 112. Obtención de muestra #2



Figura 113. Muestra inicial, muestra #1 y Muestra #2

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1 Analizar la influencia de la variación de alturas de lechos de arena en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto.

Tabla 13 Resultados de coliformes fecales

Altura de lecho	Coliformes Fecales muestra de entrada (NMP/100ml)	Coliformes Fecales muestra de salida #1 (NMP/100ml)	Coliformes Fecales muestra de salida #2 (NMP/100ml)
50 CM	240000	11500	16000
60 CM	600000	16000	0
70 CM	220000	1800	2100

Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

Nota: Podrán usarse aguas con turbiedades y coliformes fecales ocasionales superiores a los indicadores en esta Tabla, Siempre y cuando las características de las aguas sean entregadas de acuerdo con la Norma INEN correspondiente.

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{\text{Muestra de entrada} - \text{Muestra de salida}}{\text{Muestra de salida}} = \text{Valor} \times 100 = \%$$

Usando una altura de lecho de 50cm de arena y 5cm de piedra chispa de 3/8''

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{240000 - 11500}{240000} = 0,9520 \quad \times 100 = 95,21\%$$

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{240000 - 16000}{240000} = 0,9333 \quad \times 100 = 93,33\%$$

Usando una altura de lecho de 60cm de arena y 5cm de piedra chispa de 3/8''

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{600000 - 16000}{600000} = 0,9733 \quad \times 100 = 97,33\%$$

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{600000 - 0}{600000} = 1 \quad \times 100 = 100,00\%$$

Usando una altura de lecho de 70cm de arena y 5cm de piedra chispa de 3/8''

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{220000 - 1800}{220000} = 0,9918 \quad \times 100 = 99,18\%$$

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{220000 - 2100}{220000} = 0,9904 \quad \times 100 = 99,05\%$$

Tabla 14. Porcentaje de remoción de coliformes fecales

Altura de lecho	% de remoción de coliformes fecales	
	Usando flauta con perforaciones de ϕ 7/32mm	Usando flauta con perforaciones de ϕ 3/4mm
50 CM	95,21%	93,33%
60 CM	97,33%	100,00%
70 CM	99,18%	99,05%

Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

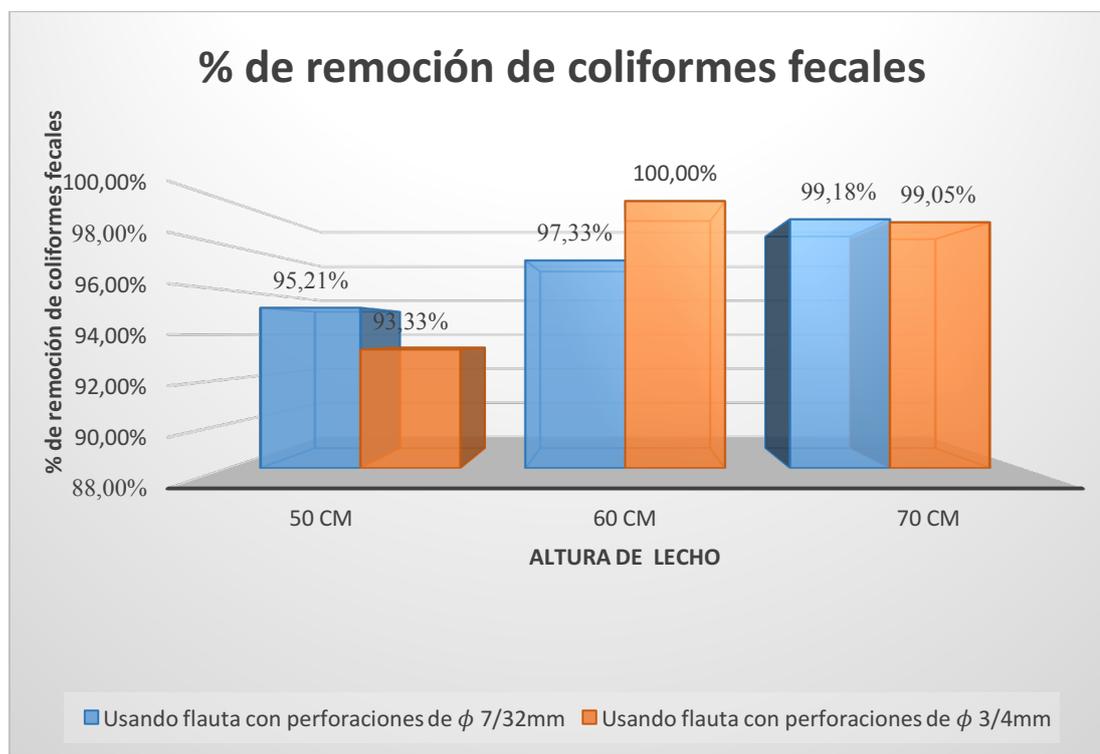


Gráfico 1. Porcentaje de remoción de coliformes fecales

Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

3.2.2 Estudiar la influencia del caudal de entrada de agua residual gris en la remoción del parámetro indicador coliformes fecales usando una planta piloto.

Datos del 1er dia 7 de marzo del 2018 – muestra de salida #1 con tubería de 3/4” con perforación de 7/32mm, cada 3 cm de separación.

t=	0:01:52	112	segundos		
$\phi 1(m)=$	0,48	m			
$\phi 2(m)=$	0,54	m			
h1(m)=	0,06	m			
h2(m)=	0,09	m			
Area=	$\pi \times (\phi)^2 / 4$				
Area1=	0,1810	m ²			
Area2=	0,2290	m ²			
Volumen =	Area x Altura				
V 1=	0,0109	m ³			
V 2=	0,0206	m ³			
V Total=	0,0315	m ³			
Q=	V/t				
Q=	0,0002810	m ³ /seg			
Q=	0,0002810	m ³ /seg	x	86400	seg/1 dia
Q=	24,28	m ³ /dia			

Datos del 1er dia 7 de marzo del 2018 – muestra de salida #2 con tuberia de 3/4” con perforacion de 3/4mm, cada 3 cm de separacion.

t=	0:02:45	165	segundos	
$\phi(m)=$	0,5	m		
h(m)=	0,15	m		
Área=	$\pi \times (\phi)^2 / 4$			
Area1=	0,1964	m ²		
Volumen =	Área x Altura			
V =	0,0295	m ³		
Q=	V/t			
Q=	0,0001785	m ³ /seg		
Q=	0,0001785	m ³ /seg	x	86400 seg/1 dia
Q=	15,42	m ³ /dia		

Datos del 2do dia 9 de marzo del 2018 – muestra de salida #1 con tuberia de 3/4” con perforacion de 7/32mm, cada 3 cm de separacion.

t=	0:02:53	173	segundos	
$\phi(m)=$	0,5	m		
h(m)=	0,15	m		
Area=	$\pi \times (\phi)^2 / 4$			
Area1=	0,1964	m ²		
Volumen =	Area x Altura			
V =	0,0295	m ³		
Q=	V/t			
Q=	0,0001702	m ³ /seg		
Q=	0,0001702	m ³ /seg	x	86400 seg/1 dia
Q=	14,71	m ³ /dia		

Datos del 2do dia 9 de marzo del 2018 – muestra de salida #2 con tuberia de 3/4” con perforacion de 3/4mm, cada 3 cm de separacion.

t=	0:03:31	211	segundos		
$\phi(m)=$	0,5	m			
h(m)=	0,15	m			
Area=	$\pi \times (\phi)^2 / 4$				
Area1=	0,1964	m ²			
Volumen =	Area x Altura				
V =	0,0295	m ³			
Q=	V/t				
Q=	0,0001396	m ³ /seg			
				seg/1	
Q=	0,0001396	m ³ /seg	x	86400	dia
Q=	12,06	m ³ /dia			

Datos del 3er dia 12 de marzo del 2018 – muestra de salida #1 con tuberia de 3/4” con perforacion de 7/32mm, cada 3 cm de separacion.

t=	0:04:12	252	segundos
$\phi(m)=$	0,5	m	
h(m)=	0,15	m	
Área=	$\pi \times (\phi)^2 / 4$		
Area1=	0,1964	m ²	
Volumen =	Área x Altura		
V =	0,0295	m ³	
Q=	V/t		
Q=	0,0001169	m ³ /seg	
Q=	0,0001169	m ³ /seg	x 86400 seg/1 día
Q=	10,10	m ³ /día	

Datos del 3er dia 12 de marzo del 2018 – muestra de salida #2 con tuberia de 3/4” con perforacion de 3/4m, cada 3 cm de separacion.

