

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES, FECALES Y
DBO EMPLEANDO EL HUMEDAL DE FLUJO
VERTICAL CON LA ESPECIE *EQUISETUM BOGOTENSE*
(COLA DE CABALLO), A ESCALA PILOTO, EN TUYU
RURI – MARCARA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA SANITARIA**

AUTORA:

Bach. JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE.

ASESOR:

Ing. MARTÍN MIGUEL HUAMÁN CARRANZA.

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

DICIEMBRE - 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO**

Los Miembros del Jurado Evaluador que suscriben, reunidos para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta la Señorita Bachiller: **JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE**.

Tesis Titulada: **"REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES, FECALES Y DBO EMPLEANDO EL HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL CON LA ESPECIE *EQUISETUM BOGOTENSE* (COLA DE CABALLO), A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA"**

Y atendida a la exposición oral y oída las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

..... Aprobado

Con el calificativo de:

..... Dieciseis (16)



En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 554-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Huaraz, 19 de DIEMBRE del 2017.

Blga. ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR
Presidente

Ing. JUDITH ISABEL FLORES ALBORNOZ
Secretaria

Ing. NINO FRANKLIN ARAUJO JAMANCA
Vocal

Ing. MARTIN MIGUEL HUAMAN CARRANZA
Asesor

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios porque sin el nada sería posible.

A mis padres, Héctor Toribio Chauca Milla y Rosa Eugenia Aguirre Ramos, por guiarme por el buen camino, por sus consejos y sobre todo por su amor.

A mis hermanos Cupertino, Soledad, Gonzalo, Judith y David por su apoyo incondicional y paciencia.

A mis sobrinos Ángel, Rosario, Dayana y Yaneth, por darme muchas alegrías.

Julia Denisse Chauca Aguirre.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria por los conocimientos brindados por los docentes de esta casa de estudios.

Al Ing. Martin Huamán Carranza, por su colaboración y sus aportes para el desarrollo de la presente tesis.

Al Ing. Zenobio Ospina Oré y a todos los trabajadores del Centro Experimental Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu – Ruri, UNASAM, quienes me apoyaron en la realización de la presente tesis.

Y a mis amigos que me ayudaron incondicionalmente.

Julia Denisse Chauca Aguirre.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE	iii
RELACIÓN DE TABLAS.....	vi
RELACIÓN DE GRÁFICOS.....	ix
RELACIÓN DE FIGURAS	x
RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT.....	xv
ABREVIATURAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
OBJETIVOS	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
JUSTIFICACIÓN	5
HIPÓTESIS.....	6
VARIABLES	6
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA TESIS	12
2.2.1. AGUA RESIDUAL DOMÉSTICAS.....	12
2.2.2. HUMEDALES ARTIFICIALES	12
A. HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	13
A.1. HUMEDALES SUBSUPERFICIALES DE FLUJO VERTICAL.....	14
B. PLANTAS O VEGETACIÓN EN LOS HUMEDALES	15
C. EL MEDIO FILTRANTE EN HUMEDALES CONSTRUIDOS	17
D. SUSTRATOS CONVENCIONALES UTILIZADOS COMO MEDIO FILTRANTE EN HUMEDALES CONSTRUIDOS	18
E. MICROORGANISMOS Y DEMÁS ORGANISMOS QUE SE DESARROLLAN EN LOS HUMEDALES.....	19

F. REVESTIMIENTO DE UN HUMEDAL	20
G. MECANISMOS DE REMOCIÓN EN HUMEDALES ARTIFICIALES	21
H. CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA LA APLICACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	21
2.2.3. DISEÑO DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL	22
2.2.4. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	23
2.2.5. EQUISETUM BOGOTENSE (COLA DE CABALLO)	25
2.3. ÁMBITO DE ESTUDIO	29
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	30
CAPÍTULO III	33
METODOLOGÍA	34
3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	34
3.2. MATERIALES Y MÉTODO DE LA TESIS	34
3.2.1. MATERIALES Y/O EQUIPO	34
3.2.2. MÉTODO	35
A. DATOS METEOROLÓGICOS	35
B. CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DEL HFSSV	36
C. CONSTRUCCIÓN DEL HFSSV	39
D. RECOLECCIÓN, PREADAPTACIÓN DE LA ESPECIE <i>EQUISETUM BOGOTENSE</i> E IMPLEMENTACIÓN DEL HFSSV	41
E. ETAPA DE ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE <i>EQUISETUM BOGOTENSE</i>	44
F. ETAPA DE TRATAMIENTO	45
G. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	47
3.3. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	51
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	52
3.5. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	52
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	53
CAPÍTULO IV	55
RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	56
4.1. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL HFSSV	56
4.2. RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL	59
4.3. RESULTADOS DE LA RECOLECCIÓN, PREADAPTACIÓN DE LA ESPECIE <i>EQUISETUM BOGOTENSE</i> E IMPLEMENTACIÓN DEL HFSSV	60

4.4. RESULTADOS DE LA ADAPTACIÓN	61
4.4.1. RESULTADOS DE TEMPERATURA.....	62
4.4.2. RESULTADOS DE PH.....	64
4.4.3. RESULTADOS DEL CAUDAL	66
4.5. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO	68
4.5.1. RESULTADOS DE TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH)	68
4.5.2. RESULTADOS DEL CAUDAL	69
4.5.3. RESULTADOS DE TEMPERATURA.....	74
4.5.4. RESULTADOS DE pH	78
4.5.5. RESULTADOS DE TURBIEDAD	81
4.5.6. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO: COLIFORMES TOTALES (CT).....	84
4.5.7. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO: COLIFORMES FECALES (CF).....	88
4.5.8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5).....	92
4.5.9. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES	96
4.5.10. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES	97
4.5.11. RESULTADOS DE LAS EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA DBO5	98
4.5.12. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS CON RESPECTO A LAS ECA (CATEGORÍA 3).....	99
4.5.13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	102
4.6. CUADRO GENERAL DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL	108
4.7. CUADRO GENERAL DE LOS PARÁMETROS DE INTERÉS.....	109
4.8. ADAPTACIÓN Y CRECIMIENTO DEL <i>EQUISETUM BOGOTENSE</i>	110
CAPÍTULO V	111
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	112
CAPÍTULO VI.....	120
CONCLUSIONES	121
CAPÍTULO VII	122
RECOMENDACIONES	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS.....	128

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. La operacionalización de variables, donde se describe las variables, indicadores, escala y medición.	7
Tabla 2. Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.....	17
Tabla 3. Clasificación del pH del agua.....	24
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la cola de caballo (Equisetum bogotense).....	25
Tabla 5. Equipo y/o método y validación para los indicadores de las variables.	34
Tabla 6. Temperatura, Humedad relativa y Precipitación mensuales de Marcará - Centro Experimental Ecológico TUYU RURI – 2017.....	36
Tabla 7. Datos y criterios de diseño del HFSSV.	37
Tabla 8. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales.....	37
Tabla 9. Características del sustrato para el diseño de HFSSV.....	43
Tabla 10. Parámetros de evaluación durante la adaptación.....	45
Tabla 11. Parámetros de evaluación durante el tratamiento.	46
Tabla 12. Instrumentos de recolección de la información.....	52
Tabla 13. Pruebas Estadísticas de acuerdo al tipo de estudio.....	53
Tabla 14. Resultados de constante de temperatura, área superficial, tiempo de retención, ancho de la celda según el número y largo de la celda.....	56
Tabla 15. Resumen de dimensiones del HFSSV.	56
Tabla 16. Tubería de alimentación y drenaje.....	57
Tabla 17. Diámetro de tubería de alimentación.....	58
Tabla 18. Medición de la Temperaturas (°C) durante la etapa de adaptación.....	62
Tabla 19. Temperaturas (°C) promedios durante la etapa de adaptación.	62
Tabla 20. Estadísticos descriptivos para temperatura.....	63
Tabla 21. Medición del pH durante la etapa de adaptación.....	64
Tabla 22. pH promedios durante la etapa de adaptación.	65
Tabla 23. Estadísticos descriptivos para pH.....	65
Tabla 24. Medición del caudal (lps) durante la etapa de adaptación.....	66
Tabla 25. Caudal (lps) promedios durante la etapa de adaptación.	67
Tabla 26. Estadísticos descriptivos para caudal (lps).....	67
Tabla 27. Tiempo de retención hidráulica.	68
Tabla 28. Estadísticos descriptivos para el TRH.	69

Tabla 29. Medición del caudal (lps) durante la etapa de tratamiento.	69
Tabla 30. Caudal (lps) promedios durante la etapa de tratamiento.	71
Tabla 31. Estadísticos descriptivos para caudal (lps)	72
Tabla 32. Frecuencias para el afluente del caudal en la etapa de tratamiento.	73
Tabla 33. Frecuencias para el efluente del caudal en la etapa de tratamiento.	73
Tabla 34. Medición de la temperatura (°C) durante la etapa de tratamiento.....	74
Tabla 35. Temperatura (°C) promedios durante la etapa de tratamiento.....	75
Tabla 36. Estadísticos descriptivos para temperatura.	76
Tabla 37. Tabla de Frecuencias para la temperatura en la entrada del HFSSV en la etapa de tratamiento.	77
Tabla 38. Tabla de Frecuencias para la temperatura en la salida del HFSSV en la etapa de tratamiento.	77
Tabla 39. Medición del pH durante la etapa de tratamiento.....	78
Tabla 40. pH promedios y desviación estándar durante la etapa de tratamiento.....	79
Tabla 41. Estadísticos descriptivos para el pH.	80
Tabla 42. Tabla de Frecuencias para el pH en la entrada del HFSSV en la etapa de tratamiento.....	80
Tabla 43. Tabla de Frecuencias para el pH en la salida del HFSSV en la etapa de tratamiento.....	81
Tabla 44. Turbiedad durante la etapa de tratamiento.	81
Tabla 45. Estadísticos descriptivos de la turbiedad.	82
Tabla 46. Tabla de Frecuencias para la turbiedad en la entrada del HFSSV en la etapa de tratamiento.	83
Tabla 47. Tabla de Frecuencias para la turbiedad en la salida del HFSSV en la etapa de tratamiento.....	83
Tabla 48. Coliformes Totales con respecto al primer mes.	84
Tabla 49. Coliformes Totales con respecto al segundo mes.....	85
Tabla 50. Coliformes Totales con respecto al tercer mes.....	86
Tabla 51. Coliformes Totales con respecto al cuarto mes.....	87
Tabla 52. Coliformes fecales con respecto al primer mes.....	88
Tabla 53. Coliformes fecales con respecto al segundo mes.	89
Tabla 54. Coliformes fecales con respecto al tercer mes.	90
Tabla 55. Coliformes fecales con respecto al cuarto mes.....	91

Tabla 56. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al primer mes.....	92
Tabla 57. Comportamiento de la DBO5 con respecto al segundo mes.	93
Tabla 58. Comportamiento de la DBO5 con respecto al tercer mes.	94
Tabla 59. Comportamiento de la DBO5 con respecto al cuarto mes.....	95
Tabla 60. Resultados de los CT.	102
Tabla 61. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para CT.	103
Tabla 62. Resultados de los CF.	104
Tabla 63. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para CF.	105
Tabla 64. Resultados de la DBO5	106
Tabla 65. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para DBO5.....	107
Tabla 66. Resultados de los estadísticos descriptivos para los parámetros de control.	108
Tabla 67. Resultados de los parámetros analizados en laboratorio.	109

RELACIÓN DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Temperaturas promedias con respecto al tiempo	63
Gráfico 2. pH promedios con respecto al tiempo	66
Gráfico 3. Caudales promedios con respecto al tiempo	68
Gráfico 4. Caudales promedios con respecto al tiempo. Fuente: propia	71
Gráfico 5. Temperatura promedio con respecto al tiempo. Fuente: propia	75
Gráfico 6. pH promedios con respecto al tiempo.	79
Gráfico 7. Turbiedad con respecto al tiempo.....	82
Gráfico 8. CT con respecto al mes de marzo.....	84
Gráfico 9. CT con respecto al mes de abril.	85
Gráfico 10. CT con respecto al mes de mayo.....	86
Gráfico 11. CT con respecto al mes de junio.	87
Gráfico 12. CF con respecto al mes de marzo.....	88
Gráfico 13. CF con respecto al mes de abril.....	89
Gráfico 14. CF con respecto al mes de mayo	90
Gráfico 15. CF con respecto al mes de junio.....	91
Gráfico 16. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de marzo.....	92
Gráfico 17. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de abril.	93
Gráfico 18. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de mayo.....	94
Gráfico 19. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de junio.	95
Gráfico 20. Porcentaje de remoción de la CT.....	96
Gráfico 21. Porcentaje de Remoción de CF.	97
Gráfico 22. Porcentaje de Remoción de la DBO5.....	98
Gráfico 23. ECA – CT vs. Tiempo	99
Gráfico 24. ECA – CF vs. Tiempo	100
Gráfico 25. ECA – DBO5 vs. Tiempo.....	101

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas. Fuente: (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010).....	13
Figura 2. Esquema de un humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección). Fuente: (Espinosa Ortiz, 2014).....	15
Figura 3. Mapa de Ubicación Geográfica de la Tesis a Nivel Nacional y Departamental	29
Figura 4. Mapa de la Ubicación de la Tesis, Centro Experimental Ecológico TUYU RURI - Provincia de Carhuaz.....	29
Figura 5. Detalle del sistema de HFSSV. Vista de Corte.....	43
Figura 6: Especie Equisetum bogotense.....	44
Figura 7. Sistema general de la planta de tratamiento. Vista en Planta.....	47
Figura 8. Sistema general de la planta de tratamiento. Perfil.....	48

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Se muestra la imagen del primer vertedero.	48
Fotografía 2. Biodigestor.	49
Fotografía 3. Segundo vertedero. Fuente: propia.....	49
Fotografía 4. Se muestra la imagen del HFSSV. Fuente: propia	50
Fotografía 5. Caja recolección. Fuente: propia	50
Fotografía 6. Excavación y vaciado de piso del humedal.	59
Fotografía 7. Encofrado del humedal.	59
Fotografía 8. Humedal de flujo subsuperficial vertical.	59
Fotografía 9. Encofrado y vaciado de concreto de la caja de recolección del humedal.	59
Fotografía 10. Se muestra las tinas del día siguiente del plantado. Fuente: propia.	60
Fotografía 11. Se muestra las tinas después de 1 mes del plantado.	60
Fotografía 12. Después de 7 días del plantado, de las plantas que no se secaron de la especie Equisetum bogotense.	61
Fotografía 13. Después de 10 días del plantado, de las plantas que se secaron de la especie Equisetum bogotense.	61
Fotografía 14. Primer día de plantado – Mes de Febrero.	110
Fotografía 15. Segundo mes – marzo.....	110
Fotografía 16. Tercer mes – abril	110
Fotografía 17. cuarto mes – mayo	110
Fotografía 18. Quinto mes – junio	110
Fotografía 19. Excavación para la recolección de la especie Equisetum bogotense..	130
Fotografía 20. Recolección de la especie Equisetum bogotense.....	130
Fotografía 21. Tamizado de los sustratos (grava media, arena gravosa y gruesa).....	131
Fotografía 22. Mezcla de la turba con la arena fina. Fuente: propia.....	131
Fotografía 23. Primer sustrato: turba mezclado con arena fina.....	132
Fotografía 24. Segundo sustrato: arena gruesa. (2mm).....	132
Fotografía 25. Tercer sustrato: arena gravosa (8mm).	132
Fotografía 26. Cuarto sustrato: grava media (32mm)	133
Fotografía 27. Lavado de los sustratos.....	133
Fotografía 28. Colocación de la tubería de drenaje dentro del HFSSV.	133
Fotografía 29. Colocación de la grava media dentro del HFSSV.	134

Fotografía 30. Colocación de la arena gravosa dentro del HFSSV.....	134
Fotografía 31. Colocación de la arena gruesa dentro del HFSSV.....	134
Fotografía 32. Colocación de la turba mezclado con arena dentro del HFSSV.....	135
Fotografía 33. Medición cada 0.20 m en el ancho dentro del HFSSV.....	135
Fotografía 34. Medición cada 0.30 m en lo largo dentro del HFSSV.....	135
Fotografía 35. Plantación de las 35 especie Equisetum bogotense dentro del HFSSV.	136
Fotografía 36. HFSSV con la especie Equisetum bogotense.	136
Fotografía 37. Primer riego con agua residual al HFSSV.....	136
Fotografía 38. Realizando los orificios a la tubería de alimentación del HFSSV.....	137
Fotografía 39. Primer orificio de la tubería de alimentación.	137
Fotografía 40. Se observa la salida del agua de cada orificio de las tuberías de alimentación.	137
Fotografía 41. Conexión de tuberías desde el segundo vertedero hasta el HFSSV. ...	138
Fotografía 42. Conexión de las tuberías de alimentación dentro del HFSSV.....	138
Fotografía 43. Sistema de alimentación del HFSSV.....	138
Fotografía 44. Sistema de ventilación del HFSSV.....	139
Fotografía 45. Tapado con la malla después de la plantación de la especie E. bogotense	139
Fotografía 46. Trazador utilizado para medir el TRH del HFSSV.	139
Fotografía 47. Disolución del trazador en el segundo vertedero - entrada del trazador.	140
Fotografía 48. Salida del trazador en la caja de recolección del HFSSV.....	140
Fotografía 49. Medición del caudal en la entrada del HFSSV.....	140
Fotografía 50. Medición del caudal en la salida de la caja de recolección del HFSSV.	141
Fotografía 51. Se observa las tuberías de alimentación sucio.....	141
Fotografía 52. Lavado de las tuberías de alimentación con una esponja.	141
Fotografía 53. Se observa el lavado con agua por dentro de las tuberías.	142
Fotografía 54. Se observa las tuberías debidamente limpias.	142
Fotografía 55. Equipo de pHmetro usado.	142
Fotografía 56. Medición del pH en el segundo vertedero, entrada del humedal.....	143
Fotografía 57. Medición del pH en la caja de drenaje proveniente del HFSSV.	143

Fotografía 58. Toma de muestra para el análisis de CT y CF en la entrada del HFSSV (segundo vertedero).	143
Fotografía 59. Toma de muestra para el análisis de DBO5 en la entrada del HFSSV (segundo vertedero).	144
Fotografía 60. Toma de muestra para el análisis de coliformes totales y fecales en la salida del HFSSV (caja de recolección).	144
Fotografía 61. Toma de muestra para el análisis de DBO5 en la salida del HFSSV (caja de recolección).	144
Fotografía 62. Muestras recolectadas	145
Fotografía 63. Centro Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu Ruri - Marcará, UNASAM.	145

RESUMEN EJECUTIVO

Los humedales como tratamiento secundario o terciario actualmente son muy eficientes en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, la necesidad seguir investigando y mejorar estos sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas que sean económicos, efectivos y adaptables a diferentes condiciones geográficas de nuestro país. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo determinar si el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), es eficiente para la remoción de Coliformes totales, fecales y DBO a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcará, en esta investigación se procedió a diseñar con un caudal de 0.3 m³/día de acuerdo a modelos cinéticos con respecto a la concentración de la DBO el humedal de flujo vertical, también se consideró el diseño hidráulico para lograr un caudal uniforme y continuo, seguidamente se construyó el piloto, se recolecto y se realizó la pre adaptación de la especie *Equisetum bogotense*, y finalmente se realizó la etapa de tratamiento, los parámetros que se analizaron fueron DBO5, coliformes totales y coliformes fecales, además de pH, temperatura y turbiedad. El resultado del diseño del humedal obtuvo un área de 2.2m², el caudal medido en campo no vario mucho con respecto al caudal de diseño, el tiempo de retención hidráulico medido en campo fue 2.51 horas, el pH se mantuvo en un rango de 6.5 a 8, y la temperatura tubo un rango de 19.37 a 20.25°C, los porcentajes de eficiencia de remoción fueron, la DBO5 obtuvo un 71.58%, coliformes totales obtuvo un 23.63% y coliformes fecales un 19.93%. con base a los resultados se concluyó que la especie *Equisetum bogotense* se adaptó al humedal, se obtuvo buenos resultados en la remoción de DBO5 y se obtuvo bajos resultados en cuanto a coliformes totales y fecales, bajo las condiciones dadas en la investigación.

Palabras claves: Humedal de flujo vertical, *Equisetum bogotense*, DBO5, coliformes totales y coliformes fecales.

ABSTRACT

Wetlands as secondary or tertiary treatment are currently very efficient in the treatment of domestic wastewater, the need to further investigate and improve these domestic wastewater treatment systems that are economical, effective and adaptable to different geographic conditions of our country.

This is because the present research aims to determine if the vertical flow wetland with *Equisetum bogotense* (cola de caballo), is efficient for the removal of total coliforms, fecal coliforms and DBO5 at pilot scale, in Tuyu Ruri - Marcará, in this research will proceed to design with a flow rate of 0.3 m³/d according to kinetic models with respect to the concentration of DBO5 the vertical flow wetland, also the hydraulic design was considered to achieve a uniform and continuous flow, then the pilot was constructed, in the preadaptation of species *Equisetum bogotense*, was collected and finally the treatment stage was performed. The parameters analyzed were DBO5, total coliforms and fecal coliforms, as well as pH, temperature and turbidity. The result of the wetland design obtained an area of 2.2m², the flow rate measured in field did not vary much with respect to the design flow rate, the hydraulic retention time measured in field was 2.51 hours, the pH was maintained in a range of 6.5 a 8, and the temperature ranged from 19.37 to 20.25°C, removal efficiency percentages were, DBO5 obtained 71.58%, total coliforms obtained 23.63% and fecal coliforms 19.93%. Based on the results, it was concluded that the species *Equisetum bogotense* was adapted to the wetland, good results were obtained in the removal of DBO5 and low results were obtained in terms of total and fecal coliforms, under the conditions given in the research.

Key words: Vertical flow wetland, *Equisetum bogotense*, DBO5, total coliforms and fecal coliforms.

ABREVIATURAS

HFSSV	Humedal de flujo subsuperficial vertical
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
CT	Coliformes totales
CF	Coliformes fecales
TRH	Tiempo de retención hidráulica

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales a nivel mundial es la contaminación de las fuentes de agua con las llamadas aguas residuales domésticas, la cual se viene afectando al ecosistema y la salud pública. Por ello hay diversos tratamientos de aguas residuales, una de los tratamientos que se vienen implementado en la actualidad son los HFSSV.

Los HFSSV se han utilizado principalmente para el tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales por su alta eficacia en la remoción materia orgánica, es por ello que la necesidad de seguir investigando buscar nuevas opciones en los que respecta con las vegetaciones y mejorar estos sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas que sean económicos, efectivos y adaptables.

La planta *Equisetum bogotense*, conocida como cola de caballo, es una planta emergente que crece en condiciones muy húmedas, es común encontrarla en orillas de los cursos de agua. Es una planta rizomatosa, con tallos erectos marrón pálido, un solo sistema de rizomas puede cubrir cientos de metros cuadrados y pueden penetrar a profundidades de suelo de cuatro metros en algunos casos, no poseen semillas. Los tallos pueden medir hasta 30 cm.

Es por ello que el objetivo de esta investigación consistió en determinar si el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), es eficiente en la remoción de Coliformes totales, fecales y DBO a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcará.

CAPÍTULO I

OBJETIVOS

❖ **Objetivo general**

Remover los Coliformes totales, fecales y DBO, empleando el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcará.

❖ **Objetivo específico**

1. Realizar la caracterización y el diseño del humedal de flujo vertical.
2. Construir el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo) como tratamiento secundario en el sistema de Tuyu-Ruri.
3. Realizar la recolección, pre-adaptación de la especie *Equisetum bogotense*, e implementación del humedal de flujo vertical.
4. Evaluar la adaptación de la especie *Equisetum Bogotense*.
5. Determinar los parámetros de turbiedad, temperatura y pH en el humedal de flujo vertical.
6. Determinar en campo el caudal y TRH del humedal de flujo vertical.
7. Determinar mediante el tratamiento de humedal de flujo vertical el porcentaje de eficiencia de remoción de los Coliformes totales, fecales y DBO, y verificar si los resultados obtenidos cumplen con el ECA para reúso.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

❖ Antecedentes del problema

En las últimas décadas, se viene dando el problema de la contaminación ambiental, uno de los problemas principales es causado por la mala disposición de las aguas residuales domésticas, la cual es vertida sin control a cuerpos de agua.

Uno de las alternativas para tratar las aguas residuales domesticas es por medio de los Humedales subsuperficial de flujo vertical, en trabajos de investigación realizados en el Perú y en otros países dan como solución a este problema, dando resultados óptimos en la remoción de materia orgánica que viene hacer DBO, en el caso de remoción de los Coliformes fecales y totales hay poca información sobre estos en Humedales subsuperficial de flujo vertical, la cual menciona la eficiencia en algunos casos en la remoción de coliformes.

Se menciona que la vegetación es parte fundamental dentro del humedal, porque estas son encargadas de llevar oxigeno dentro del medio del humedal a través de la fotosíntesis para un mejor tratamiento del agua residual, las raíces de la vegetación son encargadas de adsorber la materia orgánica es decir la DBO.

❖ Formulación del problema

Es por ello que los humedales como tratamiento secundario o terciario actualmente son muy eficientes en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, con bajos costo en la operación y mantenimiento, la necesidad de buscar nuevas opciones en los que respecta con las vegetaciones pocas estudiadas y que puedan dar mejore resultados en la remoción de los contaminantes como lo de los coliformes totales, fecales y DBO, por lo tanto la necesidad seguir investigando estos sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas que sean económicos, efectivos y adaptables a diferentes condiciones geográficas de nuestro país.

Por lo tanto, en la presente tesis el problema de investigación que se plantea es:

¿El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, removerá los coliformes totales, fecales y DBO en Tuyu Ruri – Marcará?

JUSTIFICACIÓN

❖ A nivel social

La Contaminación de las aguas residuales domésticas, vienen siendo un problema para la sociedad, es por ello que es necesario contar con un tratamiento secundario o terciario para disminuir los contaminantes de dichas aguas, con el propósito de mejorar la calidad de vida del hombre. Es por ello que se propone la planta “Cola de Caballo” para dar a conocer si esta planta emergente remueve dichos contaminantes y así ser una alternativa para la solución.

La planta *Equisetum bogotense* (cola de caballo) es elegida para los humedales porque es una especie de la zona y fácil de recolectar, también es un especie poco estudiada y utilizada en el tratamiento de humedales, los antecedentes demuestran que estudios realizados en humedales con macrófitas son eficientes en tratamiento de aguas residuales. La planta se recolectará, para la posterior plantación y acondicionamiento del humedal.

❖ A nivel económico

El tipo de tratamiento de las aguas residuales, por medio de humedales son de bajos costos económicos, ya que la planta acuática propuesta puede encontrarse en zonas cálidas y en cuerpos de agua. El sistema de humedal de flujo vertical es cargado continuamente de esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de instauración, estimulando el suministro de oxígeno.

❖ A nivel ambiental

El agua residual tiene componentes dañinos para el ambiente, es por ello que se plantea este tipo de tratamiento secundarios para remover y/o reducir estos contaminantes. En el tratamiento de las aguas residuales por medio de humedales, no solo ayudara a la calidad de vida del ser humano, también del ambiente, porque al reducir el contaminante de las aguas residuales, estas pueden ser reutilizadas para la forestación de las plantas de tallo alto y bajo, según los parámetros permitidos para el riego de plantas.

HIPÓTESIS

En el presente trabajo de investigación se plantea la siguiente hipótesis general de investigación:

El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve los coliformes totales, fecales y DBO en Tuyu Ruri – Marcará.

Se presenta continuación las hipótesis específicas:

- **Hipótesis específicas 01:**

El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve los coliformes totales en Tuyu Ruri – Marcará.

- **Hipótesis específicas 02:**

El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve los coliformes fecales en Tuyu Ruri – Marcará.

- **Hipótesis específicas 03:**

El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve la DBO en Tuyu Ruri – Marcará.

La contrastación de hipótesis se realizará mediante la prueba estadística T-Student, de forma individual para las hipótesis específicas mencionadas.

VARIABLES

a) Variable de caracterización

Empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto.

b) Variable de interés

Remoción de Coliformes totales, fecales y DBO en Tuyu Ruri – Marcará.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1.

