



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON
HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN
LA PARROQUIA SAN LUIS DE ARMENIA, COMUNIDAD SAN
LUIS DE ARMENIA PROVINCIA DE ORELLANA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: GUIDO PAÚL CHIMBO ALVARADO

GENDRY GUSTAVO MONTERO ARTEAGA

TUTOR: Dr. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS

Riobamba - Ecuador

2018

©2018, Guido Paúl Chimbo Alvarado y Gendry Gustavo Montero Arteaga

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo técnico: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN LA PARROQUIA SAN LUIS DE ARMENIA, COMUNIDAD SAN LUIS DE ARMENIA PROVINCIA DE ORELLANA”**, de responsabilidad de los señores Guido Paúl Chimbo Alvarado y Gendry Gustavo Montero Arteaga, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Fausto Yaulema Garcés

**DIRECTOR DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dr. Gerardo Leon Chimbolema

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotros, Guido Paúl Chimbo Alvarado y Gendry Gustavo Montero Arteaga, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados del presente trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Los textos constantes que son utilizados como guías en el documento están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos del presente trabajo de titulación.

Riobamba, 19 de febrero de 2018.

Guido Paúl Chimbo Alvarado

C.I. 220015584-2

Gendry Gustavo Montero Arteaga

C.I. 020178970-8

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Dios por darme la fortaleza de seguir adelante con mis estudios, por la oportunidad de conocer personas maravillosas durante todo el trayecto académico y por iluminar mi mente en la toma de decisiones.

Mis padres Vicente y Gloria por ser el pilar fundamental en todo lo que soy. Los suegros Luis y Hortensia por el apoyo brindado desde que los conocí hasta el día de hoy. Mi mujer Nancy por estar conmigo apoyándome en cada una de las etapas de vida y académicas. Mi hermana Rosa por ser un ejemplo a seguir y por los amigos que han influido directa e indirectamente en la culminación de mi estudio superior.

Guido Paúl

Dedico este trabajo principalmente al Creador Dios todo Poderoso, por haberme dado la fortaleza para continuar cuando a punto de caer e estado y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Se los dedico a mis padres Olger Montero y Carmen Arteaga ya que, por su esfuerzo y apoyo incondicional, pude lograr una de mis metas, a mis hermanos por brindarme su compañía y a la vez su apoyo incondicional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ciencias Química, por brindarme la oportunidad de conseguir mi meta y ser un profesional.

Gendry Gustavo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a:

Dios por su inmensa bondad y amor diario, me ha llevado a valorar la humildad de las personas y ser feliz con mi familia día tras día.

A mis padres quienes con sus esfuerzos diarios han logrado sustentar mi estudio superior en diferentes etapas tanto en la ESPOCH-ORELLANA Extensión Norte Amazónica y ESPOCH-RIOBAMBA.

A los doctores Fausto Yaulema y Gerardo Leon por su valiosa orientación durante la ejecución y presentación del trabajo de titulación, a los docentes de la facultad de ciencias que impartieron seminarios para fortalecer los conocimientos, Ing. Rafaela Viteri, Ing. Camilo Aro, Ing. Miguel Santillán, Ing. Gerardo Medina, Ing. Julio Hidrovo, ing. Yenner Baquero, y el Ing. Raúl Benavides.

A las docentes que enmarcaron nuestro camino al éxito la Ing. Rosita Zabala, Ing. Valeria tapia, Ing. Sofía Godoy y la Ing. Mónica Murillo.

Guido Paúl.

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación, mis padres, hermanos y hermanas.

Nuestros sinceros agradecimientos están dirigidos hacia Ing. Segundo Cevallos Técnico del Municipio de Francisco de Orellana quien, con su ayuda desinteresada, nos brindó información relevante, próxima, pero muy cercana a la realidad de nuestras necesidades.

A nuestras familias por siempre brindarnos su apoyo, tanto sentimental, como económico. Pero, principalmente nuestros agradecimientos están dirigidos hacia la excelentísima autoridad de nuestro director y amigo, Dr. Faustos Yaulema y al Dr. Gerardo Leon por brindarme su amistad y asesoramiento en la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia aportaron en el presente documento.

Gendry Gustavo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I.	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1 Aguas residuales	4
<i>1.1.1 Generalidades, definición y origen</i>	4
<i>1.1.2 Clasificación de las aguas residuales</i>	4
<i>1.1.2.1 Aguas residuales domésticas o aguas negras</i>	4
<i>1.1.2.2 Aguas blancas</i>	5
<i>1.1.2.3 Aguas residuales industriales</i>	5
<i>1.1.2.4 Aguas residuales agrícolas</i>	5
<i>1.1.3 Características de las aguas residuales</i>	5
<i>1.1.3.1 Características físicas</i>	5
<i>1.1.3.2 Características químicas</i>	6
<i>1.1.3.3 Características biológicas</i>	8
1.2 Tratamiento de aguas residuales	9
<i>1.2.1 Pretratamiento</i>	10
<i>1.2.2 Tratamiento primario</i>	10
<i>1.2.3 Tratamiento secundario</i>	10
<i>1.2.4 Tratamiento terciario</i>	11
1.3 Sistemas naturales de depuración	11
<i>1.3.1 Lagunaje</i>	12
<i>1.3.1.1 Tipos de lagunas</i>	12
<i>1.3.2 Humedales artificiales</i>	14
<i>1.3.2.1 Clasificación de los humedales artificiales</i>	15
<i>1.3.2.1.1 Humedales artificiales de flujo superficial</i>	15
<i>1.3.2.1.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial</i>	16
<i>1.3.2.2 Partes de los humedales artificiales de flujo subsuperficial</i>	18
<i>1.3.2.3 Mecanismo de remoción de contaminantes</i>	22
<i>1.3.2.4 Ventajas y desventajas de los humedales construidos</i>	28
1.4 Sistemas utilizados para el diseño y construcción de una PTAR	29

1.4.1	Alcantarillado sanitario.	29
1.4.1.1	Selección del tipo de alcantarillado.	29
1.4.1.2	Conexiones domiciliarias.	29
1.4.1.3	Criterios de diseño del alcantarillado sanitario a tubo parcialmente lleno.	30
1.4.2	Medición de caudales.	33
1.4.2.1	Métodos para la medición de caudales.	34
1.4.3	Muestreos de aguas residuales.	35
1.4.3.1	Tipos de muestras.	35
1.4.3.2	Hoja de remisión de muestras.	36
1.4.3.3	Preservación de las muestras.	37
1.4.4	Población del proyecto.	37
1.4.5	Caudal de diseño.	37
1.4.5.1	Dotación.	37
1.4.5.2	Caudal medio.	38
1.4.5.3	Factor de mayoración o coeficiente de punta.	38
1.4.5.4	Caudal de infiltración.	39
1.4.5.5	Caudal de conexiones erradas.	39
1.4.6	Trampa de grasas (sumidero sifónico).	39
1.4.6.1	Fórmulas aplicadas para el cálculo de la trampa de grasas.	41
1.4.7	Sedimentador primario rectangular (decantador).	42
1.4.7.1	Ecuaciones para el dimensionamiento del sedimentador primario rectangular.	44
1.4.7.2	Calculo de la pantalla difusora.	46
1.4.8	Eras o lechos de secados.	47
1.4.8.1	Consideraciones para el diseño de los lechos de secado.	49
1.4.8.2	Dimensionamiento de las eras de secado.	50
1.4.9	Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.	51
1.4.9.1	Dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial.	51
1.5	Marco legal.	53
1.5.1	Constitución de la República del Ecuador 2008.	53
1.5.2	Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.	54
1.5.3	Ley de Gestión Ambiental.	54
1.5.4	Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente.	54

CAPÍTULO II.

2	MARCO METODOLÓGICO.	57
2.1	Localización de la Parroquia San Luis de Armenia.	57
2.1.1	Macrolocalización.	57

2.1.2	<i>Microlocalización</i>	59
2.2	Tamaño de la población	59
2.3	Hidrología de terreno	60
2.4	Relieve y topografía de lugar	60
2.5	Métodos	60
2.5.1	<i>Reconocimiento del lugar</i>	60
2.5.2	<i>Determinación de la población</i>	60
2.5.3	<i>Caudal teórico</i>	60
2.5.4	<i>Sistemas de alcantarillados sanitarios</i>	61
2.5.5	<i>Mediciones de caudales</i>	62
2.5.5.1	<i>Recolección de muestras, etiquetado y transporte</i>	63
2.5.6	<i>Caracterización físico – química y microbiológica del agua residual</i>	64
2.5.7	<i>Propuestas</i>	64
2.5.8	<i>Dimensionamiento de la PTAR domésticas del sector OMAWUA</i>	65
2.5.9	<i>Elaboración de planos</i>	65
2.5.10	<i>Construcción de la PTAR domésticas del sector OMAWUA</i>	66
2.5.10.1	<i>Trampa de grasas y aceites</i>	66
2.5.10.2	<i>Sedimentador primario rectangular</i>	67
2.5.10.3	<i>Eras o lechos de secado</i>	70
2.5.10.4	<i>Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal</i>	71
2.5.11	<i>Operación y mantenimiento de la PTAR domésticas</i>	74
2.5.11.1	<i>Operación</i>	74
2.5.11.2	<i>Mantenimiento</i>	74
2.5.12	<i>Determinación de la eficiencia de la PTAR domésticas</i>	75

CAPÍTULO III.

3	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
3.1	Reconocimiento del lugar	76
3.2	Determinación de la población	76
3.3	Caudal teórico	76
3.4	Sistema de alcantarillado sanitario a tubo parcialmente lleno	77
3.5	Resultados de medición de caudales	80
3.6	Datos experimentales antes del tratamiento	83
3.6.1	<i>Variación del Potencial de Hidrógeno</i>	84
3.6.2	<i>Variación de Sólidos Sedimentables</i>	85
3.6.3	<i>Variación de Sólidos Totales</i>	85

3.6.4	<i>Variación de la Turbidez.</i>	86
3.6.5	<i>Variación de la Conductividad Eléctrica.</i>	87
3.6.6	<i>Variación de Aceites y Grasas.</i>	88
3.6.7	<i>Variación de Nitratos.</i>	89
3.6.8	<i>Variación de Fosfatos.</i>	89
3.6.9	<i>Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.</i>	90
3.6.10	<i>Variación de la Demanda Química de Oxígeno.</i>	91
3.6.11	<i>Variación de los Coliformes Totales.</i>	92
3.6.12	<i>Variación de los Tensoactivos.</i>	93
3.7	Comparación de los resultados promedios del afluente con el TULSMA.	94
3.7.1	<i>Parámetros no considerados por la norma.</i>	94
3.7.2	<i>Parámetros dentro del límite máximo permisible.</i>	95
3.7.3	<i>Parámetros fuera del límite máximo permisible.</i>	96
3.8	Propuesta	97
3.9	Dimensionamiento de la PTAR domésticas del sector OMAWUA.	99
3.9.1	<i>Población de diseño.</i>	99
3.9.2	<i>Caudal de diseño.</i>	100
3.9.2.1	<i>Dotación</i>	101
3.9.2.2	<i>Caudal medio de las aguas residuales.</i>	101
3.9.2.3	<i>Factor de mayoración o coeficiente de punta (M).</i>	101
3.9.2.4	<i>Caudal de infiltración.</i>	102
3.9.2.5	<i>Caudal por conexiones erradas.</i>	102
3.9.3	Cálculo de la trampa de grasas y aceites.	103
3.9.3.1	<i>Área superficial.</i>	103
3.9.3.2	<i>Ancho (B)</i>	103
3.9.3.3	<i>Largo.</i>	104
3.9.3.4	<i>Volumen del tanque</i>	104
3.9.3.5	<i>Tiempo de retención</i>	104
3.9.3.6	<i>Altura útil del agua.</i>	105
3.9.4	Cálculo del sedimentador primario rectangular.	105
3.9.4.1	<i>Área superficial</i>	106
3.9.4.2	<i>Ancho.</i>	106
3.9.4.3	<i>Largo</i>	106
3.9.4.4	<i>Volumen del tanque.</i>	106
3.9.4.5	<i>Tiempo de retención hidráulica.</i>	107
3.9.4.6	<i>Velocidad de arrastre.</i>	107
3.9.4.7	<i>Tasa de remoción de la DBO₅.</i>	108

3.9.4.8	<i>Tasa de remoción de Sólidos Suspendidos Totales.</i>	108
3.9.4.9	<i>Altura máxima</i>	108
3.9.4.10	<i>Altura del agua sobre el vertedero.</i>	108
3.9.4.11	<i>Longitud total del sedimentador.</i>	109
3.9.4.12	<i>Cálculo de la pantalla difusora.</i>	109
3.9.5	<i>Cálculo de eras o lecho de secados.</i>	112
3.9.5.1	<i>Carga de sólidos que ingresa al sedimentador</i>	112
3.9.5.2	<i>Masa de sólidos que conforman los lodos.</i>	112
3.9.5.3	<i>Volumen diario de los lodos digeridos.</i>	113
3.9.5.4	<i>Volumen de lodo a extraer del tanque.</i>	113
3.9.5.5	<i>Área del lecho de secado.</i>	113
3.9.6	<i>Cálculo del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.</i>	114
3.9.6.1	<i>Constante de reacción de primer orden K_T.</i>	114
3.9.6.2	<i>Área superficial.</i>	114
3.9.6.3	<i>Tiempo de retención hidráulico.</i>	115
3.9.6.4	<i>Ancho del humedal.</i>	116
3.9.6.5	<i>Largo del humedal.</i>	116
3.9.6.6	<i>Cantidad del medio filtrante para el humedal.</i>	116
3.10	<i>Elaboración de planos.</i>	117
3.11	<i>Construcción de la PTAR domésticas en el sector OMAWUA.</i>	118
3.11.1	<i>Población de diseño o futura.</i>	118
3.11.2	<i>Caudal de diseño</i>	118
3.11.3	<i>Trampa de grasas.</i>	119
3.11.4	<i>Sedimentador primario rectangular.</i>	119
3.11.5	<i>Eras de secado.</i>	120
3.11.6	<i>Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.</i>	121
3.12	<i>Operación y mantenimiento.</i>	121
3.12.1	<i>Operación.</i>	121
3.12.2	<i>Mantenimiento.</i>	122
3.13	<i>Análisis físico, químico y microbiológico después del tratamiento.</i>	123
3.13.1	<i>Variación del Potencial de Hidrógeno.</i>	124
3.13.2	<i>Variación de Sólidos Sedimentables.</i>	124
3.13.3	<i>Variación de Sólidos Totales.</i>	125
3.13.4	<i>Variación de la Turbidez.</i>	126
3.13.5	<i>Variación de la Conductividad Eléctrica.</i>	126
3.13.6	<i>Variación de Aceites y Grasas.</i>	127
3.13.7	<i>Variación de Nitratos.</i>	128

3.13.8	<i>Variación de Fosfatos.</i>	128
3.13.9	<i>Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.</i>	129
3.13.10	<i>Variación de la Demanda Química de Oxígeno.</i>	130
3.13.11	<i>Variación de los Coliformes Totales.</i>	130
3.13.12	<i>Variación de los Tensoactivos.</i>	131
3.14	Comparación del afluente, efluente con la norma y eficiencia de la PTAR domésticas.	133
3.14.1	<i>Reducción del Potencial de Hidrógeno.</i>	134
3.14.2	<i>Reducción de Sólidos Sedimentables.</i>	135
3.14.3	<i>Reducción de Sólidos Totales.</i>	136
3.14.4	<i>Reducción de la Turbidez</i>	137
3.14.5	<i>Reducción de la Conductividad Eléctrica.</i>	138
3.14.6	<i>Reducción de Aceites y Grasas.</i>	139
3.14.7	<i>Reducción de Nitratos.</i>	139
3.14.8	<i>Reducción de Fosfatos.</i>	140
3.14.9	<i>Reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.</i>	141
3.14.10	<i>Reducción de la Demanda Química de Oxígeno.</i>	142
3.14.11	<i>Reducción de los Coliformes Totales.</i>	143
3.14.12	<i>Reducción de los Tensoactivos.</i>	144
	CONCLUSIONES.	146
	RECOMENDACIONES.	148
	BIBLIOGRAFÍA.	
	ANEXOS.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Características físicas de aguas residuales.	6
Tabla 1-2. Características químicas de aguas residuales.	7
Tabla 1-3. Características biológicas de las aguas residuales.	9
Tabla 1-4. Especies de plantas emergentes empleadas en la depuración de aguas residuales. ...	20
Tabla 1-5. Descripción del pasto alemán.	22
Tabla 1-6. Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en micrófitos.	23
Tabla 1-7. Ventajas y desventajas de los humedales construidos.	28
Tabla 1-8. Diámetros de tuberías según su distancia.	30
Tabla 1-9. Profundidad del colector de acuerdo a su ubicación.	30
Tabla 1-10. Criterios para los factores de mayoración.	38
Tabla 1-11. Criterio de diseño para una trampa de grasas.	40
Tabla 1-12. Número de unidades de sedimentación de acuerdo al consumo de caudal.	44
Tabla 1-13. Constantes empíricas.	45
Tabla 1-14. Ventajas, desventajas y recomendaciones para el lecho de secado.	48
Tabla 1-15. Coeficientes de temperatura.	52
Tabla 1-16. Características principales de los sustratos utilizados en los humedales.	52
Tabla 1-17. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	55
Tabla 2-1. Límites de la Parroquia San Luis de Armenia.	57
Tabla 2-2. Materiales y herramienta para el tendido de tuberías.	61
Tabla 2-3. Materiales y equipos para la medición de caudales.	63
Tabla 2-4. Métodos para los análisis físicos, químicos y bacteriológicos del agua residual.	64
Tabla 2-5. Materiales y equipos para la construcción de la trampa de grasas.	66
Tabla 2-6. Materiales y equipos para la construcción del sedimentador.	68
Tabla 2-7. Equipos y materiales para la construcción de la era de secado.	71
Tabla 2-8. Materiales y equipos para la construcción del humedal.	71
Tabla 3-1. Caudales por 7 días de monitoreo.	80
Tabla 3-2. Temperaturas promedias del agua residual y del aire.	81
Tabla 3-3. Análisis físicos, químicos y microbiológicos antes del tratamiento.	83
Tabla 3-4. Variación del Potencial de hidrógeno.	84
Tabla 3-5. Variación de Sólidos Sedimentables.	85
Tabla 3-6. Variación de los Sólidos Totales.	85
Tabla 3-7. Variación de la Turbidez.	86
Tabla 3-8. Variación de la Conductividad Eléctrica.	87
Tabla 3-9. Variación de Aceites y Grasas.	88

Tabla 3-10. Variación de Nitratos.....	89
Tabla 3-11. Variación de Fosfatos.....	89
Tabla 3-12. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	90
Tabla 3-13. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.....	91
Tabla 3-14. Variación de los Coliformes Totales.....	92
Tabla 3-15. Variación de los Tensoactivos.....	93
Tabla 3-16. Comparación de los resultados del afluente el TULSMA.....	94
Tabla 3-17. Parámetros no considerados por la norma.....	94
Tabla 3-18. Parámetros dentro del límite máximo permisible.....	95
Tabla 3-19. Parámetros fuera del límite máximo permisible.....	96
Tabla 3-20. Resultados de la población futura por el método geométrico.....	118
Tabla 3-21. Resultados del caudal de diseño.....	118
Tabla 3-22. Resultados para el dimensionamiento de la trampa de grasas.....	119
Tabla 3-23. Resultados para el dimensionamiento del sedimentador primario rectangular.....	119
Tabla 3-24. Resultados para el dimensionamiento de la era de secado.....	120
Tabla 3-25. Resultados para el dimensionamiento del humedal artificial de Flujo SH.....	121
Tabla 3-26. Análisis físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento.....	123
Tabla 3-27. Variación del Potencial de Hidrógeno.....	124
Tabla 3-28. Variación de Sólidos Sedimentables.....	124
Tabla 3-29. Variación de los Sólidos Totales.....	125
Tabla 3-30. Variación de la Turbidez.....	126
Tabla 3-31. Variación de la Conductividad Eléctrica.....	126
Tabla 3-32. Variación de Aceites y Grasas.....	127
Tabla 3-33. Variación de Nitratos.....	128
Tabla 3-34. Variación de Fosfatos.....	128
Tabla 3-35. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	129
Tabla 3-36. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.....	130
Tabla 3-37. Variación de los Coliformes Totales.....	130
Tabla 3-38. Variación de los Tensoactivos.....	131
Tabla 3-39. Comparación de datos iniciales y finales de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales.....	133
Tabla 3-40. Reducción del Potencial de Hidrógeno.....	134
Tabla 3-41. Reducción de Sólidos Sedimentables.....	135
Tabla 3-42. Reducción de los Sólidos Totales.....	136
Tabla 3-43. Reducción de la Turbidez.....	137
Tabla 3-44. Variación de la Conductividad Eléctrica.....	138
Tabla 3-45. Reducción de Aceites y Grasas.....	139

Tabla 3-46. Reducción de Nitratos.....	139
Tabla 3-47. Reducción del Fosfato.	140
Tabla 3-48. Reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.	141
Tabla 3-49. DBO ₅ de acuerdo a su nivel de contaminación.....	142
Tabla 3-50. Reducción de la Demanda Química de Oxígeno.	142
Tabla 3-51. Reducción de los Coliformes Totales.	143
Tabla 3-52. Reducción de los Tensoactivos.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Esquema de una PTAR con sus respectivas etapas	10
Figura 1-2. Proceso de estabilización aeróbica.	12
Figura 1-3. Proceso de estabilización anaeróbica.	13
Figura 1-4. Proceso de estabilización facultativo.	14
Figura 1-5. Clasificación de Humedales artificiales con macrófitas.....	15
Figura 1-6. Humedales artificiales de flujo superficial.	16
Figura 1-7. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.	17
Figura 1-8. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.	18
Figura 1-9. Crecimiento y cambio de componentes de pastos y forrajes.....	21
Figura 1-10. Diagrama del metabolismo del nitrógeno.	25
Figura 1-11. Componentes de la trampa de grasas.	40
Figura 1-12. Componentes del sedimentador primario rectangular.	43
Figura 1-13. Componentes del lecho de secado.....	48
Figura 2-1. Localización del Cantón Francisco de Orellana.....	58
Figura 2-2. Asentamiento humano de la Parroquia San Luis de Armenia.....	58
Figura 2-3. Área de influencia directa.	59
Figura 2-4. Sistema de conexiones de tuberías.	62
Figura 2-5. Bosquejo de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	66
Figura 2-6. Medidas de la trampa de grasas.....	67
Figura 2-7. Medidas del sedimentador primario rectangular.	68
Figura 2-8. Dimensiones de la placa difusora.....	69
Figura 2-9. Medidas y componentes del lecho de secado.	70
Figura 2-10. Esquema de ubicación del medio granular.....	72
Figura 2-11. Medidas del humedal artificial de flujo subsuperficial.	73
Figura 2-12. Modelo de plantación del pasto alemán.....	73
Figura 3-1. Propuesta para la implementación de la PTAR domésticas.	98

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1. Medición de caudales por método volumétrico.	62
Gráfico 2-2. Recolección, etiquetado y transporte de muestras.	63
Gráfico 3-1. Variaciones de caudales por 7 días de monitoreo.	80
Gráfico 3-2. Temperatura de agua residual y ambiental por 7 días de monitoreo.	82
Gráfico 3-3. Variación del Potencial de Hidrógeno.	84
Gráfico 3-4. Variación de los Sólidos Sedimentables.	85
Gráfico 3-5. Variación de los Sólidos Totales.	86
Gráfico 3-6. Variación de la Turbidez.	87
Gráfico 3-7. Variación de la Conductividad Eléctrica.	87
Gráfico 3-8. Variación de Aceites y Grasas.	88
Gráfico 3-9. Variación de Nitratos.	89
Gráfico 3-10. Variación de Fosfatos.	90
Gráfico 3-11. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.	91
Gráfico 3-12. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.	92
Gráfico 3-13. Variación de los Coliformes Totales.	92
Gráfico 3-14. Variación de los Tensoactivos.	93
Gráfico 3-15. Parámetros no considerados por la norma.	95
Gráfico 3-16. Parámetros dentro del límite máximo permisible.	95
Gráfico 3-17. Parámetros fuera del límite máximo permisible.	96
Gráfico 3-18. Parámetro fuera del límite máximo permisible.	97
Gráfico 3-19. Variación del Potencial de Hidrógeno.	124
Gráfico 3-20. Variación de los Sólidos Sedimentables.	125
Gráfico 3-21. Variación de los Sólidos totales.	125
Gráfico 3-22. Variación de la Turbidez.	126
Gráfico 3-23. Variación de la Conductividad Eléctrica.	127
Gráfico 3-24. Variación de Aceites y Grasas.	127
Gráfico 3-25. Variación de Nitratos.	128
Gráfico 3-26. Variación de Fosfatos.	129
Gráfico 3-27. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.	129
Gráfico 3-28. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.	130
Gráfico 3-29. Variación de los Coliformes Totales.	131
Gráfico 3-30. Variación de los Tensoactivos.	132
Gráfico 3-31. Reducción del Potencial de Hidrógeno.	134
Gráfico 3-32. Reducción de los Sólidos Sedimentables.	135

Gráfico 3-33. Variación de los Sólidos Totales.	136
Gráfico 3-34. Reducción de la Turbidez.	137
Gráfico 3-35. Reducción de la Conductividad Eléctrica.	138
Gráfico 3-36. Reducción de Aceites y Grasas.....	139
Gráfico 3-37. Reducción de Nitratos.....	140
Gráfico 3-38. Reducción de Fosfatos.....	141
Gráfico 3-39. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	141
Gráfico 3-40. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.	143
Gráfico 3-41. Variación de Coliformes Totales.	144
Gráfico 3-42. Variación de los Tensoactivos.	144

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Registro de los caudales durante los 7 días de monitoreo.

ANEXO B. Registros fotográficos de las actividades de estudio.

ANEXO C. Informes de los análisis físicos, químicos y microbiológicos antes del tratamiento.

ANEXO D. Informes de los análisis físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento.

ANEXO E. Presupuesto utilizado para la construcción de la PTAR del sector OMAWUA.

ANEXO F. Planos de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector OMAWUA.

RESUMEN.

Para construir la planta de tratamiento de aguas residuales doméstica con humedales artificiales de flujo subsuperficial en la Parroquia San Luis de Armenia, comunidad San Luis de Armenia, Provincia de Orellana, se inició primeramente con un estudio preliminar que consistió en el reconocimiento de cinco viviendas y el área disponible para la ejecución del proyecto. Las conexiones de tuberías fueron dirigidas a un punto específico para medir el caudal por siete días consecutivos aplicando el método volumétrico. Se tomaron cinco muestras representativas que fueron enviadas al laboratorio AQLAB para los análisis físicos, químicos y microbiológicos de 12 parámetros. De acuerdo a la carga contaminante del afluente se procedió a la construcción de la trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular, lechos de secado y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. La PTAR domésticas soportan un caudal de diseño de 29,03 m³/d. Una vez ejecutado y puesto en marcha el sistema de tratamiento se esperó de 3 a 4 meses para la adaptación del pasto alemán y realizar la caracterización del efluente arrojando resultados promedios tales como: pH 6,73, sólidos sedimentables 0,4 mg/L, sólidos totales 180,08 mg/L, turbidez 35,8 UNT, conductividad eléctrica 186,48 µS/cm, nitratos 0,71 mg/L, fosfatos 0,326 mg/L, DBO₅ 20 mg/L, DQO 56,08 mg/L, Coliformes Totales 0,8 NMP/100 ml, tensoactivos 2,3 mg/L. La PTAR domésticas presenta una eficiencia del 91% en la degradación de materia orgánica, dentro del tratamiento se constató que los tensoactivos no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana vigente TULSMA LIBRO VI ANEXO I. Se recomienda al GAD Municipal Francisco de Orellana la implantación de estés sistemas (humedales artificiales), con la finalidad de mitigar los impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas en sectores rurales ya que sus costos son relativamente bajos en comparación con los sistemas convencionales.

PALABRAS CLAVES: <BIOTECNOLOGÍA>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES> <CARACTERIZACIÓN> <HUMEDALES ARTIFICIALES> <NORMATIVA AMBIENTAL> <REMOCIÓN DE CONTAMINANTES> <DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)>.

SUMMARY.

In order to build the domestic sewage treatment plant (PTAR) with artificial wetlands of subsurface flow in San Luis de Armenia parish, San Luis de Armenia community of Orellana province, it started with a preliminary study by first which consisted in the recognition of five housing and the available area for the implementation of this project. The pipe connections were directed at a specific point for measuring the flow rate for seven consecutive days applying the volumetric method. Five representative samples were taken and sent to the lab AQLAB for the physical, chemical and microbiological analysis of twelve parameters. According to pollutant load of the affluent, it proceeded with the building of the grease and oils trap, primary rectangular sedimentation, drying beds, and artificial wetlands of horizontal subsurface flow. The domestic PTAR supports a flow rate of a design of 29,03 m³/d. Once the treatment system was implemented and on its way, it waited three to four months for the adaptation of the German grassland and develop the effluent characterization producing average results such as pH 6,73, sedimentable solids 0,4 mg/L, total solids 180,08 mg/L, turbidity 35,8 UNT, electrical conductivity 186,48 μS/cm, nitrates 0,71 mg/L, phosphates 0,326 mg/L, DBO5 20 mg/L, DQO 56,08 mg/L, total coliforms 0,8 NMP/100 ml, surfactants 2,3 mg/L. The domestic PTAR presents an efficiency of 91% organic matter degradation, within the treatment it was found that surfactants are outside the maximum permissible limits established by the existing Ecuadorian environmental regulation TULSMA LIBRO VI ANEXO 1. It is recommended to the GAD Municipality of Francisco de Orellana the implementation of these systems (artificial wetlands), in order to mitigate environmental impacts generated by domestic sewage in rural areas since its costs are relatively low in comparison with conventional systems.

Keywords: <BIOTECHNOLOGY>, <SEWAGE TREATMENT>, <CHARACTERIZATION>, <ARTIFICIAL WETLANDS>, <ENVIRONMENTAL REGULATION>, <CONTAMINANT REMOVAL>, <BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD₅)>.

INTRODUCCIÓN.

El agua es un recurso natural renovable y limitado para el desarrollo de las comunidades, industrias y países, sin embargo, las actividades humanas modifican sus propiedades haciéndola no útil y nociva para los seres vivos. En Ecuador un 70.1 % de los ecuatorianos utilizamos agua para beber de diferentes fuentes tales como: tubería, pozo o manantial protegido, o agua embotellada en la vivienda o cerca de ella, de manera suficiente y libre de contaminación fecal. Un 79.3 % de agua, a nivel nacional se encuentra libre de contaminación y un 20.7 % contaminada. Sobre saneamiento, el 85.9 % de los ecuatorianos tenemos servicio higiénico adecuado (alcantarilla, excusado, pozo séptico/pozo ciego, letrina con losa) y de uso exclusivo para los miembros del hogar. En la zona rural esto representa un 80.4 % y en la zona urbana un 88.5 %. Del 100% de consumo de agua de las diferentes fuentes, el 85% es agua no útil, es decir aguas residuales domésticas (Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2017).

El vertido directo de estas aguas a los cuerpos superficiales conlleva a problemas, ambientales, salud y seguridad pública debido a los compuestos orgánicos, inorgánicos y microorganismos patógenos que están presentes en el agua residual y son causante de enfermedades.

En el Cantón Francisco de Orellana existen parroquias que no cuentan con sistemas de alcantarillado, tal es la Parroquia San Luis de Armenia, comunidad Armenia, sector Centro de Rescate Cultural OMAWUA (25 habitantes), donde se implantará una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (aguas grises), beneficiando a cinco hogares de la misma familia. Bajo un estudio preliminar se pudo constatar que las aguas generadas por los habitantes del sector son arrojadas al aire libre mediante canales donde no se ha dado su respectivo mantenimiento, provocando la retención de la materia orgánica y bajo su descomposición generando malos olores y la presencia de vectores. La problemática es no tener un sistema de tratamiento adecuado y económico para las descargas de estas aguas residuales para así mejorar la calidad de vida de las personas y mantener un ambiente menos contaminado. En otros países como Japón y España ya es realidad el uso de plantas de tratamientos de aguas residuales con humedales artificiales.

La parte importante del sistema de humedales artificiales es proveer eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que este sistema no requiere de energía eléctrica, presenta costos económicos bajos en comparación con los sistemas de tratamientos tradicionales, se utilizan plantas emergentes tal es el caso del pasto alemán por ser específicamente de la zona, su velocidad de reproducción es acelerado, de 4 a 6 meses ya están degradando la materia orgánica presente en el humedal.

La depuración de las aguas residuales domésticas depende de sistemas preliminares, primarios, secundarios y terciarios, todo aquello para que el sistema logre su mejor eficiencia en el tratamiento. Por tal motivo el sistema de tratamiento, consta de una trampa de grasas y aceites dividido en tres cámaras, un sedimentador primario rectangular, una era de secado y el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

La finalidad del sistema de tratamiento es reducir los niveles de contaminación de las aguas residuales, permitiendo que los valores obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos, estén dentro del límite máximo permisible, establecido por la norma ecuatoriana TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente), LIBRO VI, ANEXO I, tabla 12; Límites de descargas a un cuerpo de agua dulce.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Construir una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de flujo subsuperficial en la Parroquia San Luis de Armenia, Comunidad San Luis de Armenia Provincia de Orellana.

Objetivo específico.

- Realizar la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales provenientes del sector OMAWUA antes y después del tratamiento.
- Adaptar el Pasto Alemán para medir la eficiencia de la PTAR domésticas.
- Dimensionar la PTAR domésticas de acuerdo a las necesidades de la población de estudio.

CAPÍTULO I.

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

1.1 Aguas residuales.

1.1.1 Generalidades, definición y origen.

El agua es un recurso natural único, escaso y esencial para el desarrollo de la vida en el planeta tierra, de la cual sólo un pequeño porcentaje se encuentra disponible para las actividades humanas y de ello depende el desarrollo económico-social y medio ambiental. A medida que aumenta la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales producidas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo.

Las aguas residuales también son conocidas como aguas servidas, fecales o cloacales, procedentes de las actividades humanas, las cuales han sido modificadas sus propiedades físicas-químicas y microbiológicas, sus descargas sin tratamiento han modificado gravemente gran parte del ecosistema acuático.

Las aguas residuales de origen urbano están constituidas principalmente por desechos humanos y animales (contaminación fecal), y domésticos (grasas, detergentes), entre otros; mientras que las aguas residuales de origen industrial presentan diferentes composiciones, de acuerdo al proceso productivo de procedencia. Debido a esto, existen diferentes normativas que regulan el vertido de estos residuos a los cuerpos de aguas receptores, con el objetivo de minimizar los distintos impactos ambientales, como la pérdida de calidad del agua, entre otros (UNESCO, 2017).