t=	0:04:58	298	segundos
$\phi(m)=$	0,5	m	
h(m)=	0,15	m	
Área=	$\pi \times (\phi)^2 / 4$		
Area1=	0,1964	m ²	
Volumen =	Área x Altura		
V =	0,0295	m ³	
Q=	V/t		
Q=	0,0000988	m ³ /seg	
Q=	0,0000988	m ³ /seg	x 86400 seg/1 día
Q=	8,54	m ³ /día	

Tabla 15. Diagrama de Caudal

Diagrama de Caudal		
Altura de lecho	Usando flauta con perforaciones de ϕ 7/32mm (m ³ /día)	Usando flauta con perforaciones de ϕ 3/4mm (m ³ /día)
50 CM	24,28	15,42
60 CM	14,71	12,06
70 CM	10,10	8,54

Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

Tabla 16. Porcentaje de remoción de coliformes fecales

% de remoción de coliformes fecales		
Caudal (m ³ /día)	Usando flauta con perforaciones de ϕ 7/32mm	Usando flauta con perforaciones de ϕ 3/4mm
24,28	95,21%	
15,42		93,33%
14,71	97,33%	
12,06		100,00%
10,10	99,18%	
8,54		99,05%

Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

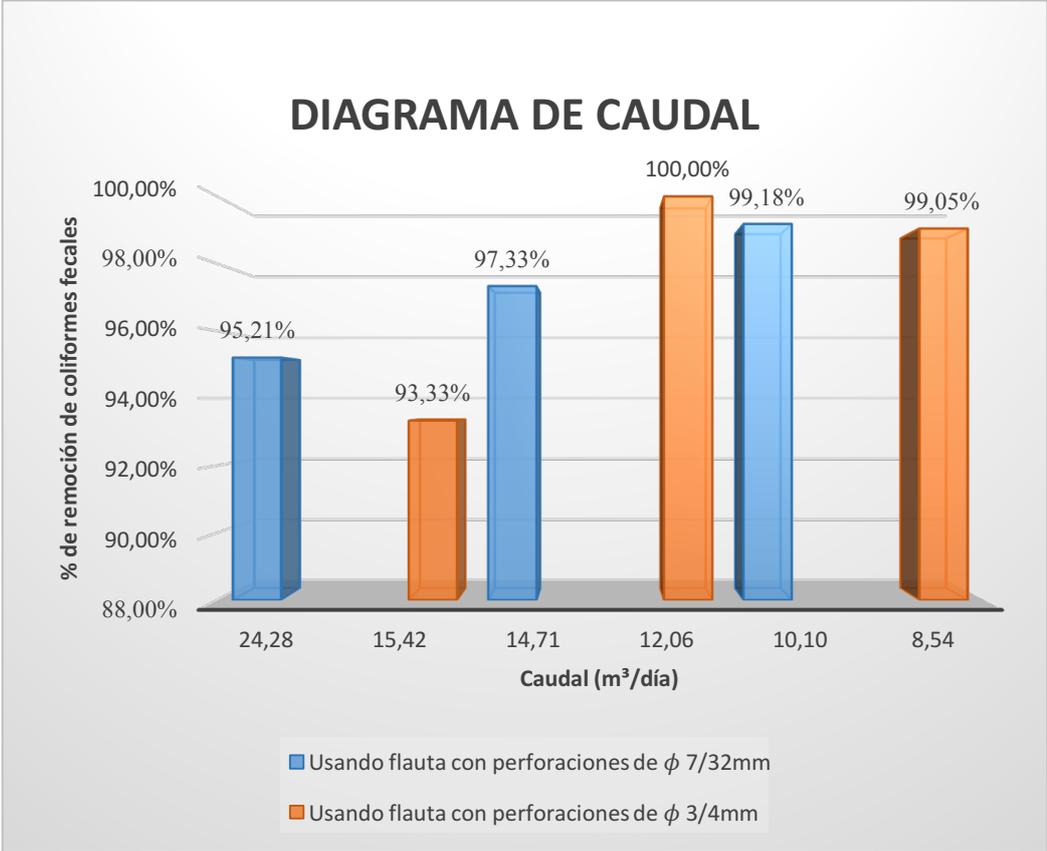


Gráfico 2. Diagrama de Caudal
 Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

3.2.3 Comparar los resultados de los coliformes fecales del agua residual doméstica gris de una vivienda tratadas con el humedal artificial con los límites máximos permisibles de este tipo de vertimiento vigente en la legislación ecuatoriana.