La operacionalización de variables, donde se describe las variables, indicadores, escala y medición.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	DIMENSIONES	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO DE DATO
Variable de caracterización: Empleo del humedal de flujo vertical con la especie <i>Equisetum bogotense</i> (cola de caballo), a escala piloto	Tratamiento que remueve los contaminantes del agua residual como físico químicos y biológicos	Determinación instrumental de campo y laboratorio	Caudal	Comportamiento hidráulico	lps	Numérico continuo
			TRH	Comportamiento hidráulico	Horas	
			pH	Condiciones físico químicas	adimensional	Numérico continuo
			Temperatura del agua residual	Condiciones físico químicas	°C	Numérico continuo
			Turbiedad	Condiciones físico químicas	UNT	Numérico continuo
Variable de interés: Remoción de Coliformes totales, fecales y DBO en Tuyu Ruri – Marcará.	valores que indican que un tratamiento remueve los contaminantes.	Determinación de los valores del afluente y efluente en laboratorio	Coliformes totales	Condiciones biológicas	NMP/100ml	Numérico discreto
			Coliformes fecales	Condiciones biológicas	NMP/100ml	Numérico discreto
			DBO	Condiciones bioquímicas	mg/l	Numérico discreto

Fuente: propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

- Según la investigación: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE PLANTAS MACRÓFITAS TÍPICAS EN LOS ALTOS DE JALISCO, MÉXICO, los autores concluyen que, “Las macrófitas que se utilizaron fueron: *Phragmites australis* (carrizo común), *Gladiolus* spp (gladiolo) y *Typha latifolia* (tatora), durante la investigación se afirmó que dependiendo de las condiciones climatológicas, cada especie evaluada remueve selectivamente algunos contaminantes presentes en las aguas residuales de origen doméstico, destacándose mayores porcentajes de remoción en estaciones del año calurosas con gradientes de tiempos de retención menores; complementando la información anterior y mediante la aplicación de modelos matemáticos es posible determinar las cantidades más adecuada de cada uno de los especímenes de prueba, así como los tiempos de retención óptimos para cada estación del año, logrando así el diseño de un sistema sustentable y reproducible de tratamiento de aguas residuales domésticas para esta región, que contribuya al mejoramiento del medio ambiente” (Aldo Antonio Castañeda Villanueva, Hugo Ernesto Flores López, 2014).
- En la investigación: HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BOGOTÁ, los autores concluyen que, “Se puede observar, que se encontraron mayores capacidades de reducción de materia orgánica, inorgánica y microorganismos durante la operación del sistema con vegetación. Los resultados obtenidos indican que este tipo de sistemas podrían ser utilizados para mejorar la calidad del agua y de esta forma contribuir a la descontaminación del recurso hídrico o inclusive para tratar aguas residuales” (T. Rodríguez Chaparro, Ivonne Maritza Ospina, 2005).

- Según la investigación: DISEÑO DE UNIDAD PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL CAMPUS UMNG-CAJICÁ CON FINES DE REUSÓ, el autor concluye que, “El diseño del HAFSSV del proyecto puede llegar a ser una opción a largo plazo para la descontaminación de aguas domésticas residuales de la UMNG-Cajicá al ser eficiente en la disminución de un 90% de los valores obtenidos en el afluente de la PTAR en las variables Temperatura, pH, Conductividad, Color, OD, Turbidez, DQO, DBO₅, Coliformes Totales y Fecales” (Bernal López, 2014)

- Según este trabajo de investigación: INFLUENCIA DEL PH Y SALINIDAD DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL SOBRE LA DOMINANCIA DE MACRÓFITAS FLOTANTES Y EMERGENTES EN UN WETLAND CONSTRUIDO, los autores concluyen que, “La DQO disminuyó satisfactoriamente con la T. domingensis e I. pseudacorus mostraron los mayores valores de remoción. La DBO también disminuyó presentando P. elephantipes y S. californicus los mayores valores de remoción. El control no mostró disminución significativa de la DQO ni de la DBO” (H.R. Hadad, M.M. Mufarrege, G.A. Di Luca, M.A. Maine, 2014).

- Según la investigación: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL A TRAVÉS DE HUMEDALES, el autor concluye que, “El humedal trató un flujo volumétrico promedio de 96 L/d, con un tiempo de retención hidráulica de 4 días. Manejando una carga hidráulica superficial promedio de 480m³/ha.d, una carga promedio de DQO de 506 kg DQO/ha.d y una carga de DBO₅ 188kg DBO/ha.d. Obteniendo remociones promedio superiores al 85% para turbiedad y SST. Las remociones promedio observadas para DQO y DBO₅ fueron respectivamente de 70 y 52%. Los humedales de flujo subsuperficial logran mejores resultados en la remoción de contaminantes, operando dentro de un sistema, como tratamiento secundario o terciario, normalmente precedidos por algún tipo de pre-tratamiento o tratamiento primario de forma continua para garantizar su adecuado funcionamiento y evitar entre otros taponamientos en el humedal” (Díaz Acero, 2014).

- Según el trabajo de investigación: EFECTOS DEL MEDIO FILTRANTE Y LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES TROPICALES, la autora concluye que, “Los humedales de flujo subsuperficial vertical constituyen sistemas aerobios eficientes en la remoción de materia orgánica. La arena como medio filtrante (d10=5 mm, d60=12 mm), demostró tener mayor capacidad de remover materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno amoniacal y patógenos, en comparación con la grava. La remoción de sólidos en suspensión y microorganismos patógenos (representados como coliformes totales y E-Coli) es nula en los humedales basados en grava (d10=0,34 mm, d60=0,9 mm,.) bajo las condiciones dadas” (Bohórquez Bedoya, 2015).

- Según el trabajo de investigación: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ESTABILIZACIÓN DE HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL, SEMBRADOS CON HELICONIA (sp), PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, la autora concluye que, “Sus resultados en lo que refiere a los porcentajes de remoción, se obtuvieron eficiencias superiores a 96% en todas las unidades evaluadas. Para las altas remociones de materia orgánica obtenidas, influyen ampliamente las características de la arena como medio filtrante ya que por su tamaño de partícula, disminuye los espacios intersticiales por los que pasara el agua a tratar y aumenta su tiempo de retención, ayudando así a retener por filtración el material particulado cerca del tope del humedal y en las raíces de la planta, áreas que por la configuración vertical, le permite tener áreas insaturadas que proporcionan oxígeno disponible para posteriormente ser degradadas por microorganismos” (Paredes Gilón, 2014).

- Según el trabajo de investigación: EFECTO DEL USO DE PLANTAS Y CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS EN LA REMOCIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS MEDIANTE EL USO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN CONDICIONES TROPICALES, la autora concluye que,

“La baja remoción de Coliformes Totales y las diferencias no significativas entre sistemas plantados y sin plantar, como los resultados obtenidos, se deben a la presencia de bacterias en el suelo y agua, y los humedales construidos pueden tener condiciones ambientales favorables para el crecimiento bacterial. Por otra parte, el relativo gran tamaño del material de soporte (1 cm) podría ser la causa para no tener un 100% en la remoción de huevos de Helmintos, por tanto, es posible concluir que el principal mecanismo para su remoción está asociado con procesos físicos como la filtración y la sedimentación. Aunque los humedales construidos presentan un alto rendimiento para la remoción de patógenos, la efectividad del tratamiento podría ser afectada por factores ambientales incluyendo altos valores de precipitación y temporadas secas, afectando el tiempo de retención hidráulica. Los altos valores de precipitación dentro del humedal, que son típicas en áreas tropicales, aumentan la tasa de flujo en el sistema, afectando la capacidad del sistema para remover el material suspendido (incluyendo patógenos) por procesos físicos como filtración y sedimentación. De hecho, una reducción de las tasas de remoción de E. Coli del 92% al 71% se han reportado asociadas a fuertes precipitaciones” (Garcia Palacio, 2010).

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA TESIS

2.2.1. AGUA RESIDUAL DOMÉSTICAS

Las aguas residuales ingresan a las fuentes de agua con ciertas concentraciones de compuestos que alteran su calidad como el contenido de materia orgánica, sólidos en suspensión, microorganismos patógenos, nutrientes, sustancias disueltas, entre otros. En particular, las aguas residuales domésticas comparten características comunes, con concentraciones de algunas sustancias que, normalmente, pueden ubicarse dentro de rangos teóricamente definidos (Bohórquez Bedoya, 2015).

2.2.2. HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales consisten básicamente en ecosistemas diseñados por el hombre, inspirados en la capacidad de los humedales naturales para mejorar la calidad del agua a través de la remoción de variedad de contaminante en los cuales se llevan a cabo procesos físicos químicos y biológicos. (Bohórquez Bedoya, 2015)

La configuración de un humedal incluye un cultivo de macrófitas que encuentran sustento sobre un lecho filtrante, conformado por sustratos naturales, al interior del cual suceden procesos que incluyen fitodepuración, oxidación bacteriana, nitrificación/desnitrificación, filtración, sedimentación, precipitación y adsorción, a través de los principios de la actividad bioquímica de los microorganismos, el aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día, su capacidad de absorber nutrientes y el sustento físico del lecho filtrante que permite y soporta su enraizamiento. (Bohórquez Bedoya, 2015)

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. (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

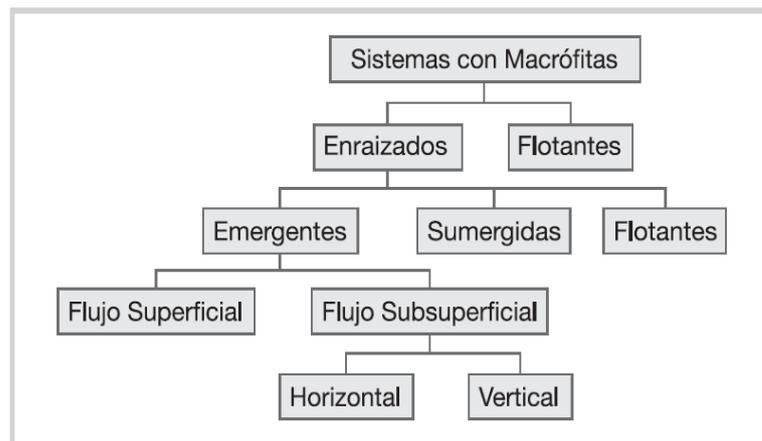


Figura 1. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.

Fuente: (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

A. HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Los sistemas de flujo subsuperficial están contruidos típicamente en forma de un lecho o canal que, al igual que el sistema de flujo libre, puede o no tener una barrera que impida la percolación del agua hacia el subsuelo, además contiene un medio apropiado (grava, arena u otro material) que soporta el crecimiento de las plantas; la vegetación emergente es la misma que en el sistema de flujo libre. (Espinosa Ortiz, 2014).

La profundidad del medio en estos humedales de flujo subsuperficial tiene un rango de 0,3 a 0,9 metros, siendo el valor más común el de 0,6 metros. El nivel del agua está por debajo de la superficie del soporte y fluye únicamente a través del medio que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre al agua residual, en donde las raíces penetran hasta el fondo del lecho, para lo cual el material que conforma el lecho filtrante deber ser suficientemente grande para permitir un flujo subterráneo a largo plazo sin obstrucciones. Las raíces y tubérculos (rizomas) de las plantas crecen en los espacios de poros de la grava. (Espinosa Ortiz, 2014).

A.1. 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 períodos de insaturación, 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. 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.

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. (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

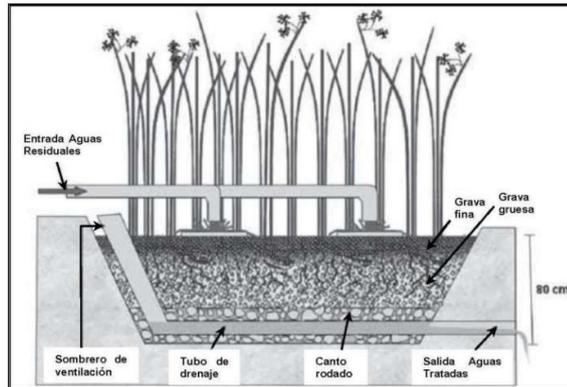


Figura 2. Esquema de un humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección).

Fuente: (Espinosa Ortiz, 2014)

Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales, requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica. Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación. 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. (Espinosa Ortiz, 2014)

Durante varios años, los humedales de flujo vertical han sido utilizados para el tratamiento de aguas residuales. Este tipo de humedal se ha aplicado para la remoción de compuestos orgánicos disueltos (materia orgánica) y coliformes fecales. (González Giraldo, 2014)

B. PLANTAS O VEGETACIÓN EN LOS HUMEDALES

Las plantas forman parte integral de los humedales construidos y representan la característica visual más sobresaliente en estos sistemas. Más allá de su valor estético, las plantas cumplen funciones físicas, químicas, biológicas y ecológicas importantes en los humedales. Las plantas son reconocidas por absorber y almacenar nutrientes presentes en el agua, los cuales son objeto de depuración, por lo que esta característica resulta benéfica para el tratamiento de aguas residuales. También se sabe que las plantas son capaces de tomar compuestos orgánicos. (Bohórquez Bedoya, 2015)

Por otro lado, las plantas liberan oxígeno a la rizósfera, constituyendo así uno de los mecanismos de transferencia de oxígeno en humedales, lo que tiene efecto positivo en la supervivencia de microorganismos aerobios en el lecho del humedal, contribuye a la mineralización de la materia orgánica retenida en el sustrato y puede llegar a variar el pH al interior del sistema.

Como una función biológica de gran importancia, las plantas liberan exudados a la rizósfera como vitaminas y antibióticos, los cuales permiten generar un hábitat para microorganismos de diferente naturaleza que los que pertenecen netamente a la biomasa del lecho. (Bohórquez Bedoya, 2015)

Las plantas presentan varias propiedades que las hacen ser un componente indispensable en los humedales construidos. La función de mayor importancia de las macrófitas en relación con el proceso de tratamiento de las aguas residuales es el efecto físico que ellas producen. Las macrófitas estabilizan la superficie del lecho, proporcionando buenas condiciones para la filtración, y en el caso de los sistemas con flujo vertical previniendo las obstrucciones, además de proporcionar área superficial para el crecimiento de los microorganismos adheridos. (V., Compilado)

Contrariamente a lo que al principio se creía, el crecimiento de las macrófitas en los sistemas con flujo subsuperficial, no incrementa la conductividad hidráulica del medio en los sistemas que utilizan suelo. En los humedales el suelo se encuentra saturado, lo que hace que los poros del suelo estén llenos de agua. Como la velocidad de difusión del oxígeno en el agua es lenta los suelos se vuelven anaerobios, lo que hace que este ambiente no sea adecuado para el crecimiento de la mayoría de las especies vegetales. Sin embargo, las especies de plantas acuáticas emergentes tienen la capacidad de absorber de la atmósfera, a través de sus hojas y tallos que se encuentra por encima del agua, el oxígeno y otros gases que ellas necesitan. (V., Compilado)

Tabla 2.

Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.

Raíces y/o tallos en la columna de agua.	<ol style="list-style-type: none">1. Superficies sobre la cual la bacteria crece.2. Medio de filtración y adsorción de sólidos.
Tallos y/o hojas sobre la superficie del agua	<ol style="list-style-type: none">1. Atenuan la luz del sol y así previenen el crecimiento de algas.2. Reducen los efectos del viento en el agua. Es decir, transferencia de gases entre la atmosfera y el agua.3. Importante en la transferencia de gases para y desde las partes sumergidas de la planta.

Fuente: (Wilmer Alberto Llagas Chafloque, Enrique Guadalupe Gómez, 2006)

C. EL MEDIO FILTRANTE EN HUMEDALES CONSTRUIDOS

El medio filtrante también conocido como medio poroso, medio granular o sustrato, cumple importantes funciones en la configuración de los humedales de flujo subsuperficial tales como dar soporte a las plantas, permitir la adhesión de microorganismos y promover la sedimentación y filtración de contaminantes. Sus características pueden definir en buena medida el comportamiento de los HFSSV debido a que afectan importantes aspectos del sistema como son, el pH del agua, la estructura de la comunidad microbiana. (Bohórquez Bedoya, 2015)

El medio filtrante en humedales de flujo vertical actúa bajo varios mecanismos en la remoción de sólidos. Presenta algunos de ellos (Bohórquez Bedoya, 2015):

- **Retención mecánica:** las partículas más grandes que el tamaño de poro del medio filtrante son retenidas por acción mecánica.
- **Retención por oportunidad de contacto:** las partículas más pequeñas que el tamaño de poro quedan atrapadas dentro del filtro por oportunidad de contacto con el sustrato. Este mecanismo es también llamado intercepción.

- **Sedimentación:** por acción de la gravedad, algunas partículas sedimentan en el lecho.
- **Impactación:** Las partículas pesadas no siguen el flujo de la corriente.

De acuerdo con las características del sustrato, también pueden presentarse mecanismos de remoción de sólidos como adsorción y floculación - precipitación. Por otra parte, la remoción de materia orgánica sucede en el medio filtrante por diferentes mecanismos (Bohórquez Bedoya, 2015):

- **Filtración/sedimentación:** la materia orgánica particulada forma parte de la composición de los sólidos totales en las aguas residuales, por tanto, los procesos mecánicos de filtración y sedimentación se encargan de remover una fracción importante de materia orgánica.
- **Biodegradación aerobia/anaerobia:** Las condiciones de alimentación por pulsos y los sistemas de aireación en los humedales verticales permite la formación de zonas aerobias y anaerobias dentro del lecho y, en consecuencia, el crecimiento de diferentes comunidades bacterianas que descomponen la materia orgánica a través de distintas rutas metabólicas. Los microorganismos que han sido introducidos, se adhieren al sustrato para formar biopelículas y su crecimiento depende de una fuente de carbono constituida principalmente por la materia orgánica disuelta presente en el agua residual.

D. SUSTRATOS CONVENCIONALES UTILIZADOS COMO MEDIO FILTRANTE EN HUMEDALES CONSTRUIDOS

El estado del arte muestra que arena y grava constituyen los principales materiales por ser los más comúnmente utilizados en humedales construidos y corresponden a los sustratos sobre los cuales se basan las guías de diseño de humedales de flujo vertical (Bohórquez Bedoya, 2015).

La arena es reconocida como un excelente medio filtrante, siendo la base de sistemas de filtros para tratamiento de agua potable e incluso para el tratamiento terciario de aguas residuales. Básicamente, se trata de un material contenido en suelos y sedimentos, de tamaño entre 60 μm y 2 mm, de acuerdo con el cual se puede clasificar en fina o gruesa, pero en general, se constituye como un material fino en la construcción de humedales para tratamiento de aguas residuales, relativo a los tamaños de la grava y otros sustratos utilizados. (Bohórquez Bedoya, 2015)

La grava es un material que proviene generalmente del lecho de los ríos y es también llamada canto rodado, puede tener origen también en grandes depósitos de roca o canteras. Su tamaño se encuentra entre 2 y 64 mm, este tamaño de partícula permite que los poros sean más grandes y que el agua drene con facilidad, por lo cual no se tapona fácilmente. De acuerdo con su origen, pueden variar las características fisicoquímicas de la grava y, por tanto, el comportamiento en la remoción de contaminantes. (Bohórquez Bedoya, 2015)

E. MICROORGANISMOS Y DEMÁS ORGANISMOS QUE SE DESARROLLAN EN LOS HUMEDALES

En los humedales se desarrollan una gran variedad de organismos que abarcan desde microorganismos como bacterias y protozoos hasta pequeños animales; siendo las bacterias el grupo fundamental en el proceso depurador de las aguas residuales. Los humedales son sistemas de tratamiento biológico de las aguas residuales con biomasa adherida. Como en todo sistema de tratamiento biológico, en los humedales se requiere de un sustrato para el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso depurador y que el agua permanezca por un tiempo para que se desarrolle esta masa microbiana, además el funcionamiento del sistema depende de una serie de factores ambientales, siendo los más importantes: la disponibilidad del oxígeno y la temperatura. (V., Compilado)

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.

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. (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

F. REVESTIMIENTO DE UN HUMEDAL

El requisito de revestimientos en los humedales artificiales depende de los requerimientos reglamentarios y de cada lugar de las características de la superficie y el subsuelo. En general, si los suelos son porosos (por ejemplo, arena), bien drenados, y contienen pequeñas cantidades de margas, arcillas y limos, el revestimiento es probable que sea un requisito para los humedales construidos. Por otra parte, si los suelos son de drenaje pobre y compuesto principalmente de arcillas, entonces, el revestimiento no será probablemente necesario. Estos sistemas tienden a producir una capa de turba en el fondo, lo que reduciría la infiltración con el tiempo. (ORTIZ, 2014)

G. MECANISMOS DE REMOCIÓN EN HUMEDALES ARTIFICIALES

G.1. Remoción de DBO

El suelo es un biofiltro que contiene una gran cantidad de bacterias. La remoción de DBO se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacterial, ya que las capas superiores del suelo contienen microorganismos en abundancia. Los valores más comunes que se estiman respecto a la cantidad de microorganismos son: 10^7 bacterias, 10^6 actinomicas y 10^5 hongos por gramo de tierra. Estos microorganismos los responsables de la remoción de DBO en el agua residual aplicada. Para flujo superficial, el crecimiento bacterial que se presenta en la capa superior del suelo y en el humus de las plantas son responsables de la remoción. El crecimiento biológico de organismos es sensible a la temperatura. Los organismos alcanzan un crecimiento óptimo a temperaturas relativamente altas, pero su reproducción continúa inclusive a temperaturas muy bajas. (Jhoan Pablo Marín Montoya, Juan Carlos Correa Ramírez, 2010)

G.2. Remoción de organismos patógenos

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

H. CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA LA APLICACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Dentro de las condiciones climáticas que afectan más directamente al funcionamiento de los Humedales Artificiales, la temperatura juega un papel destacado. Al transcurrir la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes, que acontecen en esta tecnología de tratamiento, por vías biológicas, las velocidades a las que transcurren dichos procesos se ven

directamente afectadas por la temperatura ambiente y por la temperatura de las propias aguas a tratar. Cabe recordar, que dentro del rango térmico en el que se desarrollan los microorganismos, cada incremento de 10 °C duplica las velocidades de las reacciones. Dentro de los procesos que se ven afectados por la temperatura se encuentran los involucrados en la eliminación de DBO5 y de amoníaco. Por otro lado, la temperatura también afecta a la solubilidad del oxígeno en el agua. Para temperatura media del agua inferior a 9°C la concentración de saturación de oxígeno es de 11,6 mg/l, mientras que para temperaturas de 18°C la concentración es de 9,6 mg/l. Con relación a la pluviometría, los Humedales Artificiales se adaptan bien a variaciones pasajeras de cargas hidráulicas, tales como precipitaciones de corta duración. Por el contrario, para regiones particularmente pluviosas, el dimensionamiento debe basarse en la estimación del caudal para tiempo de lluvia. (Juan Ramón, 2010)

2.2.3. DISEÑO DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

Para el diseño de humedales se deben considerar los siguientes criterios (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010):

- **Cálculo del área necesaria:** 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.

- **Profundidad del humedal:** La profundidad del humedal suele ser de unos 60 a 80 cm. El agua fluirá a través del medio poroso y se recogerá en una red de tuberías de drenaje situada en el fondo del lecho.

- **Sustrato:** El sustrato está conformado por varias capas de material según el tipo de uso que se le dará al humedal.

- **Pendiente:** La pendiente de la superficie del humedal es plana (0%), este debe ser realizado con mucho cuidado para evitar que se formen charcos de agua sobre la superficie. La pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2% pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 1%.

2.2.4. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Los parámetros físicos dan una idea aproximada de la calidad del agua residual, del proceso que se realiza y de los posibles problemas existentes en el tratamiento, en una estación depuradora de aguas residuales. (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010).

❖ Temperatura

Este parámetro es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que muchos procesos biológicos dependen de la temperatura. La temperatura en el agua es importante debido a que esta influye en la cinética química de las reacciones de la vida acuática y en la cantidad de oxígeno presente. La temperatura óptima para la actividad biológica está entre 20-35 °C. (Paredes Gilón, 2014)

❖ Turbidez

Se define a la turbidez de una muestra de agua, como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua. Este material puede consistir en arcillas, limos, algas, etcétera, que se mantienen en suspensión debido a la fuerza de arrastre de la corriente o a su naturaleza coloidal. Indica que el material coloidal impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa. La mayor turbidez está asociada con el tamaño de partículas: a menor tamaño de partículas se tendrá mayor turbidez del agua. (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

Una elevada turbidez puede afectar al proceso de depuración de aguas de la siguiente forma (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010):

- Protegiendo a los microorganismos patógenos de los efectos de la desinfección por acción de la luz solar.
- Estimulando la proliferación de bacterias.
- Disminuyendo la capacidad de fotosíntesis de plantas acuáticas y zooplancton.

❖ **pH**

Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno. Aguas residuales en concentraciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos.

El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5. Para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7,5. (Jhoan Pablo Marín Montoya, Juan Carlos Correa Ramírez, 2010)

Tabla 3.

Clasificación del pH del agua.

ACIDO		NEUTRO	ALCALINO	
Medio	Fuerte		Medio	Fuerte
0 a 4.3	4.3 a 7	7	7 a 8.2	8.2 a 14

Fuente: (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

2.2.5. EQUISETUM BOGOTENSE (COLA DE CABALLO)

a. Clasificación taxonómica

Tabla 4.

Clasificación taxonómica de la cola de caballo (Equisetum bogotense).

Reino	Plantae
División	Pteridophyta
Clase	Equisetopsida
Orden	Equisetales
Familia	Equicetaceae
Género	<i>Equisetum</i>
Especie	<i>Bogotense</i>

Fuente: (Diana Hernandez Torres, Diana García Forero, 2011)

b. Material vegetal

Es un pariente primitivo de los helechos con una amplia distribución desde América Central hasta el extremo austral de Sudamérica, viviendo en ambientes muy húmedos especialmente a la orilla de los cursos de agua. Por su aspecto ramificado con abundantes ramas delgadas, con nudos y entrenudos notorios, ha recibido el nombre científico de Equisetum (del latín “*eggus*”, caballo, y “*setum*”, cerda o crin, la planta recuerda una cola de caballo) y su epíteto específico alude a la ciudad colombiana de donde proviene el material con que fue descrita por primera vez. En el país se le conoce como "limpiaplata", "yerba del platero", "yerba de la plata", debido a la aspereza de sus tallos que contienen sales de sílice y sirve para pulir metales, especialmente objetos de plata. (Gualterio Loosert, Roberto Rodríguez, 2004)

Se realizó una clasificación de esta especie y la describió de la siguiente manera; *Equisetum bogotense* es una planta rizomatosa, con tallos erectos marrón pálido, huecos y duros, muy áspero al tacto que crecen a partir de rizomas muy vigorosos y carentes de flores, por tanto, sin semillas. (Diana Hernandez Torres, Diana García Forero, 2011)

Al igual que en otras pteridofitas la planta de *E. bogotense* se reproduce sexualmente por esporas. Se dispersan originando prótalos que darán origen a nuevos pies de planta esporofíticos, son de corta vida. La reproducción sexual en *Equisetum* se limita a condiciones ecológicas más bien reducidas y esto limita la capacidad de dispersión a través de esporas. (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011)

c. **Morfología**

- **Tallos:** erectos de color verde a marrón pálido, huecos y duros, muy áspero al tacto que crecen a partir de rizomas muy vigorosos, tallos fértiles de hasta 30 cm de altura, terminados en cabezuelas (estróbilos) donde se encuentran los esporangios que disparan las esporas y le dan el conjunto el aspecto de esparrago, los estériles más altos que los fértiles, estriados con hojas muy características (microfilos) que se agrupan en los verticilos y cuyos bordes están unidos a los otros tallos más delgados que surgen a partir de los verticilos y formadas por una sucesión de apéndices cada vez más delegados en cuyos nudos aparecen 4 estrías en forma de rayos de paraguas. (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011).