1.1.2 Clasificación de las aguas residuales.

1.1.2.1 Aguas residuales domésticas o aguas negras.

Aguas procedentes de actividades humanas como: aseo personal, necesidades biológicas, actividades de cocina y limpieza de viviendas, estas aguas poseen gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como presencia de resto de jabones, detergentes y grasas.

Cabe mencionar que alrededor del 75% del agua que empleamos en casa se utiliza en el cuarto de baño.

Arias Carlos & BRIX Hans (2003). Mencionan que las aguas grises y negras son las más frecuentes en el mundo actual, el agua negra principalmente proviene de inodoros y orinales y el agua gris, proviene de piletas y bañeras, las mismas que mediante un tratamiento pueden ser utilizada para el riego de plantas de jardines, lavado de vehículos, etc.

1.1.2.2 Aguas blancas.

La procedencia de las aguas blancas es atmosférica (lluvia, hielo o nieve) o del riego y limpieza de las calles, lugares públicos o parques. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy exuberantes, las mismas que pueden evacuarse por separado de esta manera para que no saturen los sistemas de depuración.

1.1.2.3 Aguas residuales industriales.

Las aguas residuales industriales provienen de fábricas y establecimientos industriales y su contenido es aceites, antibióticos, detergentes, grasas, ácidos y otros productos de origen mineral, vegetal, químico o animal. Su composición es muy inconstante, dependiendo de las distintas actividades industriales.

1.1.2.4 Aguas residuales agrícolas.

Procedente de actividades agrícolas (engorde del ganado, la silvicultura, los cultivos de plantas anuales o perennes, el cultivo en huertos y plantaciones, la floricultura y la acuicultura, etc.) de zonas rurales, estas aguas tienen su origen de aguas urbanas que son utilizadas para labores de riego con o sin un previo tratamiento.

1.1.3 Características de las aguas residuales.

Se tienen que controlar el agua bruta no tratada (agua natural de ríos, embalses y lagos) la misma que puede ser susceptible de distintos usos (potabilización, cría de peces, moluscos, riegos, usos recreativos) con la finalidad de determinar la posibilidad o no del uso previsto, de la misma manera el grado de tratamiento industrial indispensable para lograr su adecuación de calidad.

1.1.3.1 Características físicas.

Las principales características físicas que encontramos en las aguas residuales son, los sólidos (suspensos, sedimentables y disueltos), olor, temperatura, color, turbidez y densidad.

Tabla 1-1. Características físicas de aguas residuales.

Sólidos Totales	Es el resultado del proceso de evaporación (103°C – 105°C), descartando a la materia perdida durante este proceso, los sólidos sedimentables son aquellos que se sedimentan luego de que la muestra de agua residual ha estado en el cono de Imhoff.
Olor	Se presencia durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, el mismo que es muy desagradable, principalmente a la presencia de sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) el cual se genera al convertirse los sulfatos en sulfitos por acción de microorganismos anaeróbicos.
Temperatura	La temperatura de esta agua son mayores que las del agua potable, esto se debe principalmente a que el calor específico del agua es significativamente mayor a la del aire, con excepción en las épocas en donde hay mucho calor, dependiendo de la geografía del sitio, la temperatura de las aguas residuales varía entre 10°C a 20°C, por lo que 15° que es el valor intermedio.
Color	Se refiere a la edad de la misma, en primera instancia el agua residual toma un color gris, sin embargo, cuando las condiciones hacen que la presencia de oxígeno desaparezca esta agua va adquiriendo un color más oscuro hasta finalmente llegar a negra. Este color gris o negro por lo general se debe a la formación de sulfuros metálicos.
Turbidez	Se debe a la presencia de materias en suspensión, finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas, entre otras. La determinación de la turbidez tiene un gran interés como parámetro de control en aguas contaminadas y residuales. Se puede evaluar en el campo o en el laboratorio.
Densidad	Parámetro definido por la relación entre la masa y el volumen, se puede expresar en diversas unidades, kg/m ³ y g/cm ³ . De acuerdo a la densidad del agua residual se puede determinar la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y demás instalaciones de tratamiento.

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017

1.1.3.2 Características químicas.

Las características químicas de las aguas residuales constan de cuatro puntos principales: (1) materia orgánica, (2) medición del contenido orgánico, (3) materia inorgánica, y (4) gases presentes en el agua residual.

De acuerdo a que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 1-2. Características químicas de aguas residuales.

Materia Orgánica	Representa a los sólidos presentes en un agua residual de concentración media, se puede decir que aproximadamente el 75% de los sólidos suspendidos y el 40% de los sólidos filtrables son orgánicos, provenientes en gran parte de plantas y animales, estos compuestos orgánicos están formados por la combinación de carbono, oxígeno e hidrógeno y en algunas ocasiones de nitrógeno. Los aceites y las grasas animales son compuestos de alcohol o glicerol y ácidos grasos. Las grasas en general alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, aceite vegetal, etc.
Carbono Orgánico Total (COT)	Es un método que sirve también para determinar la materia orgánica que se encuentra presente en el agua, se lo usa para concentraciones pequeñas de materia orgánica. El ensayo usado para determinar el COT se lo realiza inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a temperatura elevada o en un medio de oxidación, por medio de un catalizador el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico.
Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO)	La materia orgánica que está presente en las aguas residuales, proviene de combinaciones de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, los principales componentes de este tipo son los hidratos de carbono, proteínas y grasas, así como los productos que resultan de la descomposición de los mismos.
Materia Inorgánica	Tanto las aguas residuales como naturales constan de componentes inorgánicos, los cuales determinan la calidad de las mismas, entre ellos tenemos sales, minerales y cloruros.
pH	Determina la calidad ya sea de aguas residuales como de aguas naturales, cuando un agua residual tiene una concentración inadecuada del ión hidrógeno presentará problemas con procesos biológicos y modificar la concentración de este ión hidrógeno en el sitio de descarga.
Cloruros	Las aguas residuales ya sean de proveniencia doméstica o industrial poseen cloruros, de la misma forma las aguas naturales tienen cloruros provenientes de la disolución de suelos y rocas.
Nitrógeno	El nitrógeno es un elemento esencial que sirve para el crecimiento de protistas y plantas, por lo que se le denomina también como nutriente, es así que cuando el contenido del mismo no es suficiente debe añadirse para que el

	agua residual sea tratable. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.
Fósforo	Este elemento es fundamental para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos, por motivo de que en aguas superficiales existen grandes proliferaciones de algas es necesario encontrar una manera de limitar la cantidad de fósforo que alcanzan estas aguas, por medio de vertidos de aguas, así como de la escorrentía natural.
Azufre	El azufre está presente tanto en el agua potable como en las aguas residuales, es necesario contar con él, para la síntesis de proteínas, el mismo que será liberado en la degradación de estas. Los sulfatos se reducen a sulfuros y a sulfuros de hidrógenos bajo la acción de bacterias en ausencia de oxígeno.
Gases	Están presentes en mayor proporción los gases tales como el oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano.
Oxígeno disuelto	Es muy importante para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida, la cantidad de oxígeno y demás gases que puedan estar presentes en la solución, está limitada de acuerdo a la disolución del gas, temperatura y calidad del agua.
Metano:	Este gas resulta de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual, es un hidrocarburo combustible de gran valor energético, inodoro e incoloro.
Sulfuro de hidrógeno	Este gas posee las propiedades de ser incoloro, inflamable, con un olor bastante desagradable, el oscurecimiento del agua residual se debe por lo general a la formación de Sulfuro de Hidrógeno el cual se combina con el hierro presente para formar Sulfuro Ferroso y otros sulfuros metálicos.

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017

1.1.3.3 Características biológicas.

Las características biológicas de las aguas residuales abarcan una amplia gama de microorganismos, tales como: bacterias, hongos, algas, protozoos, virus, plantas y animales.

Esta categoría se familiariza principalmente con los siguientes temas: (1) especies de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; (2) organismos patógenos presentes en las aguas residuales; (3) organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; (4) métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y (5) métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

Tabla 1-3. Características biológicas de las aguas residuales.

Microorganismos	Los microorganismos presentes en aguas residuales o superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, la mayor parte de los organismos pertenecen a las eubacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas incluye algas, protozoos y hongos, los animales vertebrados e invertebrados se los conoce como eucariotas multicelulares. Los virus presentes en el agua residual se clasifican en función del sujeto infectado.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Es el parámetro que más se emplea en lo que a contaminación se refiere, tanto para aguas superficiales como residuales. Su determinación se relaciona con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica a los 5 días.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Este ensayo se lo utiliza para efectuar la medición de materia orgánica de aguas superficiales como de las residuales, en este ensayo se usa un agente químico oxidante en medio ácido que sirve para determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda oxidarse.
Organismos Patógenos	Estos organismos están presentes en las aguas residuales y pueden proceder de desechos humanos infectados o que tengan cierta enfermedad. Entre las enfermedades típicas que causan los organismos patógenos están la tifoidea, diarrea y cólera.

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

1.2 Tratamiento de aguas residuales.

La depuración de las aguas residuales depende de procesos físicos, químicos y microbiológicos que tienen como propósito eliminar la carga contaminante ya sea para cumplir con la normativa ambiental vigente o para evitar impactos negativos en los cuerpos de agua cercanos (ríos, esteros, pozos y lagunas). La solución más desarrollada para el análisis y control de la polución por aguas residuales, es tratarlas generalmente en plantas donde se realiza la mayor parte del proceso de separación de los contaminantes, de esta manera se deja una pequeña parte que completará el proceso en el cuerpo receptor.

Según (Ramalho, 2003) menciona que el procedimiento estandarizado de una estación Depuradora de Aguas Residuales comprende de: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

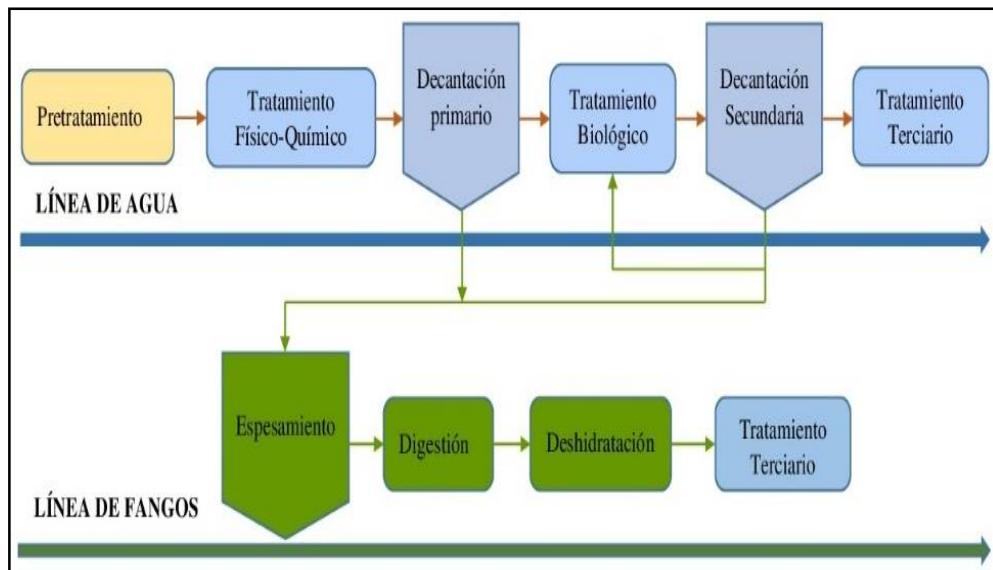


Figura 1-1. Esquema de una PTAR con sus respectivas etapas

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000).

1.2.1 *Pretratamiento.*

Conocido también como tratamiento preliminar o procesos físicos, su objetivo principal es la eliminación de materiales gruesos, arena y grasas mediante operaciones físicas y mecánicas. Dentro del pretratamiento se incluyen las operaciones básicas talas como: desbaste (rejillas finas y gruesas 10 a 25 mm - 50 a 100 mm), tamizado, desarenado, desengrasado (trampa de aceites y grasas) y la preaeración (control de malos olores y mejoramiento hidráulico).

1.2.2 *Tratamiento primario.*

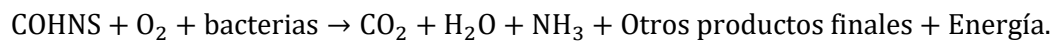
Son procesos físicos y químicos cuyo objetivo principal es la eliminación de materia sedimentable y flotante. Es decir, el tratamiento primario también tiene la capacidad de remover la materia que incomoda y una fracción significativa de la carga orgánica, ya que esto compuestos pueden representar entre el 25% y el 40% de la DBO₅ y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Los tratamientos primarios más habituales son la decantación primaria (sedimentador primario) y los tratamientos físico-químicos (floculación y coagulación).

1.2.3 *Tratamiento secundario.*

Conocidos también como tratamiento biológico, se realiza con la ayuda de microorganismos (principalmente bacterias), su función principal es la eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal.

Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables flocculantes que pueden ser separados por sedimentación en tanques de decantación (Seoáñez, 2000). El proceso biológico depende de reacciones químicas para la descomposición de la materia orgánica tales son los siguientes:

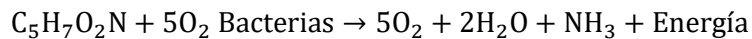
a) Reacción de Oxidación.



b) Reacción de Síntesis.



c) Respiración endógena.



1.2.4 Tratamiento terciario.

El tratamiento terciario es conocido también como tratamientos avanzados, rigurosos y complementarios, son procesos físicos, químicos y biológicos, cuya finalidad es la eliminación de sólidos en suspensión, materias orgánicas residuales, nutrientes (nitrógeno 65% y fósforo 30%). y patógenas. Este tipo de proceso genera efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, aguas industriales, etc.

Este proceso remueve sustancias o compuestos como: (a) Fosfatos y nitratos. (b) Huevos y quistes de parásitos. (c) Sustancias tenso activas. (d) Algas. (e) Bacterias y virus (desinfección). (f) Radionúclidos. (g) Sólidos totales y disueltos. (h) Temperatura (Seoáñez, 2000).

1.3 Sistemas naturales de depuración.

Los sistemas naturales de depuración constituyen una alternativa de bajo coste en comparación con los sistemas tradicionales, ya que presentan componentes medio ambientales (bacterias, algas, vegetación y fauna) que garantizan una tecnología de depuración sostenibles (García et al, 1998). Este proceso de sistemas naturales requiere de mayor periodo de tiempo para degradar la materia orgánica, elevado tiempo de retención de las aguas residuales, y mayor superficie de operación, dentro de ello tenemos dos tipos de sistemas naturales de depuración tales como: lagunajes y humedales artificiales.

1.3.1 Lagunaje.

El lagunaje conocidas también como lagunas de estabilización es un sistema alternativo de tratamientos naturales muy bien conocidas, ya que garantiza la eliminación de la materia orgánica, nutrientes y microorganismos patógenos presentes en el agua residual. Son fáciles de construir, presentan costes bajos en explotación y mantenimiento. Suelen ser aplicados en zonas con climas calurosos y soleados, pero también se puede implementar en zonas con climas fríos y nublados obteniendo resultados favorables.

1.3.1.1 Tipos de lagunas.

La clasificación de las lagunas de estabilización se puede realizar en diferentes puntos de vista, en este caso se escogió según su actividad microbiana, tenemos:

a) Laguna de estabilización aerobia.

Las lagunas aerobias miden de 1 a 1.3 metros de profundidad de tal forma que la luz solar logre llegar hasta el fondo de ella. Se facilita el desarrollo algas y que de esta manera produzcan oxígeno para las bacterias aerobias. En lugares muy altos o fríos no se utilizan lagunas aerobias debido a que pueden congelarse totalmente en invierno y pueden paralizar el tratamiento del agua residual.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de una laguna aerobia depende de factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura. Suelen tener residencias elevadas que oscilan de 20-30 días.

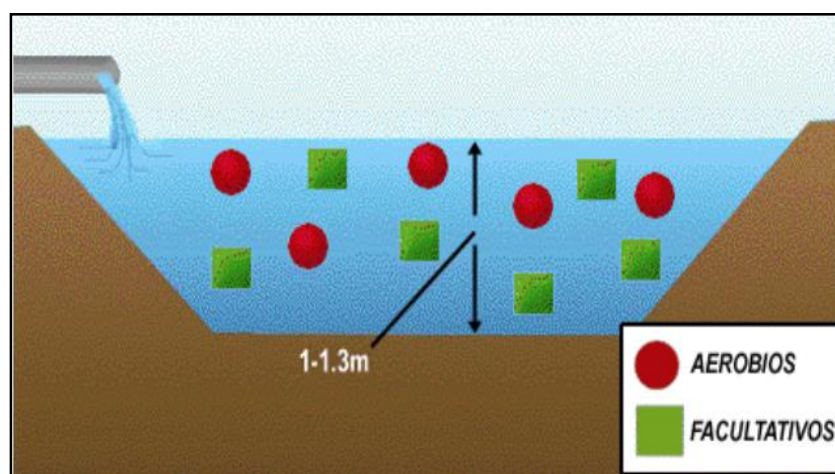


Figura 1-2. Proceso de estabilización aeróbica.

Fuente: (Unicen, 2015).

b) Laguna de estabilización anaerobia.

Estas lagunas se utilizan para tratar residuos demasiado concentrados un ejemplo son los que se eliminan en una explotación alimenticia. La espuma de la superficie que es propia de este tipo de lagunas.

Estas aglomeraciones impiden que el aire ingrese en contacto con el agua residual. La laguna así no sujeta prácticamente nada de oxígeno disuelto y el ambiente interno es totalmente anaerobio. La estabilización de estas lagunas tiene lugar mediante las siguientes etapas: (1) Hidrólisis, (2) Formación de ácidos, (3) Formación de metano.

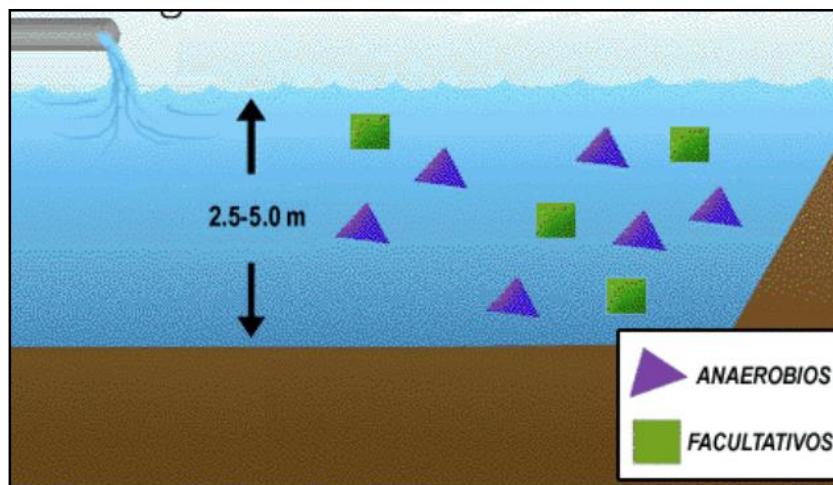


Figura 1-3. Proceso de estabilización anaeróbica.

Fuente: (Unicen, 2015).

c) Lagunas facultativas.

Las lagunas facultativas son las que comúnmente se utiliza para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales. Miden de 1 a 2 m de profundidad, A mediana profundidad la cuantía de oxígeno disuelto en la fosa suele variar y de esta manera se tendrá lugar una disgregación aerobia o anaerobia dependiendo del monto de oxígeno disponible en cada momento.

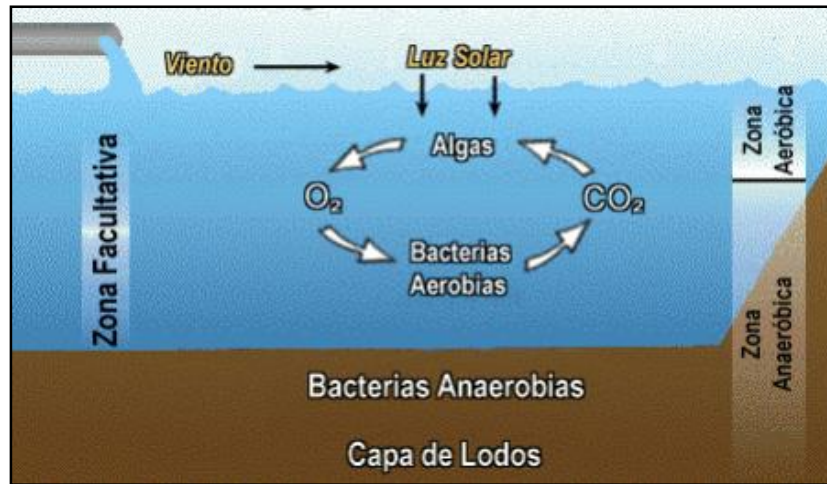


Figura 1-4. Proceso de estabilización facultativo.

Fuente: (Unicen, 2015).

1.3.2 Humedales artificiales.

Los humedales artificiales (biofiltros) son sistemas de depuración poco profundos (menos de 1 metro) plantados con especies propias de la zona donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, fotooxiación y toma de nutrientes por parte de la vegetación (Carolina, 2013).

Eliminación de sólidos en suspensión gracias a Mencionada (Carolina, 2013), que los mecanismos por los que este tipo de sistemas son capaces de depurar las aguas residuales se basan en los siguientes principios:

- 1) fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.
- 2) Eliminación de materia orgánica gracias a la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O_2) o anaerobios (sin O_2).
- 3) Eliminación de nitrógeno bien por acción directa de las plantas, bien por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.
- 4) Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.
- 5) Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato (medio granular), la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

1.3.2.1 Clasificación de los humedales artificiales.

La clasificación de los humedales artificiales depende del tipo de macrófitas a utilizarse para su funcionamiento entre ellos tenemos: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres.

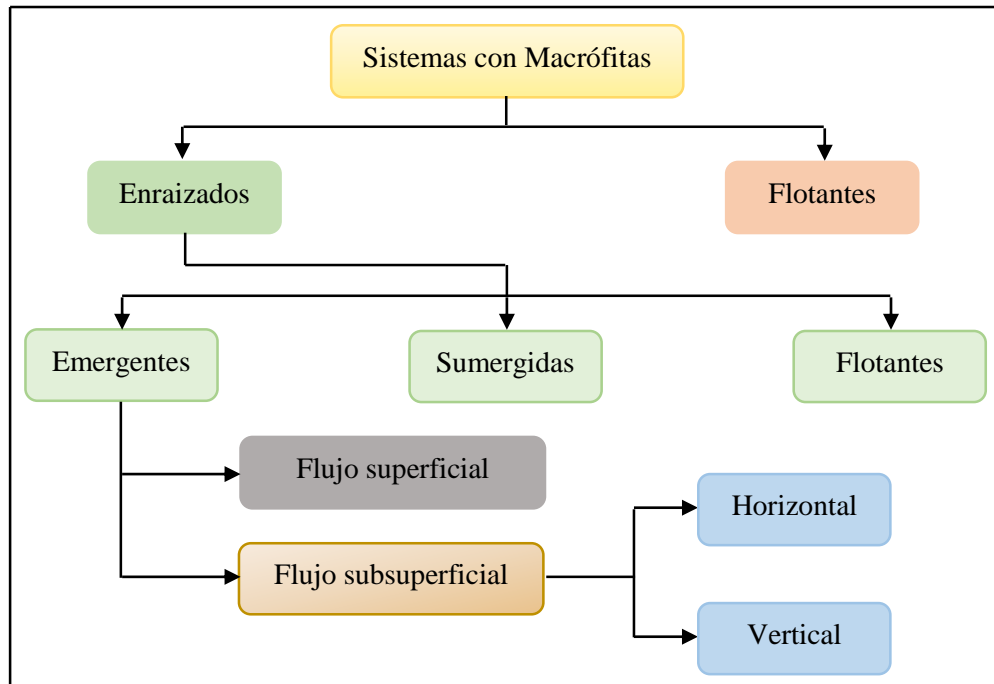


Figura 1-5. Clasificación de humedales artificiales con macrófitas.

Fuente: (Delgadillo et al, 2010).

1.3.2.1.1 Humedales artificiales de flujo superficial.

Los humedales artificiales de flujo superficial también conocidos como humedales de flujo libre, son sistemas en donde el agua circula de forma horizontal y el torrente de agua está en contacto con la atmósfera superior.

Su profundidad varía de 0,1 m a 0,6 m, construida sobre terrenos firmes y bien compactos para evitar posibles filtraciones del agua residual y a su vez contiene un lecho de grava o arena para que las raíces de la vegetación emergente estén sujetas al mismo.

La vegetación con sus tallos, hojas sumergidas y raíces proporcionan un medio de soporte para crecimiento bacteriano, reduce el potencial de crecimiento de algas y oxigena el agua residual. Para mantener una reacción apropiada se recomiendan cargas de DBO₅ de máximo 112 kg DBO₅/ha.d. La remoción aumenta con el tiempo de retención y la temperatura. La remoción de DBO₅ puede ser de 60 al 80% y de SST del 50 al 90% (EPA (832-F-00-024), 2000).

Este tipo de humedales son aprovechados para tratamientos terciarios y en algunos casos para tratamientos secundarios, para de esa manera mejorar la calidad del agua que ya ha sido procesada en una planta depuradora, permitiendo remociones altas de DBO₅, SST, nitrógeno, metales y patógenos.

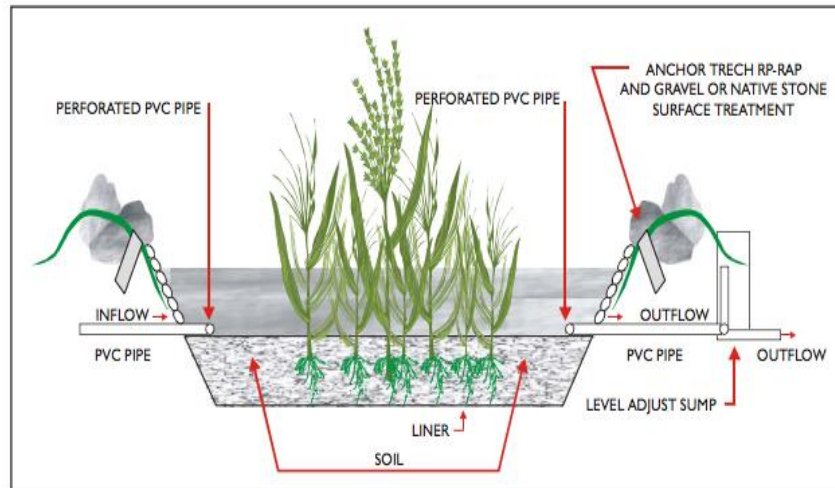


Figura 1-6. Humedales artificiales de flujo superficial.

Fuente: (Carolina, 2013).

1.3.2.1.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial.

El sistema de flujo subsuperficial son balsas o canales debidamente impermeabilizados del exterior, se caracterizan porque el agua circula a través del sustrato (arena, grava o piedras de menor tamaño) es decir medio subterráneo, sembrado de plantas emergentes propias de la zona donde las raíces y rizomas de estas plantas están en contacto directo con las aguas residuales.

La profundidad de estos sistemas de flujo subsuperficial tiene un rango que va de 0,3 m a 0.9 m, valor típico usado 0,6 m. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor del sustrato y de las raíces de las plantas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema.

Estos humedales utilizan medios granulares y plantas emergentes para tratar los efluentes de fosas sépticas, sedimentación primaria y secundaria, y los efluentes de lagunas. Teniendo en cuenta lo importante que son estos sistemas de depuración de aguas residuales domésticas, pueden dividirse en dos tipos: humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.

a) Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.

Este sistema de depuración trabaja con alimentación continua, donde el agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del humedal está entre 0,45 m a 1 m del cual se aplica una pendiente entre 0,5 % a 1 %. El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.

El agua residual que ingresa al sistema debe permanecer en un nivel inferior a la superficie (5 a 10 cm), esto se logra regulando el nivel del dispositivo de salida. Trabaja con un máximo de 2 a 6 g DBO₅/m² d. Son eficientes en la remoción de DBO₅ y SST y poco eficientes en la remoción de nutrientes. Frecuentemente las eficiencias logradas en este tipo de tratamiento son de: 91 % para SST, 89 % para la DBO₅, 33 % para nitrógeno total y 32 % fósforo total (Von Münch, 2009).

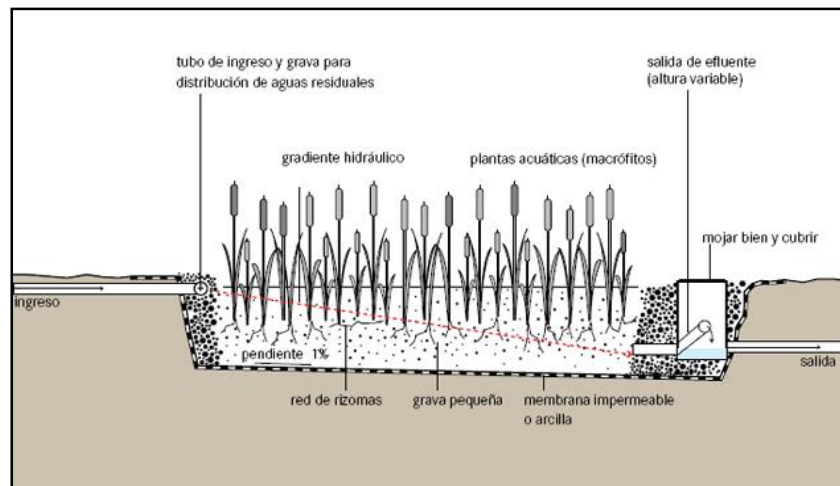


Figura 1-7. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.

Fuente: (Carolina, 2013).

El medio granular (arena, grava y piedras) requiere ser reemplazo entre los 8 y 15 años, o más. Se debe asegurar que no crezcan árboles en el área, ya que las raíces pueden dañar el recubrimiento, son útiles para climas cálidos, también son diseñados para tolerar periodos de mucho frío y de baja actividad biológica.

b) Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.

A este tipo de sistema de depuración de aguas residuales se le conoce como filtros intermitentes, reciben las aguas residuales de la parte superior a la inferior, conectados por un sistema de tuberías de 4 pulgadas debidamente perforadas.

El agua residual que se introduce verticalmente a través del sustrato inerte (arenas, gravas, rocas o piedras de tamaño medianos), se adjunta a una red de desagüe situada en el fondo del humedal vertical.

La vegetación emergente se siembra en el medio granular para su posterior adaptación. La profundidad del medio granular está entre 0,5 y 0,8 m y operan con cargas de alrededor de 20 a 40 g DBO₅/m².d, produciendo efluentes de mayor oxigenación.

Complementariamente, para favorecer las condiciones aeróbicas del medio poroso, se coloca una red de chimeneas para la aireación de sistema con tuberías dirigidas hacia el exterior. Los sistemas de flujos 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.

El humedal subsuperficial vertical requiere mayor mantenimiento y experiencia técnica que las tecnologías de humedal anteriormente mencionadas. Se debe tener cuidado para asegurar que las personas no entre en contacto con el afluente por el riesgo de infección. El medio granular requiere ser remplazado cada 8 a 15 años, o más (Alianza por el agua, s.f.).

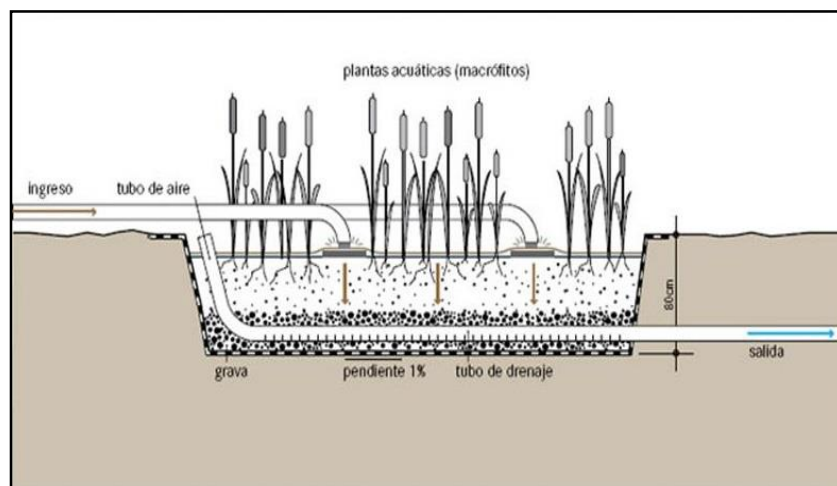


Figura 1-8. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.

Fuente: (Carolina, 2013).

1.3.2.2 Partes de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial están constituidos básicamente por cuatro elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos.

a) Aguas residuales.

El agua residual es la fase móvil dentro del humedal, la encargada del transporte de los contaminantes (sólidos suspendidos, materia orgánica biodegradable, microorganismos patógenos, nutrientes, compuestos tóxicos, materia orgánica refractaria, metales pesados, y sólidos inorgánicos disueltos), donde se van a producir la mayoría de las reacciones químicas responsables de la depuración. La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es el factor primario decisivo en su éxito o fracaso (Lara, 2015).

b) Substratos.

Los substratos (medio granular) son principalmente la arena, grava, roca o piedras de mediano tamaño, sedimentos y restos vegetales que aparecen y se almacenan dentro del humedal debido al crecimiento biológico. Son importantes porque brindan las características de permeabilidad requeridas para el flujo del agua, funcionan como filtro de los contaminantes, dan sustento a los organismos vivos (bacterias) que se desarrollan en el área y dan lugar a reacciones biológicas que adicionan eficiencia al tratamiento. La importancia del sustrato, sedimentos y restos vegetales en los humedales artificiales son por varias razones:

- Resisten a los microorganismos que coexisten dentro de los humedales.
- La dinámica del agua en los humedales se ve influenciada por la permeabilidad del sustrato.
- Se dan varias transformaciones químicas y biológicas en el interior del sustrato.
- Proporciona el sustrato almacenamiento para una gran cantidad de contaminantes.

c) Vegetación.

La vegetación es uno de los componentes fundamentales del sistema que pueden ejercer funciones de desbaste, reteniendo sólidos gruesos arrastrados por el agua residual, actuar de barrera física para el flujo del agua residual, reduce la velocidad del influente, lo que favorece la floculación y la sedimentación de partículas en suspensión.

Uno de los mayores beneficios de las plantas es que ayudan a la transferencia de oxígeno hacia la zona de la raíz. Las plantas emergentes (espadañas, carrizos, juncos y juncos de laguna) contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras.

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- mantienen velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Atrapa el carbono, nutrientes y los incorporan a los tejidos de planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno, desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- La muerte y deterioro del mismo dan lugar a restos de vegetación (compost).