Tabla 17. Comparación de resultados de coliformes fecales con los límites máximos permisibles

Altura de lecho	Coliformes Fecales muestra de entrada (NMP/100ml)	Coliformes Fecales muestra de salida #1 (NMP/100ml)	Coliformes Fecales muestra de salida #2 (NMP/100ml)	Criterios de calidad de fuente de agua para consumo humano y doméstico (NORMA TULSMA NMP/100ml)	Criterios de calidad de aguas para riego agrícola (NORMA TULSMA) NMP/100ml	Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce (NORMA TULSMA) NMP/100ml
50 CM	240000	11500	16000	1000	1000	2000
60 CM	600000	16000	0			
70 CM	220000	1800	2100			

Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

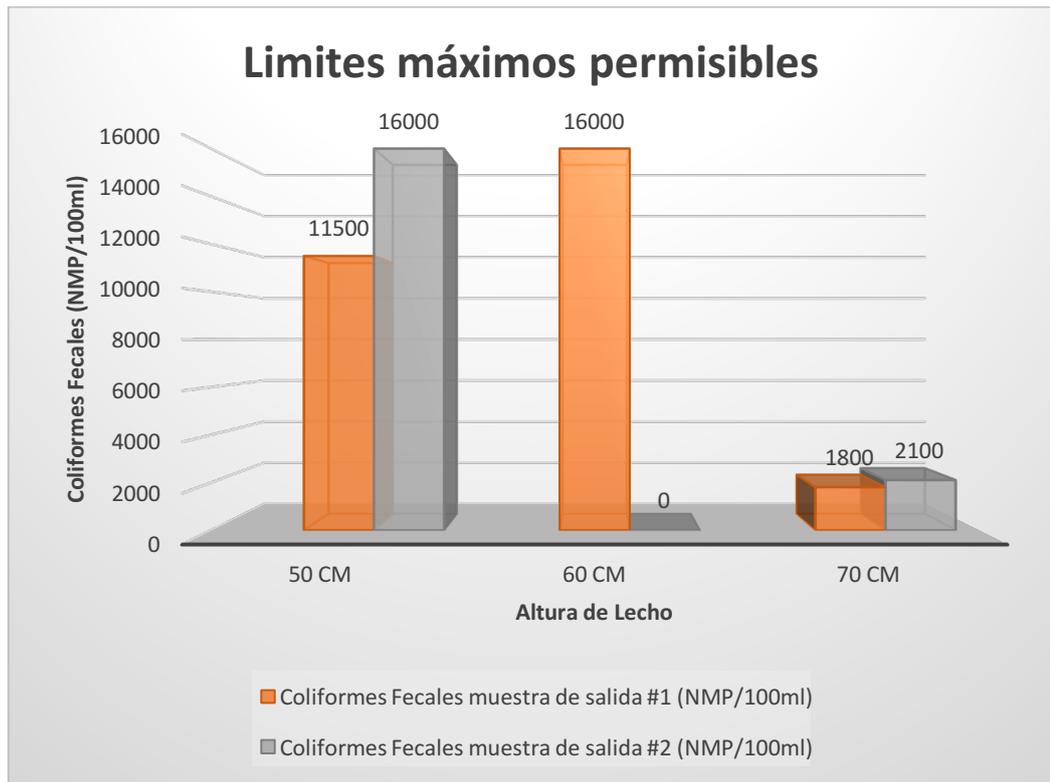


Gráfico 3. Limites máximos permisibles
 Elaborado por: Mogro Mejia, Carlos alfredo

CONCLUSIONES

Los resultados encontrados de porcentajes de remoción de coliformes fecales usando flauta con perforaciones de diámetro 7/32 mm, muestran que a mayor altura de lecho mayor será el porcentaje de remoción de coliformes fecales. Se obtuvo un porcentaje de remoción de coliformes fecales de 99,18 % usando una altura de lecho de 70 cm.

El análisis de caudal más apropiado para que el humedal artificial pueda obtener concentraciones de coliformes fecales en el efluente y que cumplan con el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA) fue de 10,10 m³/día.

Se concluye una vez encontrados los resultados de porcentajes de remoción de coliformes fecales usando un tipo de perforación y otra, es que el periodo de tiempo entre una prueba y la otra afectó los resultados del segundo muestreo que en este caso fueron los resultados usando flauta con perforaciones de diámetro 3/4 mm. El tiempo dejado entre una prueba y otra fue de apenas 30 minutos cuando debió haberse dejado al menos 1 día de reposo, tal como si se hizo cuando se varió las alturas de lecho del humedal artificial.