Los tallos erguidos, de 10 – 50 cm de largo, rugosos y con profundos surcos con 4 a 9 carinas igual o más angostas que los surcos que la alternan; vainas anchas, provistas de un numero de dientes correspondientes al número de las carinas; dientes de las vainas con un surco dorsal, aovados o deltoideos escariosos en el borde, el ápice de ellos es una cúspide setacea prontamente caediza; ramos irregularmente verticilados, esparoidos, más delgado que el tallo. (Silvia Blair Trujillo, Beatriz Madrigal, 2005)

- **Hojas:** Hojas reducidas (microfilos) dispuestas en verticilos, hojas fértiles transformadas en esporangióforos (estructura sobre la que se desarrollan los esporangios) unidas en estróbilos terminales. Consta de un grupo de hojas muy pequeñas, escamiformes y se reúnen en vainas urceoladas, alargadas y de coloración marrón en torno al tallo; estas hojas tienen un único haz vascular. (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011)

- **Esporas:** De 38 a 49 micras de diámetro, de color verde, esféricas y con paredes delgadas, cada espora de *Equisetum* tiene cuatro únicas estructuras en forma de correas llamadas eláteres unidas a su superficie en un punto común. Las esporas de *Equisetum* son de corta vida y pueden germinar dentro de 24 horas desde que se liberan del cono y después de 6-17 días dependiendo de la humedad no son capaces de germinar. (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011)

- **Rizoma:** Presenta una coloración marrón oscuro a negra, de los entre nudos parten raíces relativamente cortas y cubiertas por pequeños y numerosos pelos. Un solo sistema de rizomas puede cubrir cientos de metros cuadrados y pueden penetrar a profundidades de suelo de cuatro metros en algunos casos, este crecimiento de los rizomas le da a la planta la capacidad de sobrevivir a perturbaciones ambientales, tales como arado, entierro, fuego y sequía. El extenso sistema de rizomas también permite que las plantas de *Equisetum bogotense* se abastezcan de agua y nutrientes minerales desde una gran profundidad y de ahí que esto les permita crecer en hábitats, tales como rellenos de caminos que parecen secos en su superficie. (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011)

d. Composición química y toxicidad

El tallo de *Equisetum bogotense* contiene de 5 a 8% de sílice y ácido silícico. La planta contiene una saponina llamada equisetonina en adición a isoquercitrina, equisetrina y galuteolina. La fracción esteroidal contiene β -sitosterol, campesterol, isofucoesterol y trazas de colesterol; la nicotina (menos que 1ppm) puede ser responsables de su actividad biológica. También ha sido reportada la citokinina-isopentenil adenosiva. Citando a Blohn anota que los esquistas contienen un 10% de sílice; se trata de inclusiones epidérmicas, las cuales se liberan por incineración de los tejidos. Preparados muy finos se reciben si antes del proceso de incineración el material orgánico es disuelto en ácido nítrico. Los esquistas contienen equisetonina y saponinas (hasta 5%). Estas sustancias son venenosas para caballos y ovejas. (Silvia Blair Trujillo, Beatriz Madrigal, 2005)

e. Propiedades y usos

Las poblaciones indígenas y del centro de sur América culturalmente la han venido empleando como un diurético típico y para contrarrestar hemorragias uterinas. Externamente se utiliza en heridas ulcerosas. En Chile la infusión es descrita como depurativa, hemostática, suplemento mineral y usada para aliviar algunas infecciones. Entre los usos cosméticos se destaca en la prevención de las arrugas y celulitis. Esta planta puede ser usada en infusión o pulverizada.

La especie *Equisetum bogotense* es utilizada por sus propiedades con los metales, ya que antes de que se descubrieran propiedades medicinales esta especie fue utilizada para pulir metales, además de ser utilizada para la limpieza de los dientes por su alto contenido de silicio. (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011)

2.3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La investigación se realizó en Centro Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu – Ruri, UNASAM, ubicado en el Distrito de Marcará, Provincia de Carhuaz, Departamento de Ancash, con coordenadas UTM 18 S 214630.53, 8968396.27, con una altitud de 2767 m.s.n.m.

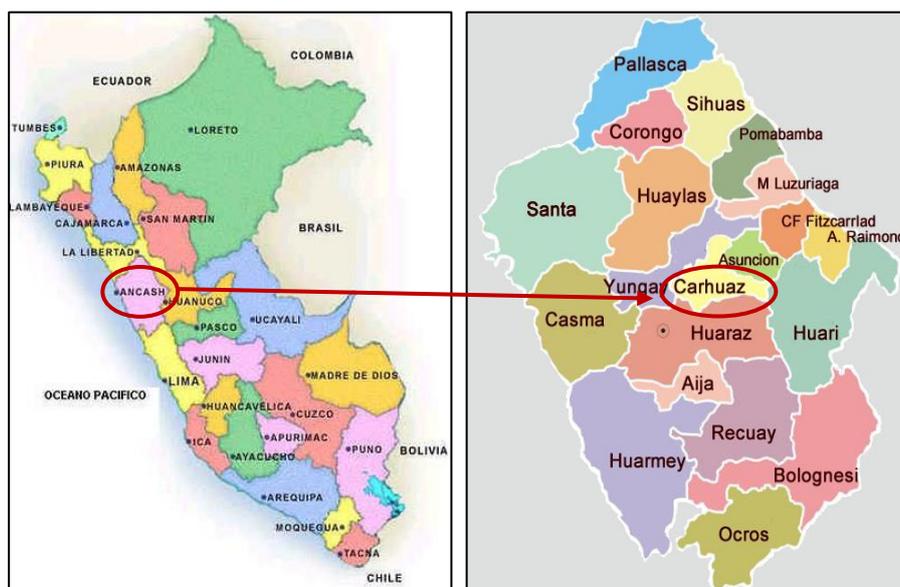


Figura 3. Mapa de Ubicación Geográfica de la Tesis a Nivel Nacional y Departamental

Fuente: Adaptado a (*Blogitravel, 2017*) y (*Perutravelling, 2017*)



Figura 4. Mapa de la Ubicación de la Tesis, Centro Experimental Ecológico TUYU RURI - Provincia de Carhuaz.

Fuente: Adaptado a Google Maps y (*Perutoptours, 2017*)

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- 2.4.1. Adsorción:** acción y efecto de adsorber. (Real Academia Española, 2017).
Proceso mediante el cual un sólido poroso a nivel microscópico retiene partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste. (Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores, 2012)
- 2.4.2. Aerobios.** Son aquellos microorganismos que pueden vivir y desarrollarse en presencia de moléculas de oxígeno. (Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores, 2012)
- 2.4.3. Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.4. Anaerobios:** Son aquellos microorganismos que pueden vivir y desarrollarse en ausencia completa de oxígeno molecular libre. (Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores, 2012)
- 2.4.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C). (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.6. Evapotranspiración:** Es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. (Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores, 2012)
- 2.4.7. Coliformes:** Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35 +/- 0,5 °C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a 44.5 +/- 0,2 °C en 24 horas se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes). (Ministerio de Vivienda, 2006)

- 2.4.8. Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.9. Efluente:** líquido que sale de un proceso de tratamiento. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.10. Impermeable:** que impide el paso de un líquido. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.11. Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.12. Proceso biológico:** asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.13. Reúso de aguas residuales:** Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.14. Rizoma:** Tallo horizontal y subterráneo, como el del lirio común. (Real Academia Española, 2017)
- 2.4.15. Tratamiento primario:** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta. (Ministerio de Vivienda, 2006)
- 2.4.16. Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión. (Ministerio de Vivienda, 2006)

2.4.17. Turba: la turba es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos. (Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores, 2012)

2.4.18. Muestras Compuestas: resultan de la mezcla y homogeneización de muestras puntuales recogidas en un mismo punto a lo largo de un periodo de tiempo. Se utilizan para evaluar la calidad promedio de aguas cuya composición varía en el tiempo. Es decir que se reduce el número de muestras a analizar, aunque también la información obtenida de las mismas. (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade, 2010)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Según el propósito de la investigación y a la naturaleza de los problemas:

Investigación es aplicada, por la aplicación de los conocimientos a la solución de un problema inmediato.

3.1.2. Según su naturaleza: Investigación es descriptivo, porque el objetivo consiste en obtener datos directamente del este tratamiento y se utilizara la observación. (Sampieri, 2014)

3.2. MATERIALES Y MÉTODO DE LA TESIS

3.2.1. MATERIALES Y/O EQUIPO

A continuación, se muestra en la tabla 5, los equipo y/o método y la validación de los indicadores de las variables de la metodología.

Tabla 5.

Equipo y/o método y validación para los indicadores de las variables.

PARÁMETROS	EQUIPO Y/O MÉTODO	DESCRIPCIÓN	VALIDACIÓN
Caudal	Volumétrico (aforos)	Es el tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido.	Confiable
TRH	Cronometro, trazador (añelina)	Es el tiempo que un líquido que entra en un recipiente tarada en salir del mismo.	Confiable
pH	pH-metro	Con el equipo se realiza un método electrónico	Confiable
Temperatura del agua residual	pH-metro	Con el equipo se realiza un método electrónico	Confiable
Turbiedad	Turbidímetro (APHA 2130 B)	Se realiza mediante equipo y método mencionado.	Confiable
Coliformes totales	NMP/100ml. (APHA 9221 B)	Se realiza mediante ensayos de Laboratorio	Confiable
Coliformes fecales	NMP/100ml. (APHA 9221 C)	Se realiza mediante ensayos de Laboratorio	Confiable
DBO	(APHA 5210 B)	Se realiza mediante ensayos de Laboratorio	Confiable

Fuente: propia

3.2.2. MÉTODO

El trabajo de investigación inicio con la caracterización y diseño del HFSSV, luego la construcción a escala piloto del HFSSV, seguidamente se dividió en 3 etapas, las cuales fueron, la primera etapa consistió en la recolección, la preadaptación de la especie *Equisetum bogotense* e implementación del HFSSV, la segunda etapa consistió en la adaptación de la especie *Equisetum Bogotense* dentro del cual se realizó las mediciones de los parámetros de caudal, temperatura y pH en el afluente y efluente del humedal de flujo vertical, la tercera etapa consistió en el tratamiento del HFSSV, dentro del cual se evaluando los parámetros de pH, temperatura y turbiedad, también con la medición en campo del caudal del afluente y efluente del humedal de flujo vertical y el TRH, finalmente medir los coliformes totales, fecales y DBO, y verificar si los resultados obtenidos cumplen con el ECA para reúso, en el Centro Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu – Ruri, UNASAM. La investigación de la tesis tuvo una duración de 8 meses, 2 meses del diseño y construcción del humedal del flujo vertical (tratamiento secundario), 1 mes de recolección, preadaptación e implementación del HFSSV, 1 mes de la etapa de adaptación y por último 4 meses de la etapa de tratamiento. Después de las etapas se describirá las partes de planta de tratamiento de Tuyu-Ruri.

A. DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos meteorológicos, según Bocardo, 2010 son datos importantes que influyen en el tratamiento mediante HFSSV, es por ello que es importante saber bajo que medio climático trata el HFSSV, los datos que se obtuvieron fueron de la temperatura mensual (°C), humedad relativa mensual (%) y Precipitación total mensual (mm), se obtuvieron de dos fuentes los primeros dos meses se adquirieron de (AccuWeather, 2017) y últimos 3 meses se obtuvieron del Centro de investigación ambiental para el desarrollo (CIAD) – UNASAM. En la siguiente tabla 6 se muestra los datos meteorológicos mensuales.

Tabla 6.

Temperatura, Humedad relativa y Precipitación mensuales de Marcará - Centro Experimental Ecológico TUYU RURI – 2017.

MES	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO (%)	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)
FEBRERO*	14.0	50.0	0.3
MARZO*	15.4	59.0	0.6
ABRIL**	14.8	76.0	96.6
MAYO**	14.5	73.0	47.8
JUNIO**	13.7	63.0	0.6

Fuente: * (AccuWeather, 2017), **Centro de investigación ambiental para el desarrollo (CIAD) – UNASAM-2017

B. CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DEL HFSSV

Para el diseño del HFSSV, primeramente se realizó la caracterización del agua residual doméstica a tratar, el cual se hizo el análisis de dichas aguas residuales para determinar la concentración de la DBO, debido a que los cálculos del área del HFSSV están basados en concentración de mg/l de la DBO que va hacer tratado por el humedal, se decidió tomar la muestra en la entrada del tratamiento dando un resultado de 127 mg/l, debido que el tratamiento del HFSSV se pondrá como secundario y teniendo un tratamiento primario anterior, que es un biodigestor, se tuvo que calcular la concentración de la DBO en la salida del biodigestor, teniendo como antecedente que un biodigestor remueve el 70 % de DBO según (Daniel Mendoza Ortega , Carolina Ramos Escorza, 2012), y resulto con una concentración de DBO de 38.10 mg/l, el cual se procedió al cálculo y con un caudal de 0.3 m³/día.

A continuación, se describirá los cálculos de diseño.

B.1. Criterios del diseño del HFSSV

En la tabla 7 se muestra los datos y criterio de diseño.

Tabla 7.

Datos y criterios de diseño del HFSSV.

CRITERIOS DE DISEÑO	VALOR	UNIDADES
Caudal	0.30	m3/día
Profundidad útil	0.60	m
Profundidad total	0.80	m
Pendiente	0.01	m/m

Fuente: propio.

Para los demás datos del diseño del piloto, se empleó la tabla 8 para su valor.

Tabla 8.

Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales.

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO EFECTIVO D10 (mm)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA, KS (m3/m2/d)	POROSIDAD, n %
Arena gruesa	2	100-1000	28-32
Arena gravosa	8	500-5000	30-35
Grava media	32	10000-50000	36-40

Fuente: DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES, 2010.

B.2. Cálculo del área superficial

Para calcular las dimensiones del HFSSV usaremos los siguientes modelos y constantes cinéticas matemáticas según (Maira M. Pérez Villar, Elena R. Domínguez, Yaribey M. Gonzalez Roche, Taimy Jimenez Llano, 2014)

Se calculará con la fórmula siguiente:

$$As = \frac{Q * \ln \frac{Co}{Ce}}{k * y * \eta} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Q: Flujo de agua residual, m³/d

η: Porosidad

y: Profundidad, m

Ce y Co: Concentración efluente y afluente, respectivamente mg/l

k: Constante cinética, de primer orden d⁻¹

B.3. Diseño hidráulico

B.3.1. Cálculo para el diámetro de tubería:

El diámetro de las tuberías de entrada y de drenaje, se calcularon con la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Q}{V} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

A: Área (m²)

Q: Flujo (m³/d)

V: m/s

B.3.2. Cálculo de los orificios de la tubería:

En las tuberías de entrada se realizó el cálculo del diámetro de los orificios, con la formula siguiente.

$$q_o = \alpha * A_o \sqrt{2 * g * h} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

q_o: Gasto del orificio (L/s)

α: Coeficiente de gasto (0.6)

A_o: Área del orificio (m²)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

h: Perdida.

También se usó la siguiente fórmula para el cálculo de los orificios:

$$q_t = q_o * N_o * N_T \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

q_T y q_o : Gasto total y gasto de un orificio, respectivamente, m³/d.

N_o y N_T : Numero de orificios por tubo y Numero de tubo

C. CONSTRUCCIÓN DEL HFSSV

C.1. Levantamiento topográfico:

Se realizó el levantamiento topográfico del terreno para la ubicación exacta del HFSSV.

C.2. Excavación:

Para la construcción del piloto, se empezó con la excavación del terreno luego de ello se niveló la base y el talud de las paredes.

C.3. Revestimiento:

Para el revestimiento del HFSSV fue hecho con concreto de 175 kg/cm² de resistencia y acero, en la mezcla se le añadió un impermeabilizante con la dosificación de acuerdo al manual del tipo de impermeabilizante comprado, con la finalidad que esta pueda funcionar como revestimiento para que el agua residual a tratar no filtre y se mantenga dentro de la estructura del humedal, seguidamente luego de la excavación se puso el acero previamente armado y se empezó con el vaciado del piso del humedal dándole una pendiente de 1% hacia la dirección de la tuberías de drenaje según (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade, 2010, pág. 36 y 43), y así se continuó con el vaciado de las paredes del humedal que tienen el talud de 1:2, previo al encofrado.

C.4. Construcción de la caja de recolección:

Se prosiguió con la construcción de la caja de recolección, la cual evacuara en esta caja el efluente del agua residual tratada del HFSSV, el material con la que se construyó fue con concreto al igual que el humedal.

C.5. Sistema de drenaje y ventilación:

El sistema de drenaje comprende dos tuberías perforadas de 2 pulgadas de diámetro la cual se puso durante el vaciado del humedal, al fondo de la estructura que une el HFSSV con la caja de recolección de salida, las tuberías están ubicadas a lo largo del lecho del HFSSV sobre el piso.

El sistema de ventilación también comprende dos tuberías de 2 pulgadas que están unidas con las tuberías de drenaje y estas están verticalmente hacia la superficie del humedal con la finalidad que estas tuberías transfieran oxígeno del ambiente a la parte media y del fondo del humedal.

C.6. Sistema de entrada:

El sistema de entrada del agua residual a los HFSSV, es por medio de dos tuberías a lo largo del lecho encima de los estratos, los diámetros de las tuberías se calcularon y por ello se eligió un diámetro comercial que fue de 2 pulgadas, las tuberías se perforaron, la distribución de los orificios a lo largo de la tubería son esenciales para tener una distribución uniforme del caudal en todo el lecho del humedal, por lo que se calculó el tamaño del orificio, con la finalidad que el gasto por los orificios sean igual o similares, es por ello que los orificios variaron de menor a mayor, teniendo de mayor diámetro en los orificio finales, la variación de diámetro de los orificios en la tubería fue de 2.3 mm hasta 3.0 mm, la distancia que se propuso entre orificios fue 0.3 m, para un total de 8 orificios por tubería en una tubería de 2.4 m de largo.

D. RECOLECCIÓN, PREADAPTACIÓN DE LA ESPECIE *EQUISETUM BOGOTENSE* E IMPLEMENTACIÓN DEL HFSSV

La recolección, la preadaptación de la especie *Equisetum bogotense* y la implementación del humedal, estos procedimientos tuvieron una duración de un mes y se realizó de forma paralela.

D.1. Recolección de la especie *Equisetum bogotense*

La selección de la especie *Equisetum bogotense*, fue debido que esta planta crece y diferentes tipos de lugares, adaptándose a todo tipo de clima y estrato, una de las características de esta especie es que tan solo un rizoma puede llenar sientos de metros cuadrados de terreno según (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011).

La recolección de la especie *Equisetum bogotense*, se obtuvo de los contornos de las sequias ubicadas por el Centro Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu Ruri - Marcará, UNASAM. Ubicado en el Distrito de Marcará, Provincia de Carhuaz.

D.2. Preadaptación de la especie

La preadaptación de la especie *Equisetum bogotense*, fue que después de la recolección de esta fue transferido y plantado en dos tinas con material de turba, se recolectó en total 40 plantas las cuales fueron plantados con la finalidad que empiecen una preadaptación con el sustrato, estas tinas solo estuvieron un mes en sombra es decir no tenían radiación solar directa y el agua que se le suministraba era agua de sequia. Se fue observando durante el mes el crecimiento, y cuanto se demoraron en salir nuevos brotes, según los investigadores (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade, 2010) recomiendan que una vez que las especies sean trasplantadas esperen aproximadamente que la planta empiece a crecer y se desarrollen en el sustrato, es por ello que se realizó una preadaptación para luego ser trasplantados de las tinas al HFSSV.

D.3. Implementación del HFSSV:

La implementación del humedal consistió en terminar con el llenado del sustrato y la trasplantación de las plantas al HFSSV.

D.3.1. Llenado de los sustratos:

Primeramente, se escogió los sustratos que fue turba mezclado con arena, arena gruesa (2mm), arena gravosa (8 mm), grava media (32 mm), cada uno de los sustratos pasaron por un tamizado, esto ayudo que cada sustrato sea homogéneo en el contexto de tener un mismo tamaño para cada uno de ellos.

El HFSSV se rellenó con 4 sustratos de diferentes tamaños las cuales fueron: La última capa, la capa de drenaje es de grava media de tamaño efectivo de 32 mm, esta capa tendrá una altura de 10 cm, la tercera capa, la capa intermedia es de arena gravosa de tamaño efectivo de 8 mm, esta capa tendrá una altura de 20 cm, la segunda capa, la capa superficial está constituido arena gruesa de tamaño efectivo de 2 mm con una altura de 20 cm y se consideró poner una primera capa de turba mezclada con arena, la capa de turba disminuyo la porosidad del medio en la zona donde se desarrolla la vegetación y además homogenizo la distribución del agua, el espesor ideal para la turba es de 10 cm según los investigadores (Rodríguez González María Reyes, Molina Burgos Judith, Jácome Burgos Alfredo y Suárez López Joaquín, 2012).

Antes de ponerlo al humedal, los tres sustratos conformados por arena gruesa, arena gravosa y grava media fueron lavados para eliminar algunos poros de tierra que tuvieran, en el anexo 1 se muestran las fotografías del tamizado, lavado y cuando se pone cada capa al HFSSV.

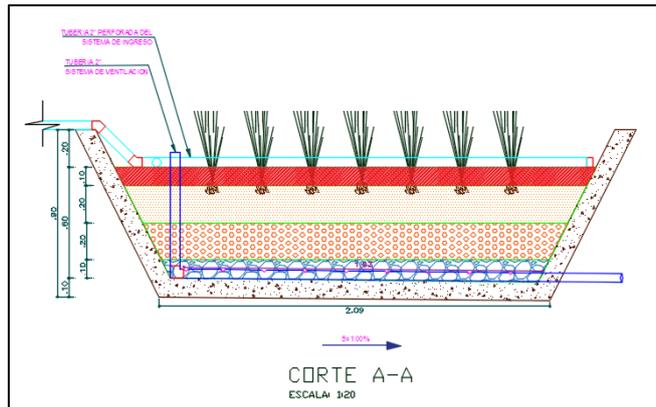


Figura 5. Detalle del sistema de HFSSV. Vista de Corte.

Fuente: propia

Tabla 9.

Características del sustrato para el diseño de HFSSV.

	TRATAMIENTO PRIMARIO	SECUNDARIO
Capa Superficial	h >30 cm grava fina, diámetro efectivo de 2-10 mm	h >30 cm grava fina, diámetro efectivo de 2-10 mm
Intermedia	h de 10 a 15 cm grava fina, diámetro efectivo de 5-20 mm	h de 10 a 20 cm grava fina, diámetro efectivo de 3-10 mm
Drenaje	h de 10 cm grava, de diámetro efectivo de 20-40 mm	h de 10 cm grava, de diámetro efectivo de 20-40 mm

Fuente: (DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES., 2010)

D.3.2. Plantación de la especie *Equisetum bogotense*:

Después de un mes que la panta se preadaptó en las tinas, y se terminó de implementar el sistema, se procedió a la plantación de la especie *Equisetum bogotense* a los HFSSV, para la plantación según algunos autores (Fernández González, 2009), recomienda una plantación cada 30 cm separadas entre plantas, esto debe ser de acuerdo al tamaño de las raíces de las especies a plantar, en el caso del *Equisetum bogotense* sus raíces son pequeñas, estas constan de rizomas tipo tallo que crecen horizontalmente dentro del sustrato, se plantó 35 especies de *Equisetum bogotense*, a lo largo del humedal se plantó cada 30 cm y en lo ancho cada 20 cm de la especie, se plantó realizando surcos en el primer estrato con las medidas mencionadas, en el anexo 1 se muestran las fotografías correspondientes a esta etapa.

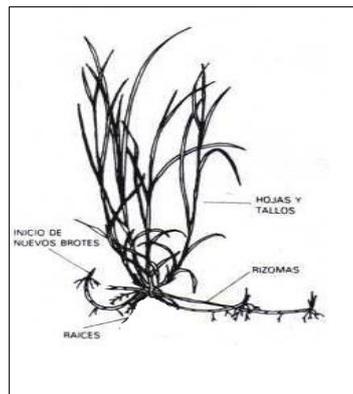


Figura 6: Especie *Equisetum bogotense*.

Fuente: (V., Compilado)

E. ETAPA DE ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE *EQUISETUM BOGOTENSE*.

En la adaptación de la especie *Equisetum bogotense*, durante un mes se evaluó la especie con el agua residual doméstica, los primeros 10 días se cubrió el humedal con una malla, porque las plantas recién trasplantadas tienen una menor resistencia a los rayos solares según (Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero, 2011), es por ello que hasta que sus raíces empiecen a crecer y se adapten al agua residual, durante esta fase se midió únicamente los parámetros de pH y temperatura, como el agua residual doméstica es una

muestra compuesta se mide cada 2 horas el día, semanalmente, estos parámetros son parámetros de control para poder definir si el Humedal estaba dentro del pH y temperatura adecuado para el tratamiento, también se mide el caudal de manera quincenal, los parámetros mencionados el número de muestra que se tomó en el mes de adaptación, se realizara con el tipo de Muestreo No Probabilístico.

A continuación, se muestra en la tabla 10 los parámetros a medir.

Tabla 10.

Parámetros de evaluación durante la adaptación.

PARÁMETROS	LUGAR DE ANÁLISIS	FRECUENCIA	REGISTRO
pH	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Semanal in situ	4
Temperatura	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Semanal in situ	4
Caudal	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Quincenal in situ	2

Fuente: propia

F. ETAPA DE TRATAMIENTO

Durante el tratamiento se realizó la medición de pH, temperatura, turbiedad, caudal y TRH como parámetros de control para el tratamiento del HFSSV y los parámetros de interés de la investigación que son coliformes totales, fecales y DBO5, estos últimos parámetros se analizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, el pH, la temperatura y el caudal, se midieron en campo tanto en el afluente como en el efluente y su comportamiento fue evaluado en el tiempo. El número de muestra para todos los parámetros que se tomó, se realizó con el tipo de Muestreo No Probabilístico. A continuación, se muestra en la tabla 11 los parámetros a medir.

Tabla 11.

Parámetros de evaluación durante el tratamiento.

PARÁMETROS	LUGAR DE ANÁLISIS	FRECUENCIA	REGISTRO
Caudal	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Quincenal	7
TRH	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Mensual	3
pH	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Quincenal	7
Temperatura	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Quincenal	7
Turbiedad	Centro Experimental Tuyu-Ruri	Mensual	4
Coliformes totales	Laboratorio UNASAM	Quincenal	7
Coliformes fecales	Laboratorio UNASAM	Quincenal	7
DBO	Laboratorio UNASAM	Quincenal	7

Fuente: propia

▪ **Cálculo del Caudal Aforado**

En HFSSV se diseñó con un caudal de 0.0034 lps, cuando el tratamiento estaba en operación se aforo el caudal del afluente y efluente de humedal y se determinó el caudal por el método volumétrico. Para determinar el caudal por el método volumétrico, debemos tomar los datos en campo (in situ). Es necesario un recipiente con volumen conocido y un cronometro para controlar el tiempo el cual se demora el recipiente en llenar; la expresión para hallar el caudal es:

$$Q = V/T \dots \dots (5)$$

Donde: Q= caudal (lps), V= volumen (litros), T= tiempo (segundos)

Como se trata de una muestra compuesta se midió el caudal cada hora por día, se mido también el tiempo de retención hidráulico en campo con la ayuda de un trazador (añelina) la cual se le añadió en el segundo vertedero y se esperó que el trazador salga por la caja de recolección del efluente del humedal.

▪ **CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN:**

El porcentaje de eficiencia de remoción para los parámetros a medir se obtuvieron de la siguiente fórmula:

$$E = \left(\frac{C_o - C_f}{C_o} \right) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

E= Eficiencia de remoción de un contaminante, (%).

Co= concentración inicial del contaminante, (ml/l)

Cf= concentración final del contaminante, (ml/l)

G. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento general se puede observar en la siguiente imagen:

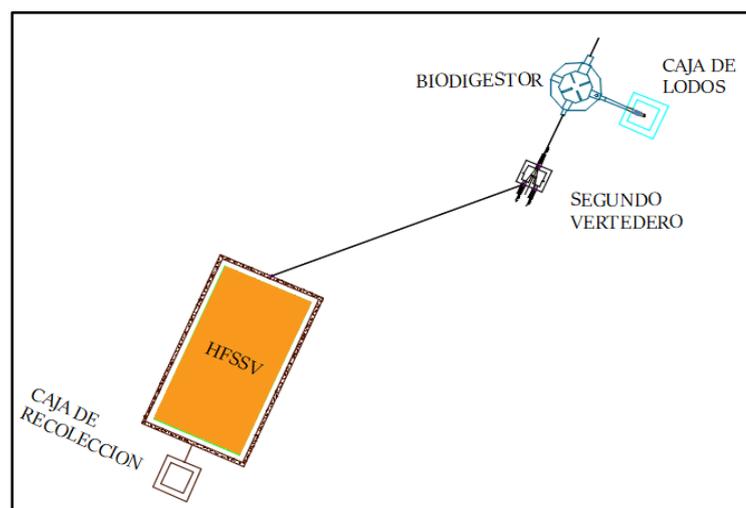


Figura 7. Sistema general de la planta de tratamiento. Vista en Planta.

Fuente: Propia

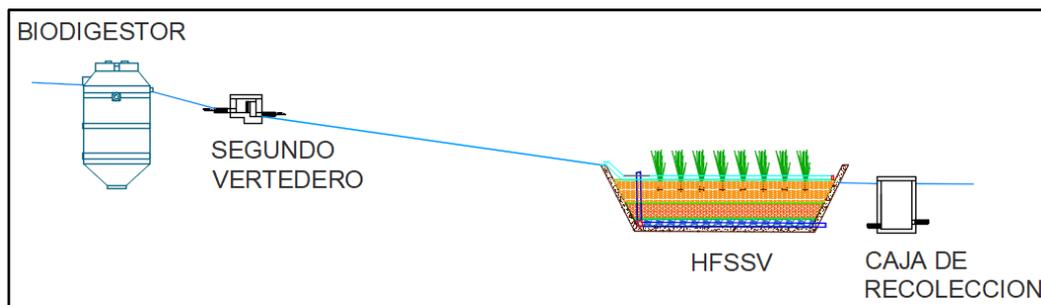


Figura 8. Sistema general de la planta de tratamiento. Perfil

Fuente: Propia

A continuación, se detallará la descripción de cada tratamiento que compone la planta de tratamiento de agua residual doméstica:

G.1. Primer vertedero

La planta de tratamiento inicia con una caja de reunión o primer vertedero, la cual es la entrada del agua residual doméstica, en la caja se encuentra una criba que retiene los sólidos de gran tamaño y funciona como tratamiento preliminar, dejando pasar a la siguiente placa donde se encuentra un orificio, que capta un caudal de 0.00694 lps la cual es conducido hasta el tratamiento primario.