Tabla 1-4. Especies de plantas emergentes empleadas en la depuración de aguas residuales.

Familia	Nombre latino	Nombre común	Temperatura deseable °C	Salinidad Tol. ppt	Rango pH
Ciperáceas	Carex sp.	-	14 a 32.	20.	5 a 7.
	Eleocharis sp.	-			
	Scripus lacustris L.	Junco de laguna.	18 a 27.		4 a 9.
Gramíneas	Glyceria fluitans.	Hierba del maná.	12 a 35.	45.	2 a 8.
	Phragmites australis.	Pasto alemán.			
		Pasto elefante.			
		Carrizo.			
	Phragmites communis.	Caña bambú.			
Caña común.					
Iridáceas	Iris Pseudacorus L.	Lirio amarillo.	16 a 26.	20.	5 a 7,5.
		Espadaña fina.			
Juncáceas	Juncus sp.	Junco.			
Tifáceas	Thypha sp.	Eneas.	10 a 30.	30.	4 a 10.
		Espadaña.			

Fuente: (Delgadillo et al, 2010).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

C-1. Pasto alemán.

El pasto alemán es una planta herbácea perenne que no tolera las sequías, se adapta fácilmente a los suelos húmedos y compactos de alta o mediana fertilidad, por sus características subacuáticas es ideal para sembrar en terrenos inundados, orillas de los ríos y especialmente son utilizados para tratar las aguas residuales domésticas.

Su tallo puede llegar a los 2 metros de altura, las hojas miden de 2 a 5 cm de ancho por 40 a 60 cm de largo, la panícula mide de 10 a 20 cm de largo, es de color rosáceo o ligeramente púrpura, tiende a inclinarse con respecto al eje vertical., y el periodo de crecimiento varía entre 4 y 6 meses.

Las plantas jóvenes alcanzan una altura de 90 cm, presentando un contenido de proteína de 13,8% a las cuatro semanas de ser plantadas. Este tipo de planta está distribuida en: América del Norte, Mesoamérica, Caribe, América del Sur (Manrique P., 1993).

Este tipo planta es capaz de soportar láminas de agua cercana a un metro, se adapta a suelos pesados (arcillosos, arcillo-limoso, hasta los francos), teniendo excelente propagación en las unidades fisiográficas de los llanos llamadas bajíos y esteros.

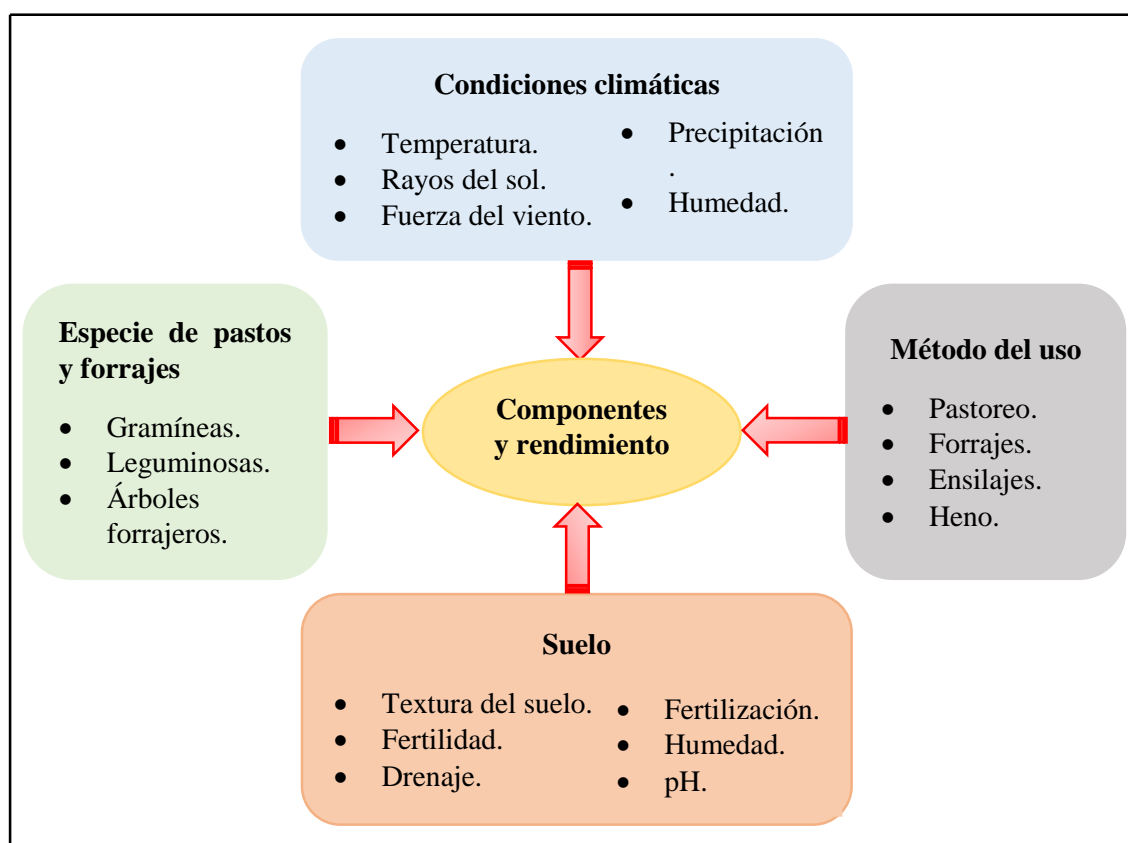


Figura 1-9. Crecimiento y cambio de componentes de pastos y forrajes.

Fuente: Manual del protagonistas; pastos y forrajes (Nicaragua. Instituto Nacional tecnológico (INATEC), 2016).

El pasto alemán tiene una eficacia en la depuración de aguas residuales hasta un 99%, es muy capaz en disminuir altas concentraciones de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico en aguas residuales domésticas (Gualán Medina, 2016).

Tabla 1-5. Descripción del pasto alemán.

Nombre común.	Pasto alemán.
Nombre científico.	Echinochloa polystachya.
Otros nombres.	Alemán, hierba de cayena, zacate alemán, janeiro.
Ciclo vegetativo.	Perenne, persistente.
Consumo/utilización.	Pastoreo rotativo/ depuración de aguas residuales domésticas.
Clima.	Crece bien entre 0 y 1200 m. s. n. m.
Precipitación.	Mayores a 1900 mm.
Fertilidad del suelo.	Media a alta.
Valor nutritivo.	Proteína 10 – 13%, digestibilidad 50 – 55%.
Drenaje.	Prefiere terrenos húmedos o inundados.
Tipo de siembra.	La semilla es poco viable, se siembra por estolones o esquejes.
Resistencia.	No tolera verano o sequías extensas.

Fuente: (Gualán Medina, 2016).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

d) Microorganismos.

Los microorganismos que se encuentran presentes en el sistema son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. Su función principal se basa en realizar el tratamiento biológico, estos microorganismos forman masas microbianas para degradan la materia orgánica que circula por el sistema de humedal, eliminan nutrientes y elementos traza, y además para la desinfección del agua residual estos organismos son eliminados por acción de las plantas.

La actividad microbiana transforma las sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, modifica las condiciones de potencial redox (oxidación y reducción) del substrato y convierte en gases algunos contaminantes para luego ser liberados a la atmósfera. El sistema de humedales abarca microorganismos aeróbicos del cual requieren de oxígeno para la degradación de los contaminantes.

1.3.2.3 Mecanismo de remoción de contaminantes.

Estos mecanismos contribuyen a la depuración de las aguas residuales del cual se basan en los procesos físicos, químicos y microbiológicos. Se puede apreciar dos tipos de remoción de contaminantes las que se produce por las plantas emergentes y las que se producen en los humedales construidos.

Tabla 1-6. Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en micrófitos.

Parámetros evaluados.	Mecanismos de remoción.
Sólidos suspendidos.	✓ Sedimentación/filtración.
DBO ₅	✓ Degradación microbiana (aerobia y anaerobia).
	✓ Sedimentación (M.O /lodo en el área de sedimento).
Nitrógeno amoniacal.	✓ Amonificación, nitrificación y desnitrificación amoniacal.
	✓ Captado por la planta.
Patógenos.	✓ Sedimentación/filtración.
	✓ Declinación.
	✓ Radiación ultravioleta.
	✓ Excreción de antibióticos por las raíces de los micrófitos.

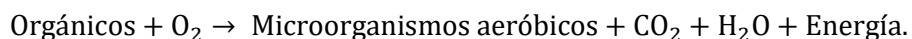
Fuente: (Delgadillo et al, 2010).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

A continuación, se explican los mecanismos de remoción de contaminantes que ocurren dentro de los humedales construidos:

a) Remoción de sólidos suspendidos.

La remoción de los sólidos suspendidos es efectiva en los dos sistemas de tratamientos (superficial y subsuperficial), y alcanza un porcentaje de eliminación que va 85-95 %, esto significa que genera efluentes con concentraciones bajas a 20 mg/L de forma sistemática. Durante los primeros metros iniciales del área de tratamiento se eliminan entre 12 a 20% de sólidos suspendidos, mediante la sedimentación, floculación y filtración del mismo. Se recomienda máxima carga de sólidos en suspensión que no supere los 20 g MES/m²·d, para que evitar que se produzcan las colmataciones.

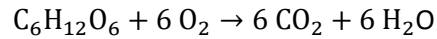


b) Remoción de materia orgánica.

La remoción de materia orgánica se fundamenta en la biodegradación aeróbica o anaeróbica. Todos los microorganismos presentes en este proceso de tratamiento requieren para la síntesis de nuevas células, una fuente de energía, carbono, nutriente y elementos traza.

La degradación aeróbica se efectúa por la acción de bacterias aeróbicas heterótrofas, el cual utilizan materia orgánica como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos.

Estos microorganismos utilizan la luz o una reacción química redox como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos. Un aporte insuficiente de oxígeno hace decaer rápidamente el crecimiento de este grupo de bacterias mediante la reacción genérica:



En la degradación anaeróbica el proceso es realizado por bacterias heterótrofas de tipo anaeróbico estricto o facultativo, dentro de ello se menciona dos etapas muy importantes que ocurren en el humedal donde hay ausencia de oxígeno.

- Las moléculas complejas se transforman por fermentación en compuestos sencillos intermedios como: ácido acético, ácido láctico, etanol y gases como el CO₂ y el H₂.
- En función del sustrato existente tenemos los más importantes: metanogénesis, sulfatoreducción, desnitrificación.

La degradación anaeróbica puede ser resumida como sigue:

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

Las bacterias aeróbicas son más eficientes porque atrapan el mismo sustrato para generar energía, mientras que las heterótrofas anaeróbicas, mediante el proceso de desnitrificación, descomponen la materia orgánica, usando el nitrato como aceptor de electrones. Esta reacción anóxica está presente en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, donde se ha comprobado la eliminación de amoníaco y la ausencia de nitrato, evidenciando un rápido proceso de desnitrificación. No ocurre lo mismo en los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, donde no se elimina el nitrato. La eliminación de la materia orgánica en humedales artificiales alcanza rendimientos entre el 75 y 95 %, alcanzando fácilmente concentraciones en el efluente de 20 mg/l para la DBO₅ y 60 mg/l para la DQO.

c) Remoción de nitrógeno (N).

En el instante que ingresa aguas residuales a los humedales artificiales la mayor parte del nitrógeno se presenta como amonio o en forma de un compuesto no muy estable, que es fácilmente transformado a amonio.

Los mecanismos fundamentales de la remoción de nitrógeno en humedales artificiales construidos son la nitrificación y la desnitrificación, que sucede en diferentes zonas del sustrato. Los dos tipos de reacciones biológicas (nitrificación y desnitrificación) son dependientes de la temperatura, y la velocidad de transferencia de oxígeno a las raíces de las plantas que puede variar con la estación. La mayor fuente de carbono para posibilitar la desnitrificación es la muerte y descomposición de las raíces y rizomas, los demás detritus orgánicos y la DBO₅ del agua residual.

La remoción de nitrógeno en los humedales puede alcanzar valores por encima del 80%. Se requiere de 5 a 9 g de DBO₅ para desnitrificar 1 g NO₃-N y además las plantas eliminan entre un 10 y 20 % de nitrógeno.

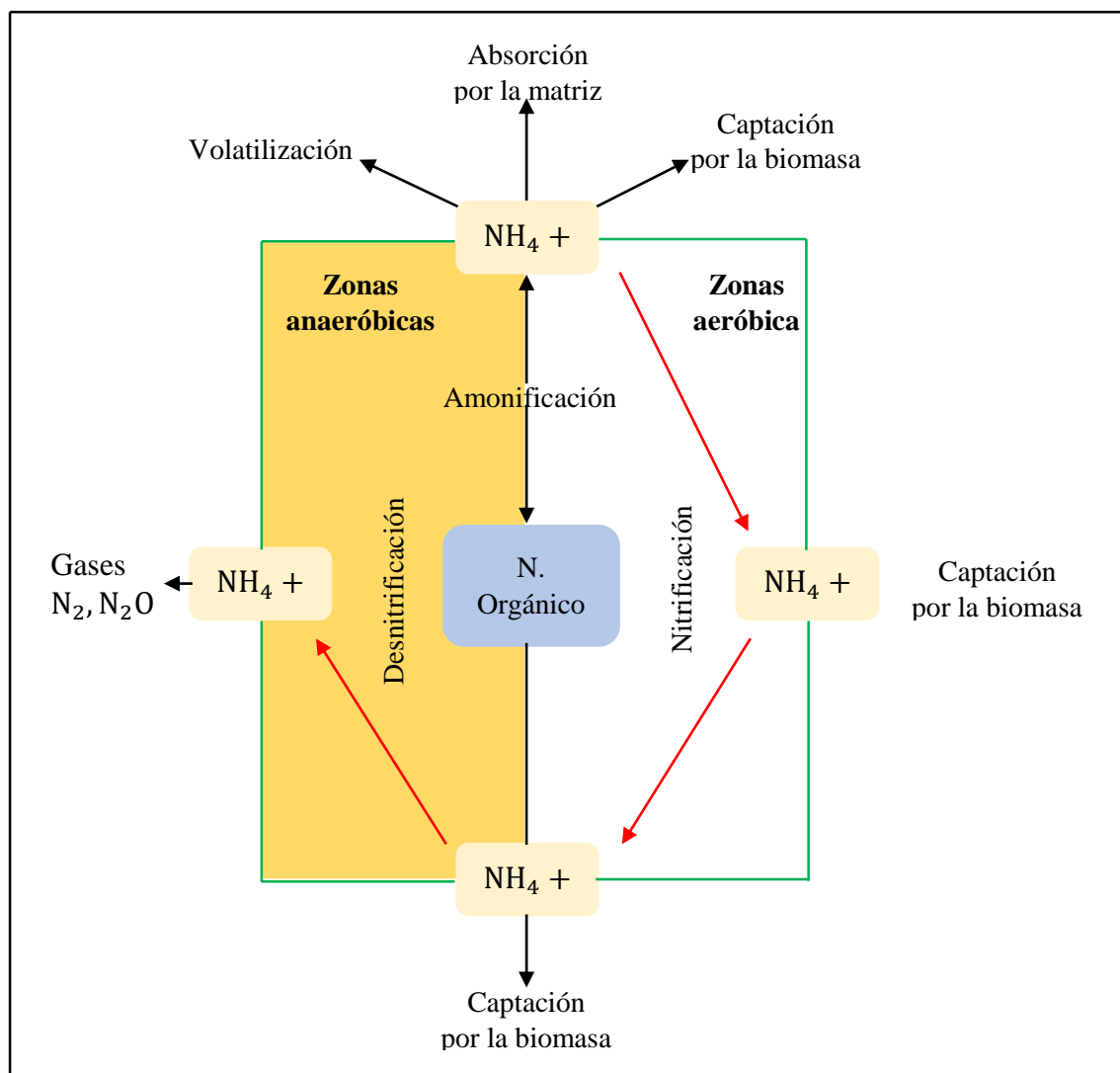


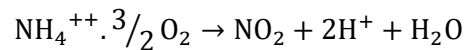
Figura 1-10. Diagrama del metabolismo del nitrógeno.

Fuente: (Delgadillo et al, 2010).

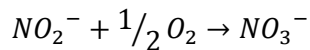
A continuación, se presentan los siguientes procesos para la remoción del nitrógeno:

- La nitrificación solicita la presencia de oxígeno disuelto (condiciones aeróbicas), amonio o nitrito que funcionan como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono. Tenemos dos etapas:

- ✓ Oxidación de iones amonio a nitrito (nitrosificación). Liberación de iones de hidrógeno (baja el pH, motivo por el cual se requiere de un medio alcalino para mantener un pH en el rango de 7,5 a 8,6). Toda esta reacción es catalizada por la bacteria Nitrosomas.

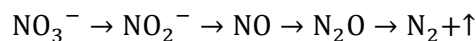


- ✓ Oxidación o transformación de nitrito a nitrato, la bacteria responsable para esta reacción es el Nitrobacter.



Las dos reacciones necesitan de un alto ingreso de oxígeno: alrededor de 4.5 kg por cada kg de amonio-nitrógeno ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) oxidado.

- La desnitrificación es la etapa final de la remoción de nitrógeno, se realiza en ausencia de oxígeno disuelto, pero está disponible en fuentes tales como el nitrato, nitrito o incluso sulfato. Las bacterias encargadas de este proceso son las anaeróbicas facultativas, se produce reacciones de conversión que va de nitrato a nitrito, seguida por la producción de óxido nítrico y gas nitrógeno.



d) Remoción de fósforo.

La remoción de fósforo en los sistemas de humedales se da por absorción, complejación y precipitación, se encuentra en las aguas residuales en forma de fosfatos, ya sea disueltos o en partículas. Su eliminación no es muy significativa (15 a 30%), los mecanismos de eliminación suelen ser de tipo biótico, (plantas y microorganismos), y abiótico (medio granular). El fósforo total en el influente del humedal es de 3-15 mg/L, en su mayoría como ortofosfatos (2-12 mg/L).

e) Remoción de metales pesados.

Los mecanismos de remoción para metales pesados son similares a la del fósforo, depende de factores como; asimilación de las plantas a los compuestos metálicos (cadmio, zinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc.), adsorción y precipitación.

Los metales acumulados en los humedales artificiales no presentan ninguna amenaza porque sus concentraciones en aguas residuales domésticas son bajas, donde el sistema puede trabajar tranquilamente en corto o a largo plazo.

f) Remoción de bacterias.

En esta área están las bacterias patógenas y los virus. Todos los patógenos son proporcionados de sobrevivir al menos un corto tiempo en aguas naturales, y en agua con temperaturas muy frías y con presencia de polución orgánica (como en las aguas residuales). La remoción de estos microorganismos está asentada en una combinación de los siguientes factores:

- Factores físicos incluyen la sedimentación, filtración, agregación y acción de la radiación ultravioleta.
- Factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas.
- Factores biológicos comprendidos por la predación, ataque por bacteriófagos y muerte.

Estudios realizados reportan remoción de bacterias (coliformes fecales: se ajusta a modelos de cinética de primer orden, eliminando gran parte de estos microorganismos en los primeros tramos del sistema de depuración 80%) y enterobacterias en humedales artificiales con eficiencia de remoción entre 98% a 99%.

Los coliformes fecales en condiciones anaeróbicas son más resistente a su eliminación. Estos microorganismos (aeróbicas y anaeróbicas) se debilitarán y/o eliminarán debido a los cambios bruscos del agua por ejemplo temperatura y pH, el cual no están acostumbrados a éstos cambios de medio.

1.3.2.4 Ventajas y desventajas de los humedales construidos.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial presentan gastos económicos debido a la permeabilización del sistema de tratamiento, aprovisionamiento del material (medio granular) e instalación y traslado del mismo.

Tabla 1-7. Ventajas y desventajas de los humedales construidos.

Parámetros	Flujo Superficial	Flujo Subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej.: lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera)	Para tratar flujos primarios (aguas pre-tratadas ej. Tanques imhoff, pozos sépticos y decantador primario).
Operación	Baja carga orgánica	Altas tasas de cargas orgánicas.
Olor	Puede ser controlado	No existe.
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción.	Buena, por acumulación de restos vegetales, en el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante.
Área	Requieren de mayores superficies.	Requieren de menores superficies.
Costo	Menor costo en relación al subsuperficial.	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar al precio hasta un 30%
Valor Ecosistema	Mayor valor como ecosistema para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna.	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna.
Usos generales	Son de restauración y de creación de nuevos ecosistemas.	Tratamiento de aguas residuales, principalmente.

Fuente: (Delgadillo et al, 2010).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Los sistemas de depuración de flujo horizontal corren mayor riesgo de colapsar en términos de circulación del agua (taponamiento del sustrato), por tanto, requieren que el agua a tratarse tenga menor material en suspensión. Otro de los puntos para que llegue a colapsar el sistema es la exagera utilización del agua en los que haceres domésticos.

1.4 Sistemas utilizados para el diseño y construcción de una PTAR.

1.4.1 Alcantarillado sanitario.

Los sistemas de alcantarillados son tuberías de grandes diámetros enterradas por donde circula las aguas residuales provenientes de las actividades humanas hacia una planta de tratamiento establecido, son de dos tipos convencionales y no convencionales. Dependiendo del tipo de alcantarillado que se aplique se debe tomar en cuenta las características de tamaño, topografía y condiciones económicas del proyecto (Comisión Nacional del Agua, 2009).

El diámetro mínimo que deberá usarse en sistemas de alcantarillado será 0,2 m para alcantarillado sanitario y 0,25 m para alcantarillado pluvial.

1.4.1.1 Selección del tipo de alcantarillado.

La selección del alcantarillado sanitario depende principalmente de los siguientes factores: (1) situación económica de la comunidad, (2) topografía, (3) densidad poblacional y (4) tipo de abastecimiento de agua potable existente. A continuación, se presenta los niveles para el diseño del alcantarillado:

- El nivel 1. Comunidades rurales (casas dispersas y calles sin ningún tipo de acabado).
- El nivel 2. Comunidades rurales (trazado de calles, tránsito vehicular y mayor concentración de casas)
- El nivel 3. Ciudades o comunidades más desarrolladas en las que los diámetros calculados caigan dentro del patrón de un alcantarillado convencional.

1.4.1.2 Conexiones domiciliarias.

Se debe contar con un plano de replanteo de obras, mediante el cual se podrá ubicar las tuberías, longitudes de diámetros, válvulas (tipos y sus diámetros). Las conexiones domiciliarias en alcantarillado tendrán una pendiente mínima de 1%, para evitar sedimentación de material, sobre todo cuando las conexiones intradomiciliarias son muy distantes.

Las conexiones domiciliarias se dan de dos maneras: (a) dentro (la conexión de la vivienda se realiza mediante una caja de inspección), el propietario del lote será responsable de las conexiones de sus instalaciones intradomiciliarias y (b) fuera del lote (la conexión de la vivienda se realizará mediante un accesorio de PVC tipo “T”, “Y” o codos.

Tabla 1-8. Diámetros de tuberías según su distancia.

Diámetro nominal de la tubería (mm).	Distancia máxima (m).
100-150	60
200	80
250 a 300	100
Diámetros mayores.	150

Fuente: (Instituto de Desarrollo e Investigación Construir (IDIC), 2009).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La profundidad para el tendido de las tuberías es definida en función del recubrimiento del mismo, garantizando una correcta conexión de tuberías en viviendas y a la red pública de alcantarillado.

Tabla 1-9. Profundidad del colector de acuerdo a su ubicación.

Ubicación del colector.	Profundidad mínima (m).
En lotes.	0,20-0,30
En las áreas verdes y veredas.	0,45-0,65
Red principal por la calzada de la vía pública.	0,85-1,00

Fuente: (Garido cardenas, 2008).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

1.4.1.3 Criterios de diseño del alcantarillado sanitario a tubo parcialmente lleno.

➤ Ecuación de Manning.

$$V = \frac{1}{n} * (R_H)^{2/3} * (S)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Donde:

V: Velocidad (m/s).

n: Coeficiente de rugosidad de Manning adimensional.

Rh: Radio hidráulico (m).

S Pendiente (m/m).

Se debe tener en cuenta 4 factores para determinar n: estimar el valor sobre la base del conocimiento de los factores que lo afectan; extraer el dato de tablas; estimar "n" en base a la similitud del caudal que se estudia; y determinar el valor de "n" mediante un proceso analítico.

➤ Ecuación de continuidad.

$$Q = A * V \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s).

A: Área de la sección (m²).

V: Velocidad (m/s).

➤ Ángulo central θ° (grado sexagesimal).

$$\theta^\circ = 2 \operatorname{arc} \cos \left(1 - \frac{2h}{D} \right) \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

Arc cos: Ship coseno.

h: Altura del agua (m).

D: Diámetro de la tubería (m).

➤ Radio hidráulico.

$$R_H = \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^\circ}{2 \pi \theta^\circ} \right) \quad \text{Ecuación 4-1}$$

➤ Velocidad.

$$V = \frac{0,397 D^{2/3}}{n} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^\circ}{2 \pi \theta^\circ} \right)^{2/3} * (S)^{1/2} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

➤ Caudal.

$$Q = \frac{D^{8/3}}{7257,17 * n * (2 \pi \theta^\circ)^{2/3}} * (2 \pi \theta^\circ - 360 \operatorname{sen} \theta^\circ)^{5/3} * (S)^{1/2} \quad \text{Ecuación 6-1}$$

- Relación de tirantes.

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} * \left[1 - \cos\left(\frac{\theta^{\circ}}{2}\right) \right] \quad \text{Ecuación 7-1}$$

- Relación de velocidades.

$$\frac{V}{V_{II}} = \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^{\circ}}{2 \pi \theta^{\circ}} \right)^{2/3} \quad \text{Ecuación 8-1}$$

- Relación de caudales.

$$\frac{Q}{Q_{II}} = \left(\frac{\theta^{\circ}}{360} - \frac{\operatorname{sen} \theta^{\circ}}{2 \pi} \right) * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^{\circ}}{2 \pi \theta^{\circ}} \right)^{2/3} \quad \text{Ecuación 9-1}$$

- Tensión tractiva.

$$\tau = \rho * g * R_H * S \quad \text{Ecuación 10-1}$$

Donde:

- τ :** Tensión tractiva media (Pa).
- ρ :** Densidad del agua (1000 kg/m³).
- g :** Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).
- R_H :** Radio hidráulico (m).
- S :** Pendiente del tramo de tubería (m/m).

- Tensión tractiva mínima.

$$\tau_{\min} = f * (\gamma_a - \gamma_w) * d_{90\%-95\%} \quad \text{Ecuación 11-1}$$

Donde:

- τ_{\min} :** Tensión tractiva referida a la resistencia del sedimento al movimiento (kg/m²).
- f :** Constante adimensional (0,04 - 0,8).
- γ_a :** Peso específico del material de fondo (arena), (kg/m³).

- γ_w :** Peso específico del agua (kg/m³).
- d:** Diámetro específico (m), del 90 % al 95 % de las partículas a ser transportadas.

- Pendiente mínima.

$$S_{\min} = \frac{\tau_{\min}}{\rho * g * \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{360 \text{ sen } \theta^\circ}{2 \pi \theta^\circ}\right)} \quad \text{Ecuación 12-1}$$

Donde:

- S_{\min} :** Pendiente mínima del tramo de tubería, (m/m).
- τ_{\min} :** Tensión tractiva mínima, (Pa).
- ρ :** Densidad del agua, (1 000 kg/m³).
- g :** Aceleración de la gravedad, (9,81 m/s²).
- D:** Diámetro del conducto, (m).
- θ° :** Ángulo, en grado sexagesimal.

- Velocidad crítica.

$$V_C = \sqrt[6]{g * R_H} \quad \text{Ecuación 13-1}$$

- Área mojada.

$$A_{\text{mojada}} = \frac{1}{8} * D^2 * (\theta^\circ - \text{sen } \theta^\circ) \quad \text{Ecuación 14-1}$$

- Perímetro mojado.

$$P_{\text{mojado}} = \frac{D_{\text{interior}}}{2} * \theta^\circ \quad \text{Ecuación 15-1}$$

1.4.2 Medición de caudales.

La medición o gasto de agua que pasa por una sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal de tubería, etc.) de agua se le conoce como aforo o medición de caudales. Existen muchos métodos para saber la cantidad de agua que fluye por la tubería, su elección depende de las condiciones de cada sitio.

1.4.2.1 Métodos para la medición de caudales.

a) Método volumétrico.

Consiste en llenar un recipiente (balde) del cual se conoce su capacidad, tomando el tiempo que tarda en llenarse. Luego se divide la cantidad de agua recolectada para el tiempo empleado en llenarse el recipiente. Para los caudales de más de 4 L/s, es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad y para caudales mayores, un recipiente de 200 litros, puede servir para corrientes de hasta 50 L/s. Su fórmula general es:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 16-1.}$$

Donde:

Q: Caudal (L/s).

V: Volumen (L).

t: Tiempo (s).

b) Método velocidad/ superficie.

El método velocidad/superficie consiste en medir la velocidad media de la corriente de agua y del área de la sección transversal del canal. Una forma sencilla de calcular la velocidad consiste en tomar el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer cierto tramo. La velocidad del agua que se desliza en una corriente o en un canal abierto está determinada por factores tales como: (a) pendiente o gradiente (1%), (b) rugosidad y forma. Todas estas variables influyen en la velocidad de la corriente del agua generando una ecuación empírica conocida como la fórmula de Manning, tal como sigue:

$$V = \frac{R_H^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

c) Método de vertedero.

El vertedero es un canal en el que se coloca una represa cuyo rebosadero puede adoptar distintas formas; el líquido represado alcanza distintas alturas en función del caudal, pueden ser rectangulares, triangulares o trapezoidales.

Estos sistemas son sencillos de construir, presenta características de bajo costo y un buen rango de precisión en líquidos que no contengan sólidos, este tipo de sistema se utiliza en plantas de tratamientos o grandes industrias, según las características físicas de la salida del efluente. Para caudales pequeños los vertederos triangulares son los más eficientes por su fácil construcción y consta de una simple vista de alturas. Para estos cálculos se utiliza la fórmula de Thomson:

$$Q = K * H^{\frac{5}{2}} \quad \text{Ecuación 17-1.}$$

Donde:

- Q:** Caudal (L/s).
- K:** Constante (1,40).
- H:** Altura del vertedero (cm).

1.4.3 Muestras de aguas residuales.

El responsable de la descarga realizará el muestreo y análisis de cada una de sus descargas, y los reportes estarán basados en determinaciones analíticas realizadas por un laboratorio que garantizan la confiabilidad de los resultados (acreditado). Se debe tener en cuenta los principios básicos para la toma de muestras: lugar, tiempo, frecuencia y técnica.

1.4.3.1 Tipos de muestras.

- a) Muestras simples.

Se toma en un tiempo y lugar determinado para sus respectivos análisis, y son utilizados para determinar parámetros de calidad del agua (potabilización y las aguas residuales). Estas muestras se realizan si el agua no presenta alteraciones y cuando no hay tiempo para tomar una muestra compuesta. Su volumen oscila entre 1 y 2 litros. Sirve para determinar parámetros como: pH, oxígeno disuelto, temperatura, etc., al instante y garantizar resultados confiables.

- b) Muestras compuestas.

Las muestras compuestas se refieren a una combinación de dos o más muestras simples tomadas en el mismo sitio, pero en diferentes tiempos. Para conformarlas el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma, esto requiere de más tiempo y equipos.

La ecuación general que se utiliza para calcular el volumen de una muestra compuesta requerida por unidad de caudal es la siguiente:

$$V_i = \frac{V}{n * Q_m} * Q_i \quad \text{Ecuación 18-1}$$

Donde:

- V_i:** Volumen de cada alícuota o porción de muestra (L).
- V:** Volumen total a componer (pueden ser 2 L).
- Q_m:** Caudal medio durante el muestreo (L/s).
- Q_i:** Caudal instantáneo de cada muestra (L/s).
- n:** Número de muestras tomadas.

En caso de desconocer la frecuencia de variación de los parámetros, se establece como frecuencia estándar la siguiente: para jornadas de un solo turno, por ejemplo, de 9 a 17, la recogida de la muestra se hace cada 30 minutos durante 8 horas, con recogida de 125 ml, hasta completar un volumen de 2 L, cantidad requerida para su posterior análisis de laboratorio.

Para realizar el control de las muestras ya sean simples o compuestas se debe contar con una libreta de apuntes en él que quedará registrada toda la información relativa a las observaciones de campo o de muestreo, a continuación, se menciona lo siguiente:

- a) Fecha y hora de recolección.
- b) Propósito de muestreo.
- c) Localización del punto de muestreo.
- d) Tipo de muestras simples-compuestas.
- e) Método de preservación, si es aplicable.
- f) Si es aguas residuales, identificar el proceso que produce el efluente.
- g) Número y volumen de las muestras tomadas.
- h) Observaciones e incidencias durante la toma de muestra.
- i) Responsable.
- j) Firma del personal responsable.

1.4.3.2 Hoja de remisión de muestras.

El personal del laboratorio debe asignar una hoja de remisión con la siguiente información:

- Nombre de la persona que recibe la muestra.
- Número de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Ensayos por realizar.

1.4.3.3 *Preservación de las muestras.*

En la preservación de las muestras nunca se puede lograr la perfecta estabilidad de todos sus constituyentes; y las técnicas de preservación únicamente pueden retardar los cambios biológicos y químicos, que continúan irremediablemente después de que la muestra se retira de su fuente. La muestra se debe refrigerar a aproximadamente 4°C, sin que las muestras se congelen.

1.4.4 *Población del proyecto.*

Es el número de habitantes servidos por el proyecto para el período de diseño, el cual debe ser establecido con base en la población inicial, y es necesario saber cuál es la posible distribución de la población, para lo cual se utilizan métodos tradicionales (aritmético, geométrico, exponencial y curva logística), en este caso se trabajó con la ecuación del método geométrico. Su cálculo depende de la tasa de crecimiento actual, estos datos se los encuentra en el INEC o en el plan de ordenamiento territorial de dicho sector a estudiar.

$$P_f = P_a \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n \quad \text{Ecuación 19-1}$$

1.4.5 **Caudal de diseño.**

Es el caudal que se calcula para la etapa inicial y final del proyecto, se debe considerar varios tramos que influyen tales como: caudal medio horario, caudal de infiltración y caudal de conexiones erradas.

$$Q_{\text{DISEÑO}} = Q_M * F + Q_{\text{INF}} + Q_{\text{CE}} \quad \text{Ecuación 20-1}$$

1.4.5.1 *Dotación.*

La dotación es el consumo diario de agua, que sirve para calcular los caudales de diseño (L/hab.día). Este parámetro de diseño debe ser obtenido sobre la base de la población y zona geográfica dada, incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público.

$$D = \frac{Q_{\text{Prom}} * 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}}{Pa}$$

Ecuación 21-1

1.4.5.2 Caudal medio.

Es el caudal de las aguas residuales que circula por una red de saneamiento. Para calcular el caudal medio se debe tener conocimiento del coeficiente de retorno (C). Este representa la relación que existe entre el caudal medio de las aguas residuales domésticas y el caudal medio del agua que consume la población, su valor está entre el 60% - 80% de la dotación de agua potable.

$$Q_{\text{Medio}} = \frac{Pf * D * C}{86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}}$$

Ecuación 22-1

1.4.5.3 Factor de mayoración o coeficiente de punta.

Su utilización debe cubrir factores que están ligados a los siguientes aportes: El tamaño del área servida, la densidad y la forma del área.