Con la altura de lecho de 70 cm y con una perforación de diámetro de 7/32 mm en la flauta de descarga se obtuvo una concentración de 1800 NMP/100 ml, la cual si cumple con el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce. Usando alturas de lecho de 50 y 60 cm no se obtuvieron concentraciones menores que el límite de descarga a

un cuerpo de agua dulce según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA).

RECOMENDACIONES

Se recomienda que las pruebas entre un tipo de perforación y otra sea por lo menos pasando un día, para evitar que se produzcan valores no reales. Este tipo de humedales necesita un espacio de tiempo para que el agua que se usó en la primera prueba salga completamente.

Se recomienda con la altura ideal obtenida de 70 cm de lecho, ver la posibilidad de ser más preciso, y buscar entre dicho valor (71 a 75 cm) si es que sigue encontrándose un incremento en el porcentaje de remoción de coliformes fecales. De igual manera, ver la posibilidad de encontrar el caudal óptimo de tratamiento que permita obtener el mejor porcentaje de remoción de coliformes fecales.

Se recomienda seguir estudiando la influencia de la cantidad de vegetación (junco de río) que debe plantarse en este tipo de humedales con el fin de obtener mayores eficiencias de remoción de coliformes fecales.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, O. (2004) Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Tesina, Barcelona.

BEDOYA PÉREZ, J., ARDILA ARIAS, A., & REYES CALLE, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquía, Colombia. Revista Internacional De Contaminación Ambiental, 30(3), Pág. 275-283. Retrieved from http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_30_3/07-Bedoya.pdf

De Castro N y M. de Curtis (2002) Método de la membrana filtrante para el análisis microbiológico del agua, Ed. Laboratorio de microbiología de alimentos. Universidad de Salamanca, Salamanca.

CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS (2007). Macrófitas, Gobierno de Mendoza, en www.cricyt.edu.ar (20 de enero de 2008).

Crites, R y G. Tchobanoglous (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, Mc. Graw Hill, Santafé de Bogotá.

- Cooper, P. et al. (1996). Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment, WRc, Swindon. Crites, R y G. Tchobanoglous
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales (1st ed.). Cochabamba – Bolivia: Nelson Antequera Durán.
- Espigares García, M., Gálvez, R., & Pérez López, J. (1986). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Granada: [Universidad, Servicio de Publicaciones].
- Fernández, J. et al. (2004). Manual de fitodepuración, Ayuntamiento de Lorca, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Folch, M. s.f. “Fitotecnologías en la depuración de aguas residuales”, presentación Power Point.
- Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia, Laboratori d’a Edafología, Barcelona.
- García, E. (2004) Tratamiento de aguas industriales: Análisis microbiológico de aguas residuales, Fundación Universitaria Iberoamericana. Barcelona.
- García, J.(2004). Tratamiento de aguas industriales: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, Ed. Fundación Universitaria Iberoamericana. Barcelona.

- García, J.(2003). Tratamiento de aguas industriales: Determinación de carbono total, Fundación Universitaria Iberoamericana, Barcelona.
- García, J., J.M. Bayona y J. Morató (2004). “Depuración con sistemas naturales: humedales construidos” ponencia presentada en el “IV Congrés Ibèric de Gestió i Planificació de l’Aigua”, Tortosa, España.
- García, M., E. Bécares y F. Soto (2004). “Are bacterial removal efficiencies enhanced by plants? An experimental study using *Scirpus lacustris*” en Memoria del Congreso de Ingeniería Ambiental, Avignon.
- Kolb, P. (1998). Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós, Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur, Universität für Bodenkultur.
- Laboratorio de Química Ambiental (2004) Determinación de N-NTK y N-NH₄. Método por destilación y nesslerización, Universidad de la Frontera, Temuco.
- Laboratorio de Tecnología Educativa s.f. Análisis Microbiológico de Aguas, Departamento de Microbiología y Genética. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- Lara B., J.A. (1999) Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales, Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña -Instituto Catalán de Tecnología, Barcelona.

La Razón (2009). “Sólo el 40% de las aguas servidas son tratadas”, La Paz, 8 de agosto de 2009.

Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (1999) Ley No 1333 del Medio Ambiente y su Reglamentación, El Gráfico, La Paz.

Navas, L. (2001). “Flora de la cuenca de Santiago” en <http://mazinger.sisib.uchile.cl/.../navasl01/cap2/tribu10.html> (19 de septiembre de 2006).