Fotografía 1. Se muestra la imagen del primer vertedero.

Fuente: propia

G.2. Tratamiento primario: Biodigestor

El tratamiento primario consta de un biodigestor, son sistemas naturales que aprovechan las reacciones enzimáticas de las bacterias anaerobias para transformar la materia orgánica del influente en metano, vapor de agua y un biosólido estabilizado (biól), el cual puede ser utilizado como abono. Este tratamiento puede disminuir la carga orgánica hasta un 70% y recuperar de 100 a 120 m³ de biogás por día. (Daniel Mendoza Ortega , Carolina Ramos Escorza, 2012)



Fotografía 2. Biodigestor.

Fuente: propia

G.3. Segundo vertedero

El segundo vertedero, es la caja donde evacua el agua residual del biodigestor, la caja consta de dos placas de tipo triangular que reparte el caudal de forma equitativa es decir entra un caudal 0.0069 lps y reparte un caudal de 0.0035 lps en ambas entradas para los continuos tratamientos, uno de los caudales entra en el tratamiento secundario que viene hacer el HFSSV.



Fotografía 3. Segundo vertedero.

Fuente: propia

G.4. Tratamiento secundario: Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical

El tratamiento secundario viene hacer un humedal de flujo subsuperficial vertical, estos sistemas de flujo vertical presentan mejores rendimientos en el tratamiento, respecto a la reducción de DBO5, debido al mejor potencial de aireación de estos sistemas comparados con los de flujo horizontal (Juan Ramón, 2010), estos sistemas son generalmente de flujo intermitente pero también son de flujo continuo, de acuerdo a ello este HFSSV su flujo fue estudiado de forma continua.



Fotografía 4. Se muestra la imagen del HFSSV.

Fuente: propia

G.5. Caja de Recolección

La caja de recolección del efluente del agua residual tratada. En esta caja se realizaron los muestreos para los análisis de los parámetros de la investigación que son DBO, coliformes totales y coliformes fecales.



Fotografía 5. Caja recolección.

Fuente: propia

3.3. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.3.1. Etapa inicial: Se analizará la problemática del manejo de aguas residuales domésticas, la contaminación que estas generan si no tienen un adecuado tratamiento y el problema de salud en las poblaciones. Existe variada información sobre el tema de los HFSSV, el cual se recopilará para su previo análisis para la etapa inicial del desarrollo de la tesis, para el diseño modelos Excel.

3.3.2. Etapa de ejecución:

- Se empezó con el análisis del agua residual doméstica, la concentración de DBO para la construcción del piloto del HFSSV, seguidamente la recolección de la especie *Equisetum bogotense* y la implementación del HFSSV.
- El análisis de los parámetros de acuerdo a nuestras variable de caracterización, se tomara primeramente el pH y temperatura el cual para su medición de muestra se dividió en dos etapas, en la etapa de adaptación se medirá de forma semanal y en la etapa del tratamiento de forma quincenal con un el ph-metro en cada fecha fue evaluado cada dos horas in situ, para el parámetro de caudal se medirá las muestras de manera quincenal cada hora por fecha, durante 9 horas, para ambas etapas (adaptación y tratamiento), el TRH se medirá mensualmente durante 3 meses, la turbiedad se medirá de manera mensual y se analizara en laboratorio de la UNASAM.
- Los parámetros de la variable de interés que son los coliformes totales, fecales y DBO se realizó la toma de muestra de manera adecuada para no contaminar la muestra y el muestreo se realizó de forma quincenal para los tres parámetros mencionados, se analizará en el afluyente y efluente del HFSSV, las muestras se analizaron en el laboratorio de calidad ambiental- UNASAM. Y con estos resultados obtener el porcentaje de eficiencia de remoción del HFSSV con la especie *Equisetum bogotense*.

3.3.3. Etapa final: con la obtención de los resultados del laboratorio y de campo se procedió a la interpretación y elaboración de la tesis. Este procedimiento requiere de la intervención permanente del asesor de la investigación.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población:

Población es el agua residual del tratamiento primario ubicado en el centro experimental Tuyu Ruri.

3.4.2. Muestra:

La muestra es el caudal aforado para someterlo al proceso de tratamiento.

3.5. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recolección de la información, se muestra en la siguiente tabla 12.

Tabla 12.

Instrumentos de recolección de la información.

VARIABLES		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN
VARIABLE DE CARACTERIZACIÓN	Empleo del humedal de flujo vertical con la especie <i>Equisetum bogotense</i> (cola de caballo), a escala piloto	<ul style="list-style-type: none">- Revisión bibliográfica- Modelos de Hoja de cálculo de Excel.- Cuaderno de campo
VARIABLE DE INTERÉS	Remoción de Coliformes totales, fecales y DBO en Tuyu Ruri – Marcará	<ul style="list-style-type: none">- Revisión de archivos.- Reportes del análisis del laboratorio.

Fuente: propia.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico que se empleó para este sistema fue el análisis estadístico “t student”, como normalmente se conoce como la prueba t para medias de dos muestras relacionadas, se eligió esta prueba estadística en base a lo requerido por el estudio de investigación del tema, que se observan en la tabla 13.

Tabla 13.

Pruebas Estadísticas de acuerdo al tipo de estudio.

Variable Aleatoria Variable Fija		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			PRUEBAS PARAMÉTRICAS
		NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓMICA	ORDINAL	NUMÉRICAS
Muestras Independientes	Un Grupo	X ² Bondad de Ajuste Binomial	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
	Dos Grupos	X ² Bondad de Ajuste Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X ² de Homogeneidad	U Mann-Withney	T de Student (muestras independientes)
	Más de dos Grupo	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	H Kruskal-Wallis	ANOVA con un factor INTER sujetos
Muestras Relacionadas	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras relacionadas)
	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetitivas (INTRA sujetos)

Fuente: (Atanael, 2013)

Como se puede observar en la tabla 13, se utilizó esta prueba porque se tiene un par natural de observaciones en las muestras, es decir un grupo de muestras se somete a prueba dos veces, en este caso tenemos un tratamiento, es decir dos datos por muestra, del afluente y efluente por 7 periodos, aquí se probará la hipótesis alternativa e hipótesis nula, como también nos dará la media del afluente y efluente de todo los periodos, el cual nos ayudara a calcular el porcentaje de remoción para todo el sistema para cada uno de los parámetros, en este caso para CT, CF y DBO.

Los criterios para la prueba de hipótesis se darán mediante los siguientes criterios según:

❖ Criterios para decidir:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace H_0 (se acepta H_1)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace H_0 (se acepta H_0)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

4.1. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL HFSSV

4.1.1. Área superficial

Se determinó con la fórmula 1 el área superficial y se calculó con este resultado lo siguiente, que se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.

Resultados de constante de temperatura, área superficial, tiempo de retención, ancho de la celda según el número y largo de la celda.

Constante de temperatura (Kt)	1.104 días ⁻¹
Área superficial (As)	2.200 m ²
Tiempo de retención	1.210 días
Cálculo del ancho de la celda según el número	0.950 m
Cálculo del Largo de la celda	2.300 m

Fuente: propia

Luego de los resultados anteriores, se realizaron los cálculos, obteniendo las siguientes dimensiones que se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15.

Resumen de dimensiones del HFSSV.

RESUMEN DE DIMENCIONES		VALORES
	Profundidad útil	0.60 m
	Borde Libre	0.20 m
	Profundidad total	0.80 m
Dimensiones de planta de	Longitud	2.58 m
la cama de solidos	Ancho	1.25 m
Dimensiones de	Longitud	2.70 m
Coronación	Ancho	1.40 m
Dimensiones de fondo	Longitud	1.98 m
	Ancho	0.65 m

Fuente: propia.

4.1.2. Diseño hidráulico del HFSSV

En la tabla 16 se muestra los resultados de los cálculos de la fórmula 2.

Tabla 16.

Tubería de alimentación y drenaje.

DIAMETROS DE LAS TUBERIAS	VALOR
Tubería de Alimentación	2 pulg
Tubería de Drenaje	2 pulg

Fuente: propia.

Al HFSSV, se suministrará un caudal de 0.3 m³/día, como son dos tuberías de alimentación, estas tuberías se calcularán con un caudal de 0.15 m³/día, el caudal es un caudal pequeño por lo tanto se calculó obteniendo un diámetro de 0.0087 m, y se optó por elegir un diámetro superior comercial la cual fue de 2 pulg., para la tubería de drenaje se calculó con la misma fórmula con el mismo caudal de entrada.

Para los cálculos de los orificios se obtuvo los siguientes datos, distancia entre orificios de 0.3 m a largo de las tuberías de alimentación, una longitud de tubería de 2.4 m, teniendo un número total de 8 orificios por tubería.

Tabla 17.*Diámetro de tubería de alimentación.*

Q (m ³ /s)	Y (m)	Hf (m)	R* (m)	D (m)	Área (m ²)	qo (m ³ /s)
0.0000015	0.0029000	0.0003000	0.0011500	0.0023000	0.0000040	0.0000002
0.0000014	0.0026000	0.0003000	0.0011500	0.0023000	0.0000040	0.0000002
0.0000012	0.0023000	0.0003000	0.0011900	0.0024000	0.0000040	0.0000002
0.0000010	0.0021000	0.0002000	0.0012200	0.0024000	0.0000050	0.0000002
0.0000008	0.0019000	0.0002000	0.0012500	0.0025000	0.0000050	0.0000002
0.0000006	0.0017000	0.0002000	0.0012700	0.0025000	0.0000050	0.0000002
0.0000004	0.0015000	0.0002000	0.0012700	0.0025000	0.0000050	0.0000002
0.0000002	0.0014000	0.0001000	0.0015100	0.0030000	0.0000070	0.0000002

Fuente: propia

Los datos de R* (Radio) se asumieron para poder calcular el diámetro de cada orificio de la tubería. Para las tuberías de drenaje el tamaño de orificios fue de 2 cm, la longitud de la tubería fue de 1.60 m, la distancia entre orificios fue de 0.20 m, la cual resulto un total de 8 número de orificios por tubo, según antecedentes los orificios de la tubería de drenaje no son sustentadas ya que estas tuberías son compradas perforadas, según recomendaciones los diámetros de orificios serán de acuerdo al último estrato del humedal.

4.2. RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL

Se construyo el HFSSV, con revestimiento de concreto, acero y un impermeabilizante el cual nos garantizó a que el agua residual no filtre, manteniéndose dentro del humedal y así de esta manera que se lleve a cabo un tratamiento sin pérdida del agua residual a tratar. A continuación, se muestran en las fotografías de la construcción del HFSSV.



Fotografía 6. Excavación y vaciado de piso del humedal.

Fuente: propia



Fotografía 7. Encofrado del humedal.

Fuente: propia



Fotografía 8. Humedal de flujo subsuperficial vertical.

Fuente: propia



Fotografía 9. Encofrado y vaciado de concreto de la caja de recolección del humedal.

Fuente: propia

4.3. RESULTADOS DE LA RECOLECCIÓN, PREADAPTACIÓN DE LA ESPECIE *EQUISETUM BOGOTENSE* E IMPLEMENTACIÓN DEL HFSSV

Durante el mes de la preadaptación se observó que al día siguiente después de la plantación en las tinas 25 plantas de las 40 se empezaron a secar, luego de los 7 días, las otras 15 plantas se mantenían vivas y empezaron a crecer llegando a medir 10 cm el más grande, luego de 17 días las plantas que se secaron empezaron a salir nuevos brotes, en el crecimiento se demoró 10 días en alcanzar una altura de 10 cm. Como se muestra en las fotografías 10 y 11. La turba ayudo en el crecimiento de la especie durante un mes en las tinas recolectadas.



Fotografía 10. Se muestra las tinas del día siguiente del plantado.

Fuente: propia.



Fotografía 11. Se muestra las tinas después de 1 mes del plantado.

Fuente: propia.

4.4. RESULTADOS DE LA ADAPTACIÓN

Durante esta etapa se observó el crecimiento de la especie, los diez días la cual se cubrió el humedal, se observó que 10 plantas se secaron del total del plantado, las 25 plantas que quedaban, luego de 7 días crecieron obteniendo un tamaño de 12 cm el tallo más alto, como se muestra en la fotografía 12, las plantas que se secaron empezaron a brotar luego de 10 días midiendo 5 cm de altura, como se muestra en la siguiente fotografía 13.



Fotografía 12. Después de 7 días del plantado, de las plantas que no se secaron de la especie *Equisetum bogotense*.

Fuente: propia



Fotografía 13. Después de 10 días del plantado, de las plantas que se secaron de la especie *Equisetum bogotense*.

Fuente: propia

Cuando se retiró la malla, el crecimiento de la especie *Equisetum bogotense*, a diferencia de lo anterior las plantas cuando se secaban después de alcanzar una altura de 12 cm de 8 a 10 días, se secaban y se demoró alrededor de 15 a 17 días en salir de nuevos brotes.

4.4.1. RESULTADOS DE TEMPERATURA

Tabla 18.

Medición de la Temperaturas (°C) durante la etapa de adaptación.

FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA
16/02/2017	8:00	18.00	19.40
	10:00	21.20	20.40
	12:00	20.20	21.20
	14:00	18.70	23.00
	16:00	18.00	23.10
	18:00	18.90	23.20
23/02/2017	8:00	18.00	23.00
	10:00	19.00	23.20
	12:00	19.10	23.50
	14:00	19.40	23.60
	16:00	18.00	23.40
	18:00	18.10	23.50
2/03/2017	8:00	16.20	19.90
	10:00	18.20	21.50
	12:00	19.80	23.00
	14:00	20.00	23.00
	16:00	20.10	23.20
	18:00	18.80	23.40
9/03/2017	8:00	17.80	21.90
	10:00	18.20	22.10
	12:00	18.20	22.00
	14:00	18.90	23.10
	16:00	18.60	22.20
	18:00	18.80	23.00

Fuente: ph-metro

Para los datos obtenidos, se realizó su estadística descriptiva, primeramente, se obtuvo los promedios de cada fecha, que se muestra en la tabla 19.

Tabla 19.

Temperaturas (°C) promedios durante la etapa de adaptación.

FECHA	ENTRADA	SALIDA
16/02/2017	19.17	21.72
23/02/2017	18.60	23.37
2/03/2017	18.85	22.33
9/03/2017	18.42	22.38

Fuente: Programa SPS.

Para los promedios obtenidos de las 4 fechas, se realizó su estadística descriptiva, que se muestra en la tabla 20.

Tabla 20.

Estadísticos descriptivos para temperatura.

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error Estándar	Desviación Estándar
Entrada	4.00	18.42	19.17	18.76	0.16	0.32
Salida	4.00	21.72	23.37	22.45	0.34	0.68

Fuente: programa SPS.

En la etapa de adaptación se observa que la temperatura del agua residual en la entrada alcanza un valor máximo de 19.17°C y valor mínima de 18.42, obteniendo una media de 18.76°C, presenta una desviación estándar de 0.32, el cual nos damos cuenta que es un valor pequeño, indicando que los datos son similares o que no difieren mucho, también tenemos un error estándar de 0.16 el cual nos indica la variabilidad de la media, estos últimos datos indican la medida de dispersión. En los resultados de la salida, se puede observar que alcanza un valor máximo de 23.37°C y un valor mínimo de 21.72°C, obteniendo una media de 22.45°C, presenta una desviación estándar de 0.68, el cual nos indica que los datos son similares o que no difieren mucho os unos con los otros a través del tiempo, en este caso para las 4 fechas durante la etapa de adaptación, también tenemos un error estándar de 0.34 el cual nos indica la variabilidad de la media, estos últimos datos indican la medida de dispersión.



Gráfico 1. Temperaturas promedio con respecto al tiempo

Fuente: propia

En el gráfico 1, se observa los promedios de las temperaturas durante la etapa de adaptación, en la primera semana de medición se encuentra una temperatura de entrada de 19.70 y en la salida incrementa a un 21.72°C, en la segunda semana se observa que la temperatura del agua residual en la entrada disminuye a 18.60°C, pero en la salida esta incrementa a un 23.37°C, en la tercera muestra se observa en la entrada una temperatura de 18.85 y en la salida un 22.33, en la cuarta y última muestra se observa en la entrada una temperatura de 18.42°C y en la salida un 22.38°C, estos incrementos en la salida del HFSSV.

4.4.2. RESULTADOS DE PH

Tabla 21.

Medición del pH durante la etapa de adaptación.

FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA
16/02/2017	8:00	7.70	8.05
	10:00	7.78	8.33
	12:00	7.80	7.15
	14:00	7.74	8.24
	16:00	7.57	7.45
	18:00	7.60	7.87
23/02/2017	8:00	7.85	7.05
	10:00	7.76	7.14
	12:00	7.82	6.99
	14:00	7.79	6.87
	16:00	7.56	7.12
	18:00	7.62	6.41
2/03/2017	8:00	8.68	7.22
	10:00	7.74	7.13
	12:00	7.62	7.21
	14:00	7.95	7.15
	16:00	7.78	7.17
	18:00	7.78	7.23
9/03/2017	8:00	7.77	7.12
	10:00	8.01	7.01
	12:00	7.49	6.94
	14:00	7.58	7.10
	16:00	8.15	6.89
	18:00	7.45	6.99

Fuente: ph-metro

Para los datos obtenidos, se realizó su estadística descriptiva, primeramente, se obtuvo los promedios de cada fecha, que se muestra en la tabla 22.

Tabla 22.

pH promedios durante la etapa de adaptación.

FECHA	ENTRADA	SALIDA
16/02/2017	7.70	7.85
23/02/2017	7.73	6.93
2/03/2017	7.93	7.19
9/03/2017	7.74	7.01

Fuente: Programa SPS.

Para los promedios obtenidos de las 4 fechas, se realizó la estadística descriptiva, que se muestra en la tabla 23.

Tabla 23.

Estadísticos descriptivos para pH.

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error Estándar	Desviación Estándar
Entrada	4.00	7.70	7.93	7.77	0.05	0.10
Salida	4.00	6.93	7.85	7.24	0.20	0.41

Fuente: programa SPS.

Se observa que el pH del agua residual en la entrada alcanza un valor máximo de 7.93 y valor mínimo de 7.70, obteniendo una media de 7.77, presenta una desviación estándar de 0.10, el cual nos damos cuenta que es un valor pequeño, indicando que los datos son similares o que no difieren mucho, también tenemos un error estándar de 0.05 el cual nos indica la variabilidad de la media.

En los resultados de la salida, se puede observar que alcanza un valor máximo de 7.85 y un valor mínimo de 6.93, obteniendo una media de 7.24, presenta una desviación estándar de 0.41, el cual nos indica que los datos son similares o que no difieren mucho os unos con los otros a través del tiempo, en este caso para las 4 fechas durante la etapa de adaptación, también tenemos un error estándar de 0.20 el cual nos indica la variabilidad de la media.



Gráfico 2. pH promedios con respecto al tiempo

Fuente: propia

En el gráfico 2, se observa los promedios del pH, en la primera semana de medición se encuentra una temperatura de entrada de 7.70 y en la salida 7.85, en la segunda semana se observa en la entrada un 7.73, pero en la salida hay una disminución a un 6.93, en la tercera muestra se observa en la entrada un valor de 7.93 y en la salida un 7.19, en la cuarta y última muestra se observa en la entrada un 7.74 y en la salida un 7.01, durante las 4 fechas se observa que los valores de entrada y salida no hay mucha diferencia.

4.4.3. RESULTADOS DEL CAUDAL

Tabla 24.

Medición del caudal (lps) durante la etapa de adaptación.

FECHA	HORA	AFLUENTE	EFLUENTE
14/02/2017	8:00	0.00376	0.00385
	9:00	0.00376	0.00385
	10:00	0.00394	0.00370
	11:00	0.00394	0.00370
	12:00	0.00394	0.00357
	13:00	0.00376	0.00370
	14:00	0.00391	0.00385
	15:00	0.00385	0.00370
	16:00	0.00385	0.00370
1/03/2017	17:00	0.00388	0.00370
	8:00	0.00379	0.00370
	9:00	0.00379	0.00385
	10:00	0.00391	0.00370
	11:00	0.00391	0.00385
	12:00	0.00394	0.00385
	13:00	0.00385	0.00385
	14:00	0.00376	0.00370
	15:00	0.00379	0.00370
16:00	0.00394	0.00385	
17:00	0.00385	0.00385	

Fuente: propio

Para los datos obtenidos, se realizó su estadística descriptiva, primeramente, se obtuvo los promedios de cada fecha, que se muestra en la tabla 25.

Tabla 25.

Caudal (lps) promedios durante la etapa de adaptación.

FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE
14/02/2017	0.00386	0.00373
01/03/2017	0.00385	0.00379

Fuente: Programa SPS.

Para los promedios obtenidos de las 2 fechas, se realizó la estadística descriptiva, que se muestra en la tabla 26.

Tabla 26.

Estadísticos descriptivos para caudal (lps)

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error Estándar	Desviación Estándar
Afluente	2.000000	0.003850	0.003860	0.003855	0.000005	0.000007
Efluente	2.000000	0.003730	0.003790	0.003760	0.000030	0.000042

Fuente: programa SPS.

Se observa que el caudal en el afluente alcanza un valor máximo de 0.003860 lps y valor mínimo de 0.003850 lps, obteniendo una media de 0.003855 lps, presenta una desviación estándar de 0.000007, el cual nos damos cuenta que es un valor pequeño, indicando que los datos son similares y que no difieren mucho, también tenemos un error estándar de 0.000005 el cual nos indica la variabilidad de la media.

En los resultados del efluente, se puede observar que alcanza un valor máximo de 0.003790 y un valor mínimo de 0.003730, obteniendo una media de 0.003760, presenta una desviación estándar de 0.000042, el cual nos indica que los datos son similares o que no difieren mucho os unos con los otros a través del tiempo, en este caso para las 2 fechas durante la etapa de adaptación, también tenemos un error estándar de 0.000030 el cual nos indica la variabilidad de la media.

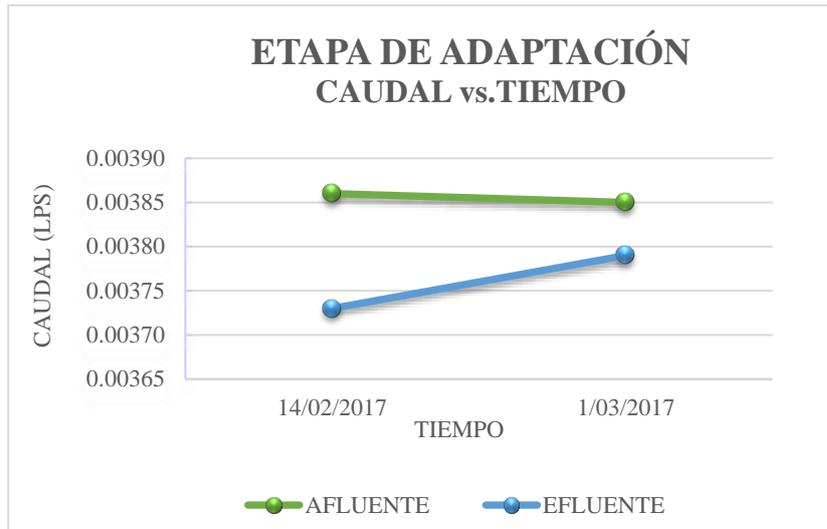


Gráfico 3. Caudales promedios con respecto al tiempo

Fuente: propia

En el gráfico 3, se observa los promedios del caudal, en la primera quincena se aforo el afluente el cual resulto un caudal de 0.00386 lps y en la salida un 0.00373 lps, en la segunda quincena se midió en el afluente un valor de 0.00385 lps y en el efluente un 0.00379 lps, durante las 2 fechas se observa que los valores de aforo del afluente y efluente no hubo mucha diferencia

4.5. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO

4.5.1. RESULTADOS DE TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH)

Tabla 27.

Tiempo de retención hidráulica.

PERIODO	TRH
15/03/2017	2.47 horas
17/04/2017	2.52 horas
2/05/2017	2.53 horas

Fuente: propia

Para los datos obtenidos de las 3 fechas, se realizó la estadística descriptiva, que se muestra en la tabla 28.

Tabla 28.*Estadísticos descriptivos para el TRH.*

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error Estándar	Desviación Estándar
TRH	3.00	2.47	2.53	2.51	0.02	0.03

Fuente: programa SPS.

El TRH obtuvo una media de 2.51 horas, como se realizó 3 mediciones la desviación estándar resulto un valor de 0.03, el cual nos damos cuenta que es un valor pequeño, indicando que los datos no difieren mucho, también presenta un error estándar de 0.02 el cual nos indica la variabilidad de la media.

4.5.2. RESULTADOS DEL CAUDAL**Tabla 29.***Medición del caudal (lps) durante la etapa de tratamiento.*

FECHA	HORA	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	8:00	0.00385	0.00357
	9:00	0.00385	0.00370
	10:00	0.00382	0.00370
	11:00	0.00391	0.00385
	12:00	0.00391	0.00370
	13:00	0.00385	0.00370
	14:00	0.00385	0.00357
	15:00	0.00382	0.00370
	16:00	0.00388	0.00370
30/03/2017	17:00	0.00385	0.00370
	8:00	0.00391	0.00370
	9:00	0.00391	0.00385
	10:00	0.00376	0.00385
	11:00	0.00400	0.00370
	12:00	0.00394	0.00370
	13:00	0.00390	0.00385
	14:00	0.00391	0.00370
	15:00	0.00391	0.00385
7/04/2017	16:00	0.00388	0.00370
	17:00	0.00385	0.00370
	8:00	0.00385	0.00357
	9:00	0.00382	0.00370
	10:00	0.00385	0.00357
	11:00	0.00394	0.00357
	12:00	0.00397	0.00370
	13:00	0.00400	0.00370
	14:00	0.00388	0.00357
15:00	0.00388	0.00370	
16:00	0.00391	0.00357	
17:00	0.00391	0.00370	

17/04/2017	8:00	0.00388	0.00370
	9:00	0.00391	0.00385
	10:00	0.00388	0.00385
	11:00	0.00397	0.00370
	12:00	0.00397	0.00385
	13:00	0.00394	0.00370
	14:00	0.00391	0.00385
	15:00	0.00391	0.00385
	16:00	0.00385	0.00370
	17:00	0.00385	0.00370
2/05/2017	8:00	0.00391	0.00400
	9:00	0.00391	0.00385
	10:00	0.00394	0.00385
	11:00	0.00397	0.00370
	12:00	0.00400	0.00400
	13:00	0.00391	0.00385
	14:00	0.00391	0.00370
	15:00	0.00388	0.00370
	16:00	0.00391	0.00385
	17:00	0.00385	0.00400
17/05/2017	8:00	0.00397	0.00385
	9:00	0.00397	0.00385
	10:00	0.00394	0.00370
	11:00	0.00400	0.00385
	12:00	0.00400	0.00370
	13:00	0.00391	0.00357
	14:00	0.00394	0.00357
	15:00	0.00394	0.00385
	16:00	0.00391	0.00370
	17:00	0.00391	0.00385
2/06/2017	8:00	0.00391	0.00385
	9:00	0.00394	0.00370
	10:00	0.00388	0.00385
	11:00	0.00391	0.00385
	12:00	0.00394	0.00400
	13:00	0.00391	0.00357
	14:00	0.00394	0.00385
	15:00	0.00388	0.00370
	16:00	0.00391	0.00345
	17:00	0.00391	0.00370

Fuente: propio

Para los datos obtenidos, se realizó su estadística descriptiva, primeramente, se obtuvo los promedios y la desviación estándar de cada fecha, que se muestra en la tabla 30.

Tabla 30.

Caudal (lps) promedios durante la etapa de tratamiento.

FECHA	PROMEDIO ENTRADA	PROMEDIO SALIDA	DESVIACIÓN ESTANDAR ENTRADA	DESVIACIÓN ESTANDAR SALIDA
15/03/2017	0.00386	0.00369	0.00003	0.00008
30/03/2017	0.00390	0.00376	0.00006	0.00008
07/04/2017	0.00390	0.00364	0.00005	0.00007
17/04/2017	0.00391	0.00378	0.00004	0.00008
02/05/2017	0.00392	0.00385	0.00004	0.00012
17/05/2017	0.00395	0.00375	0.00003	0.00011
02/06/2017	0.00391	0.00375	0.00002	0.00016

Fuente: Programa SPS.