Tabla 1-10. Criterios para los factores de mayoración.

Coeficiente	Fórmula	Límites	Rango de alcance
Harmon	$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}$	Poblaciones de 1000 a 1000000 de habitantes.	$2 \leq M \leq 3,8$
Babbit	$F = \frac{5}{p^{0,20}}$	Poblaciones de 1000 a 1000000 de habitantes.	$2 \leq M \leq 3,8$
Flores	$F = \frac{3,5}{p^{0,10}}$	De acuerdo al número de habitantes (poblaciones menores a los 1000 hab).	Mayor o igual a 1,4
Los Ángeles	$F = \frac{3,53}{Q_{\text{med}}^{0,0914}}$	Para caudales medios diarios.	2,8 a 28300 L/s
Tchobanoglous	$F = \frac{3,70}{Q_{\text{med}}^{0,0733}}$	Para caudales medios diarios.	4 a 5000 L/s

Fuente: (RAS 2000: TÍTULO D, 2000).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

De acuerdo al tamaño de la población se escogió el coeficiente de flores, el cual estima “M” o “F” en función del número de habitantes.

$$F = \frac{3,5}{p_{0,10}} \quad \text{Ecuación 23-1}$$

1.4.5.4 Caudal de infiltración.

El caudal de infiltración se refiere a las aguas que ingresa en el subsuelo el cual penetra las redes de alcantarillado, a través de las paredes de tuberías defectuosas, uniones de tuberías, conexiones, y las estructuras de los pozos de visita, cajas de paso, terminales de limpieza, etc.

El coeficiente de infiltración varía según:

- La altura del nivel freático sobre el fondo del colector.
- Permeabilidad del suelo y cantidad de precipitación anual.
- Dimensiones, estado y tipo de alcantarillas y cuidado en la construcción de cámaras de inspección.

$$Q_{\text{Inf}} = C_{\text{Inf}} * H_a \quad \text{Ecuación 24-1}$$

1.4.5.5 Caudal de conexiones erradas.

Este tipo de caudal se presentada debido a los errores cometidos por parte de los trabajadores en los tendidos de tuberías del sistema de alcantarillado sanitario, conexiones intradomiciliarios, así como también las conexiones clandestinas de patios domiciliarios que incorporan el caudal al sistema de aguas pluviales. El caudal por conexiones erradas puede ser del 5% al 10% del caudal máximo horario de aguas residuales.

$$Q_{\text{CE}} = 0,1(Q_{\text{Med}} * F + Q_{\text{Inf}}) \quad \text{Ecuación 25-1}$$

1.4.6 Trampa de grasas (sumidero sifónico).

Una de las formas más simples y económicas para el primer procedimiento de la eliminación de las grasas y aceites se enfoca en aprovechar su flotabilidad, por lo que se realiza bajo el principio del sifón, los flotantes quedan retenidas en la superficie del líquido.

Por lo general en viviendas las utilizations de las trampas de grasa no son requeridas las cuales contemplen centros de preparación de alimentos como restaurantes, hoteles y cafeterías para atención de más de 50 personas.

Las trampas de grasa se ubican lo más cerca posible de la fuente de generación de estas sustancias (lavaplatos o similar) y antes del tanque séptico o sedimentador primario. Esta acción se realiza para evitar obstrucciones en las tuberías de desagüe y generación de malos olores por pegaduras en los tubos o accesorios de la red. Nunca deben conectarse aguas sanitarias a las trampas de grasas (Lozano Rivas, 2012).

Cuando las capas de grasa y de sólidos aumentan, el tiempo de retención en el tanque se reduce y las grasas tienen menos tiempo para separarse, lo que ocasiona que un porcentaje de la grasa se dirija a otro sistema (sedimentador primario rectangular, tanque imhoff, etc.) pudiendo provocar menos eficiencia en el tratamiento siguiente y por ende también obstruyen la salida del sistema que lleva a un colapso del tanque. Su mantenimiento se realiza de acuerdo a las condiciones de diseño lo más recomendado es cada 15 días para poblaciones pequeñas. Pero todo depende del tamaño del tanque, y de la materia orgánica que genera la población seleccionada.

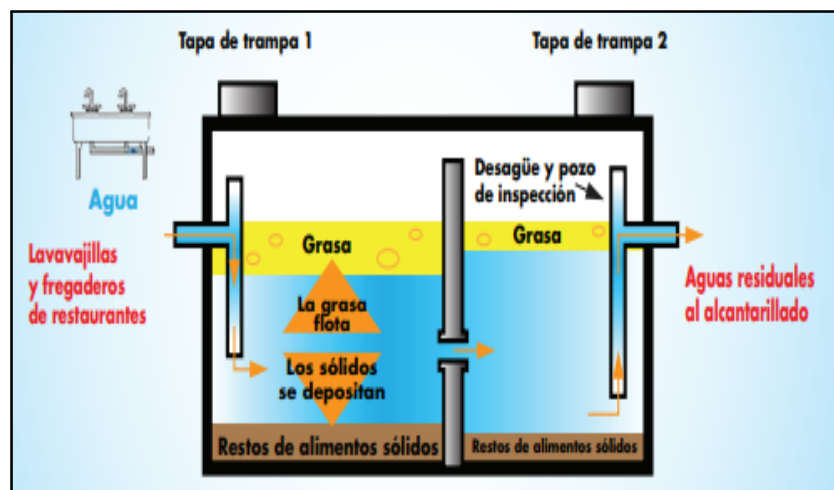


Figura 1-11. Componentes de la trampa de grasas.

Fuente: (Lozano Rivas, 2012).

Los porcentajes de remoción en grasas y aceites son del 90%, sólidos suspendidos y sedimentables 30%, DBO₅ 30%, DQO 25%, fósforo y nitrógeno 10%. Nunca debe diseñarse una trampa de grasa de un volumen inferior de 120 L. Los criterios de diseño, se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 1-11. Criterio de diseño para una trampa de grasas.

Característica	Valor o rango
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).	24 minutos
Relación Largo: Ancho.	Entre 2:1 y 3:2
Profundidad útil:	Mínima: 0,8 m Máxima: 2,0 m.

Dispositivos de ingreso y salida	“T” de 90° y mínimo de 3 pulgadas de diámetro.
Sumergencia del codo de entrada	Mínimo 0,15 m respecto del nivel de salida.
Borde libre	0,30 m (mínimo).

Fuente: (Lozano Rivas, 2012).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

1.4.6.1 Fórmulas aplicadas para el cálculo de la trampa de grasas.

➤ Área superficial

$$A_s = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ecuación 26-1}$$

Donde:

A_s: Área superficial (m²).

Q: Caudal (m³/d).

C_s: Carga superficial (m³/m².d).

- El ancho de la trampa de grasa, tiene una relación de ancho/largo que va de 1:4 a 1:18 según el reglamento (RAS 2000: TÍTULO E, 2000), y para su cálculo se aplica la siguiente ecuación:

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{4}} \quad \text{Ecuación 27-1}$$

- Por ende, el largo de la trampa de grasas y aceites es 4 veces mayor que el ancho y se calcula con la siguiente ecuación:

$$l_g = B * 4 \quad \text{Ecuación 28-1}$$

- El volumen del tanque: se obtiene multiplicando el largo, ancho y altura. En este caso la altura (h) se asume.

$$V = B * l_g * h \quad \text{Ecuación 29-1}$$

- El tiempo de retención hidráulica.

$$Trh = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 30-1}$$

- Altura útil del agua

$$H_{\text{útil}} = \frac{V}{As} \quad \text{Ecuación 31-1}$$

Se debe impedir el flujo de agua caliente por la trampa de grasas, pues el calor las diluye y permite que atraviesen la trampa sin ser retenidas en la misma. La acumulación de natas y espumas se produce de grasas a partir de las aguas grises y el uso de papel higiénico.

La altura de las natas no debe excederse los 150 mm por vivienda, con aproximadamente un 70% de la nata sumergida dentro de la fase líquida del tanque. Una tasa confiable de acumulación de natas puede ser de 3,5 litros/habitante-año. Las ecuaciones utilizadas para realizar los cálculos para el diseño de la trampa de grasas son pertenecientes a (Solis Rodríguez, 2014).

1.4.7 Sedimentador primario rectangular (decantador).

Los decantadores rectangulares son tratamientos primarios que consisten en balsas rectangulares donde el agua entra por uno de sus extremos, sale por el opuesto, siendo el flujo paralelo a la dimensión más larga, si estos decantadores son pequeños son proyectados sin equipos mecánicos. La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante ($V= 0,3$ m/s), son empleados para separar partículas densas y grandes (arenas) y suelen ser equipos poco profundos.

El agua residual debe permanecer en el sedimentador el tiempo necesario (1 a 2 horas) para que las partículas sólidas se depositen, se presenta problemas si el sedimentador es demasiado pequeño, bajando su eficiencia (depende de la velocidad de flujo y el tiempo de retención) de tratamiento o de remoción de sólidos sedimentables.

La carga superficial para un tratamiento primario varía desde $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, dependiendo de la naturaleza de los sólidos y el tratamiento requerido. A continuación, se menciona los problemas que afectan a la eficiencia del decantador:

- Tipo de sólidos: en caso de vertidos industriales.

- Edad del agua residual: un agua residual antigua no se sedimenta apropiadamente ya que forman burbujas de gases que favorecen a la flotación de sólidos.
- Caudal de agua residual: si es otro caudal el tiempo de retención se reduce y la sedimentación presenta menor eficiencia.
- Limpieza y condición mecánica del decantador: un pobre mantenimiento o equipamiento reduce la eficiencia de sedimentación.

En este sistema los sólidos suspendidos son eliminados en un 50 a 65%, los sólidos sedimentables cerca del 100% y la DBO₅ del 20 a 35%. Para el caso de tanques rectangulares la relación longitud-ancho debe estar entre 1/3 y 1/15. En el caso de tanques rectangulares se recomienda un rango de profundidades entre 2 y 5 m.

La profundidad depende del tipo de limpieza de lodos que se practique en la planta. Se recomienda una capa de lodos de 30 a 45 cm por motivos operacionales (RAS 2000: TÍTULO E, 2000). La pendiente de la solera de un decantador rectangular suele ser del 1-2 %.

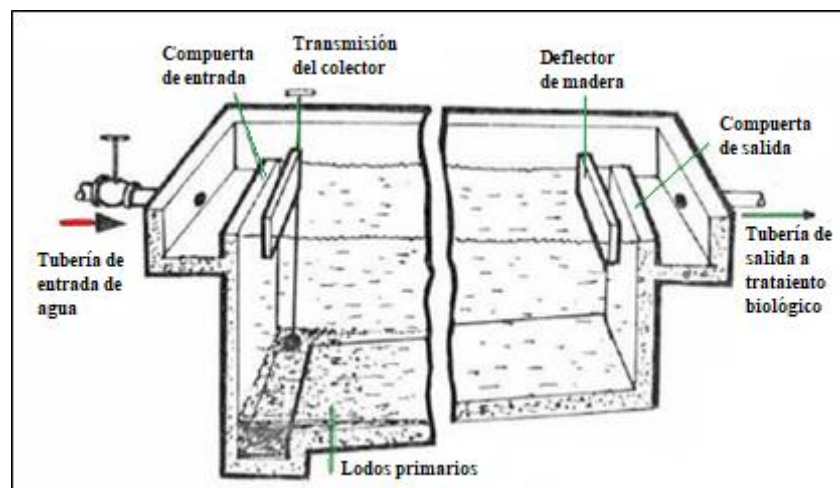


Figura 1-12. Componentes del sedimentador primario rectangular.

Fuente: (Lozano Rivas, 2012).

Las características que se deben considerar en el diseño de un sedimentador primario depende del caudal a tratar, cada una con diferente tiempo de retención, de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Para el tratamiento de caudales muy pequeños no se requiere de un tratamiento mecanizado, más bien se lo puede realizar manualmente, en estos casos, la pendiente es mucho mayor en la parte inferior del sedimentador (plancha o base), de tal forma que los sólidos suspendidos que llegan al fondo del tanque puedan dirigirse hacia la tolva.

Tabla 1-12. Número de unidades de sedimentación de acuerdo al consumo de caudal.

Rango de caudal (m ³ /d).	Número de cámaras.	Cámara.	Tiempo de retención (horas).	Tirante hidráulico Hp (m).
10 a 45	1	1 ^a	24	2,8
46 a 99	Se consideran dos módulos paralelos al rango anterior.			
100 a 199	2	1 ^a	16	3,5
		2 ^a	8	
200 a 700	3	1 ^a	16	3,8
		2 ^a	6	
		3 ^a	2	
701 a 1400	Se considera dos módulos paralelos al rango anterior.			

Fuente: (Lozano Rivas, 2012).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

1.4.7.1 Ecuaciones para el dimensionamiento del sedimentador primario rectangular.

Para realizar los cálculos se debe tener en cuenta varios factores mencionados anteriormente:

- Área superficial sedimentador.

Su unidad de medida viene expresada en (m²), Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$As = \frac{Q}{Cs} \quad \text{Ecuación 32-1}$$

- Ancho del sedimentador.

Para calcular el ancho (m) del sedimentador se tomó en cuenta la relación largo/ ancho 1/3, utilizando la siguiente ecuación:

$$B = \sqrt{\frac{As}{3}} \quad \text{Ecuación 33-1}$$

- Largo del sedimentador.

Su expresión se representa en metros (m), es tres veces mayor que el ancho del sedimentador y se determina con la siguiente ecuación:

$$lg = B * 3$$

Ecuación 34-1

- Volumen del tanque de sedimentación.

La unidad del volumen se expresa en metros cúbicos (m³), y se obtiene multiplicando el ancho, la profundidad y el largo. La profundidad es un valor que se trabaja mediante normas estandarizadas.

$$V = B * lg * h$$

Ecuación 35-1

- Tiempo de retención hidráulico.

Es el tiempo que tarda las partículas en avanzar la longitud del Sedimentador primario de manera horizontal de la parte entrante del sistema hasta su salida, se obtiene dividiendo el volumen sobre el caudal.

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

Ecuación 36-1

- Velocidad de arrastre.

$$V_A = \left[\frac{8 k (s - 1)gd}{f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 37-1

- Remoción de la DBO₅ y de SST.

Para conocer la eficiencia de remoción de la DBO₅ y de SST se debe conocer las constantes empíricas de a y b. ambas se calculan con la misma fórmula.

Tabla 1-13. Constantes empíricas.

VARIABLES.	a	b
DBO ₅	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017

$$\text{REMOCIÓN DBO}_5 = \frac{\text{Trh}}{a + (b * \text{Trh})} \quad \text{Ecuación 38-1}$$

- Altura máxima del sedimentador.

Para calcular la altura máxima se considera una pendiente del 10% en el fondo del tanque.

$$H_{\text{max}} = h + 0,1 * h \quad \text{Ecuación 39-1}$$

- Altura del agua sobre el vertedero.

$$H_v = \left(\frac{Q}{1,84 * B} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ecuación 40-1}$$

- Longitud total del tanque de sedimentación.

$$gT = lg + Bpd \quad \text{Ecuación 41-1}$$

1.4.7.2 *Calculo de la pantalla difusora.*

La pantalla difusora o deflectora separa la zona de entrada con la zona de sedimentación, poseen orificios (circulares, cuadrados o rectangulares), de acuerdo con el diseño, a través de los cuales circula el agua con una velocidad de sedimentación que no debe sobrepasar de 0.3 m/s. Las placas pueden ser de madera, plástico reforzado con fibra de vidrio, PVC o cualquier otro material que no emita sustancias peligrosas para la salud, se ubica a una distancia de 0,7 a 1 m de la pared de entrada. Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 ó 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo, (CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN C.E.C., 1992). Para aquello se aplica las siguientes ecuaciones:

- Área total de los orificios.

$$A_{To} = \frac{Q}{V_o} \quad \text{Ecuación 42-1}$$

- Área de cada orificio.

$$A_o = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \quad \text{Ecuación 43-1}$$

- Numero de orificios.

$$n = \frac{A_{To}}{A_o} \quad \text{Ecuación 44-1}$$

- Altura de la pantalla difusora.

$$H_{pd} = H - \left(\frac{2}{5} * H \right) \quad \text{Ecuación 45-1}$$

- Espacios entre filas de orificios.

$$a_1 = \frac{h_{pd}}{n_f} \quad \text{Ecuación 46-1}$$

- Espacios entre columnas de orificios.

$$a_2 = \frac{B_{pd}}{n_c + 1} \quad \text{Ecuación 47-1}$$

1.4.8 Eras o lechos de secados.

Los lechos o eras de secado es el método más simple y económico de tratar los lodos digeridos del sedimentador, lo cual resulta ideal para pequeñas poblaciones donde el agua es removida por evaporación y filtración a través del medio de drenaje ubicado en el fondo. Son construidos de concreto o de tierra (con diques), con una profundidad de 50 a 60 cm. El ancho comprende los 3 a 6 m, pero para instalaciones grandes pueden sobrepasar los 10 m. La arena (tamaño efectivo de 0.3 a 1.3 mm.) es el medio filtrante principal del sistema, debajo de ella se coloca un estrato de grava graduada hasta 20 centímetros de espesor.

En zonas de alta precipitación es recomendable añadir a la estructura un techo de protección que evite que el agua de lluvia ingrese al área destinada del lecho de secado, se debe evitar los lodos crudos ya que estos presentan serios problemas como, por ejemplo: malos olores y proliferación de insectos. Los lodos secos se deben sacar cada 10-15 días (pequeños sistemas de secado) y para sistemas grandes este tiempo es elevado que fluctúa entre los 20 y 30 días (tomando en cuenta las condiciones climáticas y meteorológicas). El área de descarga se debe mantener limpia y los drenajes de efluente lavados regularmente. Se debe remplazar la arena cuando la capa es delgada.

El lecho típico de secado es de forma rectangular poco profundo con fondos porosos colocados sobre un sistema de drenaje. Su diseño depende de diferentes factores como: clima, características y pre-tratamiento del lodo (Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua (EAWAG), s.f.).

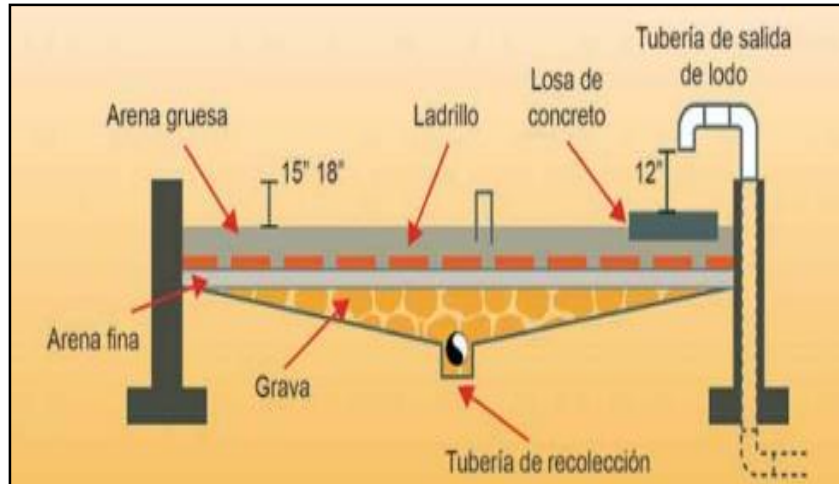


Figura 1-13. Componentes del lecho de secado.

Fuente: (Perú. Ministerio de ambiente, 2009).

Este sistema tiene una eficiencia de reducción de humedad en rangos que van de 90 a 95%. El lodo una vez alcanzado su tiempo de reducción de humedad en la era de secado esta se retira y se depositará en algún lugar de acopio o de disposición final (puede ser utilizado como abono para las plantas, dependiendo de su contenido de contaminante).

A continuación, se presenta una tabla donde se menciona las principales ventajas, desventajas y recomendaciones.

Tabla 1-14. Ventajas, desventajas y recomendaciones para el lecho de secado.

Ventajas	Desventajas
➤ No requiere de energía.	➤ Requiere de extensiones de terreno adicionales dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales.
➤ Es un proceso muy sencillo.	➤ Es un sistema muy dependiente de las condiciones climáticas.
➤ Los parámetros de deshidratación se controlan sin dificultad.	➤ Requiere de mano de obra para remoción del lodo.
➤ Los lodos una vez, estabilizados, pueden aprovecharse para compostaje.	➤ En zonas de inundaciones, si no están bien diseñados, pueden generar problemas.

Recomendaciones.
➤ Se debe considerar medidas de seguridad ante la presencia de los lodos frescos, para evitar proliferación de vectores.
➤ El área donde se ubique el lecho de secado debe ser lo más ventilada posible.
➤ Los líquidos que se generen en el proceso de secado deben ser retornados al sistema de tratamiento.

Fuente: (Perú. Ministerio de ambiente, 2009).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

1.4.8.1 Consideraciones para el diseño de los lechos de secado.

a) Geometría.

El lecho de secado es diseñado para retener el volumen de lodo removido del digester en una o más secciones. El sistema está conformado por los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros. Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0.5 y 0.9 m por encima de la arena, además se debe evitar que existan filtraciones laterales a través de los muros separadores.

b) Drenajes.

Para el proceso de filtración de los lodos se utiliza capas de grava (diámetro 3 a 25 mm) con una altura de 200 a 400 mm y arena (0,3 a 0,75 mm, tamaño eficiente 0,4 mm), con altura de 300 a 460 mm. La arena debe presentarse como: partículas limpias y duras, libres de arcilla, polvo, ceniza u otro material extraño y el coeficiente de uniformidad debe estar entre 3,5 y 4,0.

c) Recolección de percolados.

En esta etapa se utilizan tuberías de plástico de PVC con un diámetro de 100 milímetros y una pendiente no menor a 1%; deben tener una distancia entre 2.5 y 6 m, considerando el tipo de lodo a remover y se le coloca en el fondo del sistema. Se recomienda que los canales laterales de alimentación de las tuberías principales tengan un espaciamiento entre 2.5 y 3 m.

d) Necesidad de cobertura.

La cubierta garantiza que el lecho de arena está protegido de factores ambientales como: altas precipitaciones, humedad, etc.

En condiciones climatológicas favorables, la evaporación es más eficiente en los lechos descubiertos. En los lechos cubiertos la ventilación debe permanecer cerrada durante la etapa de escurrimiento, para mantener la temperatura, y abrirlas durante la etapa de evaporación para que se remueva el aire.

1.4.8.2 Dimensionamiento de las eras de secado.

Para el dimensionamiento del lecho de secado se realizó según la Guía Para El Diseño De Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas De Estabilización, es el siguiente:

- Determinar la carga de sólidos que ingresa al sedimentador.

Se estima la carga en función a la contribución per cápita de sólidos en suspensión, del modo siguiente:

$$\text{Contribucion percapita} = Q * SS * 0,0864 \quad \text{Ecuación 48-1}$$

$$C = \frac{\text{Población futura} * \text{Contribucion per cápita}}{1000} \quad \text{Ecuación 49-1}$$

- Determinar la masa de solidos que conforman los lodos.

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad \text{Ecuación 50-1}$$

- Determinar el volumen diario de los lodos digeridos.

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{\text{lodo}} * \left(\frac{\% \text{sólidos}}{100}\right)} \quad \text{Ecuación 51-1}$$

- Determinar el volumen de lodo a extraer del tanque

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad \text{Ecuación 52-1}$$

- Determinar el área del lecho de secado.

$$A_{ls} = \frac{Vel}{Ha} \quad \text{Ecuación 53-1}$$

1.4.9 Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

La información de este tipo de humedal se explicó en el apartado 1.3.2.1.2., literal a, en este ítem se explica más afondo los parámetros de diseño. Este sistema deberá tener una pendiente de 0 a 1% pero otras fuentes utilizan 2%. El tubo a utilizar debe ser perforado (distancia 5 cm y diámetro ½ cm) para facilitar la distribución del agua en el interior del humedal, Como norma general el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie en estos humedales.

La materia orgánica en estos sistemas es degradada por bacterias aeróbicas y anaeróbicas que se encuentran adheridos a las raíces y rizomas de las macrófitas junto con la superficie del medio con el que está construido el humedal.

El sistema se divide en tres secciones: la primera y tercera sección es de 1,5 m, en él se colocan las rocas y la sección 2 depende de los cálculos realizados por el proyectista, esta sección comprende de grava y arena.

Las plantas macrófitas emergentes se sembrarán en la sección 2, las raíces deben estar cerca del fondo, pero no pegadas al suelo, se sugiere 15 centímetros de distancia. En un metro cuadrado se siembra 3 plantas de pasto alemán. Las plantas del humedal deben ser podadas según se observe su crecimiento, esto porque las hojas secas u otros residuos al caer al lecho pueden provocar condiciones biológicas que modifiquen la eficiencia del humedal. (Zavala et al, s.f.).

1.4.9.1 Dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Para calcular el área superficial del humedal primeramente se debe conocer la constante de temperatura. El análisis de la DBO₅ de un agua residual suele hacerse a 20°C, también es posible determinar la constante de reacción de primer orden a otras temperaturas, utilizando la ecuación Van `t Hoff-arrhenius:

$$K_T = K_{20} * \theta^{T-20} \quad \text{Ecuación 54-1}$$

Los valores de coeficiente de temperatura se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1-15. Coeficientes de temperatura.

Temperatura (°C).	Valores de teta (d ⁻¹).
4-20	1,135
20-30	1,056

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

- Área superficial del humedal.

$$As = \frac{Q_D * \ln\left(\frac{C_0}{C_f}\right)}{K_T * h * n_p} \quad \text{Ecuación 55-1}$$

- Tiempo de retención

La retención hidráulica adecuada para alcanzar los niveles de contaminación deseados para la descarga a un cauce de río se determina de la siguiente manera:

$$trh = \frac{As * h * p}{Q} \quad \text{Ecuación 56-1}$$

- Ancho del humedal.

Para calcular el ancho del humedal se debe tener conocimiento de la carga hidráulica de los medios granulares que van ser utilizados.

Tabla 1-16. Características principales de los sustratos utilizados en los humedales.

Tipo de material.	Tamaño efectivo. D ₁₀ (mm).	Conductividad hidráulica, Ks (m ³ /m ² .d)	Porosidad n %
Arena gruesa.	2	100-1000	28-32
Arena gravosa.	8	500-5000	30-35
Grava fina.	16	1000-10000	35-38
Grava media.	32	10000-50000	36-40
Roca gruesa.	128	50000-250000	38-45

Fuente: (Delgadillo et al, 2010).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

- Con la siguiente ecuación de calcula el ancho del humedal.

$$w = \frac{1}{h} * \left(\frac{Q * As}{S * Ks} \right)^{0,5} \quad \text{Ecuación 57-1.}$$

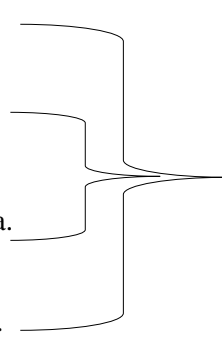
- Largo del humedal.

$$L = \frac{As}{w} \quad \text{Ecuación 58-1}$$

- Volumen del medio granular.

Para calcular el volumen del medio granular se hace por separado aplicando la misma ecuación para todos, por ejemplo:

- Volumen de arena.
- Volumen de grava fina.
- Volumen de grava media.
- Volumen de roca gruesa.



Vol = L * W * H Ecuación 59-1

1.5 Marco legal.

1.5.1 Constitución de la República del Ecuador 2008.

Decreto Legislativo 0, Registro Oficial 449.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 276.- numeral 4.- El régimen de desarrollo establece como objetivo recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

1.5.2 Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Decreto Supremo No. 374.

Art. 16.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

1.5.3 Ley de Gestión Ambiental.

Registro Oficial Suplemento 418 de 10-sep-2004, codificación 19.

Art. 19.- Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio.

Art. 42.- Toda persona natural, jurídica o grupo humano podrá ser oída en los procesos penales, civiles o administrativos, que se inicien por infracciones de carácter ambiental, aunque no hayan sido vulnerados sus propios derechos.

1.5.4 Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente.

Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2 de 31-marzo-2003.

El presente trabajo está regido bajo la norma TULSMA LIBRO VII ANEXO I, el cual consiste de 14 tablas específicamente para cada uso que se le da al agua.

Esta norma dice que toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos por la norma, estos valores de límites permisibles se encuentran en la tabla 12 y son mencionados a continuación:

Tabla 1-17. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros.	Expresado como.	Unidad.	Límites máximos permisibles.
Aceites y grasas.	Sustancias solubles en hexano.	mg/l	30,0
Alkil mercurio.		mg/l	No detectable.
Aldehídos.		mg/l	2,0
Aluminio.	Al	mg/l	5,0
Arsénico total.	As	mg/l	0,1
Barrio.	Ba	mg/l	2,0
Boro total.	B	mg/l	2,0
Cadmio.	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total.	CN ⁻¹	mg/l	0,1
Cloro activado.	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo.	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros.	Cl ⁻¹	mg/l	1000
Cobre.	Cu	mg/l	1,0
Cobalto.	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales.		Nmp/100 ml	2000
Coliformes totales.		Nmp/100 ml	5000
Color real.	Color real.	Unidades de color.	Inapreciable en dilución 1/20.
Compuestos fenólicos.	Fenol.	mg/l	0,2
Cromo hexavalente.	Cr ⁻⁶	mg/l	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días).	DBO ₅	mg/l	100
Demanda química de oxígeno.	DQO	mg/l	200
Di-cloro-etileno.	Di-cloro-etileno.	mg/l	1,0
Estaño.	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros.	F	mg/l	5,0

Fósforo total.	P	mg/l	10,0
Hierro total.	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos totales de petróleo.	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total.	Mn	mg/l	2,0
Material flotante.	Visible.		Ausencia.
Mercurio total.	Hg	mg/l	0,005
Níquel.	Ni	mg/l	2,0
Organofosforados totales.	Concentración de organofosforado totales.	mg/l	0,1
Nitratos + nitritos.	Expresado como N	mg/l	10,0
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos sedimentables.		mg/l	1,0
Sólidos suspendidos totales.		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1600
Sulfatos.	SO ₄ ⁻¹	mg/l	1000
Temperatura.	°C		<35
Tensoactivos.	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5

Fuente: (Ecuador. Ministerio de ambiente, 2013).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO.

2.1 Localización de la Parroquia San Luis de Armenia.

En el Ecuador, en la Región Amazónica, en el Cantón Francisco de Orellana, Provincia Orellana se encuentra ubicada la Parroquia San Luis de Armenia km 12, vía Coca-Loreto (sede matriz), cuenta con una población de 2266 habitantes de acuerdo al diagnóstico comunitario realizado en el 2014 incrementando el crecimiento poblacional en 1,9% durante los periodos 2010-2015. La Parroquia Armenia conforma 12 comunas reconocidas legalmente el 21 de enero del 2010 en el Registro Oficial N° 113, posee una extensión de terreno de 317.068 km² y con un rango altitudinal que varían de 250-386 msnm.

Tabla 2-1. Límites de la Parroquia San Luis de Armenia.

Norte	Parroquia San José de Guayusa, Parroquia Nuevo Paraíso.
Sur	Río Napo y Cantón Puerto Francisco de Orellana.
Este	Parroquia Urbana Francisco de Orellana, carretera de los campos petroleros hasta el empalme de la vía Coca – Puerto Francisco de Orellana
Oeste	Provincia de Napo, Cantón Puerto Francisco de Orellana confluencia de los ríos Paushiyacu y Payamino.

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana (GADMFO), 2015).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017

2.1.1 Macrolocalización.

El presente estudio técnico se realizó en la Parroquia San Luis de Armenia, comunidad Armenia, cantón Francisco de Orellana, Provincia de Orellana, cuenta con una población de 337 habitantes (175 hombres, 162 mujeres) según el diagnóstico comunitario realizado en el año 2014. El proyecto se ejecutó en el sector Centro de Rescate Cultural OMAWUA, a 100 metros de la escuela para niños con discapacidad Manuela Cañizares.

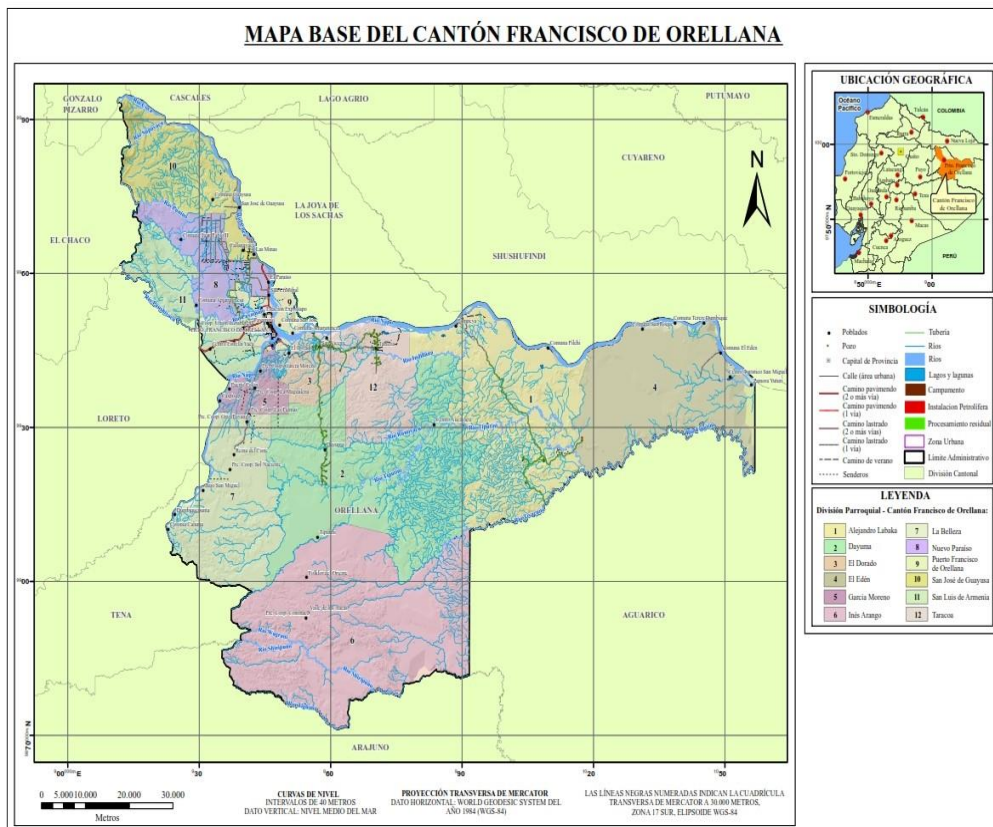


Figura 2-1. Localización del Cantón Francisco de Orellana.