Mendonça, S. (2000) Sistemas de lagunas de estabilización: Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío, Mc. Graw Hill, Santafé de Bogotá.

Mena, J. (2008). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. En: CONAMA 9, Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible. Madrid, España.

Stearman, G. et al. (2003) “Pesticide removal from container nursery runoff in constructed wetland cells” en *Journal of Environmental Quality*, No 32, pp. 1548-1556.

Rolim, S. (2000). Sistemas de Lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío, McGraw Hill, Institute Of Technology, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá,

Romero Rojas, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales (4th ed., p. 1248). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

San Vicente, C. (2003). Tratamiento de aguas industriales: Aguas litorales. Herramientas de gestión y control de la calidad, Fundación Universitaria Iberoamericana, Barcelona.

Orozco, C. (2005). Contaminación Ambiental. Una visión desde la química. Editorial: Thomson. 3a edición. Pág. 631 – 650. Madrid, España.

ANEXOS

INFORME DE RESULTADOS			No. 0135 - 0137-18		
FECHA DEL INFORME:		16/3/18			
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		DATOS DEL MUESTREO			
Empresa :	Universidad Laica Vicente Rocafuerte		Tipo de Muestra :	Simple	
Dirección :	Av. De las Américas		Lugar de Toma :	Universidad Laica	
Solicitado por :	Sr. Carlos Mogro		Fecha de Toma :	7/3/18	
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable Muestreo : Ing. Kleber Moscoso			
F.Inicio del Análisis :	7/3/18	T ° C :	29,6		
F.Fin del Análisis :	12/3/18	%H :	45,6		
		Hora :	14H00 Simple		
		Fecha de Ingreso :	7/3/18		
RESULTADOS					
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Entrada) (No. 0135-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	240000	--	PE 1.23 R01	2000
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Salida 1) (No. 0136-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	11500	--	PE 1.23 R01	2000
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Salida 2) (No. 0137-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	16000	--	PE 1.23 R01	2000

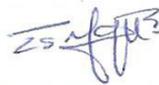


Jefe del Laboratorio
Qca. Esmeralda Quintero

NOTAS:

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

INFORME DE RESULTADOS			No. 0135 - 0137-18		
FECHA DEL INFORME: 16/3/18					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		DATOS DEL MUESTREO			
Empresa :	Universidad Laica Vicente Rocafuerte	Tipo de Muestra :	Simple		
Dirección :	Av. De las Américas	Lugar de Toma :	Universidad Laica		
Solicitado por :	Sr. Carlos Mogro	Fecha de Toma :	10/3/18		
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable Muestreo :	Ing. Kleber Moscoso		
F.Inicio del Análisis :	10/3/18	T ° C :	29,6		
F.Fin del Análisis :	15/3/18	%H :	55,2		
Hora :	14H00 Simple				
Fecha de Ingreso :	10/3/18				
RESULTADOS					
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Entrada) (No. 0135-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	600000	--	PE 1.23 R01	2000
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Salida 1) (No. 0136-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	16000	--	PE 1.23 R01	2000
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Salida 2) (No. 0137-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Negativo	--	PE 1.23 R01	2000

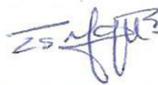


Jefe del Laboratorio
Qca. Esmeralda Quintero

NOTAS:

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

INFORME DE RESULTADOS			No. 0143 - 0145-18		
FECHA DEL INFORME: 16/3/18					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		DATOS DEL MUESTREO			
Empresa :	Universidad Laica Vicente Rocafuerte	Tipo de Muestra :	Simple		
Dirección :	Av. De las Américas	Lugar de Toma :	Universidad Laica		
Solicitado por :	Sr. Carlos Mogro	Fecha de Toma :	12/3/18		
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable Muestreo :	Ing. Kleber Moscoso		
F.Inicio del Análisis :	12/3/18	T ° C :	30,3		
F.Fin del Análisis :	17/3/18	%H :	45,2		
Hora :	13H00 Simple				
Fecha de Ingreso :	12/3/18				
RESULTADOS					
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Entrada) (No. 0143-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	220000	--	PE 1.23 R01	2000
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Salida 1) (No. 0144-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1800	--	PE 1.23 R01	2000
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Salida 2) (No. 0145-18)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2100	--	PE 1.23 R01	2000



Jefe del Laboratorio
Qca. Esmeralda Quintero

NOTAS:

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