Para las 7 fechas tanto para el afluente y efluente presentan una desviación estándar baja, indicando que los datos son similares.

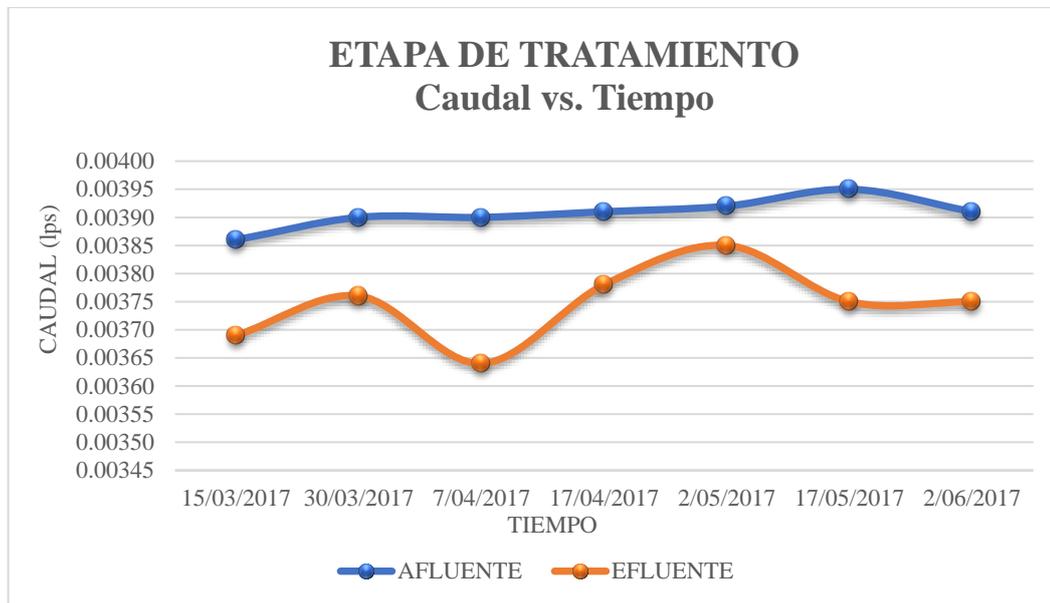


Gráfico 4. Caudales promedios con respecto al tiempo.

Fuente: propia

Se observa en el gráfico 4 que el caudal de la salida es menor al caudal del afluente, como una disminución de 0.00007 hasta 0.00026 para los últimos meses.

Con los promedios obtenidos de las 7 fechas, se realizó la estadística descriptiva, que se muestra en la tabla 31.

Tabla 31.

Estadísticos descriptivos para caudal (lps)

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error Estándar	Desviación Estándar
Afluente	7.00000	0.00386	0.00395	0.00391	0.00001	0.00003
Efluente	7.00000	0.00364	0.00385	0.00374	0.00002	0.00007

Fuente: programa SPS.

Se observa que el caudal en el afluente alcanza un valor máximo de 0.00395 lps y valor mínimo de 0.00386 lps, obteniendo una media de 0.00391 lps, presenta una desviación estándar de 0.00003, el cual nos damos cuenta que es un valor pequeño, indicando que los datos son similares y que no difieren mucho, también tenemos un error estándar de 0.00001 el cual nos indica la variabilidad de la media.

En los resultados del efluente, se puede observar que alcanza un valor máximo de 0.00385 y un valor mínimo de 0.00364, obteniendo una media de 0.00374, presenta una desviación estándar de 0.00007, el cual nos indica que los datos son similares o que no difieren mucho os unos con los otros a través del tiempo, en este caso para las 2 fechas durante la etapa de adaptación, también tenemos un error estándar de 0.00002 el cual nos indica la variabilidad de la media.

Tabla 32.*Frecuencias para el afluente del caudal en la etapa de tratamiento.*

CAUDAL AFLUENTE	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
0.00386	1.00000	14.30000
0.00390	2.00000	28.60000
0.00391	2.00000	28.60000
0.00392	1.00000	14.30000
0.00395	1.00000	14.30000

Fuente: programa SPS.

En tabla 32 se observa la tabla de frecuencia que el caudal de 0.00390 lps y 0.00391 lps, son los que se repiten en dos fechas, siendo que los datos tomados no sufren cambios bruscos, fecha por fecha en el afluente del HFSSV.

Tabla 33.*Frecuencias para el efluente del caudal en la etapa de tratamiento.*

CAUDAL EFLUENTE	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
0.00364	1.00000	14.30000
0.00369	1.00000	14.30000
0.00375	2.00000	28.60000
0.00376	1.00000	14.30000
0.00378	1.00000	14.30000
0.00385	1.00000	14.30000

Fuente: programa SPS.

En tabla 33 se observa la tabla de frecuencia, el cual el dato de caudal de 0.00375 lps es el que se repite en dos fechas, siendo que los datos tomados no sufren cambios bruscos a medida del tiempo en el efluente del humedal.

4.5.3. RESULTADOS DE TEMPERATURA

Tabla 34.

Medición de la temperatura (°C) durante la etapa de tratamiento.

FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA
15/03/2017	8:00	17.00	20.00
	10:00	17.20	20.20
	12:00	18.70	20.40
	14:00	18.30	20.30
	16:00	18.20	20.50
	18:00	18.55	20.10
30/03/2017	8:00	16.50	20.00
	10:00	17.40	19.90
	12:00	18.30	19.80
	14:00	18.30	20.00
	16:00	18.20	20.10
	18:00	18.30	20.00
7/04/2017	8:00	14.60	20.10
	10:00	17.00	19.90
	12:00	17.80	19.90
	14:00	17.90	20.00
	16:00	18.00	20.00
	18:00	17.60	20.10
17/04/2017	8:00	15.70	20.00
	10:00	17.50	19.80
	12:00	17.90	20.00
	14:00	17.90	20.50
	16:00	17.70	20.40
	18:00	17.70	20.20
2/05/2017	8:00	14.90	19.20
	10:00	15.20	19.90
	12:00	17.10	19.60
	14:00	17.50	20.00
	16:00	17.80	20.40
	18:00	17.70	20.20
17/05/2017	8:00	15.30	19.70
	10:00	16.70	19.90
	12:00	17.50	20.60
	14:00	17.80	20.00
	16:00	17.80	20.40
	18:00	17.90	19.90
2/06/2017	8:00	16.10	18.90
	10:00	16.90	18.80
	12:00	17.70	19.60
	14:00	17.70	19.50
	16:00	17.80	19.60
	18:00	17.70	19.80

Fuente: pH metro

Para los datos obtenidos, se realizó, primeramente, se obtuvo los promedios y la desviación estándar de cada fecha, que se muestra en la tabla 35.

Tabla 35.

Temperatura (°C) promedios durante la etapa de tratamiento.

FECHA	PROMEDIO ENTRADA	PROMEDIO SALIDA	DESVIACIÓN ESTANDAR ENTRADA	DESVIACIÓN ESTANDAR SALIDA
15/03/2017	17.99	20.25	0.72	0.19
30/03/2017	17.83	19.97	0.74	0.10
07/04/2017	17.15	20.00	1.30	0.09
17/04/2017	17.40	20.15	0.85	0.27
02/05/2017	16.70	19.88	1.30	0.43
17/05/2017	17.17	20.08	1.02	0.34
02/06/2017	17.32	19.37	0.68	0.41

Fuente: Programa SPS.

Para las 7 fechas, para la entrada se muestra que en dos fechas la desviación estándar es más alto teniendo valores de 1.30 el 07 de abril y el 02 de mayo, así como también un valor de 1.02 para el 17 de mayo, en las demás fechas de entrada presenta una desviación estándar baja, indicando que los datos son similares y en las tomas de muestra en la salida todas las fechas presentan una desviación estándar bajo el cual nos indica que los datos son similares.

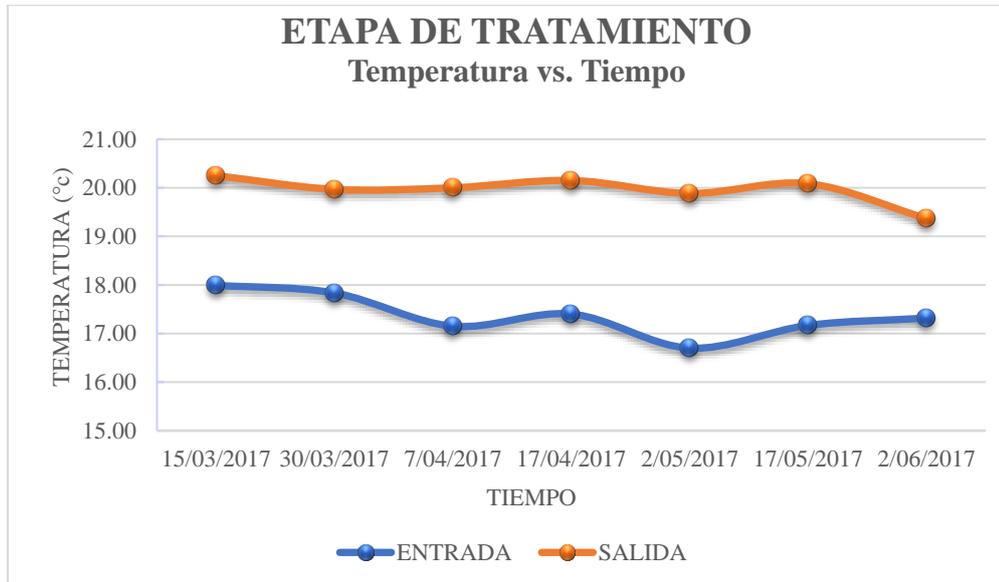


Gráfico 5. Temperatura promedio con respecto al tiempo.

Fuente: propia

Durante la etapa de tratamiento se observa según el gráfico 5, la temperatura en la entrada es menor a la temperatura medida en la salida, durante las 7 fechas, las muestras tomadas en la salida del HFSSV se incrementó 2 a 3.18 grados más con respecto a la salida, obteniendo temperaturas óptimas.

Tabla 36.

Estadísticos descriptivos para temperatura.

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error estándar	Desviación estándar
Entrada	7.00	16.70	17.99	17.37	0.16	0.44
Salida	7.00	19.37	20.25	19.96	0.11	0.29

Fuente: programa SPS.

En la etapa de tratamiento se observa que la temperatura del agua residual en la entrada alcanza un valor máximo de 17.99°C y valor mínima de 16.70°C, obteniendo una media de 17.37°C, presenta una desviación estándar de 0.44, el cual nos damos cuenta que es un valor pequeño, indicando que los datos son similares o que no difieren mucho, también tenemos un error estándar de 0.16 el cual nos indica la variabilidad de la media.

En los resultados de la salida, se puede observar que alcanza un valor máximo de 20.25°C y un valor mínimo de 19.37°C, obteniendo una media de 19.96°C, presenta una desviación estándar de 0.29, el cual nos indica que los datos son similares o que no difieren mucho os unos con los otros a través del tiempo, en este caso para las 7 fechas durante la etapa de tratamiento, también tenemos un error estándar de 0.11 el cual nos indica la variabilidad de la media.

Tabla 37.

Tabla de Frecuencias para la temperatura en la entrada del HFSSV en la etapa de tratamiento.

TEMPERATURA ENTRADA (°C)	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
16.70	1.00	14.30
17.15	1.00	14.30
17.17	1.00	14.30
17.32	1.00	14.30
17.40	1.00	14.30
17.83	1.00	14.30
17.99	1.00	14.30

Fuente: programa SPS.

En tabla 37 se observa la tabla de frecuencia, que no hay datos iguales durante las fechas de medición.

Tabla 38.

Tabla de Frecuencias para la temperatura en la salida del HFSSV en la etapa de tratamiento.

TEMPERATURA SALIDA (°C)	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
19.37	1.00	14.30
19.88	1.00	14.30
19.97	1.00	14.30
20.00	1.00	14.30
20.08	1.00	14.30
20.15	1.00	14.30
20.25	1.00	14.30

Fuente: programa SPS.

En tabla 38 se observa la tabla de frecuencia, que no hay datos iguales durante las fechas de medición.

4.5.4. RESULTADOS DE pH

Tabla 39.

Medición del pH durante la etapa de tratamiento.

FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA
15/03/2017	8:00	7.65	6.87
	10:00	7.66	6.83
	12:00	7.63	6.78
	14:00	7.54	6.64
	16:00	7.53	6.65
	18:00	7.55	6.64
30/03/2017	8:00	7.63	6.74
	10:00	7.57	6.72
	12:00	7.68	6.96
	14:00	7.70	6.99
	16:00	7.71	6.78
	18:00	7.69	6.78
7/04/2017	8:00	8.16	6.85
	10:00	7.37	6.82
	12:00	7.47	6.73
	14:00	7.58	6.85
	16:00	7.67	6.97
	18:00	7.65	6.88
17/04/2017	8:00	7.86	6.99
	10:00	7.99	6.85
	12:00	7.86	6.89
	14:00	7.56	6.77
	16:00	7.83	6.85
	18:00	7.92	6.91
2/05/2017	8:00	7.77	6.96
	10:00	7.78	6.84
	12:00	7.48	6.89
	14:00	7.57	6.97
	16:00	7.60	6.85
	18:00	7.58	6.93
17/05/2017	8:00	7.79	6.90
	10:00	7.65	6.85
	12:00	7.43	6.80
	14:00	7.77	6.88
	16:00	7.75	6.89
	18:00	7.73	6.89
2/06/2017	8:00	7.74	7.24
	10:00	7.65	6.99
	12:00	7.86	7.17
	14:00	7.77	7.20
	16:00	7.67	6.98
	18:00	7.64	7.10

Fuente: pH metro

Para los datos obtenidos, se realizó su estadística descriptiva, primeramente, se obtuvo los promedios y la desviación estándar de cada fecha, que se muestra en la tabla 40.

Tabla 40.

pH promedios y desviación estándar durante la etapa de tratamiento.

FECHA	PROMEDIO ENTRADA	PROMEDIO SALIDA	DESVIACIÓN ESTANDAR ENTRADA	DESVIACIÓN ESTANDAR SALIDA
15/03/2017	7.59	6.74	0.06	0.10
30/03/2017	7.66	6.83	0.05	0.12
07/04/2017	7.65	6.85	0.27	0.08
17/04/2017	7.84	6.88	0.15	0.07
02/05/2017	7.63	6.91	0.12	0.06
17/05/2017	7.69	6.87	0.13	0.04
02/06/2017	7.72	7.11	0.09	0.11

Fuente: Programa SPS.

Para las 7 fechas tanto para la entrada y salida presentan una desviación estándar baja, indicando que los datos son similares.



Gráfico 6. pH promedios con respecto al tiempo.

Fuente: propia

Se observa en el gráfico 6 que el pH de la salida es menor al pH de la entrada, con una disminución mínima, para todos los promedios tanto en la entrada y salida del HFSSV.

Tabla 41.

Estadísticos descriptivos para el pH.

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error estándar	Desviación estándar
Entrada	7.00	7.59	7.84	7.68	0.03	0.08
Salida	7.00	6.74	7.11	6.88	0.04	0.11

Fuente: programa SPS.

Se observa que el pH del agua residual en la entrada alcanza un valor máximo de 7.84 y valor mínimo de 7.59, obteniendo una media de 7.68, presenta una desviación estándar de 0.08, el cual nos damos cuenta que es un valor pequeño, indicando que los datos son similares o que no difieren mucho, también tenemos un error estándar de 0.11 el cual nos indica la variabilidad de la media.

En los resultados de la salida, se puede observar que alcanza un valor máximo de 7.11 y un valor mínimo de 6.74, obteniendo una media de 6.88, presenta una desviación estándar de 0.11, el cual nos indica que los datos son similares o que no difieren mucho o unos con los otros a través del tiempo, en este caso para las 7 fechas durante la etapa de tratamiento, también tenemos un error estándar de 0.04 el cual nos indica la variabilidad de la media.

Tabla 42.

Tabla de Frecuencias para el pH en la entrada del HFSSV en la etapa de tratamiento.

pH ENTRADA	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
7.59	1.00	14.30
7.63	1.00	14.30
7.65	1.00	14.30
7.66	1.00	14.30
7.69	1.00	14.30
7.72	1.00	14.30
7.84	1.00	14.30

Fuente: programa SPS.

En tabla 42 de observa la tabla de frecuencia, que no hay datos iguales durante las fechas de medición.

Tabla 43.

Tabla de Frecuencias para el pH en la salida del HFSSV en la etapa de tratamiento.

TEMPERATURA SALIDA	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
6.74	1.00	14.30
6.83	1.00	14.30
6.85	1.00	14.30
6.87	1.00	14.30
6.88	1.00	14.30
6.91	1.00	14.30
7.11	1.00	14.30

Fuente: programa SPS.

En tabla 43 se observa la tabla de frecuencia, que no hay datos iguales durante las fechas de medición.

4.5.5. RESULTADOS DE TURBIEDAD

Tabla 44.

Turbiedad durante la etapa de tratamiento.

FECHA	TURBIEDAD (UNT)	
	ENTRADA	SALIDA
15/03/2017	6.60	6.03
17/04/2017	11.20	7.18
2/05/2017	22.80	6.34
2/06/2017	5.01	3.29

Fuente: propia

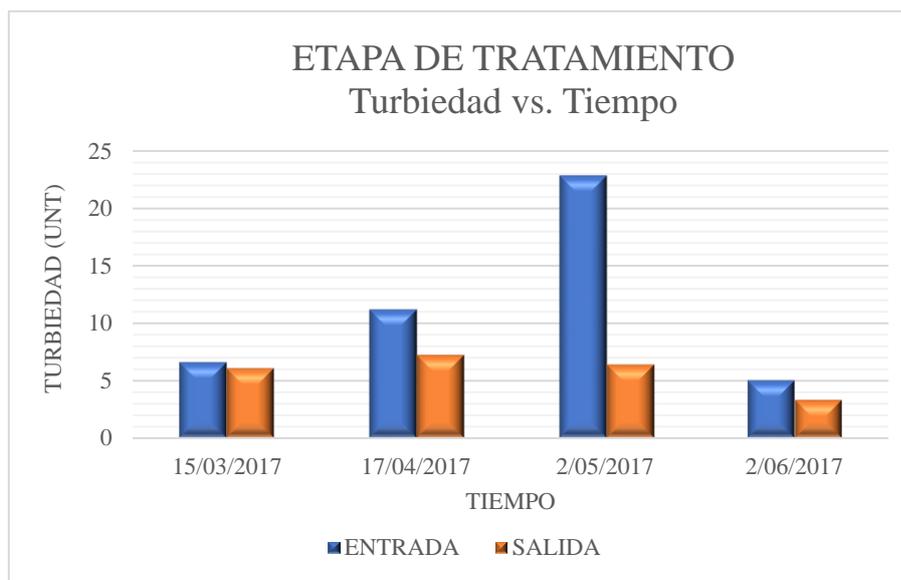


Gráfico 7. Turbiedad con respecto al tiempo.

Fuente: propia

La turbiedad se midió cada mes durante la etapa de tratamiento, en el gráfico 7 se puede observar que en el mes de marzo se midió en la entrada un valor de 6.60 UNT y en la salida 6.03 UNT, el cual se observa que la disminución fue poca, en el mes de abril se midió en la entrada un valor de 11.20 UNT y en la salida 7.18 UNT, aumentando la remoción en la salida del HFSSV, en el mes de mayo se midió en la entrada un valor de 22.80 UNT en cual se incrementó con respecto a las anteriores muestras y en la salida disminuyó a 6.34 UNT, en el mes de junio se midió en la entrada un valor de 5.01 UNT habiendo disminuido con la anterior muestra y en la salida una disminución de 3.29 UNT.

Tabla 45.

Estadísticos descriptivos de la turbiedad.

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Error estándar	Desviación estándar
Entrada	4.00	5.01	22.80	11.40	4.02	8.04
Salida	4.00	3.29	7.18	5.71	0.84	1.68

Fuente: programa SPS.

Se observa en la turbiedad del agua residual en la entrada alcanza un valor máximo de 22.80 y valor mínimo de 5.01, obteniendo una media de 11.40, presenta una desviación estándar de 8.04, el cual nos damos cuenta que es un valor relativamente mayor, indicando que los datos difieren mucho, también tenemos un error estándar de 4.02 el cual nos indica la variabilidad de la media.

En los resultados de la salida, se puede observar que alcanza un valor máximo de 7.18 y un valor mínimo de 3.29, obteniendo una media de 5.71, presenta una desviación estándar de 1.68, el cual nos indica que los datos difieren mucho unos con los otros a través del tiempo, en este caso para las 7 fechas durante la etapa de tratamiento, también tenemos un error estándar de 0.84 el cual nos indica la variabilidad de la media.

Tabla 46.

Tabla de Frecuencias para la turbiedad en la entrada del HFSSV en la etapa de tratamiento.

TURBIEDAD ENTRADA	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
5.01	1.00	25.00
6.60	1.00	25.00
11.20	1.00	25.00
22.80	1.00	25.00

Fuente: programa SPS.

En tabla 46 se observa la tabla de frecuencia que no hay datos iguales durante las fechas de medición.

Tabla 47.

Tabla de Frecuencias para la turbiedad en la salida del HFSSV en la etapa de tratamiento.

TURBIEDAD SALIDA	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
3.29	1.00	25.00
6.03	1.00	25.00
6.34	1.00	25.00
7.18	1.00	25.00

Fuente: programa SPS.

4.5.6. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO: COLIFORMES TOTALES (CT)

A. Primer Mes

Del análisis del mes de marzo se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 48.

Coliformes Totales con respecto al primer mes.

FECHA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	2.4E+07	2.4E+06
30/03/2017	2.4E+07	2.4E+07

Fuente: propia

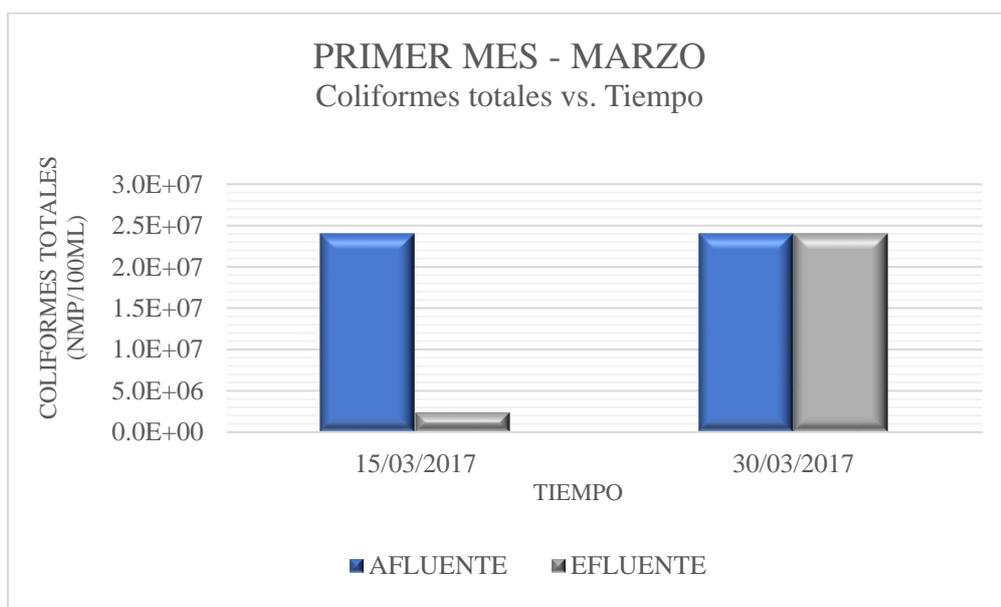


Gráfico 8. CT con respecto al mes de marzo

Fuente: propia

La primera muestra tomada el 15 de marzo, se observa en el gráfico 8 que la concentración del afluente es de 2.4E+07 NMP/100ml y la concentración en el efluente es de 2.4E+06 NMP/100ml, se aprecia una disminución alta de concentración en el efluente.

A diferencia de la primera muestra, la muestra tomada el 30 de marzo no se presentó ningún cambio de concentración, es decir el afluente es la misma concentración del efluente.

B. Segundo Mes

Del análisis del mes de abril se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 49.

Coliformes Totales con respecto al segundo mes

FECHA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	
	AFLUENTE	EFLUENTE
7/04/2017	2.4E+06	2.4E+06
17/04/2017	2.4E+07	2.4E+07

Fuente: propia



Gráfico 9. CT con respecto al mes de abril.

Fuente: propia

En ambas muestras del mes de abril se muestra que no hubo disminución de concentración en el efluente del humedal, las concentraciones de CT en el afluente es la misma en el efluente.

C. Tercer Mes

Del análisis del mes de mayo se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 50.

Coliformes Totales con respecto al tercer mes.

FECHA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	
	AFLUENTE	EFLUENTE
2/05/2017	2.4E+07	2.4E+07
17/05/2017	2.4E+07	1.1E+07

Fuente: propia

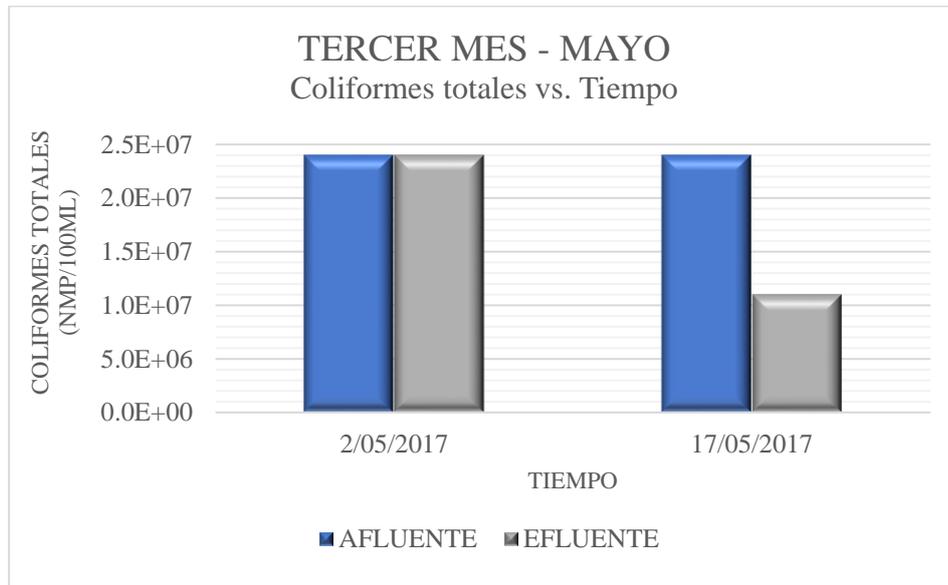


Gráfico 10. CT con respecto al mes de mayo.

Fuente: propia

Se muestra el 2 de mayo, que las concentraciones tanto en el afluyente como en el efluente con iguales, no disminuyen y se mantienen en un mismo valor que el del mes de abril.

La muestra tomada el 17 de mayo presento una disminución de concentración en el efluente, teniendo como afluente una concentración de 2.4E+07 NMP/100ml y en el efluente 1.1E+07 NMP/100ml de concentración.

D. Cuarto Mes

Del análisis del mes de junio se obtuvieron el siguiente resultado.

Tabla 51.

Coliformes Totales con respecto al cuarto mes.

FECHA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	
	ENTRADA	HFSSV
2/06/2017	2.4E+07	2.4E+07

Fuente: propia

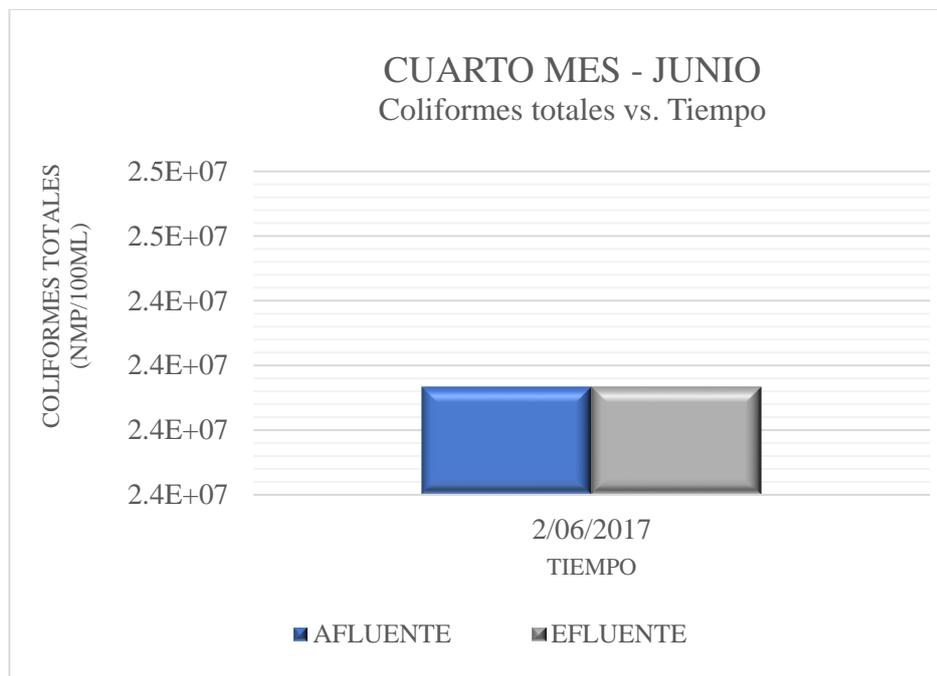


Gráfico 11. CT con respecto al mes de junio.