Fuente: Hidalgo, I, Ismael & Aldeán, A., Wilman (enero 2013).

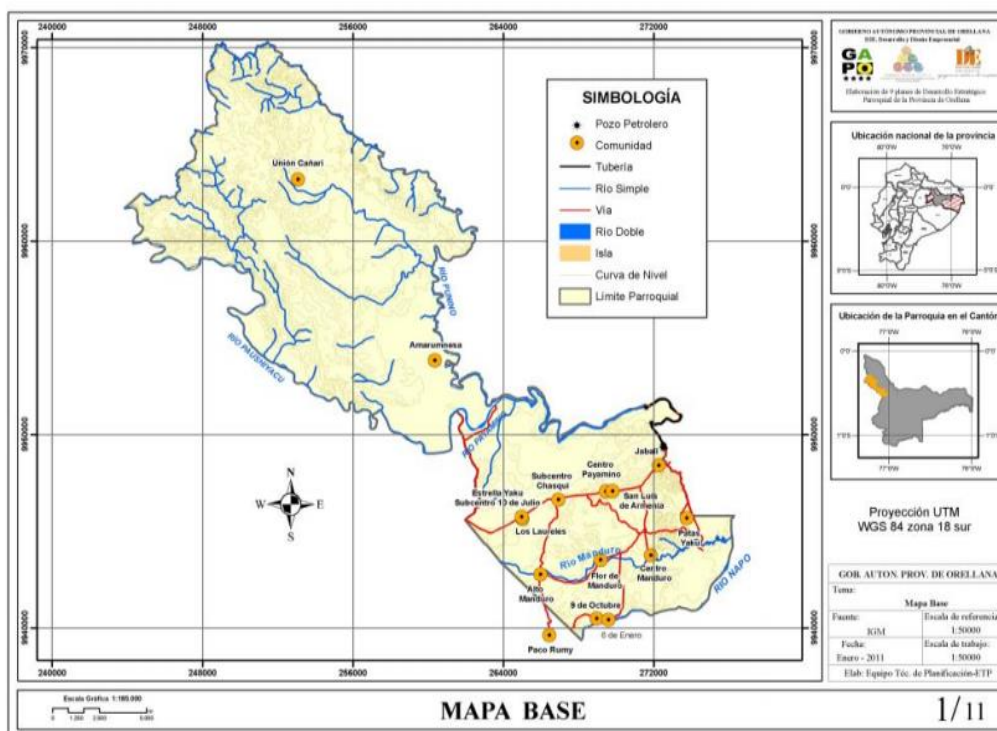


Figura 2-2. Asentamiento humano de la Parroquia San Luis de Armenia.

Fuente: GAP Parroquial San Luis de Armenia & GAP Provincial de Orellana 2015.

2.1.2 Microlocalización.

Se identificó las 5 viviendas establecidas en el anteproyecto, como sugerencia que estén lo más cercano posible para que el trabajo sea accesible y manejable al costo de los materiales, también se identificó el área para construir la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Este estudio preliminar se llevó a cabo en el terreno del señor César Andy y familia con un área de 0,53 hectáreas, ubicada junto a la escuela Elías Andy a 8 kilómetros de la ciudad del Coca.

Para llegar al lugar identificado se cuenta con un tiempo de recorrido de 10 a 15 minutos en transporte público (transporte Huaoranis, buses intercantonales y provinciales Gran Sumaco, Jumandy, Quijos, Flota Pelileo, El Dorado, etc.).



Figura 2-3. Área de influencia directa.

Fuente: (Google Earth 2017).

2.2 Tamaño de la población.

Las 5 viviendas preseleccionadas conforman una población de 25 habitantes beneficiarias. Se tomaron criterios técnicos, económicos y ambientales para la construcción de la PTAR domésticas por medio de humedales artificiales de flujo subsuperficial. A continuación se detalla los puntos para la ejecución del proyecto.

- Accesibilidad al lugar.
- Uniformidad del terreno.
- Disponibilidad de materiales (arena, grava, piedras, etc.)
- Ausencia de cobertura vegetal.
- Espacio disponible para la construcción de la planta de tratamiento.

2.3 Hidrología de Terreno.

Se apreció la existencia de un cuerpo de agua cercano al área de influencia aproximadamente a una distancia de 100 m del punto de descarga de las aguas residuales domésticas, coordenadas UTM 18S (X=272134; Y= 9947979), con una altura de 280 m.s.n.m., cerca del mismo se observó una vertiente de agua para el consumo humano sin un previo tratamiento.

2.4 Relieve y topografía de lugar.

De acuerdo a la disposición del propietario el área recomendada donde se construyó el sistema de tratamiento para depurar las aguas residuales domiciliarias presentan relieves o pendientes aproximadamente que van entre el 30 a 50% de inclinación.

2.5 Métodos.

2.5.1 Reconocimiento del lugar.

Se llegó al predio seleccionado, autorizado por el señor beneficiario Cesar Andy, mediante un dialogo se identificó las viviendas preseleccionadas, posterior se hizo el reconocimiento del área de estudio, identificando el destino de las aguas residuales, su modo de descargas.

Además se constató que el área donde se implantará la planta de tratamiento de aguas residuales no tenga exuberante vegetación, y que la dirección del viento no sea dirigida hacia las viviendas cercanas de caso que los sistemas emanen olores desagradables.

2.5.2 Determinación de la población.

Para la determinación de la población actual, se realizó una reunión con los jefes del hogar, donde se trató puntos como el tiempo de iniciación del proyecto, la accesibilidad al agua y energía eléctrica y sobre todo la cuantificación de habitantes que conforman cada hogar del cual se sostuvo la población con la que se iniciará a obtener la población de diseño.

2.5.3 Caudal teórico.

En esta etapa se aplica la ecuación del régimen permanente o ecuación de continuidad (caudal= velocidad x el área de la sección transversal). Las velocidades son establecidas de la siguiente manera: velocidad máxima 3 m/s y velocidad mínima 0,6 m/s, todo aquello para evitar la sedimentación de los sólidos de mayor tamaño.

2.5.4 *Sistemas de alcantarillados sanitarios.*

Para su ejecución se tomó en cuenta los siguientes factores.

- Se aplicó las redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos ya que la población estudiada es muy pequeña y en si se utiliza tuberías de 50 mm.
- Se realizó un diagnóstico para obtener una estimación objetiva del funcionamiento hidráulico y ambiental del sistema del alcantarillado.
- Se midió la longitud de los tramos para conocer la cantidad de tuberías a utilizar, luego se identificó el número accesorios (codos, “T”, “Y” y pega tubos).
- Se utilizó piola para tomar líneas rectas en cada tramo.
- Los materiales a utilizar se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-2. Materiales y herramienta para el tendido de tuberías.

Materiales	Equipos/herramientas
Tubos de PVC 3”.	Pala.
Codos de 90°, 45° PVC.	Machete.
“T” e “Y” PVC.	Segueta.
Reducciones.	Flexómetro.
Pega tubo.	Nivel.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

- Una vez hecho los cálculos de materiales a ser utilizados, se cavó zanjas de 25 a 30 cm de profundidad de acuerdo a las condiciones del lugar, con una pendiente del 1%.
- Se procedió al recorte y tendido de las tuberías.
- Caja de revisión.
- Plancha para recolectar el agua y dirigir hacia la tubería.
- Ubicación de una rejilla de tubo.
- Instalación de sifones.
- Posterior se realizó el recubrimiento del tendido de tuberías con tierra.
- La parte final de la tubería o sitio de descarga de las aguas residuales se ubicó donde inicia la pendiente del terreno.
- Se constató que el terreno no era completamente plano ya que eso facilitó el trabajo, en partes planas se utilizó un nivel para aplicar la caída o pendiente. Una vez instala el sistema de alcantarillado y las conexiones domiciliarias se procedieron a cubrir las zanjas.

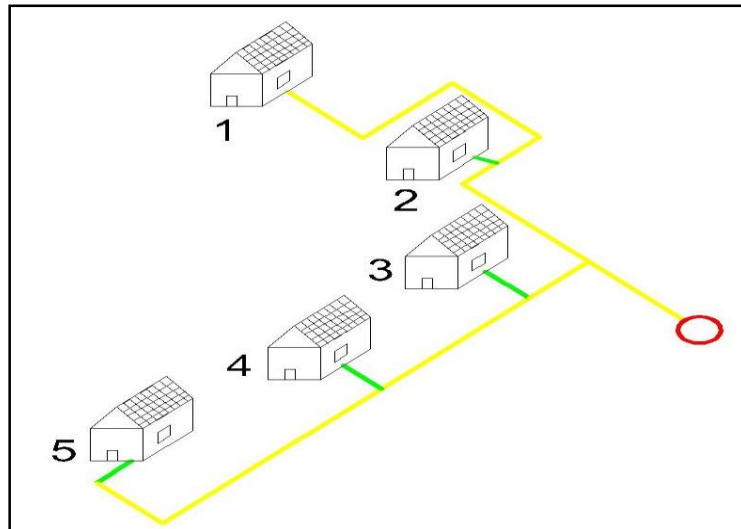


Figura 2-4. Sistema de conexiones de tuberías.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

2.5.5 Mediciones de caudales.

La medición de caudales de las aguas residuales domésticas (aguas grises) se realizó mediante el método volumétrico, utilizando un recipiente de volumen conocido en este caso 10 litros, del cual se consideró el tiempo que demora en llenarse el recipiente (balde).



Gráfico 2-1. Medición de caudales por método volumétrico.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Los datos de caudales obtenidos por hora se anotaron en la libreta de apuntes, esta medición se realizó durante 7 días consecutivos del mes de julio del presente año en un periodo de 16 horas diarias, empezando de las 5 am hasta las 9 pm. Se tomó la temperatura del agua residual y la temperatura ambiental con el termómetro Hach en las horas picos.

Tabla 2-3. Materiales y equipos para la medición de caudales.

Materiales	Equipos/herramientas
Balde de 10 litros.	Cronómetro.
Guantes de látex.	Cámara fotográfica.
Libreta de apuntes.	Termómetro Hach.
Esferos azul y negro.	GPS

Realizado por: Guido Chimbo Y Gustavo Montero 2017.

2.5.5.1 *Recolección de muestras, etiquetado y transporte.*

Las muestras fueron tomadas en un punto específico con sus respectivas coordenadas UTM 18S (X= 272092.47; Y= 9948022.46), por cada hora se obtuvieron varias muestras simples de 200 ml todo aquello hasta las 5:00 pm, estas muestras simples fueron vaciadas en un recipiente de 50 litros hasta ir formando una muestra compuesta del cual se tomó 2 litros de aguas grises en botella de vidrio ámbar y 120 ml en recipiente plástico sumamente esterilizado para el análisis bacteriológico, este proceso se realizó los días lunes, miércoles, viernes, sábado y domingo.

Para recolección de las muestras se verificó que el envase de vidrio este limpio, que no contenga preservantes para evitar que se alteren las propiedades físicas-químicas del agua residual. Las muestras debidamente etiquetadas (hora, fecha, coordenadas, lugar, tipo de muestras y responsable) y refrigeradas (bolsas de hielo) fueron colocadas en un cooler para su posterior traslado de manera inmediata al laboratorio (AQLAB), para garantizar la confiabilidad de los resultados.



Gráfico 2-2. Recolección, etiquetado y transporte de muestras.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

2.5.6 Caracterización físico – química y microbiológica del agua residual.

La caracterización de las aguas residuales se fundamenta en métodos analíticos dentro de las cuales tenemos los métodos cuantitativos que se utiliza para determinar las características químicas y microbiológicas, y cualitativos para el conocimiento de las características físicas de las aguas residuales.

Dentro de las características físicas de las muestras de aguas residuales domésticas (aguas grises) a ser analizadas del sector OMAWUA tenemos: sólidos totales, sólidos sedimentables y la turbiedad. Las características químicas tales como: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, tensoactivos, pH, nitratos, fosfatos y conductividad eléctrica, y dentro de las características biológicas se encuentra los coliformes totales. Los métodos utilizados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-4. Métodos para los análisis físicos, químicos y bacteriológicos del agua residual.

Parámetros	Método de Ensayo AQLAB	Referencia
Potencial hidrógeno.	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H ⁺ B
Sólidos sedimentables.	ITE-AQLAB-05	SM 2540 F
Sólidos totales.	ITE-AQLAB-03	SM 2540 B
Turbidez.	ITE-AQLAB-22	HACH 8237
Conductividad Eléctrica.	ITE-AQLAB-02	SM 2510 B
Aceites y Grasas.	ITE-AQLAB-13	EPA 418.1, 1664
Nitratos (NO ₃).	ITE-AQLAB-17	HACH 8039
Fosfatos.	ITE-AQLAB-51	HACH 8048
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D
Demanda química de Oxígeno (DQO).	ITE-AQLAB-07	HACH 8000
Coliformes Totales.	ITE-AQLAB-28	SM 9222 B
Tensoactivos.	ITE-AQLAB-18	HACH 8028

Fuente: Laboratorio AQLAB, 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

2.5.7 Propuestas

De acuerdo a los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad San Luis de Armenia sector Centro de Rescate Cultural OMAWUA se propone los siguientes sistemas de tratamientos: trampa de grasas y

aceites, sedimentador primario rectangular, lecho de secado y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. El sistema completo, degradará la materia orgánica y eliminará la proliferación de microorganismos patógenos presentes en el agua.

2.5.8 Dimensionamiento de la PTAR domésticas del sector OMAWUA.

El dimensionamiento de la planta de tratamiento para las aguas residuales por medio de humedales artificiales generadas en el Centro de Rescate Cultural OMAWUA (Elías Andy), comunidad San Luis de Armenia se realizó mediante la descripción metodológica de la siguiente manera:

- Espacio disponible para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Condiciones ambientales y socioculturales.
- Identificación de la población con la que se va a trabajar.
- Datos oficiales de caudales realizados por el método volumétrico.
- Caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales, realizados en el laboratorio, empleando los valores comparativos de la norma ambiental vigente, (TULSMA LIBRO 6 ANEXO 1 TABA 12), para el cálculo del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.
- Temperatura del agua residual, esto se realizó durante los 7 días de muestro.
- Coordenadas geográficas para identificar el lugar, el punto de muestreo y los diferentes sistemas de tratamiento (trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular, era de secado, humedal y el afluyente en este caso esteros o ríos).
- Fórmulas para calcular el dimensionamiento de cada uno de los sistemas de tratamientos de aguas residuales.
- Se tomó mucho en cuenta las cifras significativas y sus reglas.

2.5.9 Elaboración de planos.

Ya obtenidos los resultados de los cálculos para el dimensionamiento de los diferentes sistemas de tratamientos se procedió a la elaboración de los planos para lo cual se utilizó un bosquejo de todos los sistemas, luego se procedió a hacer los planos por separado en el programa AUTOCAD, para facilitar la interpretación del mismo.

Cabe recalcar que los datos de los cálculos en primera instancia se realizaron manualmente en un cuaderno, luego se transcribió en el programa EXCEL para la mejor visualización del mismo.

Se elaboró los planos de manera individual y un plano general aplicando las escalas correspondientes para su posterior aplicación en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

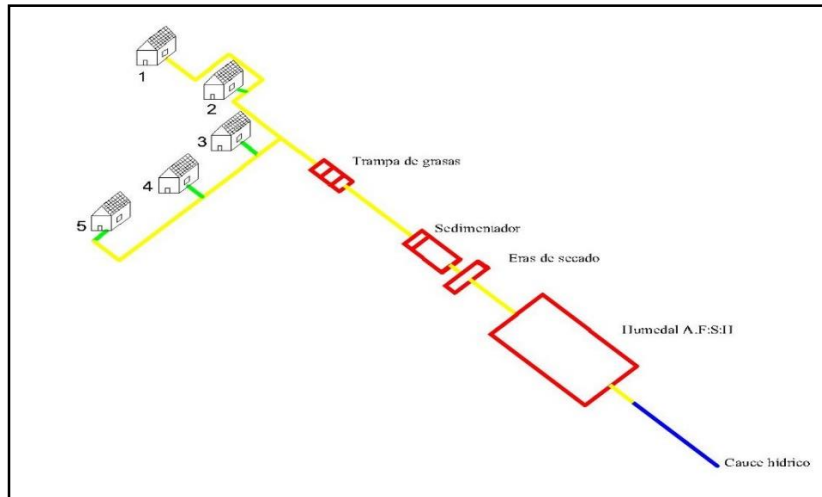


Figura 2-5. Bosquejo de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

2.5.10 Construcción de la PTAR domésticas del sector OMAWUA.

Para la construcción de la PTAR domésticas del sector OMAWUA, primeramente se determinó la población de diseño y el caudal de diseño del cual parte la ejecución de cada uno de los sistemas de tratamientos.

2.5.10.1 Trampa de grasas y aceites.

Para la construcción de la trampa de grasas y aceites primeramente se tomó en cuenta los aspectos medio ambientales, luego la distancia entre las viviendas cercanas y el sistema. La ubicación del sistema se dio en el punto de descarga de las aguas residuales, coordenadas UTM 18S (X= 272092.47; Y= 9948022.46). En esta etapa de construcción se utilizó los siguientes materiales y equipos.

Tabla 2-5. Materiales y equipos para la construcción de la trampa de grasas.

Materiales	Equipos/herramientas
Cemento Chimborazo.	Flexómetro.
Bloque de 10 cm.	Machete.
Arena.	Carretilla y pala.

Tubo de PVC 3"	Nivel, plomada.
Codo 90° y "T" de 3"	Escuadra
Pega tubo y teflón.	Segueta.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Una vez identificado el área disponible se procedió a cuadrar las dimensiones correspondientes y a excavar la altura de 1 metro. Ya completado el sistema de pretratamiento (pegado de bloque ubicación de tuberías), se enlució la parte interior y exterior del sistema y como toque final se procedió a pastear la pared interior con cemento puro para evitar las infiltraciones del agua residual.

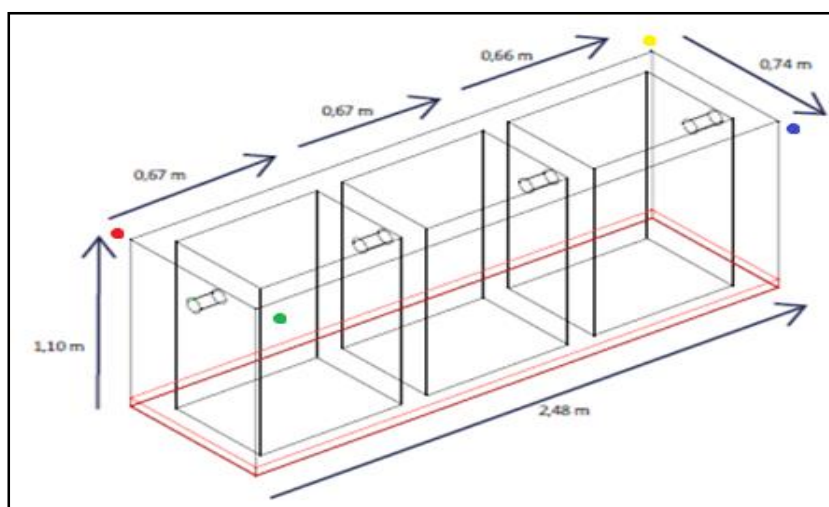


Figura 2-6. Medidas de la trampa de grasas.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Para garantizar su ubicación se tomó las coordenadas del sistema de los cuatro puntos utilizando GPS.

- Rojo (punto 1): X= 272080; Y= 9948024.
- Verde (punto 2): X= 272082; Y= 9948025.
- Azul (punto 3): X= 272083; Y= 9948021.
- Amarillo (punto 4): X= 272083; Y= 9948023.

2.5.10.2 Sedimentador primario rectangular.

En este sistema se desbrozó (rozar) el área para la construcción y se cuadró utilizando estacas en los cuatro lados con su respectivo templado de piola, los materiales utilizados se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla 2-6. Materiales y equipos para la construcción del sedimentador.

Materiales	Equipos/herramientas
Cemento Chimborazo.	Flexómetro.
Zarandeado (piedras 1" + arena fina).	Machete.
Tubo de PVC 4"	Pala.
Codo 90° 3 y 4"	Nivel, plomada, escuadra.
Pega tubo.	Motosierra.
Tablas, varengas, calvos.	Segueta.
Malla soldado de 4 mm.	Escalera.
Hierro de 12 mm	Carretilla

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Luego se procedió a la excavación de acuerdo a las dimensiones establecidas ubicando una pendiente del 10% hacia la parte por donde fluiría el agua residual, se realizó la base en el cual se ubicó una tubería de 4" dirigida al lecho de secado.

Una vez hecha la plancha se ubicó los tableros para la fundición del sistema, dentro de ello se ubicó varillas de 12 mm y una plancha de malla electrosoldada de 4 mm. La selección del grosor de la pared (10 cm) se escogió debido a las experiencias del maestro albañil.

Se esperó 8 días para retirar los tableros, y comenzar la construcción del vertedero de entrada, se cubrió las paredes laterales con tierra para darle soporte al sistema. La parte interior del tanque de sedimentación se pasteo para evitar las infiltraciones.

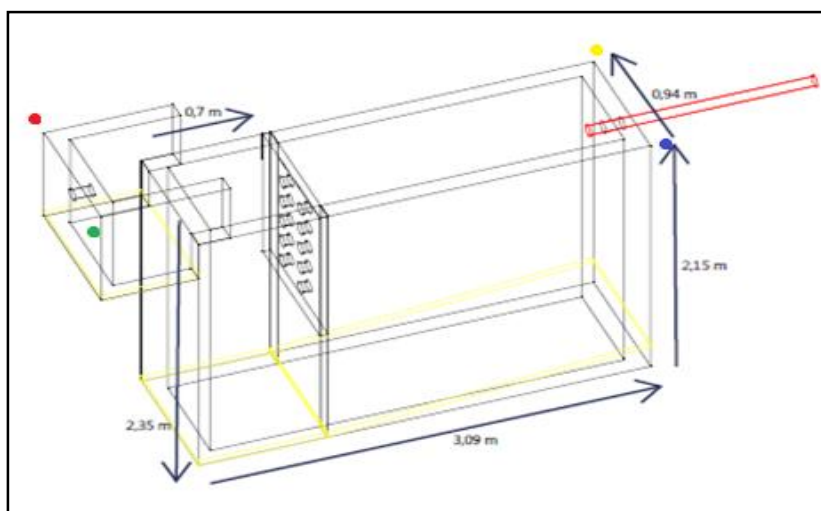


Figura 2-7. Medidas del sedimentador primario rectangular.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En la parte superior del sedimentador se colocó una tubería de 4 pulgadas direccionado al lecho de secado para la circulación del agua residual hacia el humedal.

En esta etapa de construcción la pendiente del terreno ayudo considerablemente, ya que no se tuvo que cavar mucho para la construcción del sistema. De igual manera que el sistema anterior se tomaron las coordenadas de referenciación (UTM 18S) de los 4 puntos para especificar su ubicación.

- Rojo (punto 1): X= 272091; Y= 9948016.
- Verde (punto 2): X= 272091; Y= 9948015.
- Azul (punto 3): X= 272094; Y= 9948013.
- Amarillo (punto 4): X= 272095; Y= 9948016.

Para que el sistema garantice eficiencia en su tratamiento se instaló una placa difusora de 1,30 m de altura incluido el borde libre, ancho 0,7 m y espesor 5 cm, en él se hicieron 12 orificios de diámetro de 3 pulgadas. La placa difusora se construyó de madera por lo económico que presento este material.

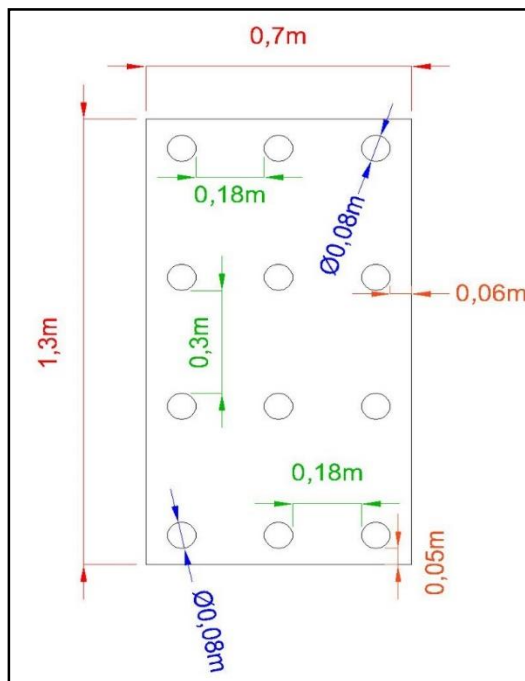


Figura 2-8. Dimensiones de la placa difusora.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La finalidad de la placa difusora es evitar que el agua residual que fluye sobre el sedimentador que fluye sobre el sedimentador primario vaya de forma turbulenta y desprenda los sólidos sedimentables del fondo del tanque.

2.5.10.3 Eras o lechos de secado.

En esta etapa de construcción se limpió el área de estudio, posterior se cuadró las dimensiones establecidas por los cálculos realizado y por ende se excavo a una altura de 0,7 metros. En la parte inferior del sistema se aplicó pendientes del 5% en forma de cono, ubicando una tubería de 4" en el centro.

Luego se procedió al forrado del sistema utilizando geomembrana para evitar las infiltraciones de las aguas residuales hacia las aguas subterráneas, se ubicó una válvula y para cubrir el sistema se utilizó medio granular (grava de 1", grava de 3/8" y arena). Se construyó una caseta para evitar que las precipitaciones demoren su secado, en los bordes se ubicaron sacos con tierra para evitar que entren escombros o la misma tierra al sistema.

Debido a las constantes precipitaciones que se da en la ciudad del Coca-Orellana y a la pendiente que posee el terreno del sector OMAWUA, se cabo zanjas o canales para evitar que el agua pluvial colapse el sistema de secado.

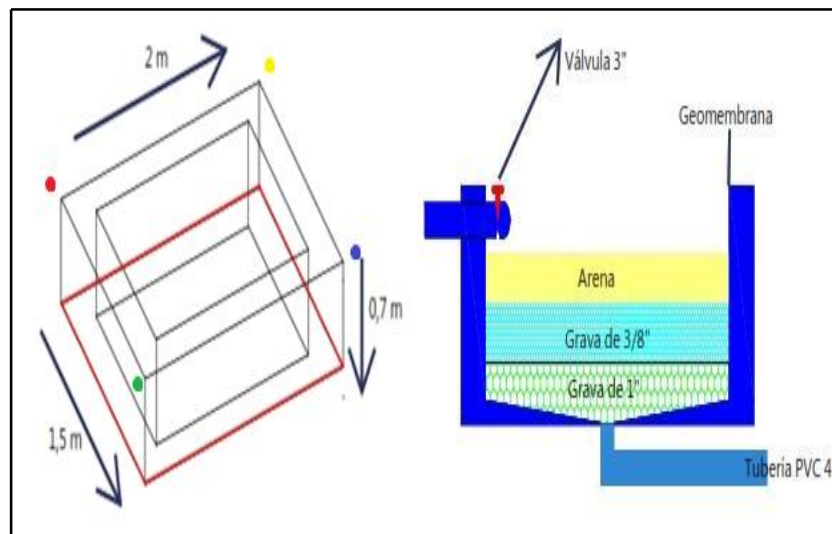


Figura 2-9. Medidas y componentes del lecho de secado.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La función de la era de secado es retener la materia orgánica descompuesta del sedimentador, dándole uso como abono orgánico para las plantas. El Substrato se ubicó a una altura de 0,5 m de altura y junto a la válvula de salida de lodos del sedimentador se ubicó una plancha de 30 cm x 30 cm x 5cm (largo x ancho x altura) para amortiguar la fuerza con la que sale el lodo y evitar que la capa de arena se disperse formando una especie de agujeros.

Tabla 2-7. Equipos y materiales para la construcción de la era de secado.

Materiales	Equipos/herramientas
Cemento Chimborazo.	Flexómetro.
Zarandeado (piedras 1” + arena fina).	Machete.
Tubo de PVC 4”	Pala.
Codo 90° y “T” de 4”	
Pega tubo y teflón.	
Válvula de 3”	
Piedra, grava 1”, grava 3/8” y arena.	
Geomembrana.	

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Para finalizar la construcción del lecho de secado se tomaron las coordenadas en los cuatro lados del sistema: coordenadas (UTM 18S).

- Rojo (punto 1): X= 272091; Y= 9948016.
- Verde (punto 2): X= 272091; Y= 9948015.
- Azul (punto 3): X= 272094; Y= 9948013.
- Amarillo (punto 4): X= 272095; Y= 9948016.

2.5.10.4 Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal

Para la construcción del humedal artificial se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 2-8. Materiales y equipos para la construcción del humedal.

Materiales	Equipos/herramientas
Cemento Chimborazo.	Flexómetro.
Bloque de 10 cm	Machete.
Tubo de PVC 4”	Pala.
Codo 90° y “T” de 4”	Carretilla.
Pega tubo.	Palilla.
Zinc, alambre.	
Piedra, grava 1”, grava 3/8” y arena.	
Geomembrana.	

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

- Como primer paso se realizó la limpieza, nivelación (se cuadró las dimensiones con su respectivo templado de piola) y excavación del humedal de dimensiones conocidas, esta etapa de construcción tuvo una duración de 15 días ya que se trabajó manualmente por las condiciones del terreno.
- Como segundo paso se instaló la tubería de 4" a la salida del humedal, tomando en cuenta una altura de regulación de agua residual en el sistema (0,75 metros), ya sobrepasado esa altura el agua tratada sale hacia un cauce hídrico cumpliendo con la normativa ambiental ecuatoriana vigente de límites permisibles de descargas de aguas residuales hacia un cuerpo de agua dulce.
- Como tercer paso se procedió a forrar y/o impermeabilizar el humedal, con la geomembrana, y para culminar esta etapa se utilizó un pegamento específicamente para la geomembrana y se pegó los cortes u espacios, todo aquello para evitar que se genere fugas de aguas residuales hacia el manto freático.
- El cuarto paso, el más complicado, por la pendiente que presentaba el terreno el cual no facilitó realizar una buena labor, se instalaron canaletas hechas de zinc desde la trampa de grasas hasta el humedal para transportar el material por ese sistema con ayuda de agua. En un día se bajó piedras de 10-13 cm; el segundo día las gravas de 1" y 3/8" y el tercer día la arena, que fueron ubicados en el humedal de acuerdo a los cálculos establecidos. Por cada etapa de ubicación del medio granular en el humedal se lavó las piedras y las gravas con ayuda de una motobomba.

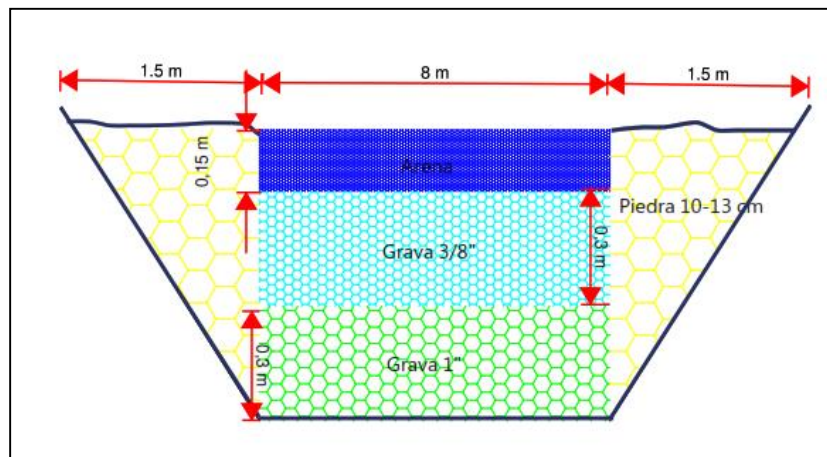


Figura 2-10. Esquema de ubicación del medio granular

Realizado por. Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

- El quinto paso consistió en conectar dos tuberías de 4" en lo ancho del humedal, en cada tubería se hicieron agujeros de 1" a una distancia de 20 cm, estas conectan al sedimentador primario y la era de secado. Las tuberías se nivelaron para la buena distribución del agua residual a lo ancho del humedal.

- El sexto paso se dio un previo lavado al humedal durante 3 horas por dos días, luego se conectaron las tuberías a todos los sistemas (trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular, era de secado, y humedal) para la distribución completa del agua residual en la planta de tratamiento de aguas residuales.

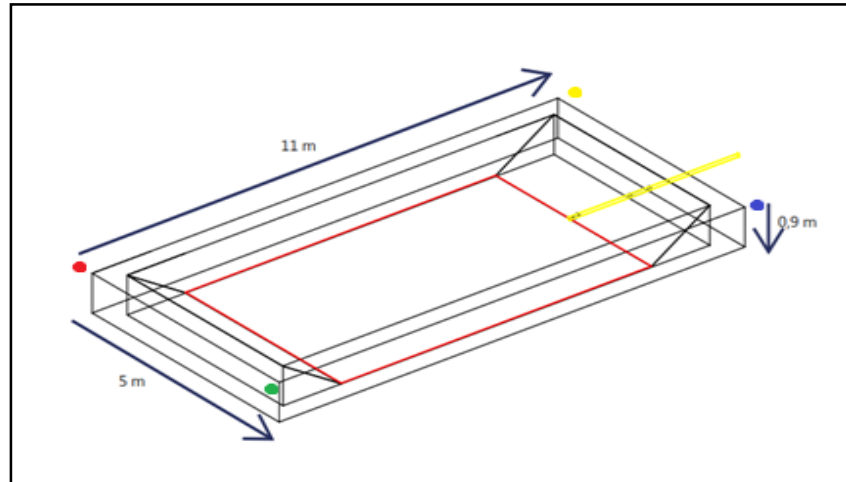


Figura 2-11. Medidas del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

- El séptimo paso consistió en sembrar la planta de pasto alemán en tallos de 20 cm de alto, estas plantas fueron idas a traer de la planta de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales del Cantón Francisco de Orellana, ubicada a 3 km de la ciudad, vía aucas. Esto se debe a que la planta (pasto alemán) no tenga dificultades de adaptación a nuestro humedal y su proceso de crecimiento sea rápido.

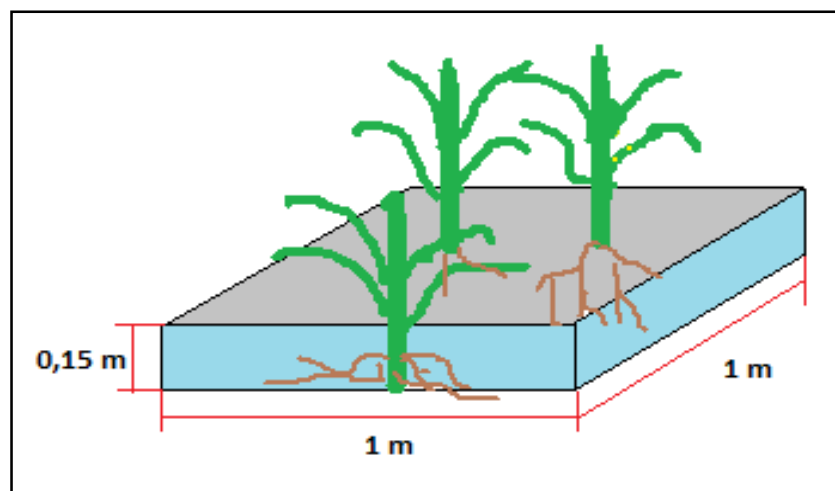


Figura 2-12. Modelo de plantación del pasto alemán

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En un metro cuadrado se sembró tres tallos de pasto alemán con profundidad de 0,15 m, el área fue de 28 m² de humedal, para lo cual se necesitó 84 plantas. Se tomaron las siguientes coordenadas para localizar el humedal.

- Rojo (punto 1): X= 272098; Y= 9948006.
- Verde (punto 2): X= 272101; Y= 9948005.
- Azul (punto 3): X= 272108; Y= 9948006.
- Amarillo (punto 4): X= 272100; Y= 9948012.

El estero se encuentra a unos 20 metros del humedal en donde el agua tratada sigue su curso hasta ese lugar. Mediante su georeferenciación pudo identificar el punto de descarga (coordenadas UTM 18S: X= 272134; Y= 9947979).

2.5.11 Operación y mantenimiento de la PTAR domésticas.

2.5.11.1 Operación.

Para poner en marcha la Planta de tratamiento primeramente se constató que todos los sistemas estén debidamente acabados (enlucida, pasteado con cemento puro, etc.). Luego se procedió a conectar los sistemas para la distribución del agua residual.

Se verificó que el pretratamiento (trampa de grasas y aceites), tratamiento primario (sedimentador rectangular), tratamiento secundario (lechos de secado y humedal artificial) no generen fugas y cumplan con las funciones de descontaminación del agua residual.

El sistema de tratamiento ya funcionando, se esperó 3 o 4 meses para realizar los respectivos análisis de comprobación de los resultados (5 análisis con los mismos parámetros de antes del tratamiento). En ese tiempo cada tres días se realizaba la inspección del sistema de tratamiento de aguas residuales. Se regaba agua a las plantas debido a que la temperatura del sol era muy fuerte y eso dificultaba la adaptación del pasto alemán al sistema.

2.5.11.2 Mantenimiento.

Con respecto a la trampa de grasas y aceites el nivel del agua se encuentra regulado por una válvula para su mantenimiento cada 15 días, las grasas retiradas son llevadas a una compostera, del cual puede ser utilizado como abono orgánico debido a que las grasas son de origen vegetal animal y productos de limpieza.

Lavar el tanque de la trampa de grasas desprendiendo todas las partículas adheridas a la pared para su posterior recirculación de agua residual.

El mantenimiento del sedimentador primario rectangular depende de la altura del lodo por sugerencia que no supere el metro de altura. Su realización consiste en introducir una varilla en el fondo del tanque de sedimentación para comprobar la altura que alcanza en cierto tiempo. Una vez alcanzado la altura mencionada se abre la válvula para descargar el lodo en el lecho de secado.

Los lodos del lecho de secado se esperan un tiempo mínimo de 15 días y máximo 1 mes debido a que la planta de tratamiento es pequeña, esos lodos luego de su secado son llevados a la compostera. Por cada secado del lodo que se dé, ubicar una capa de arena.

Con respecto al humedal su mantenimiento corresponde en evitar que plantas extrañas crezcan dentro de ella, el pasto alemán alcanzado su altura máxima de 2 metros podarlas hasta una altura de 0,5 metros.

Limpiar el área de la planta de tratamiento para mantenerla agradable a la vista de personas que acuden al lugar.

2.5.12 Determinación de la eficiencia de la PTAR domésticas.

En esta etapa se realizó la caracterización física, química y microbiológica de 5 muestras del cual se hizo sus respectivos análisis conformados por 12 parámetros. Las muestras fueron debidamente codificadas, etiquetadas y trasladadas hacia el laboratorio AQLAB.

La eficiencia de la planta se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{\text{DBO}_5 \text{ afluente} - \text{DBO}_5 \text{ efluente}}{\text{DBO}_5 \text{ afluente}} * 100$$

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1 Reconocimiento del lugar.

El área de estudio tiene una dimensión de 0,53 hectáreas, dentro del cual se observó una vegetación de oritos y rastrojos. Dentro del área de estudio se encontró un árbol maderable. Se observó que en épocas de lluvia las aguas se dirigían hacia el área de estudio arrastrando consigo residuos de madera, hojas, basura, etc. Además de las descargas de aguas residual a la interperie.

3.2 Determinación de la población.

De acuerdo a la reunión realizada con los beneficiarios del proyecto se constató mediante diálogo un total de 25 habitantes (11 mujeres y 14 hombres), perteneciente al grupo étnico Quichua. Dentro del grupo se visualizó a dos personas colonas.

3.3 Caudal teórico.

El caudal teórico siempre es mayor que el caudal real, debido a que se utiliza velocidades ya establecidas, velocidad máxima 3 m/s y velocidad mínima 0,6 m/s, todo aquello para evitar la sedimentación de los sólidos de mayor tamaño.

$$At = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2)$$

$$At = \frac{\pi}{4} * ((0,075)^2 - (0,072)^2)$$

$$At = 0,000346 \text{ m}^2$$

$$Q = V * At$$

$$Q = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,000346 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,0002076 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 0,0002076 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q = 17,94 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

3.4 Sistema de alcantarillado sanitario a tubo parcialmente lleno.

- Ángulo central θ° (grados sexagesimal).

$$\theta^\circ = 2 \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)$$

$$\theta^\circ = 2 \arccos\left(1 - \frac{2 * 0,035}{0,075}\right)$$

$$\theta^\circ = 172,35^\circ$$

- Radio hidráulico.

$$R_H = \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^\circ}{2 \pi \theta^\circ}\right)$$

$$R_H = \frac{0,075}{4} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} 172,35}{2 \pi 172,35}\right)$$

$$R_H = 0,0179 \text{ m}$$

- Velocidad.

$$V = \frac{0,397 D^{2/3}}{n} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^\circ}{2 \pi \theta^\circ}\right)^{2/3} * (S)^{1/2}$$

$$V = \frac{0,397 (0,075)^{2/3}}{0,013} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} 172,35}{2 \pi 172,35}\right)^{2/3} * (0,01)^{1/2}$$

$$V = 0,527 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Caudal.

$$Q = \frac{D^{8/3}}{7257,17 * n * (2 \pi \theta^\circ)^{2/3}} * (2 \pi \theta^\circ - 360 \operatorname{sen} \theta^\circ)^{5/3} * (S)^{1/2}$$

$$Q = \frac{(0,075)^{8/3}}{7257,17 * 0,013 * (2 \pi 172,35)^{2/3}} * (2 \pi 172,35 - 360 \operatorname{sen} 172,35)^{5/3} * (0,01)^{1/2}$$

$$Q = 1,065 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Relación de tirantes.

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} * \left[1 - \cos\left(\frac{\theta^{\circ}}{2}\right) \right]$$

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} * \left[1 - \cos\left(\frac{172,35}{2}\right) \right]$$

$$\frac{h}{D} = 0,467$$

- Relación de velocidades.

$$\frac{V}{V_{II}} = \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^{\circ}}{2 \pi \theta^{\circ}} \right)^{2/3}$$

$$\frac{V}{V_{II}} = \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} 172,35}{2 \pi 172,35} \right)^{2/3}$$

$$\frac{V}{V_{II}} = 0,97$$

- Relación de caudales.

$$\frac{Q}{Q_{II}} = \left(\frac{\theta^{\circ}}{360} - \frac{\operatorname{sen} \theta^{\circ}}{2 \pi} \right) * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^{\circ}}{2 \pi \theta^{\circ}} \right)^{2/3}$$

$$\frac{Q}{Q_{II}} = \left(\frac{172,35}{360} - \frac{\operatorname{sen} 172,35}{2 \pi} \right) * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} 172,35}{2 \pi 172,35} \right)^{2/3}$$

$$\frac{Q}{Q_{II}} = 0,444$$

- Tensión tractiva.

$$\tau = \rho * g * R_H * S$$

$$\tau = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,0179 \text{ m} * 0,01 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$\tau = 1,76 \text{ Pa}$$

- Tensión tractiva mínima.

$$\tau_{\min} = f * (\gamma_a - \gamma_w) * d_{90\%-95\%}$$

$$\tau_{\min} = 0,5 * \left(1600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} - 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * 0,005 \text{ m}$$

$$\tau_{\min} = 1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

➤ Pendiente mínima.

$$S_{\min} = \frac{\tau_{\min}}{\rho * g * \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{360 \text{ sen } \theta^\circ}{2 \pi \theta^\circ} \right)}$$

$$S_{\min} = \frac{1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{0,075 \text{ m}}{4} * \left(1 - \frac{360 \text{ sen } 172,35}{2 \pi 172,35} \right)}$$

$$S_{\min} = 0,0085 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

➤ Velocidad crítica.

$$V_C = \sqrt[6]{g * R_H}$$

$$V_C = \sqrt[6]{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,0179 \text{ m}}$$

$$V_C = 0,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

➤ Área mojada.

Para calcular el área mojada de la tubería a parcialmente llena se trabajó con radianes ya que la ecuación esta simplificada.

$$A_{\text{mojada}} = \frac{1}{8} * D^2 * (\theta^\circ - \text{sen } \theta^\circ)$$

$$A_{\text{mojada}} = \frac{1}{8} * (0,075)^2 * (3 - \text{sen } 3)$$

$$A_{\text{mojada}} = 0,0021 \text{ m}$$

➤ Perímetro mojado.

De igual manera el perímetro mojado se trabajó en radianes.

$$P_{\text{mojado}} = \frac{D_{\text{interior}}}{2} * \theta^{\circ}$$

$$P_{\text{mojado}} = \frac{0,072 \text{ m}}{2} * 3$$

$$P_{\text{mojado}} = 0,108 \text{ m}$$

3.5 Resultados de medición de caudales.

Tabla 3-1. Caudales por 7 días de monitoreo.

DÍAS	CAUDAL	
	L/h	m ³ /d
LUNES (03-07-2017)	129,63	3,11
MARTES (04-07-2017)	241,38	5,79
MIERCOLES (05-07-2017)	201,81	4,84
JUEVES (06-07-2017)	175,38	4,21
VIERNES (07-07-2017)	171,06	4,11
SÁBADO (08-07-2017)	224,75	5,39
DOMINGO (09-07-2017)	316,50	7,60
PROMEDIO	208,64	5,01

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

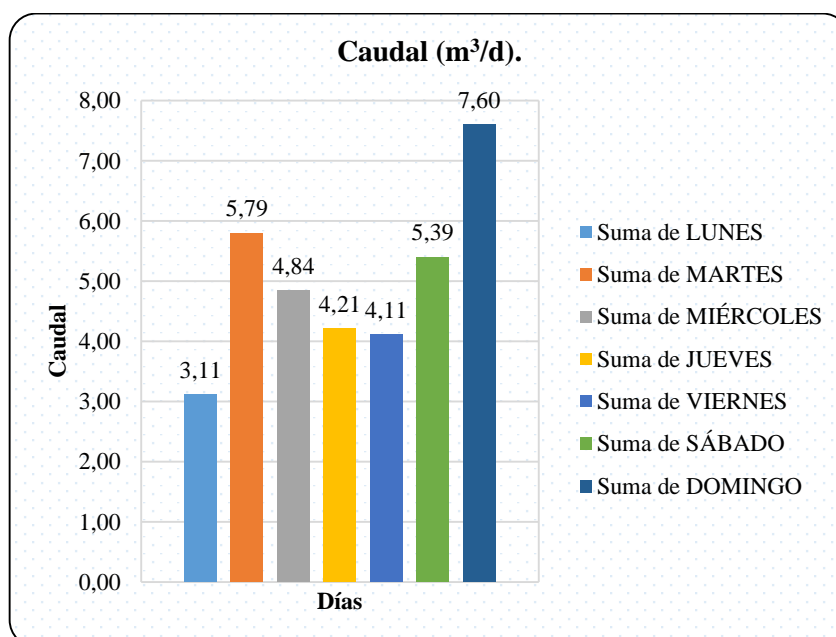


Gráfico 3-1. Variaciones de caudales por 7 días de monitoreo.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En el **gráfico 3-1** de la variación de caudales durante los 7 días de muestreo, se puede visualizar un aumento de caudal en el último día de monitoreo. Los datos arrojados presentan un valor de caudal mínimo de 3,11 m³/d y un valor máximo de 7,60 m³/d. El promedio de caudales durante los 7 días de monitoreo es de 5,01 m³/d.

El primer día se genera poco caudal debido a que los días lunes los habitantes solo realizan actividades como lavado de trastes, preparado de alimentos y el aseo personal. Los días 2, 3, 4, 5 y 6 el caudal aumenta porque ya empiezan a lavar sus prendas de vestir y debido también que hacen el preparado de la chicha el cual se consume mucha agua para el lavado de los tubérculos (yuca).

Como se puede observar el séptimo día es donde se da mayor demanda de consumo de agua, esto se debe a que las familias se reúnen para realizar actividades recreativas (fútbol). Este consumo elevado se da también porque ese día realizan todas las actividades juntas: lavado de alimento, trastes, preparado de alimentos, limpieza de pisos, lavado de ropa, y actividades higiénicas (bañarse, etc.).

Se da mención también que más caudal se generaba en las horas pico de 5am-7am, 11:00 am-1:00 pm y 6:00 pm- 8:00 pm, en esas horas se midió la temperatura del aire y del agua tanto inicial y final. Otro aspecto que se considero fue el clima ya que algunos días paso nublado y poco lluvioso.

Tabla 3-2. Temperaturas promedias del agua residual y del aire.

DÍAS	Temperatura del agua residual.		Temperatura ambiental.	
	Inicial	Final	Inicial	Final
LUNES (03-07-2017).	24,37	27,43	25,5	26,37
MARTES (04-07-2017).	24,53	25,30	23,43	23,83
MIERCOLES (05-07-2017).	26,2	25,4	27,57	26,3
JUEVES (06-07-2017).	25,07	25,03	25,24	25,83
VIERNES (07-07-2017).	24,43	24,53	24,90	23,97
SÁBADO (08-07-2017).	25,23	24,93	25,20	23,97
DOMINGO (09-07-2017).	25,33	24,53	28	28,3
PROMEDIO	25,02	25,25	25,69	25,51

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

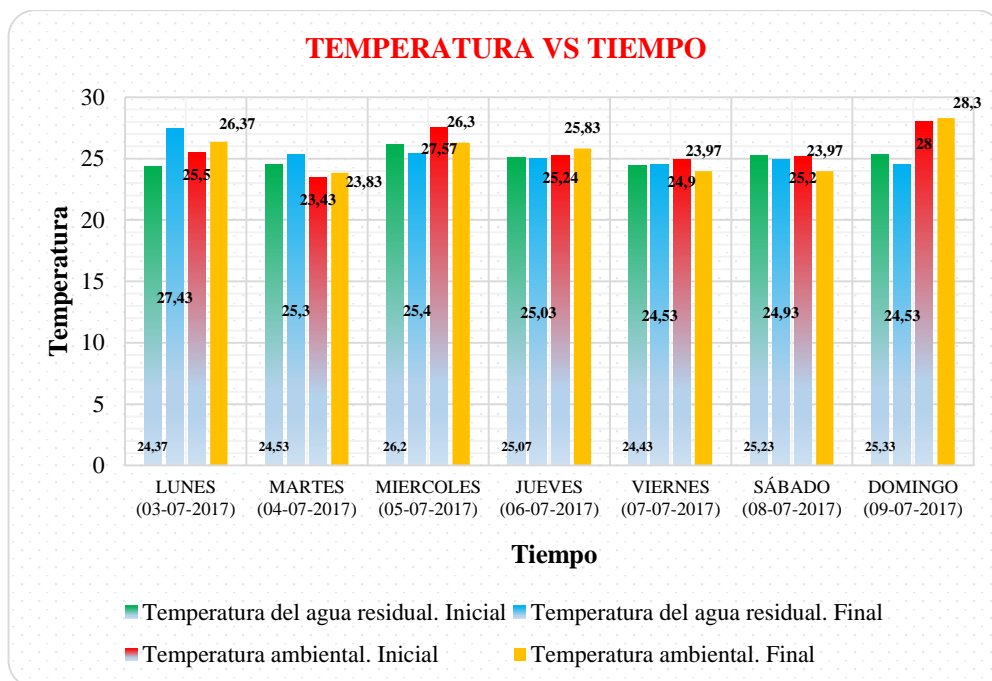


Gráfico 3-2. Temperatura de agua residual y ambiental por 7 días de monitoreo.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **grafico 3-2**. Representa la variación de la temperatura del agua residual y ambiental tomados de forma inicial y final durante las horas picos de generación de caudal. Este procedimiento se realizó para conocer la temperatura del agua que consiguiente es un paso para el cálculo de la constante de reacción de primer orden para el diseño del humedal horizontal.

La temperatura ambiental se midió para conocer la relación o la similitud que existe entre las dos temperatura. Como se puede observar la gráfica 3-2, la temperatura del agua residual inicial y finales no varían significativamente, de igual manera la temperatura ambiental.

Los valores de la temperatura del agua inicial arrojan datos promedios de 25,02 °C y final 25,25 °C, de igual manera los datos promedios de la temperatura ambiental inicial y final son de 25,69 °C-25,51 °C.

La temperatura del agua residual se debe a las descargas de aguas calientes provenientes de la cocina al preparar los alimentos o realizar cualquier actividad de cocina que genere agua caliente para ser descartadas por el lavadero y la temperatura ambiental depende de las condiciones climáticas en que se encuentre el sector estudiado.

3.6 Datos experimentales antes del tratamiento.

Se realizó la caracterización física, química y microbiológica de 5 análisis conformados por 12 parámetros fundamentales que se encuentran en el agua residual, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 3-3. Análisis físicos, químicos y microbiológicos antes del tratamiento.

Parámetros.	Unidad.	Muestreo 1 Lunes 03-07-2017	Muestreo 2 Miércoles 05-07-2017	Muestreo 3 Viernes 07-07-2017	Muestreo 4 Sábado 08-07-2017	Muestreo 5 Domingo 09-07-2017	Promedio
Potencial de hidrógeno.	-	8,71	7,90	6,19	6,96	6,52	7,26
Sólidos sedimentables.	mg/l	0,5	2,5	20	2,5	5,5	6,2
Sólidos totales	mg/l	860,90	389,13	546,06	511,44	494,66	560,44
Turbidez	UNT	255	292	212	181	314	250,8
Conductividad eléctrica.	μS/cm	134,7	153,35	288	305	103,7	196,95
Aceites y grasas.	mg/l	2,64	4,16	23,27	11,36	10,6	10,41
Nitratos.	mg/l	20,82	0,8	12,4	9,30	13,51	11,37
Fosfatos.	mg/l	14,39	3,82	5,19	4,71	3,37	6,3
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	mg/l	300	300	190	150	130	214
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	1100	1400	530	410	435	775
Coliformes totales.	Nmp/100 ml	4,2x10 ⁺⁶	3,8x10 ⁺⁶	3,8x10 ⁺⁶	6,4x10 ⁺⁶	5,2x10 ⁺⁶	4,68x10 ⁺⁶
Tensoactivos.	mg/l	5,21	1,103	5,16	4,63	5,32	4,28

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.6.1 Variación del Potencial de Hidrógeno.

Tabla 3-4. Variación del Potencial de Hidrógeno.

Potencial de Hidrógeno.				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
8,71	7,9	6,19	6,96	6,52

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

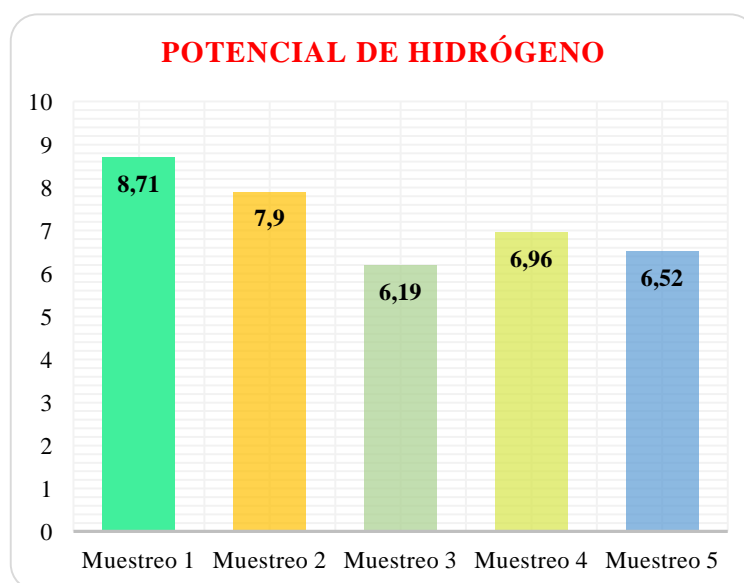


Gráfico 3-3. Variación del Potencial de Hidrógeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En la **gráfica 3-3** de la variación del potencial de hidrógeno, se puede comprobar que el pH antes del tratamiento el valor máximo es de 8,71 considerando que el agua residual generado por las 5 familias es una agua básica fácilmente manejable para la reproducción de los microorganismos en esta agua residual.

Las alteraciones de pH se deben a las sales que contienen el jabón y algunos detergentes, es decir el aumento de pH se debe que en el muestreo 1 las familias realizaron las siguientes actividades, lavado de ropa, limpieza de pisos, duchazos.

3.6.2 Variación de Sólidos Sedimentables.

Tabla 3-5. Variación de Sólidos Sedimentables.

Sólidos Sedimentables mg/L.				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
0,5	2,5	20	2,5	5,5

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

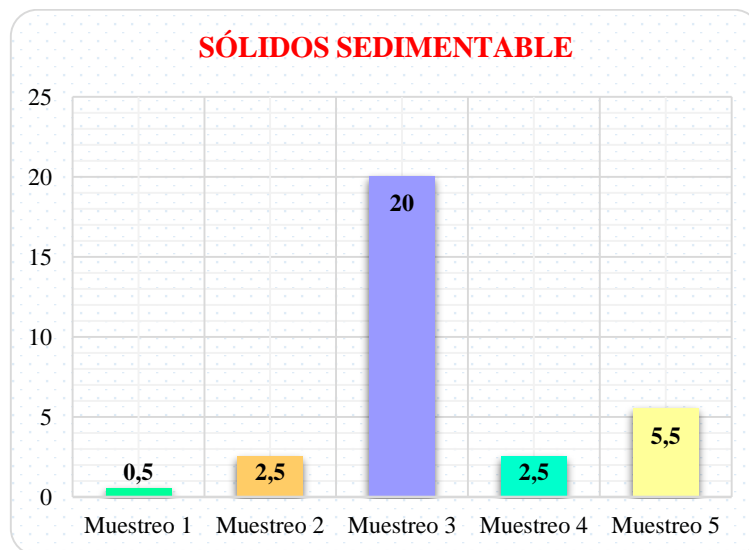


Gráfico 3-4. Variación de los Sólidos Sedimentables.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-4** demuestra que la concentración de la muestra 3 alcanza su máxima concentración que es de 20 mg/L, estos sólidos pueden sedimentarse debido a su densidad o pueden permanecer flotando. Entonces se deduce que la muestra 3 presenta una concentración muy superior a las demás muestras debido al lavado de la ropa del cual se desprende sólidos gracias a la ayuda de los detergentes, de igual manera los sólidos sedimentables se genera en la cocina por el lavado de frutas, verduras y legumbres.

3.6.3 Variación de Sólidos Totales.

Tabla 3-6. Variación de los Sólidos Totales.

Sólidos Totales mg/L.				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
860,9	389,13	546,06	511,44	494,66

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

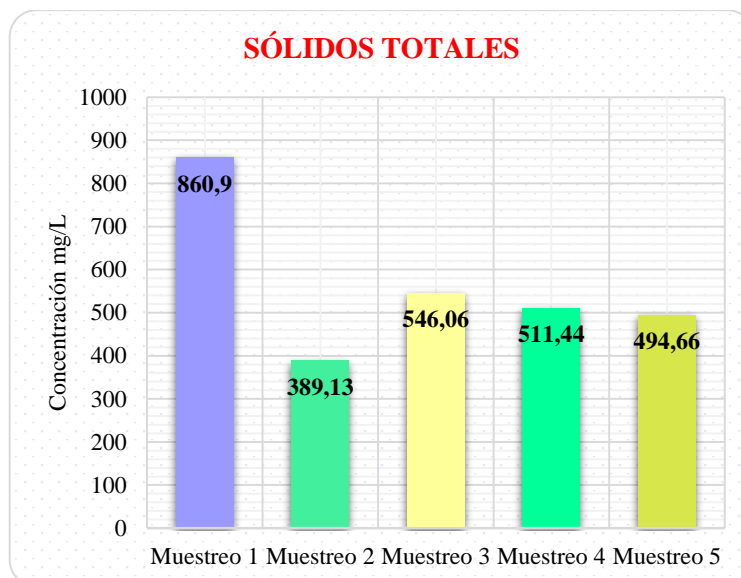


Gráfico 3-5. Variación de los Sólidos Totales.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En el **gráfico 3-5** de la variación de los sólidos totales se puede comprobar que antes del tratamiento las muestras 3, 4 y 5 son similares siendo estas diferentes de las muestras 1 y 2, la concentración del valor máximo alcanzado es de 860,9 mg/L de sólidos totales. La aparición de sólidos totales se debe a las grasas animales y vegetales.

La muestra 1 presenta un valor elevado debido al lavado de ropas y utensilios el cual alteró la concentración en comparación con las demás muestras.

3.6.4 Variación de la Turbidez.

Tabla 3-7. Variación de la Turbidez.

Turbidez UNT.				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
255	292	212	181	314

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Con respecto a la variación de la turbidez las cantidades presentadas en la **tabla 3-7** demuestran que los datos antes del tratamiento son elevados, siendo el mínimo 181 UNT y el máximo 314 UNT. El valor máximo de la turbidez se debe porque tal día los habitantes se dedicaron a la actividad de limpieza del hogar (lavado de ropa, limpieza de pisos, etc.) en donde el agua se apreció muy turbia. Para apreciar mejor los datos de resultados de la caracterización de las aguas residuales se presenta el siguiente gráfico.

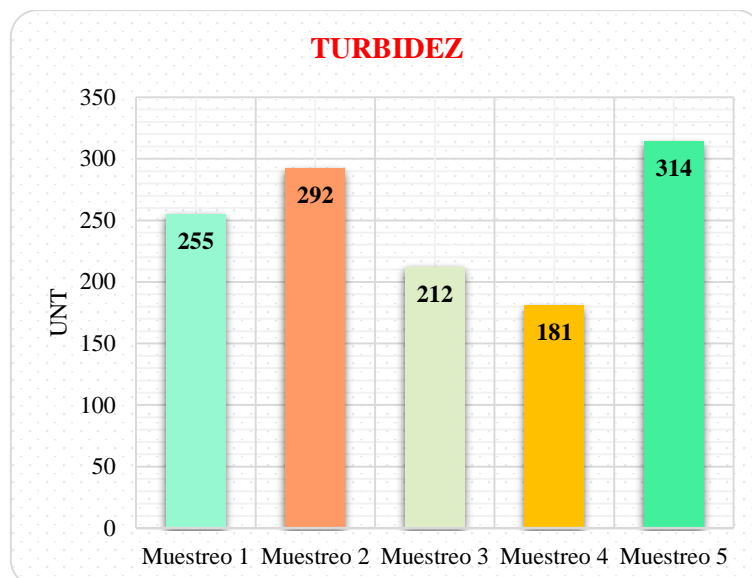


Gráfico 3-6. Variación de la Turbidez.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.6.5 Variación de la Conductividad Eléctrica.

Tabla 3-8. Variación de la Conductividad Eléctrica.

Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
134,7	153,35	288	305	103,7

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo Y Gustavo Montero 2017.

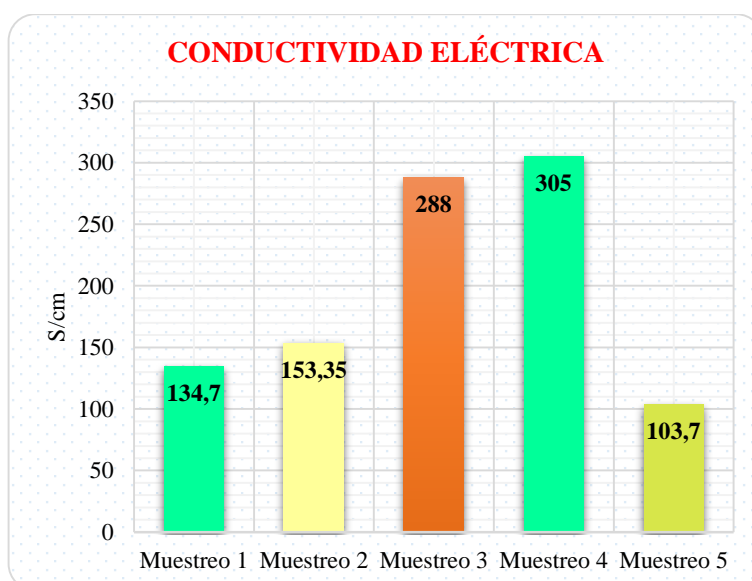


Gráfico 3-7. Variación de la Conductividad Eléctrica.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Con respecto a la variación de la conductividad eléctrica el **gráfico 3-7** demuestra que los valores obtenidos antes del tratamiento presenta un valor mínimo de 103,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un valor máximo de 305 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El aumento de la conductividad eléctrica se debe a los productos de limpieza como cloro, detergentes, jabones, etc. Estos productos poseen iones solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). Otro de los aspectos a considerar es la temperatura del agua residual, mientras mayor sea la temperatura, más alta será la conductividad eléctrica, es decir que cuando preparan los alimentos, el agua es arrojado por el fregadero aumentando la temperatura.

3.6.6 Variación de Aceites y Grasas.

Tabla 3-9. Variación de Aceites y Grasas.

Aceites y Grasas mg/L				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
2,64	4,16	23,27	11,36	10,6

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017

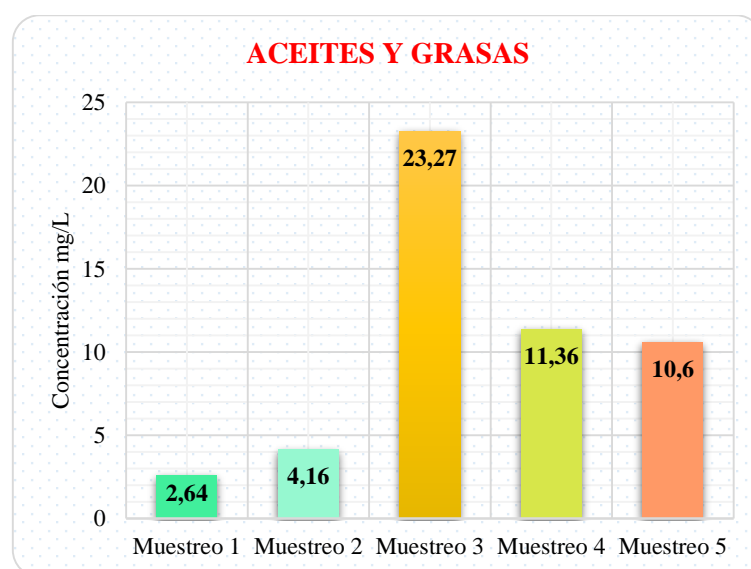


Gráfico 3-8. Variación de Aceites y Grasas.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-8** de la variación de aceites y grasas representa que la muestra 1 alcanza un valor mínimo de 2,64 mg/L y un valor máximo de concentración de 23,27 mg/L. el aumento excesivo de los aceites y grasas se debe a que la población estudia posiblemente tal día de muestro utilizó grasa de amínales (cebo, grasa de cerdo y manteca), aceites de animales (peces) y grasas vegetales (maní, maíz, etc.).

3.6.7 Variación de Nitratos.

Tabla 3-10. Variación de Nitratos.

Nitratos mg/L				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
20,82	0,8	12,4	9,3	13,51

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

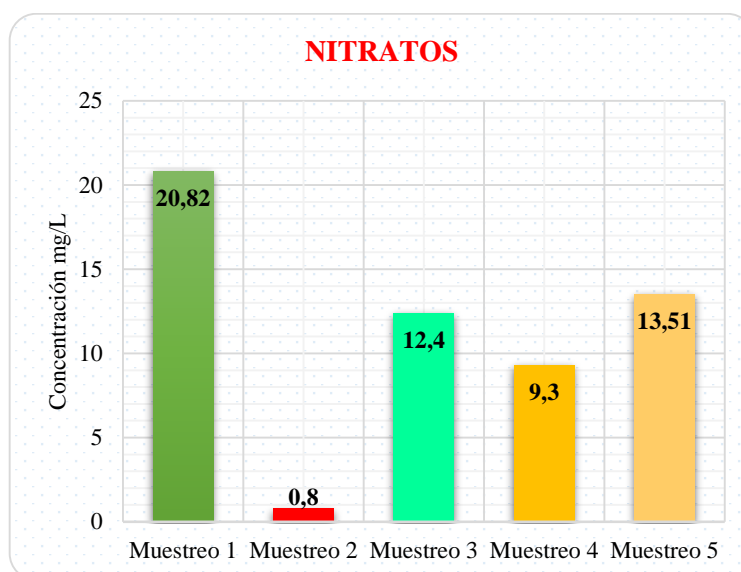


Gráfico 3-9. Variación de Nitratos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-9** de la variación de nitratos representa que la muestra 1 genera una concentración máxima de 20,82 mg/L, y la muestra 2 una concentración mínima de 0,8 mg/L. El valor alto de la muestra 1 se debe a la orina de las personas, vegetales y tejidos de los animales. La elevada concentración de nitratos en la muestra 1 se debe también porque realizaron actividades domésticas como por ejemplo lavado de ropa, lavado de utensilios y lavado de los pisos. La ropa contiene nitratos debido a la sudoración del cuerpo.