Fuente: propia

La última muestra tomada fue en el mes de junio, según el gráfico 11 se puede observar que no hay disminución de concentración en el efluente dl humedal y que tanto en el afluente y el efluente las concentraciones son iguales.

4.5.7. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO: COLIFORMES FECALES (CF)

A. Primer Mes

Del análisis del mes de marzo se obtuvieron el siguiente resultado.

Tabla 52.

Coliformes fecales con respecto al primer mes.

FECHA	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	
	ENTRADA	HFSSV
15/03/2017	1.1E+07	1.1E+06
30/03/2017	1.1E+07	1.1E+07

Fuente: propia

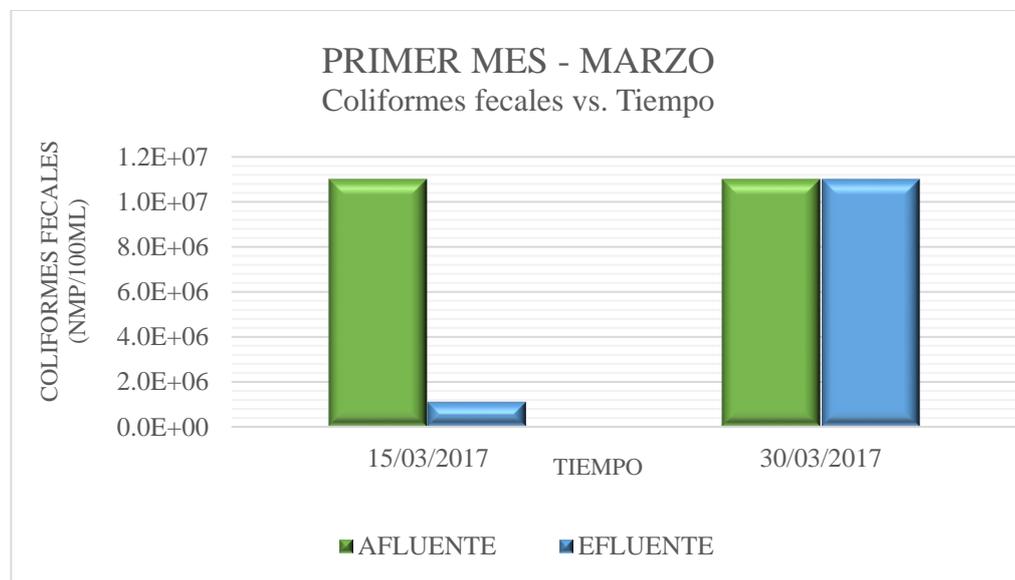


Gráfico 12. CF con respecto al mes de marzo.

Fuente: propia

La muestra tomada el 15 de marzo, se observa en el gráfico 12 que hay una alta disminución de concentración en el efluente, obteniendo una concentración del afluente es de 1.1E+07 NMP/100ml y la concentración en el efluente es de 1.1E+06 NMP/100ml, se muestra a diferencia que la muestra tomada el 30 de marzo, no se presentó ningún cambio de concentración, es decir el afluente es la misma concentración del efluente.

B. Segundo Mes

Del análisis del mes de abril se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 53.

Coliformes fecales con respecto al segundo mes.

FECHA	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	
	ENTRADA	HFSSV
7/04/2017	1.1E+06	1.1E+06
17/04/2017	1.1E+07	1.1E+07

Fuente: propia

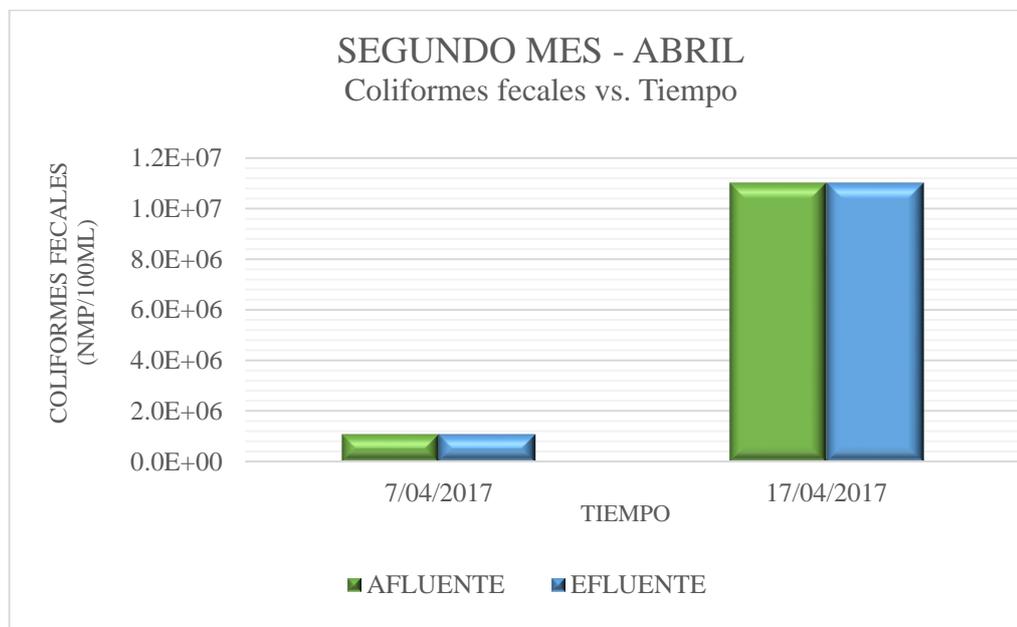


Gráfico 13. CF con respecto al mes de abril.

Fuente: propia

En el gráfico 13, se observa que en el mes de abril las concentraciones del afluente y el efluente son las mismas, no presenta ninguna disminución en el efluente del humedal, el 7 de abril presento una baja concentración en el afluente con respecto al afluente del 17 de abril, el 7 de abril presento una concentración inicial de $1.1E+06$ y una concentración final de $1.1E+06$, en la fecha siguiente que fue el 17 de abril presenta una concentración inicial de $1.1E+07$ y una concentración final de $1.1E+07$.

C. Tercer Mes

Del análisis del mes de mayo se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 54.

Coliformes fecales con respecto al tercer mes.

FECHA	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	
	ENTRADA	HFSSV
2/05/2017	$1.1E+07$	$1.1E+07$
17/05/2017	$4.6E+06$	$2.4E+06$

Fuente: propia



Gráfico 14. CF con respecto al mes de mayo

Fuente: propia

En el gráfico 14, se observa que los coliformes fecales el 2 de mayo no presenta variación tanto en el afluente como el efluente, el 17 de mayo, se observa una variación en cuanto al afluente y el efluente, el afluente presenta una concentración de 4.6E+06 NMP/100ml y en el efluente presenta una concentración de 2.4E+06.

D. Cuarto Mes

Del análisis del mes de junio se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 55.

Coliformes fecales con respecto al cuarto mes.

FECHA	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	
	ENTRADA	HFSSV
2/06/2017	1.1E+07	1.1E+07

Fuente: propia



Gráfico 15. CF con respecto al mes de junio.

Fuente: propia

En el gráfico 15, se observa que los coliformes fecales en el mes de junio, no hay disminución de concentraciones tanto en el afluente como en el efluente, entrando con una concentración de 1.1E+07 NMP/100ml y saliendo con la misma concentración.

4.5.8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)

A. Primer Mes:

Después de la adaptación, se procedió al proceso de análisis la cual empezó con el mes de marzo, como se muestra en la tabla 56.

Tabla 56.

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al primer mes.

FECHA	DBO5 mg/l	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	26	10
30/03/2017	40	15

Fuente: propia

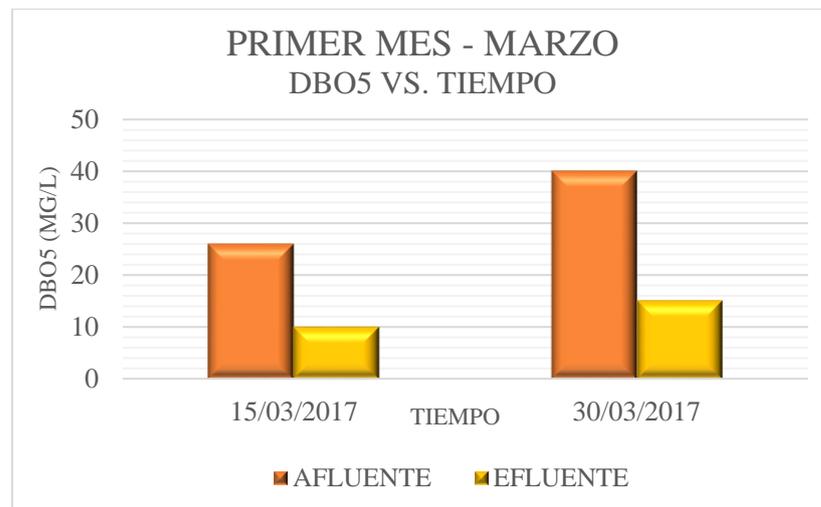


Gráfico 16. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de marzo.

Fuente: propia

En el gráfico 16, se observa el comportamiento de la DBO5, con respecto al mes de marzo obteniendo resultados óptimos en el efluente del HFSSV como se muestra en el gráfico, en ambas muestras presentan evidencias de remoción.

En la segunda muestra que fue tomada el 30 de marzo, se observa que en el afluente del HFSSV, hubo un incremento de concentración a 40 mg/l y hubo una buena disminución en el efluente con una concentración de 15 mg/l.

B. Segundo Mes:

Se procedió al proceso de análisis la cual continuo con el mes de abril, como se muestra en la tabla 57.

Tabla 57.

Comportamiento de la DBO5 con respecto al segundo mes.

FECHA	DBO5 mg/l	
	AFLUENTE	EFLUENTE
7/04/2017	50	21
17/04/2017	29	6

Fuente: propia



Gráfico 17. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de abril.

Fuente: propia

En el gráfico 17, se observa que la muestra realizado el 7 de abril, presenta una concentración en el afluente de 50 mg/l y un efluente de 21 mg/l, obteniendo una óptima disminuyendo en el efluente.

En la segunda muestra que fue tomada el 17 de abril, se observa que en el afluente del HFSSV, hubo una concentración de 29 mg/l y hubo una buena disminución en el efluente obteniendo una concentración baja llegando a 6 mg/l.

C. Tercer Mes:

Se procedió con el análisis del mes de mayo, como se muestra en la tabla 58.

Tabla 58.

Comportamiento de la DBO5 con respecto al tercer mes.

FECHA	DBO5 mg/l	
	AFLUENTE	EFLUENTE
2/05/2017	46	23
17/05/2017	91	20

Fuente: propia

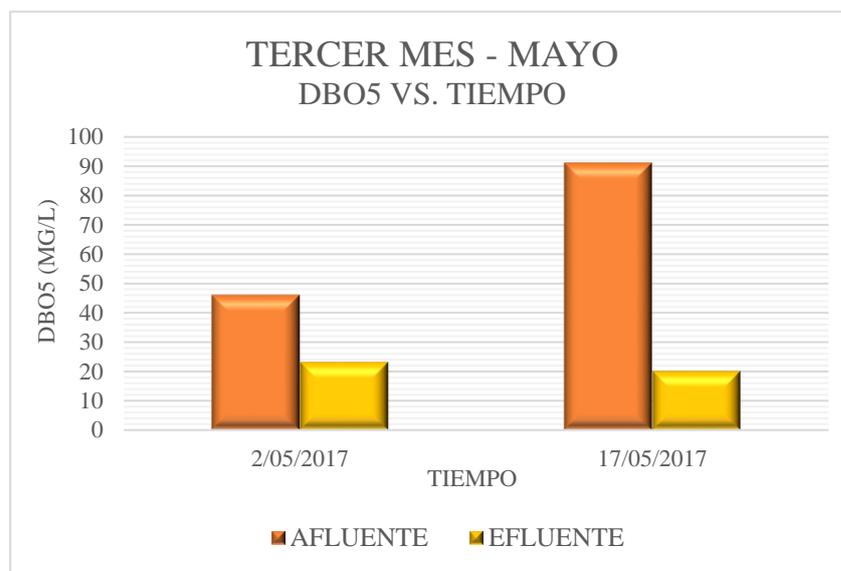


Gráfico 18. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de mayo.

Fuente: propia

En el mes de mayo se observa que las dos muestras tomadas, disminuyeron significativamente, el 2 de mayo, se observa que la concentración del efluente disminuyó a la mitad de la concentración del afluente en comparación de los meses anteriores. El 17 de mayo sin embargo presenta una óptima disminución de la concentración en el efluente con respecto al afluente.

D. Cuarto Mes:

Se procedió con el último análisis en el mes de junio, como se muestra en la tabla 59.

Tabla 59.

Comportamiento de la DBO5 con respecto al cuarto mes.

FECHA	DBO5 mg/l	
	AFLUENTE	EFLUENTE
2/06/2017	91	11

Fuente: propia



Gráfico 19. Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de junio.

Fuente: propia

En el mes de junio fue tomada la última muestra, el cual como se puede observar según el gráfico 19 obtiene una disminución alta en la concentración del efluente con 11 mg/l con respecto al afluente que es 91 mg/l.

4.5.9. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES

En el gráfico 20 se muestra los porcentajes de remoción de los coliformes totales durante la etapa de tratamiento con respecto al tiempo. Las cuales son indicadores de remoción microbiológica.

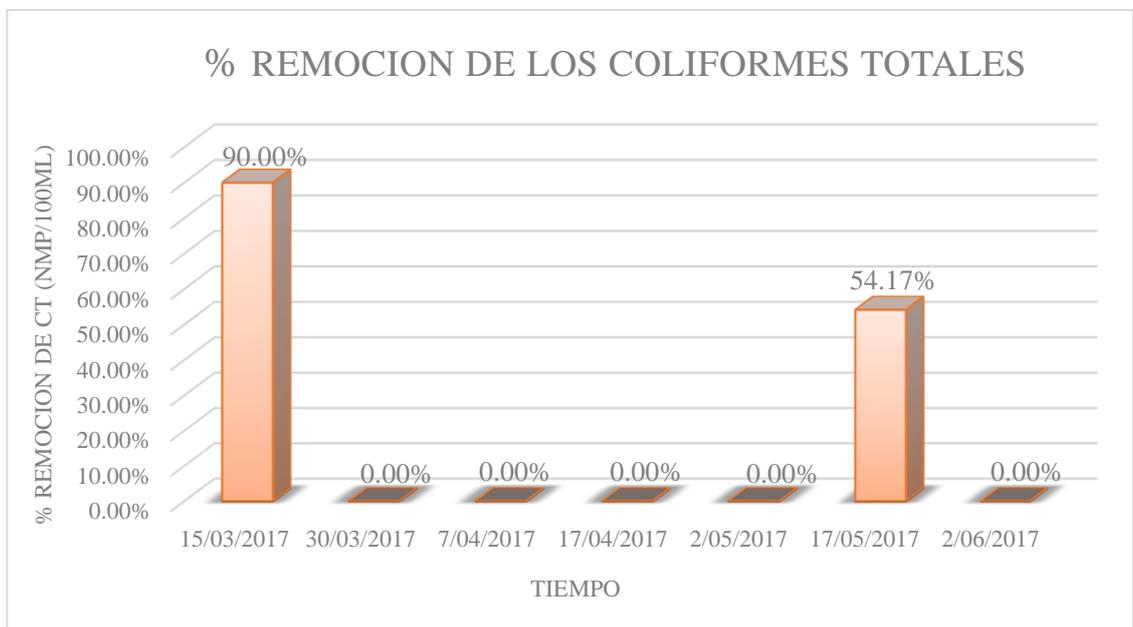


Gráfico 20. Porcentaje de remoción de la CT.

Fuente: propia

En el gráfico 20 se observa que en la primera muestra realizada el 15 de marzo, hay un alto porcentaje de remoción llegando al 90 %, sin embargo, desde la segunda fecha 30 de marzo hasta 2 de mayo se observa una remoción del 0%, lo cual indica que no hay remoción alguna en estos periodos, el 17 de mayo se muestra una variación con respecto a los anteriores periodos presentando un porcentaje de remoción de 54.17%, como último resultado nos muestra que en la última fecha 2 de junio, el porcentaje de remoción decae llegando a un 0%. Solo en dos periodos se observa que existe un porcentaje de remoción y en los 5 periodos restantes hay una disminución a 0%.

4.5.10. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES

En el gráfico 21 se muestra los porcentajes de remoción de los coliformes fecales durante la etapa de tratamiento con respecto al tiempo. Las cuales son indicadores de remoción microbiológica.

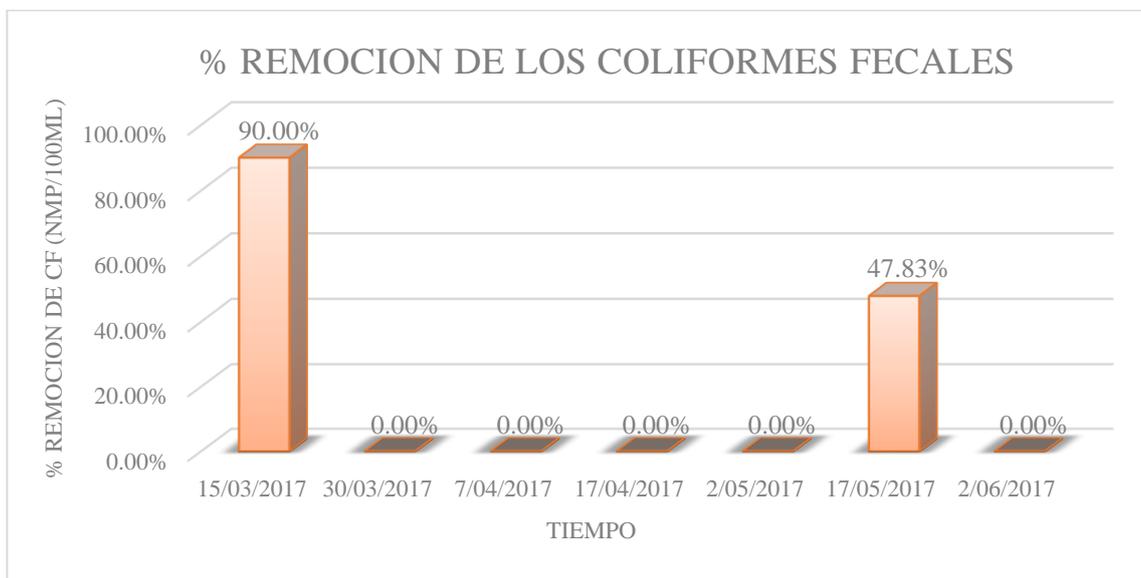


Gráfico 21. Porcentaje de Remoción de CF.

Fuente: propia

En los resultados presentados por el gráfico 21 se observa que la primera muestra realizada el 15 de marzo, la remoción es alta puesto a que llega al 90 % de remoción de los coliformes fecales, el cual es un buen indicador del tratamiento, sin embargo, desde la segunda fecha 30 de marzo hasta 2 de mayo, hay una disminución severa llegando al 0% de remoción, el 17 de mayo se muestra un incremento en el porcentaje de remoción con respecto a los anteriores periodos presentando un porcentaje de remoción del 47.83%, como último resultado nos muestra que en la última fecha 2 de junio, el porcentaje de remoción decae otra vez obteniendo un resultado del 0%. Solo en dos periodos se observa que existe un porcentaje de remoción y en los 5 periodos restantes hay una disminución severa llegando al 0%.

4.5.11. RESULTADOS DE LAS EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA DBO5

A continuación, se muestra el porcentaje de remoción de cada muestra analizada con respecto al tiempo.

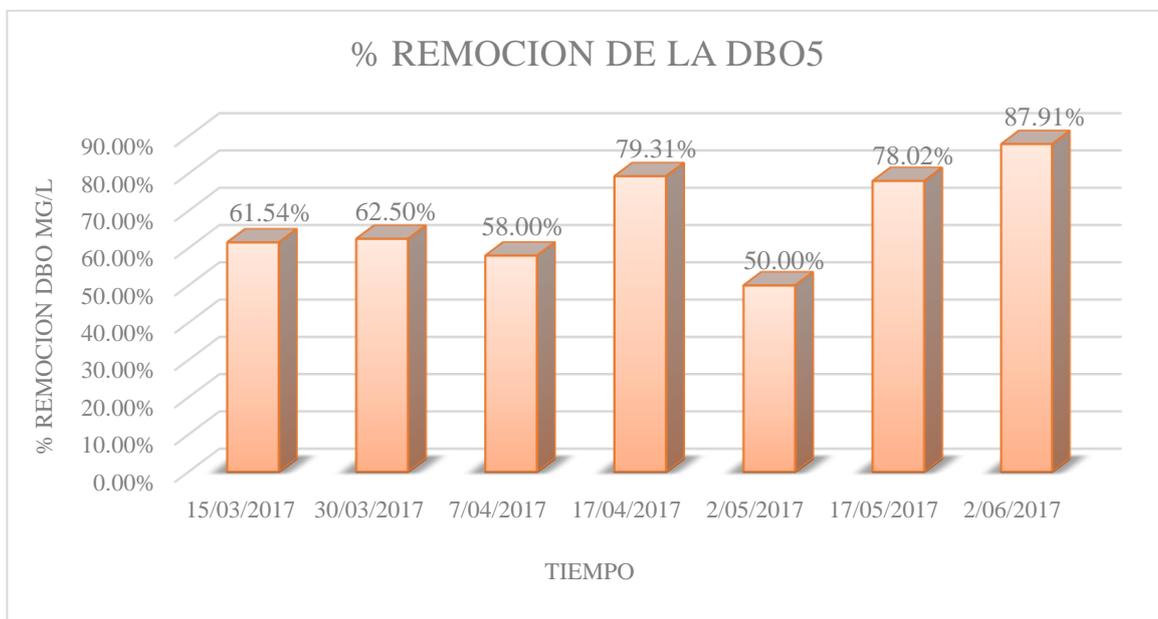


Gráfico 22. Porcentaje de Remoción de la DBO5.

Fuente: propia

En el gráfico 22 se muestra el porcentaje de remoción de la DBO5, el cual se observa que alcanza un porcentaje mínimo el 2 de mayo, el cual se obtiene un porcentaje de eficiencia de 50%, y alcanzo un porcentaje máximo de 87.91% en el último muestreo.

Durante el periodo se puede observar que el porcentaje de remoción de la DBO5 varían, ya que en algunas fechas sube y en otras disminuye, en dos fechas se observa que disminuyen el porcentaje de remoción la primera disminución es el 7 de abril llegando a un 58% y la segunda fecha es el 2 de mayo llegando a un 50% de remoción.

4.5.12. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS CON RESPECTO A LAS ECA (CATEGORÍA 3)

A. Coliformes Totales (CT)

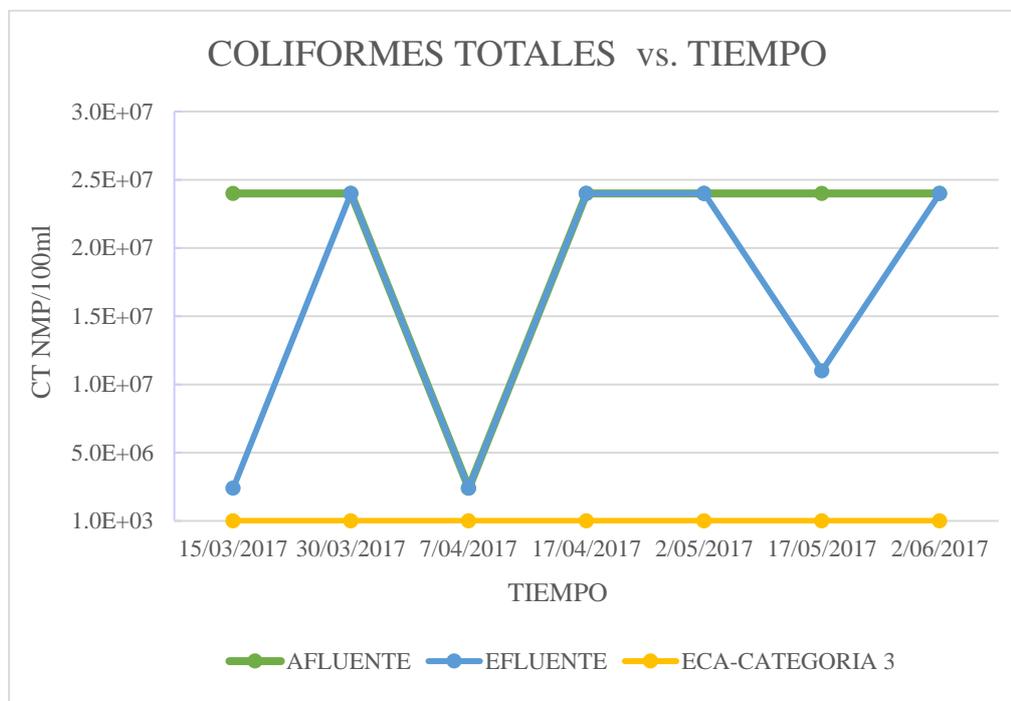


Gráfico 23. ECA – CT vs. Tiempo

Fuente: propia

En el gráfico 23 se observa las concentraciones en NMP/100ml de los coliformes totales del afluyente y efluente del humedal durante todos los meses de evaluación, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 3, subcategoría D1, el cual especifican que para esta categoría los coliformes totales debe tener una concentración igual o menor a 1000 NMP/100ml, según los resultados del gráfico 23 durante todo el periodo los resultados del efluente si bien hay disminución en algunas fechas ninguno de los resultados obtenidos cumplen con el ECA, sobrepasando en mayor cantidad.

B. Coliformes Fecales (CF)

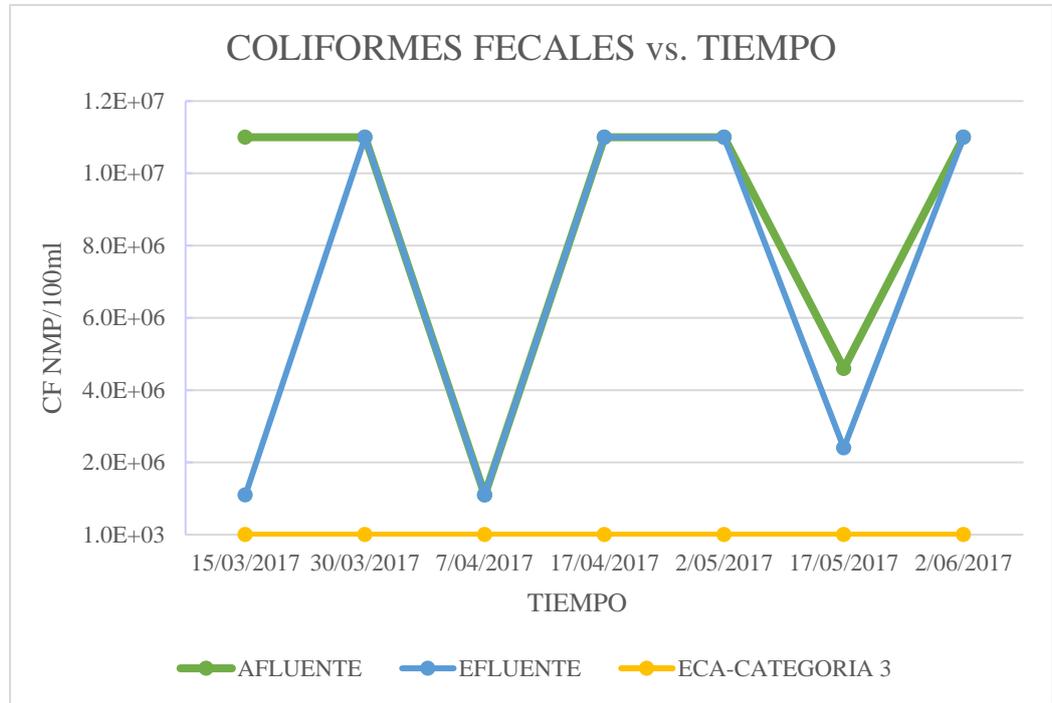


Gráfico 24. ECA – CF vs. Tiempo

Fuente: propia

En el gráfico 24 se observa las concentraciones en NMP/100ml de los coliformes fecales o termotolerantes del afluente y efluente del humedal durante todos los meses de evaluación, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 3, subcategoría D1, el cual especifican que para esta categoría los coliformes fecales debe tener una concentración igual o menor a 1000 NMP/100ml, según los resultados del gráfico 24 durante todo el periodo los resultados del efluente si bien hay disminución en las concentraciones estas sobrepasan el ECA. Ningún resultado del gráfico 24 no cumple con el ECA en este parámetro.

C. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

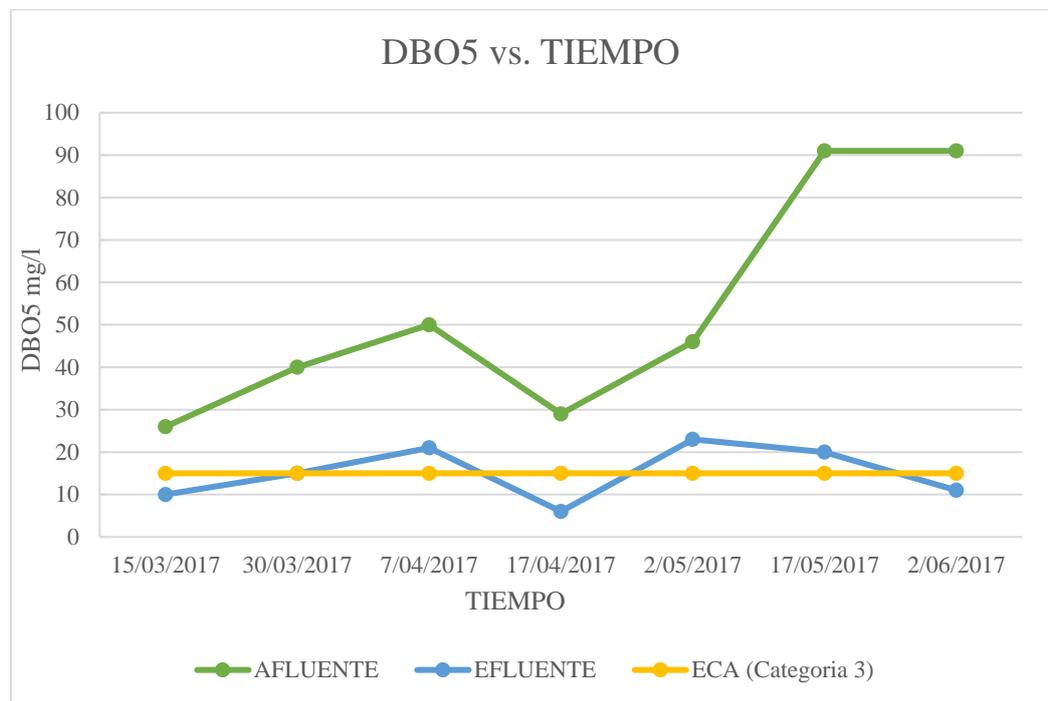


Gráfico 25. ECA – DBO5 vs. Tiempo.

Fuente: propia

En el gráfico 25 se observa las concentraciones en mg/l de la DBO5 del afluente y efluente del humedal durante todos los meses de evaluación, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 3, subcategoría D1, que se encuentran en el Anexo 3, nos dicen que para esta categoría la DBO5 debe tener una concentración igual o menor a 15 mg/l, como se puede observar solo 4 muestras del efluente cumplen con el ECA y en tres muestras restantes del efluente sobrepasan los límites del ECA, se puede observar también que en las concentraciones del efluente hay variaciones, dando como resultado una concentración de 23 mg/l siendo el valor más alto y 6 mg/l como la concentración mínima del efluente.

4.5.13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A. Coliformes totales (CT)

Los coliformes totales se analizó en diferentes periodos, a continuación, se muestra los resultados.

Tabla 60.

Resultados de los CT.

FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	2.4E+07	2.4E+06
30/03/2017	2.4E+07	2.4E+07
7/04/2017	2.4E+06	2.4E+06
17/04/2017	2.4E+07	2.4E+07
2/05/2017	2.4E+07	2.4E+07
17/05/2017	2.4E+07	1.1E+07
2/06/2017	2.4E+07	2.4E+07

Fuente: propia.

❖ Redactar hipótesis

Hi = El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve los coliformes totales en Tuyu Ruri – Marcará.

Ho = El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, no remueve los coliformes totales en Tuyu Ruri – Marcará.

Criterios para decidir:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace Ho (se acepta Hi)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace Ho (se acepta Ho)

❖ **Prueba t para medias de dos muestras emparejadas**

Tabla 61.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para CT.

PRUEBA t Student	AFLUENTE	EFLUENTE
Media	2.09E+07	1.60E+07
Varianza	6.67E+13	1.08E+14
Observaciones	7.00	7.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.56	-----
Diferencia hipotética de las medias	0.10	-----
Grados de libertad	6.00	-----
Estadístico t	1.48	-----
P(T<=t) una cola	0.09	-----
Valor crítico de t (una cola)	1.94	-----
P(T<=t) dos colas	0.18	-----
Valor crítico de t (dos colas)	2.44	-----

Fuente: propia.

Según el criterio para definir si es nula o no la hipótesis planteada, en la prueba estadísticas nos muestra una probabilidad obtenida de P-valor = 0.18, que es mayor al nivel de significancia que tiene un valor de 0.05, el cual nos indica que se acepta la hipótesis nula (Ho), y que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los análisis que son el afluyente y efluente, entonces el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo) no es eficiente en la remoción de coliformes totales.

Con los resultados de la media se obtiene un 23.63% de eficiencia de remoción para todo el sistema, de acuerdo a los datos obtenidos.

B. Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales se analizó en diferentes periodos, a continuación, se muestra los resultados.

Tabla 62.

Resultados de los CF.

FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	1.1E+07	1.1E+06
30/03/2017	1.1E+07	1.1E+07
7/04/2017	1.1E+06	1.1E+06
17/04/2017	1.1E+07	1.1E+07
2/05/2017	1.1E+07	1.1E+07
17/05/2017	4.6E+06	2.4E+06
2/06/2017	1.1E+07	1.1E+07

Fuente: propia.

❖ Redactar hipótesis

Hi = El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve los coliformes fecales en Tuyu Ruri – Marcará.

Ho = El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, no remueve los coliformes fecales en Tuyu Ruri – Marcará.

Criterios para decidir:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace Ho (se acepta Hi)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace Ho (se acepta Ho)

❖ **Prueba t para medias de dos muestras emparejadas**

Tabla 63.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para CF.

PRUEBA t Student	AFLUENTE	EFLUENTE
Media	8.70E+06	6.90E+06
Varianza	1.70E+13	2.60E+13
Observaciones	7.00	7.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.70	-----
Diferencia hipotética de las medias	0.10	-----
Grados de libertad	6.00	-----
Estadístico t	1.24	-----
P(T<=t) una cola	0.13	-----
Valor crítico de t (una cola)	1.94	-----
P(T<=t) dos colas	0.26	-----
Valor crítico de t (dos colas)	2.45	-----

Fuente: propio

Según el criterio para definir si es nula o no la hipótesis planteada, en la prueba estadísticas nos muestra una probabilidad obtenida de P-valor = 0.26, que es mayor al nivel de significancia que tiene un valor de 0.05, el cual nos indica que se acepta la hipótesis nula (Ho), y que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los análisis que son el afluyente y efluente, entonces el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo) no es eficiente en la remoción de coliformes fecales.

Con los resultados de la media se obtiene un 19.93% de eficiencia de remoción para todo el sistema, de acuerdo a los datos obtenidos.

C. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO se analizó en diferentes periodos, a continuación, se muestra los resultados.

Tabla 64.

Resultados de la DBO5

FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	26	10
30/03/2017	40	15
7/04/2017	50	21
17/04/2017	29	6
2/05/2017	46	23
17/05/2017	91	20

Fuente: propia.

❖ Redactar hipótesis

Hi = El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve la DBO en Tuyu Ruri – Marcará.

Ho = El empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, no remueve la DBO en Tuyu Ruri – Marcará.

Criterios para decidir:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace Ho (se acepta Hi)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace Ho (se acepta Ho)

❖ **Prueba t para medias de dos muestras emparejadas**

Tabla 65.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para DBO5.

PRUEBA t Student	AFLUENTE	EFLUENTE
Media	53.286	15.143
Varianza	736.571	41.143
Observaciones	7.000	7.000
Coeficiente de correlación de Pearson	0.301	-----
Diferencia hipotética de las medias	0.100	-----
Grados de libertad	6.000	-----
Estadístico t	3.880	-----
P(T<=t) una cola	0.004	-----
Valor crítico de t (una cola)	1.943	-----
P(T<=t) dos colas	0.008	-----
Valor crítico de t (dos colas)	2.447	-----

Fuente: propia

Según el criterio para definir si es nula o no la hipótesis planteada, en la prueba estadísticas nos muestra una probabilidad obtenida de P-valor = 0.008, que es menor al nivel de significancia que tiene un valor de 0.05, por lo tanto, los resultado nos indica que la hipótesis nula y nos indica que se acepta la hipótesis alternativa (Hi), y que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los análisis que son el afluyente y efluente, entonces aceptamos la hipótesis alternativa que el empleo del humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, sí remueve la DBO en Tuyu Ruri – Marcará.

Con los resultados de la media se obtiene un 71.58% de eficiencia de remoción para todo el sistema, de acuerdo a los datos obtenidos.

4.6. CUADRO GENERAL DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL

Tabla 66.

Resultados de los estadísticos descriptivos para los parámetros de control.

ETAPA	PARÁMETRO		N	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	ERROR ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ADAPTACIÓN	Caudal	Afluyente	2.00000	0.00385	0.00386	0.00386	0.00001	0.00001
		Efluente	2.00000	0.00373	0.00379	0.00376	0.00003	0.00004
	Temperatura	Entrada	4.00000	18.42000	19.17000	18.76000	0.16263	0.32527
		Salida	4.00000	21.72000	23.37000	22.45000	0.34139	0.68279
	pH	Entrada	4.00000	7.70000	7.93000	7.77500	0.05236	0.10472
		Salida	4.00000	6.93000	7.85000	7.24500	0.20887	0.41773
TRATAMIENTO	Caudal	Afluyente	7.00000	0.00386	0.00395	0.00391	0.00001	0.00003
		Efluente	7.00000	0.00364	0.00385	0.00375	0.00003	0.00007
	TRH	TRH	3.00000	2.47000	2.53000	2.50670	0.01856	0.03215
	Turbiedad	Entrada	4.00000	5.01000	22.80000	11.40250	4.01945	8.03891
		Salida	4.00000	3.29000	7.18000	5.71000	0.84245	1.68489
	Temperatura	Entrada	7.00000	16.70000	17.99000	17.36570	0.16450	0.43523
		Salida	7.00000	19.37000	20.25000	19.95710	0.10809	0.28599
	Ph	Entrada	7.00000	7.59000	7.84000	7.68290	0.03053	0.08077
		Salida	7.00000	6.74000	7.11000	6.88430	0.04275	0.11312

Fuente: programa SPS

4.7. CUADRO GENERAL DE LOS PARÁMETROS DE INTERÉS

Tabla 67.

Resultados de los parámetros analizados en laboratorio.

PERIODO	MUESTRA	PARÁMETROS			
		DBO5 (mg/l)	CT (NMP/100ml)	CF (NMP/100ml)	
PRIMER MES	15/03/2017	Inicial	26.00	2.40E+07	1.100E+07
		Final	10.00	2.40E+06	1.100E+06
		%Remoción	61.54%	90.00%	90.00%
	30/03/2017	Inicial	40.00	2.4E+07	1.10E+07
		Final	15.00	2.4E+07	1.10E+07
		%Remoción	62.50%	0.00%	0.00%
SEGUNDO MES	7/04/2017	Inicial	50.00	2.40E+06	1.10E+06
		Final	21.00	2.40E+06	1.10E+06
		%Remoción	58.00%	0.00%	0.00%
	17/04/2017	Inicial	29.00	2.40E+07	1.10E+07
		Final	6.00	2.40E+07	1.10E+07
		%Remoción	79.31%	0.00%	0.00%
TERCER MES	2/05/2017	Inicial	46.00	2.40E+07	1.10E+07
		Final	23.00	2.40E+07	1.10E+07
		%Remoción	50.00%	0.00%	0.00%
	17/05/2017	Inicial	91.00	2.40E+07	4.60E+06
		Final	20.00	1.10E+07	2.40E+06
		%Remoción	78.02%	54.17%	47.83%
CUARTO MES	2/06/2017	Inicial	91.00	2.40E+07	1.10E+07
		Final	11.00	2.40E+07	1.10E+07
		%Remoción	87.91%	0.00%	0.00%
ECA			15	1000	1000

Fuente: propia

En la tabla 67 se muestra los parámetros que se analizó en laboratorio como DBO5, coliformes totales y fecales, los resultados de la DBO5 muestran que presentan remoción durante el proceso, en el caso de la CT y CF, solo en dos fechas hay remoción y en las demás fechas decaen a un 0%.

4.8. ADAPTACIÓN Y CRECIMIENTO DEL *EQUISETUM BOGOTENSE*

En las siguientes fotografías se puede observar la adaptación y crecimiento de la especie *Equisetum bogotense* para observar que la especie si se adaptó al agua residual, a los estratos que se utilizó dentro del humedal (turba mezclado con arena, arena gruesa, arena gravosa y grava media) y a las condiciones ambientales del distrito de Marcará.



Fotografía 14. Primer día de plantado – Mes de Febrero.

Fuente: propia



Fotografía 15. Segundo mes – marzo

Fuente: propia



Fotografía 16. Tercer mes – abril

Fuente: propia



Fotografía 17. cuarto mes – mayo

Fuente: propia



Fotografía 18. Quinto mes – junio

Fuente: propia

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DEL HFSSV

El resultado de la caracterización se realizó por medio de un análisis de concentración de DBO, el cual se midió en el primer vertedero que resulto 127 mg/l, como el HFSSV es un tratamiento secundario y teniendo como tratamiento primario un biodigestor y esta remueve el 70 de DBO, el área superficial del humedal, se calculó con una concentración de 38.19 mg/l de DBO, obteniendo un resultado de 2.2 m², como el humedal es de flujo vertical se tomaron diferente criterios como la altura que en este caso es de 0.80m, la altura de un humedal vertical varia de 0.6 a 0.8, la pendiente de 1% criterios de diseño recomendados para sistemas verticales según (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010), el tiempo de retención calculado para este piloto fue 1.21 días, estos días que se calcula para el diseño es el tiempo celular que demorara pasar el agua por medio de los sustratos como la retención celular de las plantas en este caso el *Equisetum bogotense*. Se diseñaron el diámetro de ambas tuberías de alimentación y drenaje para el humedal fue de 2 pulg, ambas tuberías estuvieron perforadas, la tubería de alimentación del humedal consto de dos tubos perforados, los diámetros de los orificios perforados a lo largo de la tubería variaron su diámetro comenzando con un diámetro menor y así incrementando el diámetro hasta el último orificio que variaron de 0.23 cm a 0.30 cm, es por ello que se colocó el diámetro de los orificios de una forma variada en función al gasto de cada orificio para que el agua no salga más por el primer orificio de la tubería, cumpliendo además que el gasto total de cada tubería sea menor a lo suministrado, de esta forma se mantuvo la tubería llena, haciendo que en todos los orificios de la tubería se distribuya por igual, el caudal total por cada orificio y por cada tubería fue de 0.00000152 m³/s y el caudal que se suministraba para cada tubería fue de 0.00000174 m³/s, siendo mayor que el caudal total por orificios

5.2. CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO EN EL SISTEMA EXISTENTE TUYU-RURI.

Para la construcción del HFSSV, según los autores (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010), el revestimiento del humedal es importante y que puede ser de diferente materiales, es esta investigación se usó concreto debido a que la función del revestimiento es que el agua a tratar no salga del humedal manteniéndola dentro la cual permita los procesos dentro del humedal para la remoción de contaminantes, el HFSSV su construyo como tratamiento secundario debido que el agua a tratar tiene que tener un tratamiento previo en lo que concierne a la remoción de los sólidos porque estos pueden ocasionar colmatación y taponamiento en los estratos, es por ello que en esta investigación no hubo problemas de taponamiento ni colmatación

5.3. RECOLECCIÓN, PRE-ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE *EQUISETUM BOGOTENSE* E IMPLEMENTACIÓN DEL HFSSV

La recolección de la especie se hizo en el mismo distrito de Marcará a afueras del centro de investigación forestal Tuyu Ruri, la preadaptación fueron en total de 40 plantas del *Equisetum bogotense* el cual se fue adaptando en primera estancia a la primera capa del sustrato que viene hacer la turba, se observó y midió la altura dl tallo que alcanzo la especie, el cual si bien algunas especies murieron (se secaron), otras brotaron y crecieron, es decir esta especie se adaptó muy bien en este sustrato que vine hacer la turba, durante este proceso se observó que la turba sola, ocasionaba que el agua no pasara y se encharcara, como estas estaban puestas en una tina, se les rito y se procedió a mezclar la turba con arena fina, en un proporción de 4:1, el cual es por cada 4 carretillas de turba una carretilla de arena, se le agrego arena porque esta le da contextura y le ayuda a drenar es por ello que se observó que el agua si pasaba dentro y no se producía encharcamiento, en este caso se llevó a cabo el primer enraizamiento de la especie *Equisetum bogotense* dentro de las tinas. La colocación de los orificios a lo largo de la tubería de alimentación es importante para mantener uniforme la distribución del agua residual en todo el lecho del HFSSV.

La implementación del HFSSV, se realizó con 4 sustratos, comenzando con el estrato de mayor tamaño al fondo del humedal y culminado con el estrato superficial que es la turba, se observó durante el periodo de tratamiento que la capa de la turba se mantenía húmedo toda la superficie del humedal, se estratos permiten que el humedal tenga mayor capacidad de permeabilidad, estos estratos aseguran la formación de biopelícula en la capa biológica que viene a hacer las primeras capas es decir de turba mezclado con arena y de arena gruesa.

5.4. EVALUAR LA ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE *EQUISETUM BOGOTENSE*.

En la etapa de adaptación, se esperó un mes antes de realizar los análisis de laboratorio, debido a que según (Paredes Gilón, 2014) los humedales construidos requieren de un período de aclimatación antes de presentar un óptimo funcionamiento. Durante este proceso, las plantas y los microorganismos se adaptan a las condiciones del agua residual, se generan biopelículas sobre el medio filtrante y sobre las raíces de las plantas y las interacciones ecológicas y biológicas necesarias para optimizar los mecanismos de degradación y remoción de contaminantes.

Durante la etapa de adaptación los parámetros de temperatura, pH y caudal en campo tanto en el afluente como en el efluente del humedal, las cuales según resultados no varió mucho con el caudal de diseño que fue de 0.3 m³/día, en los aforos de los caudales del efluente se mostró una cierta disminución, que de acuerdo con (Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores, 2012), pueden existir diferentes factores por el cual el agua disminuye en el efluente, primero la retención en las plantas para su crecimiento y su transpiración, el segundo es por la evotranspiración, es debido a que dependiendo del ambiente el agua se evapora del medio del humedal generando una pérdida pequeña del caudal suministrado; el pH y la temperatura, para garantizar que hay una buena actividad biológica dentro del humedal según (Paredes Gilón, 2014) nos dice que la temperatura óptima se encuentra en el rango de 20 – 35 °C en el agua residual, es por ello que al monitorear este parámetro se encontró con una temperatura que es óptima en el primer mes de adaptación de la especie con el agua residual estos resultados oscilaron en el

efluente entre un temperatura de 21.72°C a 23.37°C, durante el primer de adaptación según estos resultados que hubo una buena actividad biológica dentro del humedal ya que al medir la temperatura en el afluente del humedal (segundo vertedero), estas temperaturas oscilaban entre 18.42 a 19.17 °C, durante la etapa de adaptación también se midió el pH el cual según (Jhoan Pablo Marín Montoya, Juan Carlos Correa Ramírez, 2010) el valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5 y para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0, el resultado del mes de adaptación el pH en el efluente del HFSSV osciló entre 6.93 a 7.85, encontrándose dentro del rango, el cual nos indica que hay un buen proceso de tratamiento biológico.

5.5. ETAPA DE TRATAMIENTO: DETERMINAR LOS PARÁMETROS DE TURBIEDAD, TEMPERATURA Y PH EN EL HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL.

Los humedales de flujo subsuperficial vertical, dentro de los humedales se dan los procesos biológicos porque es por medio de microorganismos que estos remueven la materia orgánica en el agua residual, la especie *Equisetum bogotense* es importante ya que estos por medio de la fotosíntesis oxigenan por las raíces, para determinar el porcentaje de remoción de los contaminantes a estudiar, se midió los parámetros de control.

La turbiedad (UNT) cada mes, los resultados de la salida del humedal presentaron una buena disminución respecto a la entrada del humedal, este parámetro es importante porque si el agua residual tratada sale con una elevada turbidez, puede afectar al proceso de depuración en el humedal, porque al tener una alta turbidez protege a los microorganismos patógenos de los efectos de la desinfección por acción de la luz solar, estimulando la proliferación de bacterias, disminuyendo la capacidad de fotosíntesis de plantas acuáticas (Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade, 2010).

Los temperatura se siguió midiendo durante la etapa de tratamiento, en el mes de Marzo se midieron en dos ocasiones (quincenalmente) la temperatura el cual nos resultó en el efluente del humedal en la primera quincena un promedio de 20.25 °C y en la segunda quincena disminuyo a un promedio de 19.97 °C, durante el mes de abril la temperatura subo y se estabilizo llegando en la primera quincena de abril en el efluente con un promedio de temperatura de 20°C y en la siguiente quincena de abril llego a un promedio de 20.15°C, en el mes de mayo la primera quincena de este mes volvió a disminuir a un promedio de 19.88°C y a la siguiente quincena de ese mismo mes subió a un promedio de 20.08°C, en el mes de junio nos resultó un promedio de 19.37°C, siendo el resultado más bajo a comparación con los anteriores meses mencionados, de acuerdo a estas registros la temperatura se encontró en un rango de 19.37 a 20.25°C, el cual solo en algunos meses este parámetro se encuentra dentro del rango óptimo de 20 a 30°C en el agua residual según (Paredes Gilón, 2014), para garantizar que hay una buena actividad biológica dentro del humedal, es por ello que podemos afirmar que hay actividad biológica optima en algunos meses y en otros no tan optimo, la temperatura del agua residual también depende del tipo de clima donde esta ubica, según (E. Bohórquez, D. Paredes, 2014) , *nos indica que si la temperatura ambiental se encuentra en un promedio de 20.7°C la temperatura del agua se hace contante a lo largo del tiempo entre 22 y 23 °C, el cual si cumple con el rango optimo*, es por ello que los datos tomados varían q porque el Distrito de Marcará presenta en un clima templado en algunos meses dependiendo de la estación del año, en invierno suelen bajar la temperatura hasta una temperatura de 14.5°C y la temperatura promedio de abril hasta agosto se encuentra en un rango de 13.2 a 14.8°C según los datos obtenidos del Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD) – UNASAM.

El pH se midió en siguió midiendo en la etapa de tratamiento el cual según (Jhoan Pablo Marín Montoya, Juan Carlos Correa Ramírez, 2010) el valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5 y para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0, el resultado de los 4 meses que se mido de forma quincenal, se encontró valores óptimos tanto en la entrada encontrándose valores que oscilaron entre 7.59 a 7.84,

como en la salida del HFSSV el cual oscilo entre 6.74 a 7.11, encontrándose dentro del rango, el cual nos indica que hay un buen proceso de tratamiento biológico.

5.6. ETAPA DE TRATAMIENTO: DETERMINAR EN CAMPO AL CAUDAL Y TRH DEL HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL.

Se midió el caudal real en campo tanto en el afluente que se obtuvo valores que oscilo entre 0.00386 a 0.00395 lps y en el efluente que se obtuvo valores que oscilo entre 0.00364 a 0.00385 lps del humedal, las cuales según resultados no vario mucho con el caudal de diseño que fue de 0.00347 lps, en los aforos de los caudales del efluente se mostró una cierta disminución, que de acuerdo con (Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores, 2012), pueden existir diferentes factores por el cual el agua disminuyo en el efluente, primera la retención en las plantas para su crecimiento y su traspiración y el segundo es por la evotraspiracion, es debido a que dependiendo del ambiente el agua se evapora del medio del humedal generando un perdida pequeña del caudal suministrado. El tiempo de retención medido durante los 3 meses (marzo, abril y mayo) el cual no hubo mucha diferencia de mes en mes obteniendo un promedio de 2.51 horas.

5.7. ETAPA DE TRATAMIENTO: DETERMINAR MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL EL PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES, FECALES Y DBO, Y VERIFICAR SI LOS RESULTADOS OBTENIDOS CUMPLEN CON EL ECA PARA REÚSO.

Los humedales de flujo subsuperficial vertical, dentro se dan procesos biológicos porque es por medio de microorganismos que estos remueven la materia orgánica en el agua residual, la especie *Equisetum bogotense* es importante ya que estos por medio de la fotosíntesis oxigenan por las raíces.

Se analizo en el laboratorio la DBO, el cual según resultados nos muestra que hubo remoción en algunos periodos más que en otros, en la primera muestra hay un porcentaje de remoción del 61. 54%, con un promedio de temperatura de agua residual en la salida de 20.25°C, en la segunda muestra hay un porcentaje de remoción de 62.50% con un promedio de temperatura de agua residual en la salida de 19.97°C, en la tercera muestra hay un porcentaje de remoción de 58% con un

promedio de temperatura de agua residual en la salida de 20°C, en la cuarta muestra hay un porcentaje de remoción de 79.31% con un promedio de temperatura de agua residual en la salida de 20.15°C, en la quinta muestra hay un porcentaje de remoción de 50% con un promedio de temperatura de agua residual en la salida de 19.88°C, en la sexta muestra hay un porcentaje de remoción de 78.02% con un promedio de temperatura de agua residual en la salida de 20.08°C, en la séptima o última muestra hay un porcentaje de remoción de 87.91% con un promedio de temperatura de agua residual en la salida de 19.37°C, según (Juan Ramón, 2010) la eliminación de DBO5, estos procesos que se ven afectados por la temperatura del agua residual ya que el crecimiento biológico de organismos es sensible a la temperatura, los organismos alcanzan un crecimiento óptimo a temperaturas relativamente altas, pero su reproducción continúa inclusive a temperaturas muy bajas, es esta investigación la temperatura promedio del agua residual en la salida del HFSSV oscila entre 19.37 a 20.25 °C, como observamos que la temperatura no es constante durante todo el tratamiento de la misma manera el porcentaje de remoción varia, pero a 20°C temperatura se encuentra dentro del rango para un óptimo proceso microbiológico, debido que alcanza un porcentaje de eficiencia de remoción para todo el tratamiento un 71.58%, bajo las condiciones dadas en el tratamiento.

En el caso de los coliformes totales y coliformes fecales, los resultados del laboratorio muestran que ambos parámetros en la primera muestra alcanzan una remoción del 90 %, seguidamente la segunda muestra hasta la quinta muestra el porcentaje de remoción disminuye drásticamente hasta el 0%, en la sexta muestra en el caso de los coliformes totales alcanza una remoción de 54.17% de eficiencia y en el caso de los coliformes fecales alcanza un 47.83% de remoción, finalmente en la última muestra para ambos parámetros esta vuelve a disminuir a un 0%, esto es debido a que en la sexta muestra 5 días antes de tomar la muestra, se realizó en mantenimiento de las tuberías de alimentación y del primer vertedero, las fotografías se registran en el anexo 1, dejando aproximadamente por cinco horas sin suministrarle agua residual al humedal, es uno de los factores que influyo en su rendimiento, ya que como podemos ver los resultados del primer mes de funcionamiento del humedal también hay un buen porcentaje de remoción, en los otros periodos el porcentaje de remoción fue de 0%, es debido a la precipitación

pluvial que se produjo durante todos esos meses el cual altero la remoción del humedal, según autores concluyeron que por eventos de lluvia puede verse afectado en la efectividad del tratamiento de los humedales, por Ghermandi et al (2006) quien reporta la existencia de una clara correlación entre la eficiencia de remoción de patógenos y los tiempos de retención hidráulico que se presentan en las unidades de tratamiento con humedales construidos (García Palacio, págs. 39-40), teniendo un tiempo de retención de 2.51 horas un promedio para todos los meses, se concluye que el TRH no es óptimo para tratamiento de patógenos, porque el HFSSV no hay buen remoción de estos parámetros tanto para coliformes totales y fecales, para buenas remociones de estos contaminantes según Bocardo, 2010 los procesos se ven directamente afectadas por la temperatura ambiente y por la temperatura de las propias aguas a tratar, teniendo temperatura ambientales bajas durante toda los meses de tratamiento que oscilo entre 15.4 a 13.7 °C, el cual afecto en el tratamiento de estos contaminantes.