3.6.8 Variación de Fosfatos.

Tabla 3-11. Variación de Fosfatos.

Fosfatos mg/L				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
14,39	3,82	5,19	4,71	3,37

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

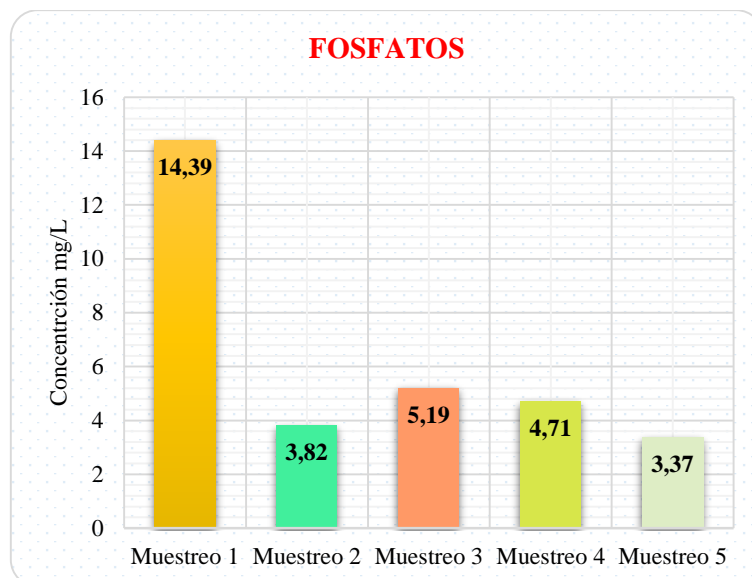


Gráfico 3-10. Variación de Fosfatos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En el **gráfico 3-10** se puede visualizar los valores de los fosfatos de las 5 muestras analizadas antes del tratamiento donde la muestra 1 llega a un máximo valor de 14,39 mg/L, y la muestra 5 llegando a un valor mínimo de 3,37 mg/L.

Esto significa que la muestra 1 es elevada debido a que la población utiliza detergentes, es decir tal día de muestreo se realizó las actividades de limpieza (lavado de ropa, lavado de baño, lavado de piso, etc.), utilizando grandes cantidades de detergentes.

Los fosfatos son los precursores de la eutrofización, por tal motivo su control de descargas a un cuerpo de agua dulce, está establecido por la normativa vigente ecuatoriana ambiental TULSMA LIBRO VI ANEXO I.

3.6.9 Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 3-12. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
300	300	190	150	130

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

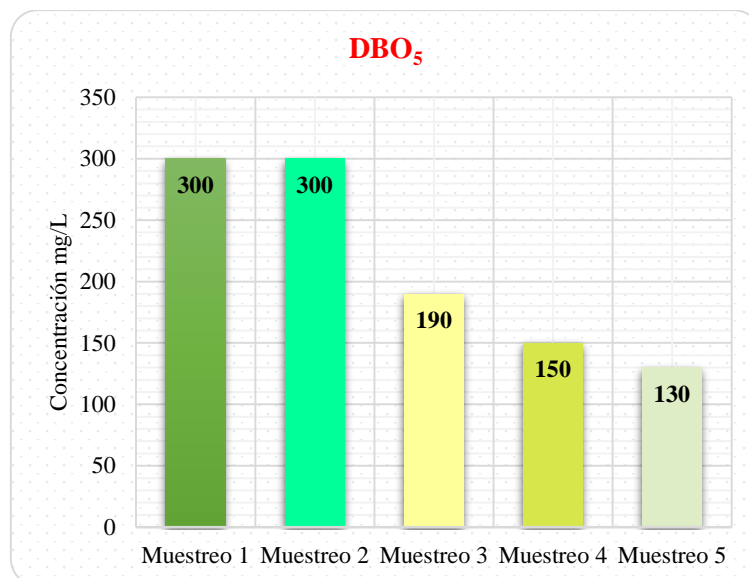


Gráfico 3-11. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-11** muestra los valores de la DBO₅, donde el valor máximo representa a 300 mg/L y el valor mínimo de 130 mg/L antes del tratamiento. La concentración de la muestra 1 y 2 se debe al aumento de concentración de materia orgánica, generados en los fregaderos, como por ejemplo tenemos los residuos de comida.

La proliferación de los microorganismos en esta etapa descompone la materia orgánica durante 5 días, lo que representa en valores de degradación del 65% a 70%. La DBO₅ es la parte más importante para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y con relación a ella se obtiene la eficiencia de la PTAR domésticas.

3.6.10 Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

Tabla 3-13. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

Demanda Química de Oxígeno mg/L				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1100	1400	530	410	435

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La **tabla 3-13** de la variación de la demanda química de oxígeno representa una concentración máxima antes del tratamiento de 1400 mg/L y mínima de 410 mg/L lo que significa que tal día los habitantes utilizaron productos químicos de mayor concentración (suavitel). Otro aspecto a considerar en la concentración elevada de la DQO es las grasas y aceites de la, leche, etc.



Gráfico 3-12. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.6.11 Variación de los Coliformes Totales.

Tabla 3-14. Variación de los Coliformes Totales.

Coliformes Totales Nmp/100ml				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
4,20E+06	3,80E+06	3,80E+06	6,40E+06	5,20E+06

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

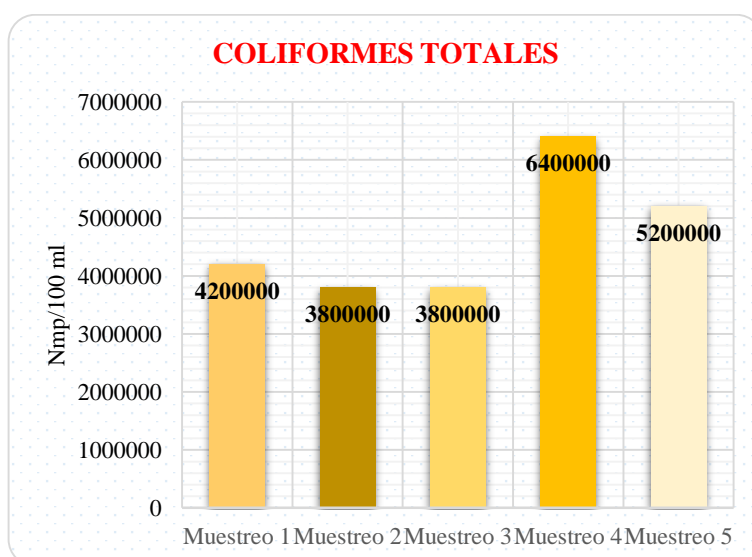


Gráfico 3-13. Variación de los Coliformes Totales.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La **figura 3-13** representa la variación de los Coliformes Totales donde se puede visualizar antes del tratamiento una concentración máxima de $6,4 \times 10^6$ Nmp/ 100 ml y una mínima de $3,8 \times 10^6$ Nmp/ 100 ml. La muestra 4 representa un valor elevado de coliformes totales, debido a las actividades realizadas como por ejemplo bañarse, la orina, sudoración, lavado de legumbres, etc. Uno de los puntos importante en la planta de tratamiento es eliminar los coliformes totales. El factor importante para la reproducción de estos microorganismos es la temperatura, en este caso tenemos a los bacilos aerobio y anaerobios facultativos.

3.6.12 Variación de los Tensoactivos.

Tabla 3-15. Variación de los Tensoactivos.

Tensoactivos mg/L				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
5,21	1,103	5,16	4,63	5,32

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

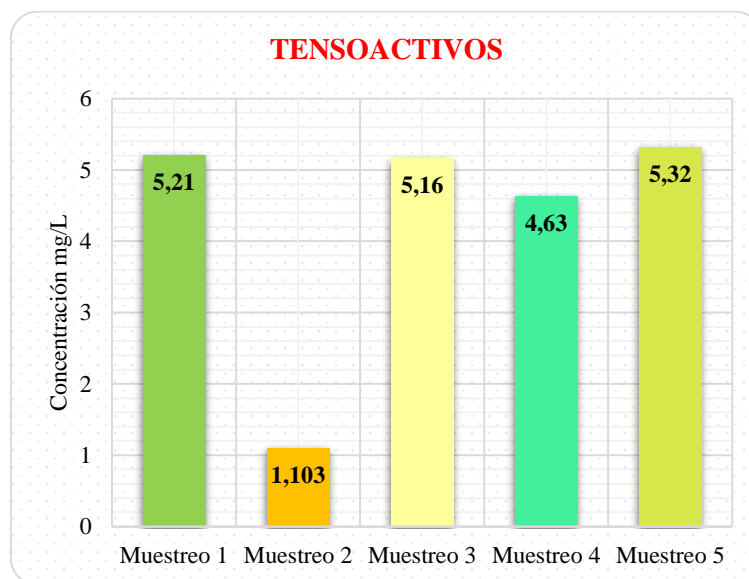


Gráfico 3-14. Variación de los Tensoactivos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En el **gráfico 3-14** se puede visualizar las variaciones de los tensoactivos presentando una concentración máxima de 5,32 mg/L y una de mínima de 1,103 mg/L. La eliminación del tensoactivos se debe a la aplicación de microorganismos capaces de degradar los compuestos presentes en ello. Sus concentraciones altas se deben al tipo de detergentes utilizado, si bien se sabe que cada producto de limpieza tiene concentraciones diferentes de químicos.

3.7 Comparación de los resultados promedios del afluente con el TULSMA.

Tabla 3-16. Comparación de los resultados del afluente el TULSMA.

Parámetros.	Unidad.	Promedio	Límites máximos permisibles	Cumple/no cumple
Potencial de hidrógeno.	-	7,26	6-9	Cumple
Sólidos sedimentables.	mg/l	6,2	1,0	No cumple
Sólidos totales	mg/l	560,44	1600	Cumple
Turbidez	UNT	250,8	-	-
Conductividad eléctrica.	μS/cm	196,95	-	-
Aceites y grasas.	mg/l	10,41	30,0	Cumple
Nitratos.	mg/l	11,37	-	-
Fosfatos.	mg/l	6,3	-	-
DBO5.	mg/l	214	100	No cumple
DQO.	mg/l	775	200	No cumple
Coliformes totales.	Nmp/100 ml	4,68x10+6	5000	No cumple
Tensoactivos.	mg/l	4,28	0,5	No cumple

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.7.1 Parámetros no considerados por la norma.

La norma ecuatoriana vigente TULSMA no considera dentro de los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a un cuerpo de agua dulce los siguientes parámetros: turbidez, conductividad eléctrica, nitratos y fosfatos. Pero estos parámetros son importantes para determinar la calidad del agua.

Tabla 3-17. Parámetros no considerados por la norma.

Parámetro	Afluente	Límites máximo permisibles
Turbidez	250,8	-
Conductividad eléctrica	196,95	-
Nitratos	11,37	-
Fosfatos	6,3	-

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

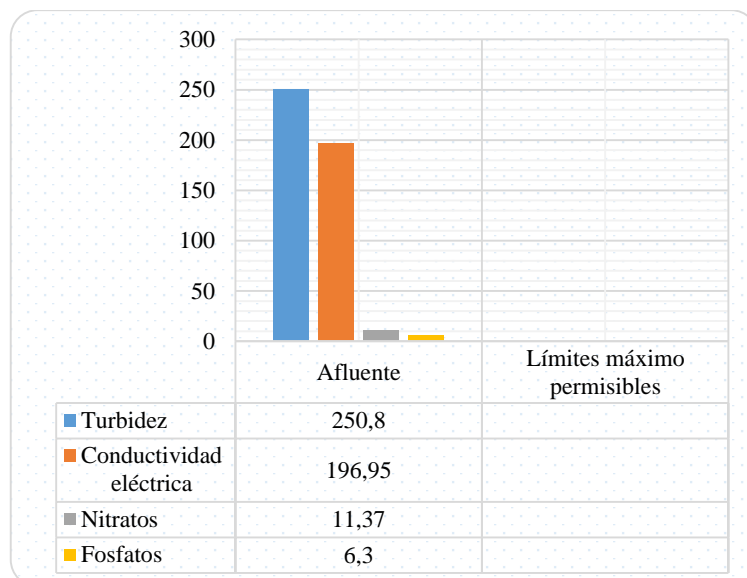


Gráfico 3-15. Parámetros no considerados por la norma.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.7.2 Parámetros dentro del límite máximo permisible.

Tabla 3-18. Parámetros dentro del límite máximo permisible.

Parámetros.	Afluyente	Límites máximos permisibles
pH	7,26	9
Solidos totales	560,44	1600
Aceites y grasas.	10,41	30

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

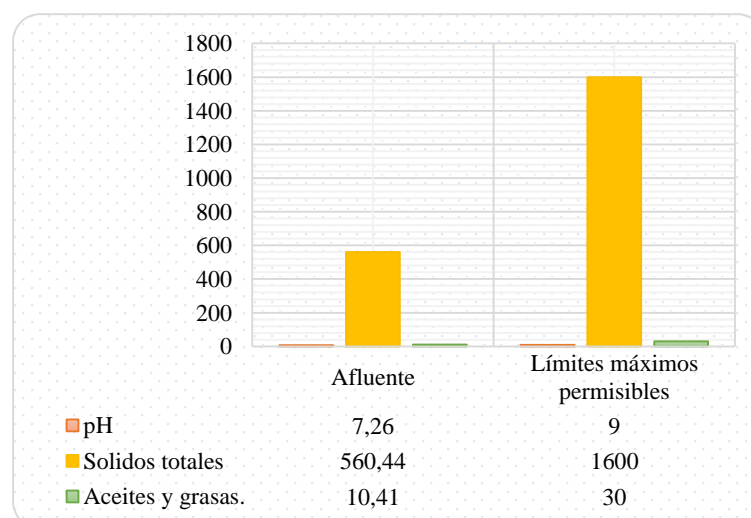


Gráfico 3-16. Parámetros dentro del límite máximo permisible.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Los parámetros que se encuentran dentro de la norma garantizan que la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales va ser mucho mejor, ya que no influirán en gran medida para su eliminación. Estos parámetros son los siguientes pH, sólidos totales y aceites y grasas. Es recomendable evitar que las grasas lleguen a los sistemas de tratamientos ya que obstruyen el paso de la luz solar, eliminando su oxigenación y por ende provocar el colapso del sistema de tratamiento.

3.7.3 Parámetros fuera del límite máximo permisible.

Tabla 3-19. Parámetros fuera del límite máximo permisible.

Parámetros.	Afluente	Límites máximos permisibles
Sólidos Sedimentables	6,2	1
DBO ₅ .	214	100
DQO.	775	200
Coliformes Totales.	4,68E ⁺⁰⁶	5000
Tensoactivos.	4,28	0,5

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

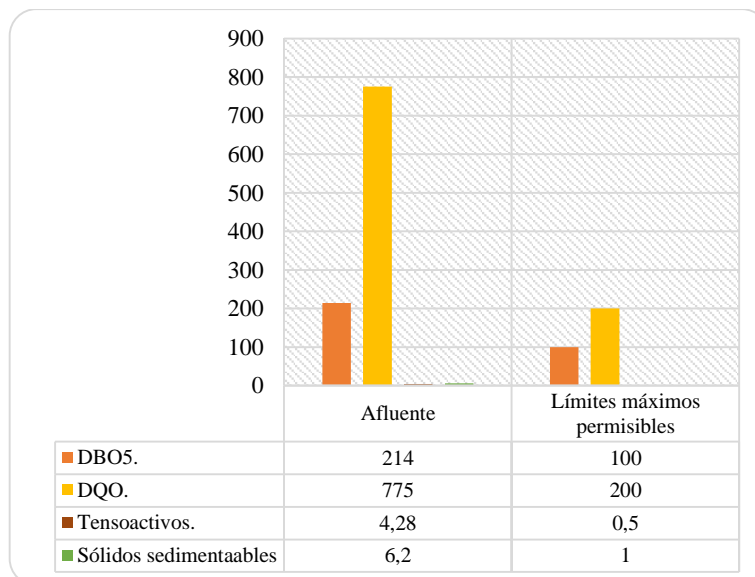


Gráfico 3-17. Parámetros fuera del límite máximo permisible.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Los parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles fueron estudiados detenidamente para su remoción (DBO₅, DQO, sólidos sedimentables, Coliformes Totales y tensoactivos) del cual se escogió el tratamiento por medio de humedales ya que el lugar y las condiciones climáticas lo favorecen para su construcción.

La remoción de la materia orgánica y otros contaminantes dependen del tipo de sistemas que se escoja. Ya que cada sistema escogido cumple con la función de eliminar cierta cantidad de contaminantes presente en el agua residual.

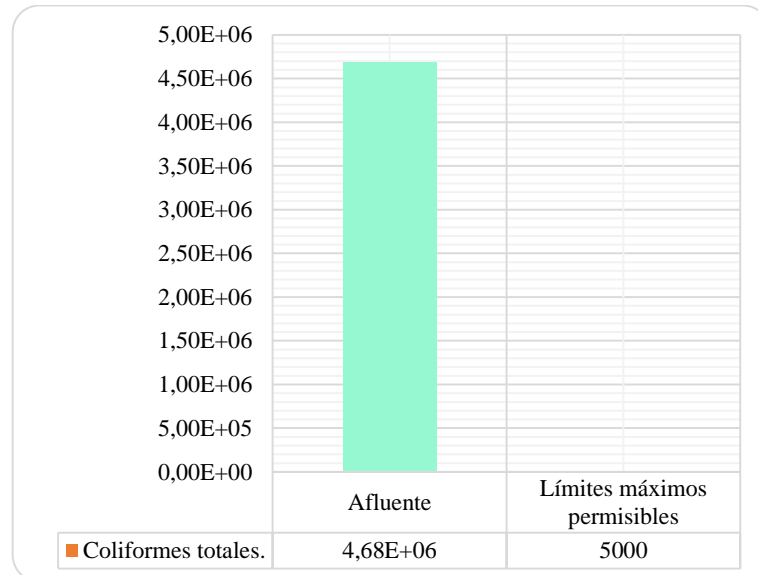


Gráfico 3-18. Parámetro fuera del límite máximo permisible.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.8 Propuesta

Para la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal se debe tener en cuentas las condiciones medioambientales tales como temperatura, lluvia, luz solar, y acción del viento todo aquello para que facilite la remoción de los contaminantes transportado y para la adaptación de la planta emergente.

Por tal motivo se propone los siguientes sistemas que van a garantizar la eficiencia de la planta de tratamiento: trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular, lechos de secado y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

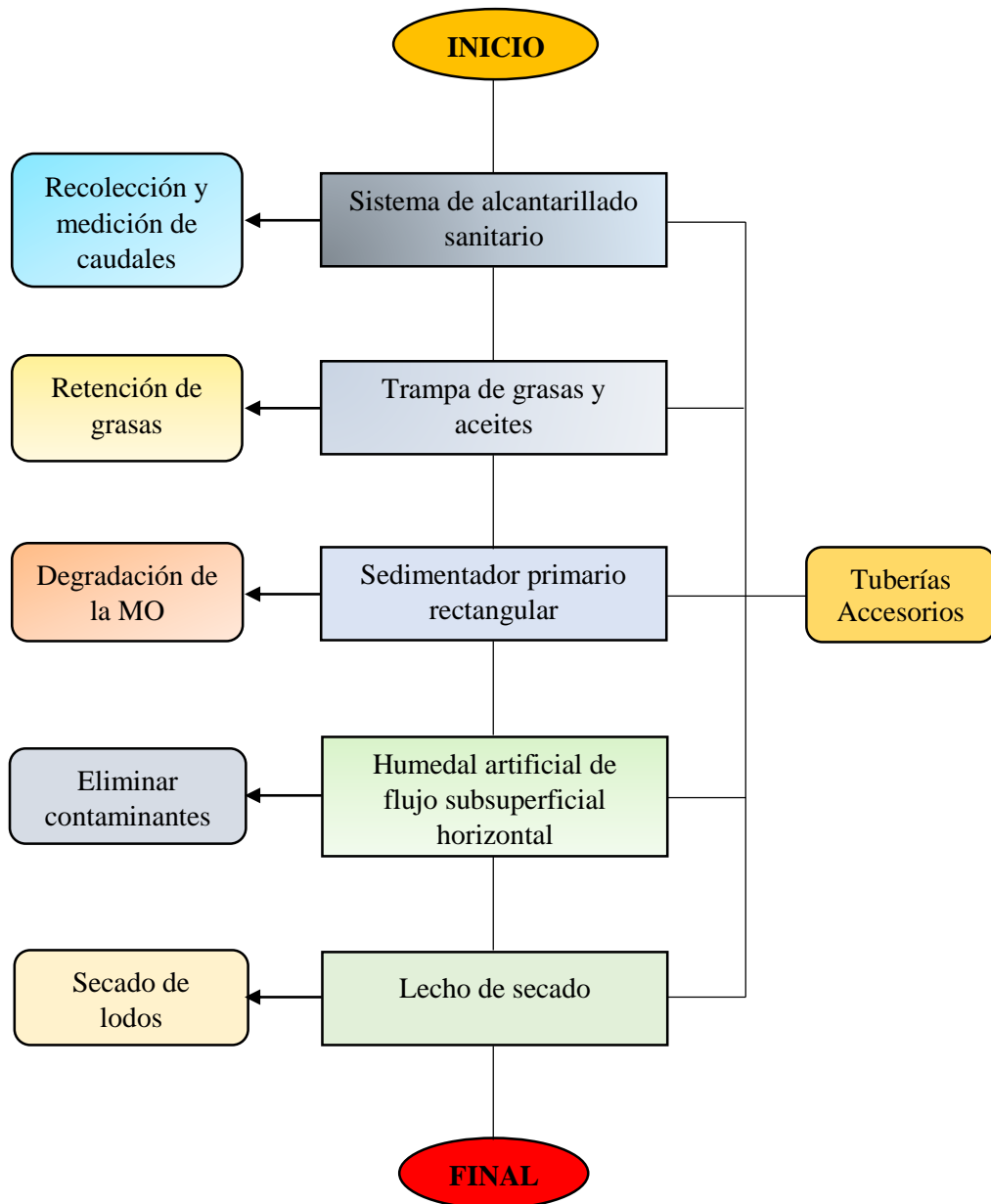


Figura 3-1. Propuesta para la implementación de la PTAR domésticas.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Para construir la PTAR domésticas primeramente instalar el sistema de alcantarillado sanitario sin arrastres de sólidos cuya finalidad es dirigir las descargas de agua residual a un punto específico, este sistema es utilizado ya que la población seleccionada es pequeña (25 habitantes), por ende utilizar tuberías de 3 pulgadas en todo el sistema y accesorios (codos, Tee, Y, y reducciones).

Gracias a estas conexiones se puede verificar el caudal que genera la población de estudio y comenzar con el siguiente paso que es proyectar a futuro el funcionamiento de la planta conservando su vida útil.

Para tratar el agua eficientemente se recomienda la construcción de la trampa de grasas que consiste en un pequeño tanque de tres compartimentos construidos con bloque y concreto del cual se adaptadas tuberías de acuerdo a los parámetros de diseño establecido por normas nacionales e internacionales. Su uso primordial es para evitar que las grasas y aceites generados por la población lleguen al humedal. Ya que estas sustancias provocan que los poros del medio filtrante del humedal se vayan deteriorándose.

Es necesario de un sedimentador primario rectangular por la facilidad de construcción, cuya finalidad es separar los sólidos sedimentables y degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Es construido de concreto o cemento puro, agregando barrilla de hierro para soportar el caudal de diseño, las tuberías y válvulas adaptadas adecuadamente deben permanecer seguros. La sedimentación de los sólidos se da por efecto de la gravedad impidiendo que vayan al humedal, lo más importante de este sistema es garantizar que el flujo de aguas sea laminar para evitar desprender las partículas del fondo.

Una vez implementado el pretratamiento y el tratamiento primario, la parte más importante del sistema de tratamiento es la degradación o eliminación de los contaminantes y microorganismos patógenos por medio del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Este sistema tiene dos funciones principales, actuar como un biofiltro reteniendo los sólidos y la materia orgánica. Y garantizar la eficiencia en la remoción de los contaminantes gracias a la acción que ejerce la planta emergente (pasto alemán) por medio de los rizomas. Sus componentes principales son la arena, grava y piedras

Como último componente de la planta de tratamiento de aguas residual, se da mención al lecho de secado cuya finalidad es retener la materia biodegradable y filtrar el agua residual. Este sistema está conectado al sedimentador primario rectangular regulado por una válvula y al humedal para dirigir el agua infiltrada. Su componente principal es la arena y grava el cual actúan como medio filtrante de los lodos. El lodo queda expuesto al aire sobre la superficie de la capa de arena, se deshidrata por medio de la evaporación, luego de su secado puede ser utilizado como abono para las plantas de los jardines.

3.9 Dimensionamiento de la PTAR domésticas del sector OMAWUA.

3.9.1 Población de diseño.

Para calcular la población de diseño se aplica la proyección futura y un índice de crecimiento poblacional, se calcula con el método geométrico, utilizando la **ecuación 19-1:**

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

Donde:

- Pa:** Población actual (habitantes).
r: Tasa de crecimiento poblacional (%).
n: Proyección del proyecto (21 años).
Pf: Población futura.

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

$$Pf = 25 \text{ hab} \left(1 + \frac{1,9}{100}\right)^{21}$$

$$Pf = 37,12 \text{ hab.} \cong 37 \text{ hab}$$

3.9.2 Caudal de diseño.

Para calcular el caudal de diseño se utilizó la **ecuación 20-1:**

$$Q_{\text{DISEÑO}} = Q_M * F + Q_{\text{INF}} + Q_{\text{CE}}$$

Donde

- Q_{DISEÑO} :** Caudal de diseño (L/s).
Q_M: Caudal medio (L/s).
F: Factor de mayoración (L/s).
Q_{INF}: Caudal de infiltración (L/s).
Q_{CE}: Caudal de conexiones errada (L/s).

De acuerdo a las referencias bibliográficas el 85 % del total de agua aprovechado, se convierte en agua residual, en este caso el caudal generado por los habitantes del sector seleccionado genera 5 m³ diarios de aguas servidas (aguas grises). Estos datos lo encontramos en la **Tabla 2-4**. Del método de medición de caudal. A continuación, se presentan los parámetros para el cálculo del caudal de diseño:

3.9.2.1 Dotación

Para determinar la dotación del agua (L/hab.d) se empleó los datos promedios de la medición de caudales de las aguas residuales realizados durante los 7 días de monitoreo y la población actual, se utilizó la **ecuación 21-1**:

$$D = \frac{Q_{\text{Prom}} * 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}}{Pa}$$

$$D = \frac{5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}}{25 \text{ hab}}$$

$$D = 200 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{d}}$$

3.9.2.2 Caudal medio de las aguas residuales.

Para el cálculo del caudal medio se tomó en cuenta el coeficiente de retorno (C) que está en un rango del 60% - 80%. Se aplicó la **ecuación 22-1**.

$$Q_{\text{Medio}} = \frac{Pf * D * C}{86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}}$$

$$Q_{\text{Medio}} = \frac{37 \text{ hab} * 200 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{d}} * 0,7}{86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}}$$

$$Q_{\text{Medio}} = 0,059 \cong 0,06 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.9.2.3 Factor de mayoración o coeficiente de punta (M).

Estima el caudal máximo horario, con base al caudal medio diario, teniendo en consideración la modificación que presenta el consumo de agua por parte de la comunidad. El valor del factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso del agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir cada vez más a amortiguar los flujos. Se trabajó con la **ecuación 23-1**:

$$F = \frac{3,5}{p^{0,10}}$$

$$F = \frac{3,5}{370,10}$$

$$F = 2,439$$

3.9.2.4 Caudal de infiltración.

Para obtener el caudal de infiltración se aplicó los valores estandarizados de aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales establecidos en la RAS 2000 TÍTULO D. Coeficiente de infiltración (C.inf) 0,15 – 0,4 L/s*Ha, el área donde se asentó el proyecto cubre un total de 0,53 ha. Por consiguiente, se aplicó la **ecuación 24-1**:

$$Q_{\text{Inf}} = C_{\text{Inf}} * \text{Ha}$$

$$Q_{\text{Inf}} = 0,3 \frac{\text{L}}{\text{s} * \text{Ha}} * 0,53 \text{ Ha}$$

$$Q_{\text{Inf}} = 0,159 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.9.2.5 Caudal por conexiones erradas.

Para calcular el caudal de conexiones erradas se consideró el coeficiente de infiltración del 10%. Se aplicó la **ecuación 25-1**:

$$Q_{\text{CE}} = 0,1(Q_{\text{Med}} * F + Q_{\text{Inf}})$$

$$Q_{\text{CE}} = 0,1 \left(0,060 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 2,439 + 0,159 \frac{\text{L}}{\text{s}} \right)$$

$$Q_{\text{CE}} = 0,031 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Una vez obtenido los resultados de los parámetros antes mencionados (Q_{Medio} , F , Q_{INF} y Q_{CE}) se procedió a realizar el cálculo del caudal de diseño, para conocer hasta qué punto puede soportar el sistema de depuración de las aguas residuales la demanda de caudal. El caudal de diseño es la partida para el cálculo de la trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular, lecho de secado y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

$$Q_{\text{DISEÑO}} = Q_{\text{M}} * F + Q_{\text{INF}} + Q_{\text{CE}}$$

$$Q_{\text{DISEÑO}} = 0,060 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 2,439 + 0,159 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 0,031 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{DISEÑO}} = 0,336 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.9.3 Cálculo de la trampa de grasas y aceites.

3.9.3.1 Área superficial.

Para el cálculo del área superficial se utilizó la **ecuación 26-1**, además para la carga superficial se tomó como referencia el valor de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$

$$As = \frac{Q}{Cs}$$

Donde:

As: Área superficial (m^2).

Q: Caudal ($0,336 \text{ L/s} = 29,03 \text{ m}^3/\text{d}$).

Cs: Carga superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$).

$$As = \frac{29,03 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{30 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}}}$$

$$As = 0,968 \text{ m}^2$$

3.9.3.2 Ancho (B)

Para el cálculo del ancho se aplicó la **ecuación 27-1**, Teniendo en cuenta la relación ancho: largo de 1:4 a 1:18.

La fórmula del área es:

$$As = lg * B$$

Reemplazando el largo nos queda:

$$As = 4B * B$$

$$As = 4B^2$$

Despejando la ecuación tenemos la fórmula para calcular el ancho:

$$B = \sqrt{\frac{As}{4}}$$

$$B = \sqrt{\frac{0,968 \text{ m}^2}{4}}$$

$$B = 0,492 \text{ m} \cong 0,5 \text{ m}$$

3.9.3.3 Largo.

El largo de la trampa de grasa se obtuvo mediante la **ecuación 28-1**:

$$lg = B * 4$$

$$lg = 0,5 \text{ m} * 4$$

$$lg = 2 \text{ m}$$

3.9.3.4 Volumen del tanque

El volumen del tanque se obtiene multiplicando el largo, ancho y profundidad. La profundidad es un valor opcional, se recomienda un valor que no supere de 1 m, esto aplica solo para sectores productivos que no generen mucha agua residual. Se aplica la **ecuación 29-1**:

$$V = B * lg * h$$

$$V = 0,5 \text{ m} * 2 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V = 1 \text{ m}^3$$

3.9.3.5 Tiempo de retención

Para calcular el tiempo de retención se requiere del volumen y el caudal de diseño. En este punto el caudal de diseño se expresa con las unidades m^3/h , se utiliza la **ecuación 30-1**:

$$\text{Trh} = \frac{V}{Q}$$

$$\text{Trh} = \frac{1 \text{ m}^3}{1,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$\text{Trh} = 0,826 \text{ horas}$$

Los valores del volumen del tanque y su tiempo de retención se aplican sin tomar en cuenta el borde para la ubicación de la tubería (0,15 m), aplicando este borde tendríamos las siguientes respuestas que son aplicadas a la construcción de este sistema. En este caso a la altura del tanque se le restaría el borde libre (1 m – 0,15 m = 0,85 m). A la altura de 0,85 m va circular el agua residual. Aplicamos nuevamente la fórmula:

- Volumen útil del tanque.

$$V = B * lg * h$$

$$V = 0,5 \text{ m} * 2 \text{ m} * 0,80 \text{ m}$$

$$V = 0,85 \text{ m}^3$$

- Tiempo de retención.

$$\text{Trh} = \frac{V}{Q}$$

$$\text{Trh} = \frac{0,85 \text{ m}^3}{1,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$\text{Trh} = 0,70 \text{ horas}$$

3.9.3.6 *Altura útil del agua.*

Es el agua que circula dentro de la trampa de grasa hacia el otro sistema de tratamiento, se trabaja con la **ecuación 31-1**:

$$H. \text{ útil} = \frac{V}{As}$$

$$H. \text{ útil} = \frac{0,85 \text{ m}^3}{0,968 \text{ m}^2}$$

$$H. \text{ útil} = 0,878 \text{ m} \cong 0,88 \text{ m}$$

3.9.4 *Cálculo del sedimentador primario rectangular.*

La carga superficial (Cs) se basó en el código de práctica ecuatoriano (INEN, 1992) que es de 20 m³/m² * d. Se utilizó la **ecuación 32-1**:

3.9.4.1 Área superficial

$$As = \frac{Q}{Cs}$$
$$As = \frac{29,03 \frac{m^3}{d}}{20 \frac{m^3}{m^2 * d}}$$
$$As = 1,452 m^2$$

3.9.4.2 Ancho.

Se calcula tomando en cuenta la relación ancho/largo de 1:3 mediante la **ecuación 33-1**.

$$B = \sqrt{\frac{As}{3}}$$
$$B = \sqrt{\frac{1,452m^2}{3}}$$
$$B = 0,696 m \cong 0,7 m$$

3.9.4.3 Largo

El largo del sedimentador es 3 veces mayor que el ancho, se aplicó la **ecuación 34-1**.

$$lg = B * 3$$

$$lg = 0,7 m * 3$$

$$lg = 2,1 m$$

3.9.4.4 Volumen del tanque.

Para el cálculo del volumen se debe proponer la altura, según el código de práctica ecuatoriano CPE INEN 5 la altura del taque varía entre 1,5 m y 2,5 m, excluyendo el borde libre y la altura para acumulación de lodos, se utilizó la **ecuación 35-1**.

$$V = B * lg * h$$

$$V = 0,7 m * 2,1 m * 2 m$$

$$V = 2,94 \text{ m}^3$$

3.9.4.5 Tiempo de retención hidráulica.

Se trabaja con las unidades m^3/h , se aplica la **ecuación 36-1**:

$$\text{Trh} = \frac{V}{Q}$$

$$\text{Trh} = \frac{2,94 \text{ m}^3}{1,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$\text{Trh} = 2,430 \text{ horas}$$

3.9.4.6 Velocidad de arrastre.

$$V_A = \left[\frac{8 k (s - 1) g d}{f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde

k: Constante de cohesión.	0,05
s: Gravedad específica.	1,25
g: Aceleración de la gravedad.	9,806 m/s^2
d: Diámetro de las partículas.	100 μm
f: Factor de fricción Darcy – Weisbach	0,025

Los valores numéricos considerados para la resolución de esta ecuación son constantes; el Factor de fricción Darcy – Weisbach (f) es la constante para el concreto. Se utiliza la **ecuación 37-1**.

$$V_A = \left[\frac{8 * 0,05 (1,25 - 1) 9,806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 100 \mu\text{m} * \frac{1 \times 10^{-6} \text{m}}{1 \mu\text{m}}}{0,025} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_A = 0,0627 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cong 6,27 \times 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.9.4.7 Tasa de remoción de la DBO₅.