Los valores obtenidos de coliformes totales y fecales no cumplen con la ECA de riego y en el caso de la DBO solo en 4 fechas de las 7 fechas evaluadas cumplen con los ECA para riego.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- El humedal de flujo subsuperficial vertical obtuvo un área superficial de 2.2 m².
- Se construyó el humedal de flujo subsuperficial vertical con un revestimiento de concreto como tratamiento secundario en el sistema existente del Centro Experimental Ecológico Tuyu Ruri.
- La especie *Equisetum bogotense* fue recolectada del distrito de Marcará, los sustratos utilizados en el HFSSV fueron 4, turba mezclado con arena fina, arena gruesa (D10=2mm), arena gravosa (D10=8mm) y grava media (D10=32mm).
- La especie *Equisetum bogotense* se adaptó al agua residual doméstica, desarrollándose de manera óptima dentro del HFSSV y en los sustratos.
- En la etapa de adaptación se concluyó con un pH promedio de 7.24 y temperatura promedio de 22.45°C, en la etapa de tratamiento se concluyó con un pH promedio de 6.88, y temperatura promedio de 19.96°C y una turbiedad promedio en la salida del HFSSV de 5.71 UNT.
- El caudal promedio en la etapa de adaptación en el afluente fue 0.003855lps y en el efluente de 0.00376 lps, para la etapa de tratamiento un caudal promedio en el afluente fue 0.00391 lps y en el efluente de 0.00374 y un TRH de 2.51 horas.
- En la remoción de DBO₅, se obtuvo buenos resultados, debido a que el porcentaje de remoción de fue de 71.58 %, con respecto a los coliformes totales y fecales se obtuvo un mínimo porcentaje de remoción dando como resultado para CT un 26.63 % de eficiencia de remoción y para CF un 19.93% de eficiencia de remoción. Los resultados no cumplen con el ECA para reúso.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones sobre humedales se recomienda dentro del diseño utilizar como revestimiento concreto de 175 kg/cm² de resistencia, ya que en esta investigación no hubo filtraciones y es importante el tiempo de acondicionamiento de los humedales.
- Se recomienda lavar los sustratos antes de ponerlo dentro del humedal, debido a que estos pueden estar contaminados con alguna partícula fina y evitar así posibles saturaciones.
- Se recomienda para otros trabajos de investigación tener un medio de control sin vegetación, para analizar cuanto de eficiencia de remoción influye la especie *Equisetum bogotense*.
- Se recomienda para futuras investigaciones se siga estudiando de manera más detallada cuanto influye el TRH en la remoción de contaminantes
- Se recomienda que cuando se realiza el análisis de laboratorio es muy importante la toma de muestras adecuada y la preservación adecuada de las muestras.
- Se recomienda medir en campo el porcentaje de evotranspiración y ver si afecta o no en la eficiencia de remoción de materia orgánica.
- De acuerdo a esta investigación, se recomienda un tratamiento terciario de desinfección para que pueda disminuir los coliformes totales y fecales y así cumplir los Estándares de Calidad Ambiental y esta pueda ser utilizada para riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AccuWeather. (18 de Setiembre de 2017). Obtenido de AccuWeather:
<https://www.accuweather.com>
- Aldo Antonio Castañeda Villanueva, Hugo Ernesto Flores López. (2014). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE PLANTAS MACRÓFITAS TÍPICAS EN LOS ALTOS DE JALISCO, MÉXICO. *Tecnología y Sociedad*, 12.
- Atanael, V. L. (30 de Setiembre de 2013). Youtube. Obtenido de T student Muestras Relacionadas: <http://www.youtube.com/watch?v=4JQdQM>
- Bernal López, O. (2014). DISEÑO DE UNIDAD PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL CAMPUS UMNG-CAJICÁ CON FINES DE REUSÓ. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO.
- Blogitravel. (12 de Setiembre de 2017). Obtenido de Blogitravel:
<http://www.blogitravel.com/2009/10/mapa-del-peru/>
- Bohórquez Bedoya, E. (2015). EFECTOS DEL MEDIO FILTRANTE Y LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES TROPICALES. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Daniel A. Peña Orocaja, Rafael M. Infante Flores. (2012). EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA DE GRAVA EN EL MEDIO FILTRANTE. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.
- Daniel Mendoza Ortega , Carolina Ramos Escorza. (2012). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PORCÍCOLAS. APAXTLA DE CASTREJÓN, GUERRERO. IZTAPALAPA, D.F.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Diana Hernandez Torres, Diana Garcia Forero. (2011). EVALUACION DE ADAPTACION DE COLA DE CABALLO (*Equisetum bogotense*) BAJO DIFERENTES TIPOS DE SOMBRA EN LA ZONA DE BOGOTA - CUNDINAMARCA. Bogota: UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A.

Díaz Acero, C. (2014). TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL A TRAVÉS DE HUMEDALES. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, (pág. 6). Bogotá.

Espinosa Ortiz, C. (2014). FACTIBILIDAD DEL DISEÑO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE 30.000 HABITANTES. Bogotá: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA - JULIO GARAVITO.

Fernández González, J. (2009). HUMEDALES ARTIFICIALES PARA DEPURACIÓN. En J. F. González, Manual de fitodepuracion (págs. 86-87). Madrid.

Garcia Palacio, J. A. (2010). EFECTO DEL USO DE PLANTAS Y CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS EN LA REMOCIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS MEDIANTE EL USO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN CONDICIONES TROPICALES. PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

González Giraldo, M. (2014). EFECTO EN LA VARIACIÓN DE LA ALTURA LAMINAR EN LA REMOCIÓN DE PATÓGENOS Y NITRÓGENO EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL TRATANDO AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES TROPICALES. Maestría en Ecotecnología: Universidad Tecnológica de Pereira.

Gualterio Loosert, Roberto Rodriguez. (2004). LOS HELECHOS MEDICINALES DE CHILE Y SUS NOMBRES VULGARES. SCielo.

- H.R. Hadad, M.M. Mufarrege, G.A. Di Luca, M.A. Maine. (2014). INFLUENCIA DEL PH Y SALINIDAD DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL SOBRE LA DOMINANCIA DE MACRÓFITAS FLOTANTES Y EMERGENTES EN UN WETLAND CONSTRUIDO. *Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua* (pág. 143). Morelia, Michoacán, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México; Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Jhoan Pablo Marín Montoya, Juan Carlos Correa Ramírez. (2010). EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES EN HUMEDALES ARTIFICIALES UTILIZANDO LA *Guadua angustifolia* Kunth. PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Juan Ramón, P. B. (2010). INFLUENCIA DEL TIPO Y GRANULOMETRÍA DEL SUSTRATO EN LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES POR EL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL Y HORIZONTAL. Cadiz: UNIVERSIDAD DE CADIZ.
- Maira M. Pérez Villar, Elena R. Domínguez, Yaribey M. Gonzalez Roche, Taimy Jimenez Llano. (2014). DISEÑO DE UN HUMEDAL SUBSUPERFICIAL VERTICAL PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS. *AFINIDAD LXXII*, 38.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. Lima, Peru.
- Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade. (2010). DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES. Cochabamba – Bolivia: © Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- Paredes Gilón, L. (2014). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ESTABILIZACIÓN DE HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL, SEMBRADOS CON *HELICONIA* (sp), PARA EL

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. PEREIRA:
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

Perutoptours. (17 de Setiembre de 2017). Obtenido de Perutoptours:
http://www.perutoptours.com/index02car_mapa_carhuaz.html

Perutravelling. (17 de Setiembre de 2017). Obtenido de Perutravelling:
<http://es.perutravelling.com/ancash-mapa>

Real Academia Española. (10 de Setiembre de 2017). Obtenido de Real Academia Española: <http://dle.rae.es>

Rodríguez González María Reyes, Molina Burgos Judith, Jácome Burgos Alfredo y Suárez López Joaquín. (2012). HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL PARA TRATAMIENTO TERCIARIO DEL EFLUENTE FÍSICO-QUÍMICO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. Ingeniería Investigación y Tecnología, 225.

Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la Investigación - sexta edición. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORIALES S.A de C:V.

Silvia Blair Trujillo, Beatriz Madrigal. (2005). PLANTAS ANTIMALARICAS DE TUMACO. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

T. Rodríguez Chaparro, Ivonne Maritza Ospina. (2005). HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BOGOTÁ. . Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 83.

V., J. P. (Compilado). HUMEDALES CONSTRUIDOS. Colombia: Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.

Wilmer Alberto Llagas Chafloque, Enrique Guadalupe Gómez. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, 6.

ANEXOS

ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO.

ANEXO 2. RESULTADOS DEL LABORATORIO.

ANEXO 3. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL.

**ANEXO 4. PLANOS DEL HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL
VERTICAL.**

ANEXO 1.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

REGISTRO FOTOGRÁFICO

1.1.Recolección de la especie *Equisetum bogotense*, en el distrito de Marcará.



Fotografía 19. Excavación para la recolección de la especie *Equisetum bogotense*.

Fuente: propia



Fotografía 20. Recolección de la especie *Equisetum bogotense*.

Fuente: propia

1.2. Tamizado y lavado de los sustratos a utilizar dentro del HFSSV



Fotografía 21. Tamizado de los sustratos (grava media, arena gravosa y gruesa)
Fuente: propia



Fotografía 22. Mezcla de la turba con la aren fina.
Fuente: propia



Fotografía 23. Primer sustrato: turba mezclado con arena fina.
Fuente: propia



Fotografía 24. Segundo sustrato: arena gruesa. (2mm)
Fuente: propia



Fotografía 25. Tercer sustrato: arena gravosa (8mm).
Fuente: propia



Fotografía 26. Cuarto sustrato: grava media (32mm)
Fuente: propia



Fotografía 27. Lavado de los sustratos.
Fuente: propia

1.3. Implementación del humedal de flujo subsuperficial vertical



Fotografía 28. Colocación de la tubería de drenaje dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 29. Colocación de la grava media dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 30. Colocación de la arena gravosa dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 31. Colocación de la arena gruesa dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 32. Colocación de la turba mezclado con arena dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 33. Medición cada 0.20 m en el ancho dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 34. Medición cada 0.30 m en lo largo dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 35. Plantación de las 35 especie *Equisetum bogotense* dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 36. HFSSV con la especie *Equisetum bogotense*.
Fuente: propia



Fotografía 37. Primer riego con agua residual al HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 38. Realizando los orificios a la tubería de alimentación del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 39. Primer orificio de la tubería de alimentación.
Fuente: propia



Fotografía 40. Se observa la salida del agua de cada orificio de las tuberías de alimentación.
Fuente: propia



Fotografía 41. Conexión de tuberías desde el segundo vertedero hasta el HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 42. Conexión de las tuberías de alimentación dentro del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 43. Sistema de alimentación del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 44. Sistema de ventilación del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 45. Tapado con la malla después de la plantación de la especie *E. bogotense*
Fuente: propia

1.4. Medición del tiempo de retención y del caudal en el HFSSV



Fotografía 46. Trazador utilizado para medir el TRH del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 47. Disolución del trazador en el segundo vertedero - entrada del trazador.
Fuente: propia



Fotografía 48. Salida del trazador en la caja de recolección del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 49. Medición del caudal en la entrada del HFSSV.
Fuente: propia



Fotografía 50. Medición del caudal en la salida de la caja de recolección del HFSSV.
Fuente: propia

1.5.Mantenimiento de las tuberías de alimentación del HFSSV.



Fotografía 51. Se observa las tuberías de alimentación sucio.
Fuente: propia



Fotografía 52. Lavado de las tuberías de alimentación con una esponja.
Fuente: propia



Fotografía 53. Se observa el lavado con agua por dentro de las tuberías.
Fuente: propia



Fotografía 54. Se observa las tuberías debidamente limpias.
Fuente: propia

1.6. Medición del pH en el afluente y efluente del HFSSV.



Fotografía 55. Equipo de pHmetro usado.
Fuente: propia



Fotografía 56. Medición del pH en el segundo vertedero, entrada del humedal.
Fuente: propia



Fotografía 57. Medición del pH en la caja de drenaje proveniente del HFSSV.
Fuente: propia

1.7. Medición de los parámetros biológicos en el afluente y efluente del HFSSV.



Fotografía 58. Toma de muestra para el análisis de CT y CF en la entrada del HFSSV (segundo vertedero).
Fuente: propia



Fotografía 59. Toma de muestra para el análisis de DBO5 en la entrada del HFSSV (segundo vertedero).

Fuente: propia



Fotografía 60. Toma de muestra para el análisis de coliformes totales y fecales en la salida del HFSSV (caja de recolección).

Fuente: propia



Fotografía 61. Toma de muestra para el análisis de DBO5 en la salida del HFSSV (caja de recolección).

Fuente: propia



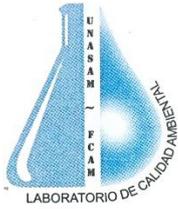
Fotografía 62. Muestras recolectadas.
Fuente: propia



Fotografía 63. Centro Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu Ruri - Marcará, UNASAM.
Fuente: propia

ANEXO 2.

RESULTADOS DEL LABORATORIO



INFORME DE ENSAYO AG170306

CLIENTE Razón Social : JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE
 Dirección : Av. Meza Arizona 1ra Cuadra S/N - Caraz
 Atención : Julia Denisse Chauca Aguirre

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro de Investigación de Tuyururi - Marcará
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170191

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 15/Marzo/2017
 Fecha de análisis : 15 de Marzo al 22 de Marzo/2017
 Cotización N° : CO170201

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	SALIDA - 1
					ENT - 1	SALIDA - 1
					Fecha de muestreo ¹	15/03/2017
					Hora de muestreo ¹	11:46
					Código del Laboratorio	AG170387
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	26	10
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS					
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	24000000	24000000
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	11000000	11000000

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012



Quim. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 22 de Marzo de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170346

CLIENTE Razón Social : JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE
 Dirección : Av. Meza Arizona 1ra Cuadra S/N - Caraz
 Atención : Julia Denisse Chauca Aguirre

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro de Investigación de Tuyururí - Marcará
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170223

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 30/Marzo/2017
 Fecha de análisis : 30 de Marzo al 06 de Abril/2017
 Cotización N° : CO170201

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					ENT - 2	SALIDA - 2
					Código del cliente	
					Fecha de muestra ¹	30/03/2017
					Hora de muestra ¹	12:56
					Código del Laboratorio	AG170435
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210.B (*)	1	40	15
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS					
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	24000000	24000000
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	11000000	11000000

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

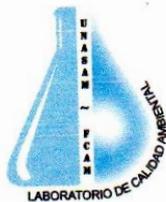


Quim. Mario Leyva Collas

Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 06 de Abril de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170371

CLIENTE Razón Social : "Efectividad de UBS (Unidad Básica de Saneamiento) empleando Humedales Artificiales con Especies Nativas en la Depuración de Aguas Residuales en el Centro Experimental Tuyu Ruri - Marcará , para Reuso de Agua en Riego año 2016 - 2017"

Dirección : Centro Experimental Tuyu Ruri

Atención : Rosario Adriana Polo Salazar

MUESTRA **Producto declarado** : Agua Residual

Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica

Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri

Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170243

MUESTREO **Responsable** : Muestra proporcionada por el cliente

Referencia: : No indica

LABORATORIO **Fecha de recepción** : 07/Abril/2017

Fecha de análisis : 07 de Abril al 20 de Abril/2017

Cotización N° : CO170256

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA				
					Código del cliente	H-CC-S	H-C-S	B-S	E-AA-R
					Fecha de muestra	07/04/2017	07/04/2017	07/04/2017	07/04/2017
					Hora de muestra	15:20	15:30	15:32	15:40
					Código del Laboratorio	AG170474	AG170475	AG170476	AG170477
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
FQ	Fosfato	mg/l PO ₄ ²⁻ - P	Vanadatomolibdato (*)	0.05	0.64	0.74	0.79	0.68	
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1	<1	2	5	15	
FQ33	Sulfatos	mg/l SO ₄ ²⁻	Bario sulfato, turbidimétrico (*)	25	25	< 25	< 25	< 25	
ANÁLISIS DE NUTRIENTES									
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0	21.3	< 1.0	1.2	4.5	
NU05	Nitritos	mg/l NO ₂ ⁻	Reacción Griess (*)	0.007	0.076	0.013	0.021	0.210	
ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUÍMICO									
CB01	Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	21	16	50	13	
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico (*)	25	42	32	100	26	
INDICADORES DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACIÓN DE PATOGENOS									
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	2400000	2400000	2400000	11000000	
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	1100000	1100000	1100000	4600000	

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

Datos proporcionados por el cliente

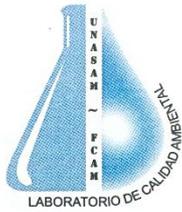
Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 20 de Abril de 2017



Mario Leyva Collas
 Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perechibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170388

CLIENTE Razón Social : JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE
 Dirección : Av. Meza Arizona 1ra Cuadra S/N - Caraz
 Atención : Julia Denisse Chauca Aguirre
MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro de Investigación de Tuyururi - Marcará
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170258
MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 17/Abril/2017
 Fecha de análisis : 17 de Abril al 24 de Abril/2017
 Cotización N° : CO170201

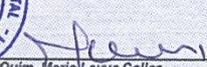
CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA		
					ENT - 3	SAL - 3	
					Código del cliente	ENT - 3	SAL - 3
					Fecha de muestreo	17/04/2017	17/04/2017
					Volumen de muestra	12.00	12.05
					Código del Laboratorio	AG170496	AG170497
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	29	6	
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS						
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	24000000	24000000	
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	11000000	11000000	

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente.

Legenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012




Quim. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 24 de Marzo de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170462

CLIENTE Razón Social : JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE
 Dirección : Av. Meza Arizona 1ra Cuadra S/N - Caraz
 Atención : Julia Denisse Chauca Aguirre

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro de Investigación de Tuyururi - Marcara
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170302

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 02/Mayo/2017
 Fecha de análisis : 02 de Mayo al 09 de Mayo/2017
 Cotización N° : CO170201

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					ENT - 4	SALIDA - 4
					Código del cliente	AG170586
					Fecha de muestreo	02/05/2017
					Hora de muestreo	10:20
					Código del Laboratorio	AG170587
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	46	23
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS					
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	24000000	24000000
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	11000000	11000000

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

† Datos proporcionados por el cliente

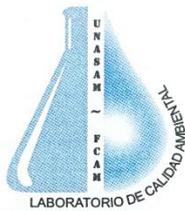
Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012




 Quim. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM, UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 09 de Mayo de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170533

CLIENTE Razón Social : JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE
 Dirección : Av. Meza Arizona 1ra Cuadra S/N - Caraz
 Atención : Julia Denisse Chauca Aguirre

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro de Investigación de Tuyururi - Marcara
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170339

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia: : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 17/Mayo/2017
 Fecha de análisis : 17 de Mayo al 24 de Mayo/2017
 Cotización N° : CO170201

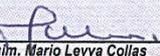
CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					ENT - 5	SALIDA - 5
					Código del cliente	AG170661
					Fecha de muestra ¹	17/05/2017
					Hora de muestra ¹	11:27
					Código del Laboratorio	AG170662
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	91	20
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS					
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	24000000	11000000
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	4600000	2400000

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012




 Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 24 de Mayo de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170581

CLIENTE Razón Social : JULIA DENISSE CHAUCA AGUIRRE
 Dirección : Av. Meza Arizona 1ra Cuadra S/N - Caraz
 Atención : Julia Denisse Chauca Aguirre

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro de Investigación de Tuyururi - Marcará
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170362

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 02/Junio/2017
 Fecha de análisis : 02 de Junio al 09 de Junio/2017
 Cotización N° : CO170201

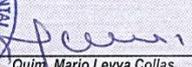
CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA		
					Código del cliente	ENT - 6	SAL - 6
					Fecha de muestreo ¹	02/06/2017	02/06/2017
					Hora de muestreo ¹	11:30	11:55
					Código del Laboratorio	AG170711	AG170712
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	91	11	
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLOGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS						
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	24000000	24000000	
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	11000000	11000000	

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012




 Químico Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 09 de Junio de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

ANEXO 3.

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua léticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua léticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Títicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precítese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₁₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difeníl Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{CA\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{CA\text{Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{CA\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FISICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Piomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICOS- QUIMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGANICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

ORGANICO

Bifenilos Policlorados

Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04	0,045
------------------------------	------	------	-------

PLAGUICIDAS

Paratión	µg/L	35	35
----------	------	----	----

Organoclorados

Aldrin	µg/L	0,004	0,7
Clordano	µg/L	0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001	30
Dieldrin	µg/L	0,5	0,5
Endosulfán	µg/L	0,01	0,01
Endrin	µg/L	0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	0,03
Lindano	µg/L	4	4

Carbamato

Aldicarb	µg/L	1	11
----------	------	---	----

MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO

Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FISICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,000043	0,000043	0,000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 - (b) Después de la filtración simple.
 - (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniac Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

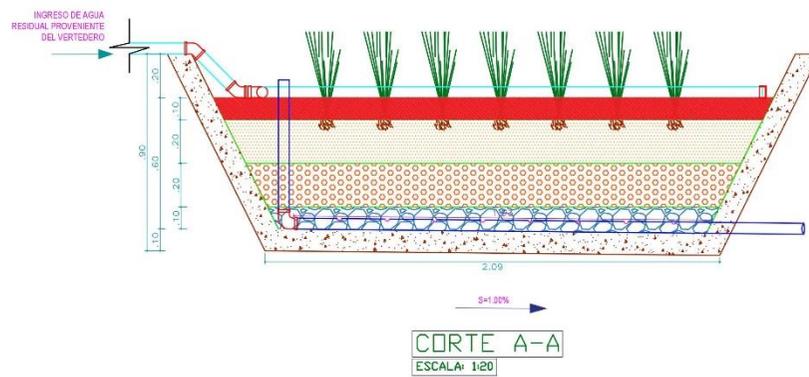
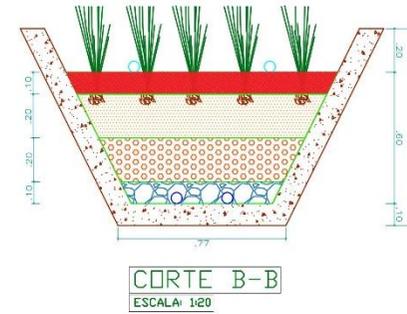
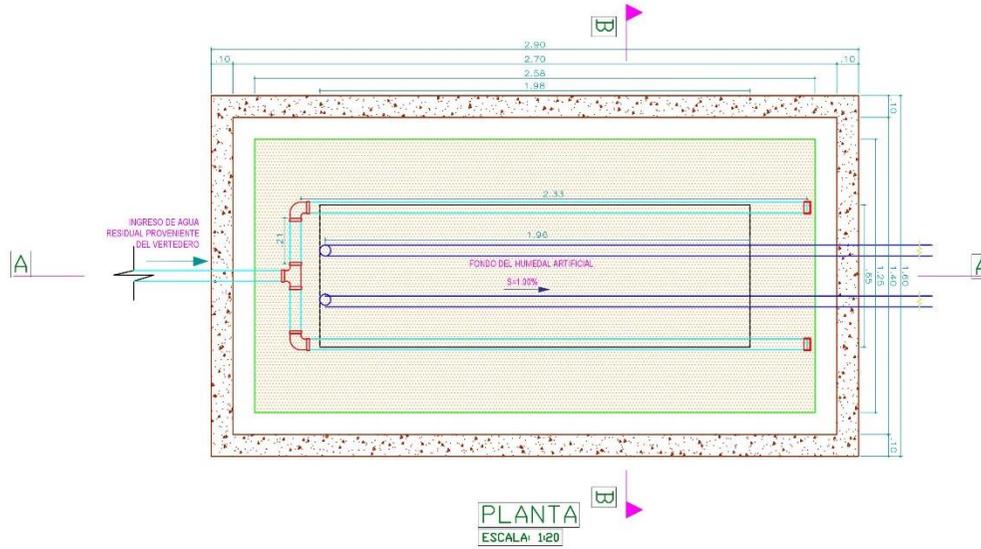
(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

ANEXO 4.

**PLANOS DEL HUMEDAL DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL VERTICAL.**



LEYENDA	
	Equisetum bogotense (cola de caballo)
	Turba + arena fina
	Arena gruesa 2mm
	Arena gravosa 8mm
	Grava mediana 32mm
	Concreto 175 kg/cm ²



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

TESIS: "REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES, FECALES Y DBO EMPLEANDO EL HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL CON LA ESPECIE EQUISETUM BOGOTENSE (COLA DE CABALLO), A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCÁRA."

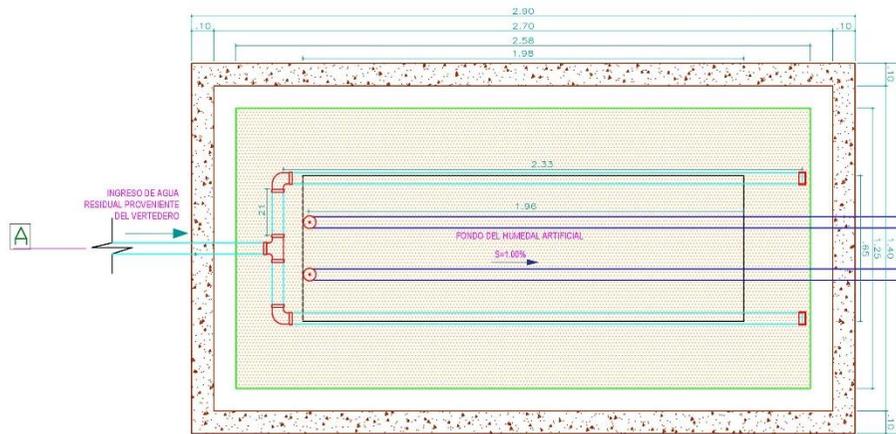
PLANO: HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL - PLANTA Y CORTES

ESCALA:
INDICADA

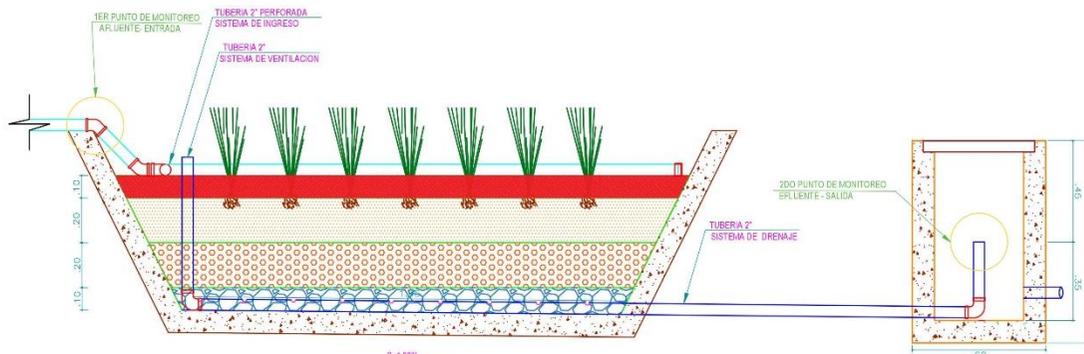
TESISTA:
Bach. CHAUCA AGUIRRE JULIA DENISSE

ASESOR:
ING. HUAMAN CARRANZA MARTIN MIGUEL

PL - 01



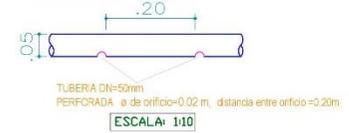
PLANTA
ESCALA: 1/20



CORTE A-A
ESCALA: 1/20

DETALLE DE TUBERIAS

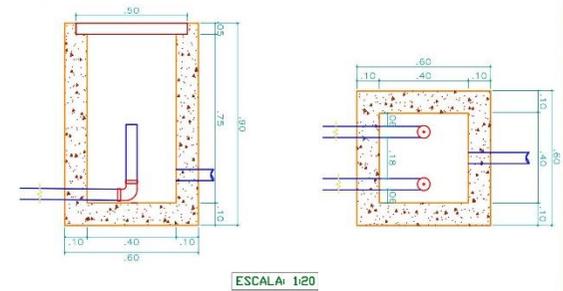
TUBERIA DE DRENAJE



TUBERIA DE DISTRIBUCION



CAJA DE RECOLECCION



	UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA	
	TESIS: "REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES, FECALES Y DBO EMPLEANDO EL HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL CON LA ESPECIE EQUIRETUM BOGOTENSE (COLA DE CABALLO), A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA."	
PLANO: HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL - PLANTA Y PERFIL	ESCALA: INDICADA	PL - 02
TESISISTA: Bach. CHAUCA AGUIRRE JULIA DENISSE	ASESOR: ING. HUAMÁN CARRANZA MARTIN MIGUEL	