Se trabajó con datos empíricos citados por varios autores. Donde los valores de “a” y “b” a 20°C son 0,018 y 0,02. Se utilizó la **ecuación 38-1**.

$$\text{REMOCIÓN DBO}_5 = \frac{\text{Trh}}{a + (b * \text{Trh})}$$
$$\text{REMOCIÓN DBO}_5 = \frac{2,43 \text{ horas}}{0,018 + (0,02 * 2,43 \text{ horas})}$$
$$\text{REMOCIÓN DBO}_5 = 36,49 \%$$

3.9.4.8 Tasa de remoción de Sólidos Suspendedos Totales.

Los sólidos suspendidos totales al igual que la DBO₅, requieren de la misma ecuación, se trabajó con datos empíricos, donde “a” y “b” a 20°C es 0,075 y 0,014.

$$\text{REMOCIÓN SST} = \frac{\text{Trh}}{a + (b * \text{Trh})}$$
$$\text{REMOCIÓN SST} = \frac{2,43 \text{ horas}}{0,0075 + (0,014 * 2,43 \text{ horas})}$$
$$\text{REMOCIÓN SST} = 58,53 \%$$

3.9.4.9 Altura máxima

Se considera una pendiente del 10% en el fondo para el fácil mantenimiento del sedimentador.

$$H_{\text{max}} = h + 0,1 * h$$
$$H_{\text{max}} = 2 \text{ m} + 0,1 * 2 \text{ m}$$
$$H_{\text{max}} = 2,20 \text{ m}$$

En este cálculo también se le considera el borde libre de 0,15 m de altura dándonos una altura máxima de 2,35 m, se trabajó con la **ecuación 39-1**.

3.9.4.10 Altura del agua sobre el vertedero.

En esta etapa, el caudal trabaja con las unidades de m^3/s . La **ecuación 40-1**, fue la utilizada.

$$H_v = \left(\frac{Q}{1,84 * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_v = \left(\frac{0,000336}{1,84 * 0,70} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_v = 0,0041 \text{ m}$$

3.9.4.11 Longitud total del sedimentador.

Para calcular la longitud total se debe considerar las distancias de la pantalla difusora que está en rangos de 0,7 a 1 m, se trabajó con 0,7 m dándonos el siguiente resultado (**ecuación 41-1**):

$$lgT = lg + Bpd$$

$$lgT = 2,10 \text{ m} + 0,7 \text{ m}$$

$$lgT = 2,80 \text{ m}$$

3.9.4.12 Cálculo de la pantalla difusora.

- Área total de los orificios.

Se utilizó la **ecuación 42-1** para el cálculo de los orificios de la pantalla difusora.

$$A_{To} = \frac{Q}{V_o}$$

Donde:

A_{To}: Área total de los orificios m^2

Q: Caudal. m^3/s

V_o: Velocidad de paso entre los orificios (PROPUESTO) m/s

$$A_{To} = \frac{0,000336 \frac{m^3}{s}}{0,01 \frac{m}{s}}$$

$$A_{To} = 0,0336 \text{ m}^2$$

- Área de cada orificio.

Se trabajó con la **ecuación 43-1** para el cálculo del área de los orificios.

$$A_o = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

Por consideraciones de diseño se trabajó con un diámetro de orificio de 3" \cong 0,075 m basados en fuentes bibliográficas.

$$A_o = \pi \left(\frac{0,075 \text{ m}}{2} \right)^2$$

$$A_o = 0,0045 \text{ m}^2$$

- Numero de orificios.

Los números de orificios fueron calculados con la **ecuación 44-1**.

$$n = \frac{A_{To}}{A_o}$$

$$n = \frac{0,0336}{0,0045}$$

$$n = 7,46 \cong 12$$

Por consideraciones de diseño se optó por trabajar con 12 orificios con un espesor de 5 cm.

- Altura de la pantalla difusora.

Se aplicó la **ecuación 45-1** para calcular la altura de la pantalla difusora.

$$H_{pd} = H - \left(\frac{2}{5} * H \right)$$

Dónde

H: altura del tanque sedimentador (m).

$$H_{pd} = 2 \text{ m} - \left(\frac{2}{5} * 2\text{m}\right)$$

$$H_{pd} = 1,2 \text{ m}$$

- Espacios entre filas de orificios.

La **ecuación 46-1** es utilizado para el cálculo del espacio entre filas de orificios.

$$a_1 = \frac{h_{pd}}{n_f}$$

Donde

n_f : número de filas de orificios (PROPUESTOS).

$$a_1 = \frac{1,2}{4}$$

$$a_1 = 0,3 \text{ m}$$

- Espacios entre columnas de orificios.

Para el cálculo del espacio entre las columnas de orificios se aplicó la **ecuación 47-1**.

$$a_2 = \frac{B_{pd}}{n_c + 1}$$

Donde.

B_{pd} : Base ponderada (ancho del sedimentador en metros).

n_c : Numero de columnas (PROPUESTOS)

$$a_2 = \frac{0,7}{3 + 1}$$

$$a_2 = 0,175 \cong 0,18 \text{ m}$$

3.9.5 Cálculo de eras o lecho de secados.

3.9.5.1 Carga de sólidos que ingresa al sedimentador

Para determinar la carga que ingresa al sedimentador se utilizó la **ecuación 48-1**.

$$\text{Contribucion percapita} = Q * SS * 0,0864$$

Donde

SS: Sólidos en suspensión en el agua residual cruda, en mg/L

Q: Caudal de diseño de las aguas residuales m³/d

Cp: Contribución per cápita en gr/hab*día.

La población que cuenta con alcantarillado sanitario requiere de una contribución per cápita que se determina en base a la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales (análisis de laboratorio). Cuando la población no cuenta con alcantarillado se utiliza una contribución per cápita promedio de 90 gr.SS/ (hab*día).se utiliza la **ecuación 49-1**.

$$C = \frac{\text{Población futura} * \text{Contribucion percapita}}{1000}$$

$$C = \frac{37 \text{ hab} * 90 \text{ SS} \frac{\text{gr}}{\text{hab} * \text{día}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}}}{1000}$$

$$C = 3,33 \times 10^{-3} \text{ SS} \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

3.9.5.2 Masa de solidos que conforman los lodos.

La masa de sólidos que conforman los lodos son calculados con la **ecuación 50-1**.

$$\text{Msd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

$$\text{Msd} = \left(0,5 * 0,7 * 0,5 * 3,33 \times 10^{-3} \text{ SS} \frac{\text{Kg}}{\text{d}} \right) + \left(0,5 * 0,3 * 3,33 \times 10^{-3} \text{ SS} \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Msd} = 1,082 \times 10^{-3} \text{ SS} \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

3.9.5.3 Volumen diario de los lodos digeridos.

La **ecuación 51-1** es utilizada para calcular el volumen diario de los lodos digeridos.

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \left(\frac{\%sólidos}{100}\right)}$$

Donde

ρ_{lodo} : Densidad de los lodos (1,04 kg/L).

$\%sólidos$: % de solidos contenidos en el lodo, (8 -12%).

$$Vld = \frac{1,082 \times 10^{-3} \text{ SS } \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{1,04 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * \left(\frac{12\%}{100}\right)}$$

$$Vld = 8,67 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{d}} \cong 8,67 \frac{\text{ml}}{\text{d}}$$

3.9.5.4 Volumen de lodo a extraer del tanque.

La **ecuación 52-1** es utilizado para el cálculo del volumen de lodo a extraer del tanque.

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{8,67 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{d}} * 55 \text{ d}}{1000}$$

$$Vel = 4,77 \times 10^{-4} \text{ L} \cong 4,77 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

3.9.5.5 Área del lecho de secado.

El área del lecho de secado se fundamenta con la siguiente **ecuación 53-1**.

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Ha: profundidad de aplicación entre 0,5 m

$$Als = \frac{4,77 \times 10^{-7} \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}}$$

$$Als = 9,54 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

3.9.6 Cálculo del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

3.9.6.1 Constante de reacción de primer orden K_T .

Para calcular la constante de reacción de primer orden se utilizó la temperatura del agua residual medida con el termómetro durante los 7 días de monitoreo, el promedio obtenido es de 25°C. Para su cálculo se utilizó la ecuación **54-1**-

$$K_T = K_{20} * \theta^{T_2-20}$$

Donde:

K_{20} : Constante de reacción a 20°C. (1,104)

T_2 : Temperatura del agua residual. (°C)

θ Constante de primer orden.

$$K_T = 1,104 * 1,06^{25-20}$$

$$K_T = 1,477 \text{ d}^{-1}$$

➤ Porosidad del sustrato usado para el humedal.

$$\text{Promedio porosidad} = \frac{\text{Piedra bola} + \text{grava 1} + \text{grava 3/8} + \text{arena}}{4}$$

$$\text{Promedio porosidad} = \frac{41\% + 38\% + 35\% + 28\%}{4}$$

$$\text{promedio porosidad} = \frac{142}{4} \% = 35,5 \%$$

$$\text{promedio porosidad} = \frac{35,5}{100} \%$$

$$\text{promedio porosidad} = 0,355 \cong 0,36$$

3.9.6.2 Área superficial.

El área superficial se calculó con la **ecuación 55-1**.

$$As = \frac{Q_D * \ln\left(\frac{C_0}{C_f}\right)}{K_T * h * n_p}$$

Donde

Q_D: Caudal de diseño (m³/d).

C₀: Concentración de efluente, (análisis de laboratorio DBO₅ mg/L).

C_f: Concentración del afluente, (DBO₅, valor dentro de la norma en mg/L).

K_T: Constante de primer orden dependiente de la temperatura.

h: Altura del humedal (0,9 m).

n_p: Porosidad del sustrato.

$$As = \frac{29,03 \frac{m^3}{d} * \ln\left(\frac{214}{90}\right)}{\frac{1,477}{d} * 0,9 \text{ m} * 0,36}$$

$$As = 52,54 \text{ m}^2$$

3.9.6.3 *Tiempo de retención hidráulico.*

Con la **ecuación 56-1** se calculó el tiempo de retención hidráulica.

$$trh = \frac{As * h * p}{Q}$$

$$trh = \frac{52,54 \text{ m}^2 * 0,9 \text{ m} * 0,36}{29,03 \frac{m^3}{d}}$$

$$trh = 0,586 \text{ d} \cong 14,06 \text{ horas}$$

➤ Conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica (m³/m².d) que se utilizó en el cálculo del ancho del humedal es un valor promedio de las conductividades hidráulicas de cada una de las capas que conforman el lecho filtrante (humedal), se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Conductividad hidraúlica} = \frac{\text{Piedra bola} + \text{grava 1} + \text{grava 3/8} + \text{arena}}{4}$$

$$\text{Conductividad hidráulica} = \frac{100 + 1000 + 11000 + 51000}{4}$$

$$\text{Conductividad hidráulica} = \frac{63100}{4}$$

$$\text{Conductividad hidráulica} = 15775$$

3.9.6.4 Ancho del humedal.

El ancho del humedal se calculó con la **ecuación 57-1**.

$$w = \frac{1}{h} * \left(\frac{Q * As}{S * Ks} \right)^{0,5}$$

Donde:

S: pendiente del lecho filtrante 0-1%, valor recomendable 0,5%.

$$w = \frac{1}{0,9 \text{ m}} * \left(\frac{29,03 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 52,54 \text{ m}^2}{0,005 * 15775 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}}} \right)^{0,5}$$

$$w = 4,886 \text{ m}$$

Por consideraciones de diseño se adoptó 5 metros para el ancho del humedal.

3.9.6.5 Largo del humedal.

El largo del humedal se calculó con la **ecuación 58-1**.

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

$$L = \frac{52,54 \text{ m}^2}{4,886 \text{ m}}$$

$$L = 10,75 \text{ m} \approx 11 \text{ m}$$

3.9.6.6 Cantidad del medio filtrante para el humedal.

Para determinar la cantidad necesaria de substratos (arena, grava fina, grava media y piedras) a utilizar en el humedal se utilizó la **ecuación 59-1**:

$$\text{Vol. sustrato} = L * w * h$$

- Volumen de arena.

$$\text{Vol. arena} = L * w * h$$

$$\text{Vol. arena} = 8 \text{ m} * 5 \text{ m} * 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Vol. arena} = 6 \text{ m}^3$$

- Volumen de grava fina.

$$\text{Vol. grava fina} = L * w * h$$

$$\text{Vol. grava fina} = 8 \text{ m} * 5 \text{ m} * 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Vol. grava fina} = 12 \text{ m}^3$$

- Volumen de grava media.

$$\text{Vol. grava media} = L * w * h$$

$$\text{Vol. grava media} = 8 \text{ m} * 5 \text{ m} * 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Vol. grava media} = 12 \text{ m}^3$$

- Volumen de las piedras.

$$\text{Vol. piedra} = L * w * h$$

$$\text{Vol. piedra} = 1,5 \text{ m} * 5 \text{ m} * 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Vol. piedra} = 6,75 \text{ m}^3$$

3.10 Elaboración de planos.

Se diseñó los planos de la planta de tratamiento por separado y luego se hizo un plano general representado el nivel en cómo se encuentra cada uno de los sistemas. Los planos individuales se imprimieron en formato A3. En cada plano se aplicó las escalas correspondientes: trampa de grasas y aceites escala 1:20, sedimentador primario rectangular escala 1:50, eras de secado escala 1:20, humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal escala 1:100 y el plano general escala 1:200. Se trabajó con la unidad de metros.

3.11 Construcción de la PTAR domésticas en el sector OMAWUA.

En esta etapa se realizó una serie de pasos para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, considerando las características de diseño y el tipo de material utilizado.

Se contrató personal capacitado para la construcción de cada uno de los sistemas de tratamientos (trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular y lechos de secado) que requerían la utilización de cemento, bloque y fundición. En esta etapa se tomaron en cuenta todos los parámetros de diseños anteriormente mencionados, tales como, topografía, del terreno, pendientes en cada uno de los sistemas y sobre todo las condiciones ambientales.

3.11.1 Población de diseño o futura.

Tabla 3-20. Resultados de la población futura por el método geométrico.

Parámetros.	Simbología	Valor	Unidades.
Población actual.	P_a	25	Habitantes
Tasa de crecimiento actual.	r	1,9	%
Años de proyección.	n	21	Años
Población futura.	P_f	37	habitantes

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.11.2 Caudal de diseño

Tabla 3-21. Resultados del caudal de diseño.

Parámetros	Simbología	Valor	unidades
Población futura.	P_f	37	habitantes
Caudal medio.	Q_m	0,06	L/s
Caudal de infiltración.	Q_{inf}	0,159	L/s
Caudal de conexiones erradas.	Q_{ce}	0,031	L/s
Caudal de diseño.	Q_d	0,336	L/s
		29,03	m ³ /día

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.11.3 Trampa de grasas.

Tabla 3-22. Resultados para el dimensionamiento de la trampa de grasas.

Parámetros	Simbología	Valor	Unidades
Área superficial.	As	0,968	m ²
Ancho.	B	0,5	m
Largo.	Lg	2	m
Altura del tanque.	h	1	m
Se disminuyó el borde libre (0,15 m) para la instalación de la tubería.			
Volumen del agua.	V	0,85	m ³
Tiempo de retención.	Trh	0,7	horas
Altura útil del agua.	h. útil	0,88	m
División del sistema en cámaras.			
Cámara 1.	-	0,67	m
Cámara 2.	-	0,67	m
Cámara 3.	-	0,66	m
Considerando los materiales de construcción las dimensiones son las siguientes (bloque 10 cm más enlucido de lado a lado 2 cm).			
Altura + plancha.	h. total	1,10	m
Ancho.	B	0,74	m
Largo.	Lg	2,48	m

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.11.4 Sedimentador primario rectangular.

Tabla 3-23. Resultados para el dimensionamiento del sedimentador primario rectangular.

Parámetros	Simbología	Valor	Unidades
Área superficial.	As	1,452	m ²
Ancho.	B	0,7	m
Largo.	Lg	2,10	m
Altura.	h	2	m
Volumen del tanque.	V	2,93	m ³
Tiempo de retención.	Trh	2,430	horas
Velocidad de arrastre	V _a	0,0627	m/s

Remoción de DBO ₅ .	-	36,49	%
Remoción de SST.	-	58,53	%
Altura máxima.	h_{max}	2,20	m
Altura del agua sobre el vertedero.	H _v	0,0041	m
Longitud total	Lg _T	2,80	m
Pantalla difusora.			
Área total de los orificios.	A _{To}	0,0336	m ²
Área de cada orificio.	A _o	0,0045	m ²
Numero de orificios.	n	12	-
Altura de la pantalla difusora + borde libre.	H _{pd}	1,30	m
Espacios entre filas de orificios.	a ₁	0,3	m
Espacios entre columnas de orificios.	a ₂	0,18	m
Considerando los materiales de construcción utilizado (fundido 10 cm grosor enlucida de lado a lado 2 cm.			
Ancho.	B	0,94	m
Largo.	Lg	3,09	m
Altura + borde libre + plancha + pendiente 10%.	H _{total}	2,55	m

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.11.5 Eras de secado.

Tabla 3-24. Resultados para el dimensionamiento de la era de secado.

Parámetros	Simbología	Valor	Unidades
Carga de solidos que ingresa al sedimentador.	C	$3,33 \times 10^{-3}$	Kg SS/día
Masa de solidos que conforman los lodos.	Msd	$1,082 \times 10^{-3}$	Kg SS/día
Volumen diario de lodos digeridos.	vld	$8,67 \times 10^{-3}$	L/día
Volumen a extraer del tanque.		$4,77 \times 10^{-3}$	m ³
Área de lecho de secado.	Als	$9,54 \times 10^{-7}$	m ²
ancho	B	1,5	m
Largo	Lg	2	m
profundidad	P	0,5	m
Área superficial	As	3	m ²
Medio granular utilizado como medio filtrante de lodos.			

Grava media 1”.	-	0,15	m
Grava fina 3/8”.	-	0,15	m
Arena.	-	0,20	m

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.11.6 Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Tabla 3-25. Resultados para el dimensionamiento del humedal artificial de Flujo SH.

Parámetros	Simbología	Valor	Unidades
Área superficial.	As	52,54	m ²
Tiempo de retención.	Trh	0,586	horas
Ancho.	B	5	m
Largo.	Lg	11	m
Profundidad.	P	0,9	m
Volumen	V	47,943	m ³
Volumen requerido del medio granular.			
Arena (altura 15 cm).	-	6	m ³
Grava fina (altura 30 cm).	-	12	m ³
Grava media (altura 30 cm).	-	12	m ³
Piedras (altura 90 cm).	-	6,75	m ³

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.12 Operación y mantenimiento.

3.12.1 Operación.

Una vez terminado la construcción de cada uno de los sistemas de tratamientos, trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular, lecho de secado, y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, se empató la tubería de descargas de aguas residuales a todo el sistema para su funcionamiento definitivo.

Se verificó el tanque de la trampa de grasas y aceites para conocer el tiempo de retirada de los sólidos presente en ella. En el siguiente sistema de tratamiento se observó la circulación del agua para garantizar que sea laminar para de esa manera evitar que los sólidos sedimentables y la materia orgánica en proceso de descomposición asciendan por todo el tanque de sedimentación y por ende sean dirigidos hasta el humedal.

Una vez cumplido el tiempo de retención de lodos en el tanque de sedimentación se abrió la compuerta (válvula) para distribuir el lodo en el lecho de secado, el cual el grosor de lodo no debe superar los 10 cm. Ya en el humedal se verificó que el agua de salida cumpla con la normativa ecuatoriana vigente TULSMA LIBRO VI ANEXO I: tabla 12, límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales a un cuerpo de agua dulce.

3.12.2 Mantenimiento.

Para realizar el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del sector OMAWUA, comunidad San Luis de Armenia se realizó un manual de mantenimiento, para garantizar la vida útil del sistema de tratamiento. El manual será sencillo para su fácil entendimiento.

3.13 Análisis físico, químico y microbiológico después del tratamiento.

Para comprobar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó otros 5 análisis con los parámetros anteriormente mencionados y se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3-26. Análisis físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento.

Parámetros.	Unidad.	Muestreo 1 Lunes 08-11-2017	Muestreo 2 Miércoles 09-11-2017	Muestreo 3 Viernes 10-11-2017	Muestreo 4 Sábado 11-11-2017	Muestreo 5 Domingo 13-11-2017	Promedio
Potencial de hidrógeno.	-	6,53	6,66	6,67	6,96	6,82	6,73
Sólidos sedimentables.	mg/l	0,2	0,01	0,2	0,8	0,7	0,4
Sólidos totales	mg/l	167,83	181,53	215,40	189,64	185,99	188,08
Turbidez	UNT	24	49	30	37	39	35,8
Conductividad eléctrica.	S/cm	183	196,2	185,8	164,4	203	186,48
Aceites y grasas.	mg/l	0,36	0,36	0,17	0,03	0,20	0,224
Nitratos.	mg/l	0,5	0,44	0,89	1,33	0,89	0,71
Fosfatos.	mg/l	0,17	0,06	0,64	0,42	0,34	0,326
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	mg/l	20	20	15	25	20	20
Demanda Química de oxígeno (DQO).	mg/l	57	55	46	74	52	56,8
Coliformes totales.	Nmp/100 ml	1,6	0,86	0,5	0,03	1	0,8
Tensoactivos.	mg/l	0,41	0,35	5,84	2,21	2,68	2,3

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.13.1 Variación del Potencial de Hidrógeno.

Tabla 3-27. Variación del Potencial de Hidrógeno.

Potencial de Hidrógeno.				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
6,53	6,66	6,67	6,96	6,82

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

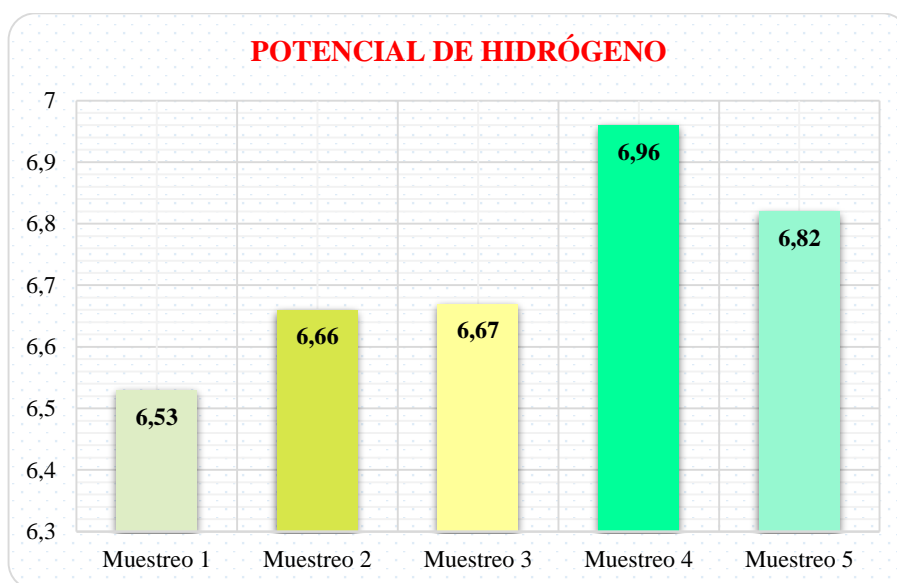


Gráfico 3-19. Variación del Potencial de Hidrógeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En la **gráfica 3-19** de la variación del potencial de hidrógeno, se puede comprobar que el pH después del tratamiento se mantiene en el rango de 6-7, es decir el agua es básica, siendo su valor mínimo de 6,53 y su valor máximo de 9.97. Bajos estas condiciones de pH los microorganismos proliferan con facilidad.

3.13.2 Variación de Sólidos Sedimentables.

Tabla 3-28. Variación de Sólidos Sedimentables.

Sólidos Sedimentables mg/L.				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
0,2	0,01	0,2	0,8	0,7

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017

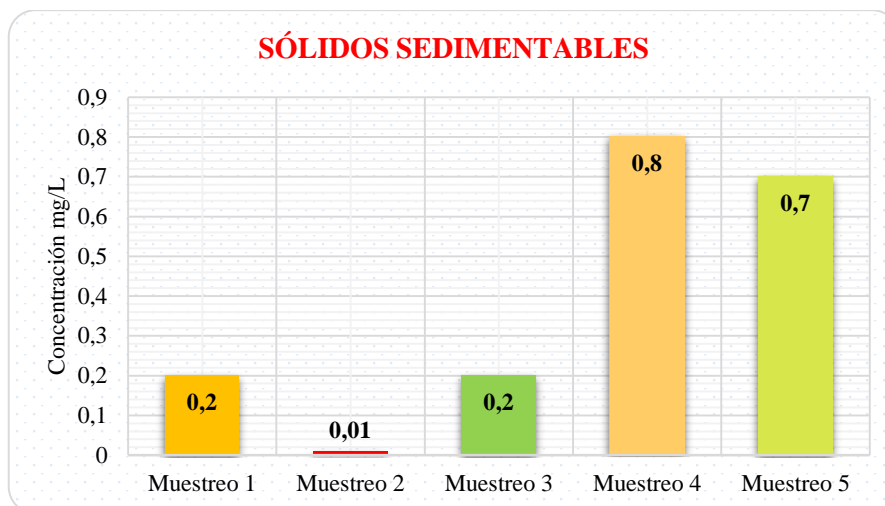


Gráfico 3-20. Variación de los Sólidos Sedimentables.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El gráfico 3-20 de la variación de sólidos sedimentables después del tratamiento presenta valores que no superan de 1 mg/L, lo que se deduce que el sedimentador primario trabaja correctamente.

3.13.3 Variación de Sólidos Totales.

Tabla 3-29. Variación de los Sólidos Totales.

Sólidos Totales mg/L.				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
167,83	181,53	215,4	189,64	185,99

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

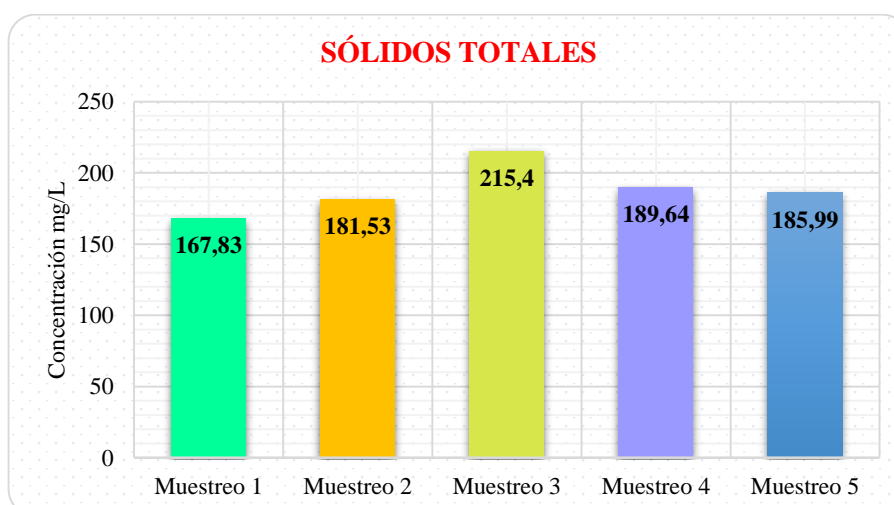


Gráfico 3-21. Variación de los Sólidos Totales.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En el **gráfico 3-21** de la variación de los sólidos totales se puede comprobar que las 5 muestras no varían significativamente presentando un valor mínimo y máximo de 167,83 y 215,4 mg/L.

3.13.4 Variación de la Turbidez.

Tabla 3-30. Variación de la Turbidez.

Turbidez UNT.				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
24	49	30	37	39

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

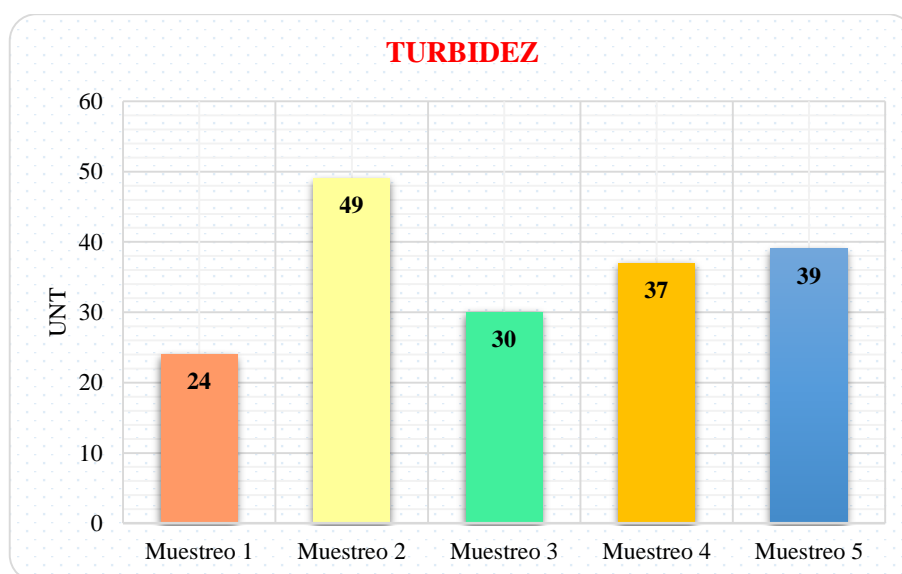


Gráfico 3-22. Variación de la Turbidez.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-22** de la variación de la turbidez demuestra que la muestra 1 presenta un valor mínimo de 24 UNT y un valor máximo de 49 UNT, lo que significa que el agua presenta mínima suciedad gracias al funcionamiento correcto de la PTAR.

3.13.5 Variación de la Conductividad Eléctrica.

Tabla 3-31. Variación de la Conductividad Eléctrica.

Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
183	196,2	185,8	164,4	203

Realizado por: Guido Chimbo Y Gustavo Montero 2017.

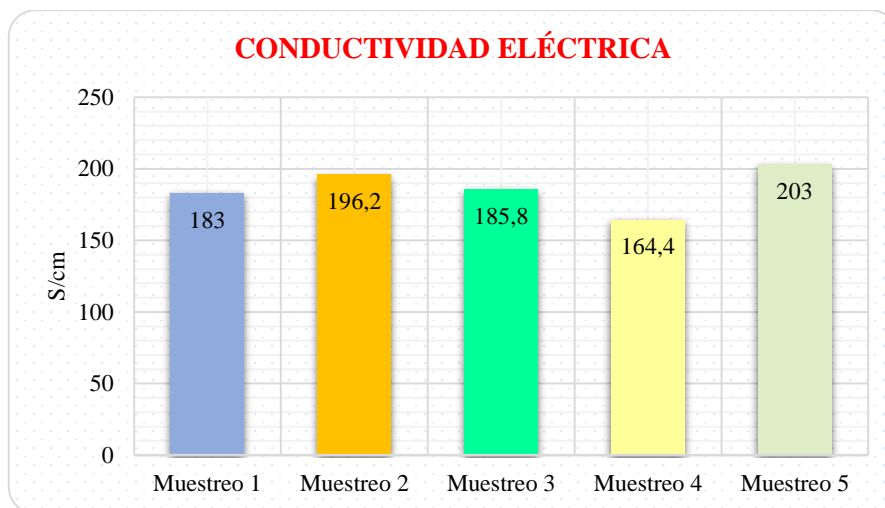


Gráfico 3-23. Variación de la Conductividad Eléctrica.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-23** de la variación de la conductividad eléctrica presenta un valor mínimo de 164,4 $\mu\text{S/cm}$ y un valor máximo de 203 $\mu\text{S/cm}$, estos datos son aceptables dentro de un agua residual.

3.13.6 Variación de Aceites y Grasas.

Tabla 3-32. Variación de Aceites y Grasas.

Aceites y Grasas mg/L				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
0,36	0,36	0,17	0,03	0,2

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

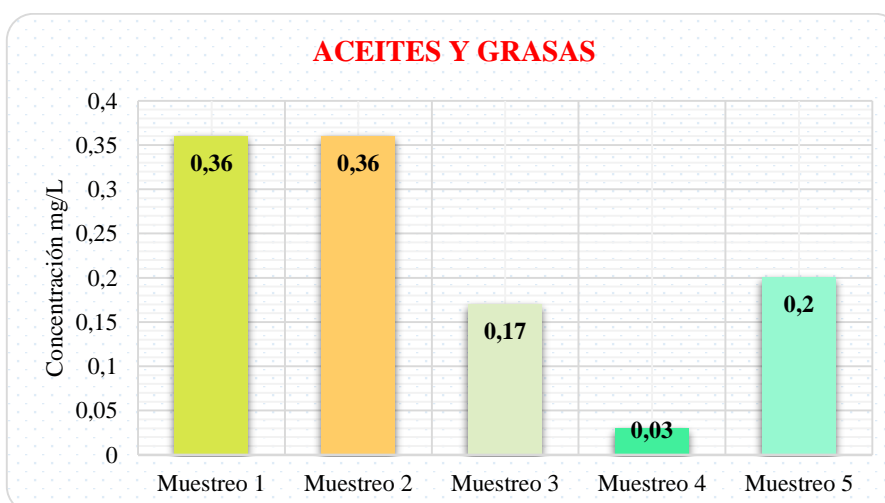


Gráfico 3-24. Variación de Aceites y Grasas.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-24** de la variación de aceites y grasas presenta valores que no superan 1 mg/L, es decir el tratamiento mediante humedales es satisfactorio en la eliminación de contaminantes.

3.13.7 Variación de Nitratos.

Tabla 3-33. Variación de Nitratos.

Nitratos mg/L				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
0,5	0,44	0,89	1,33	0,89

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

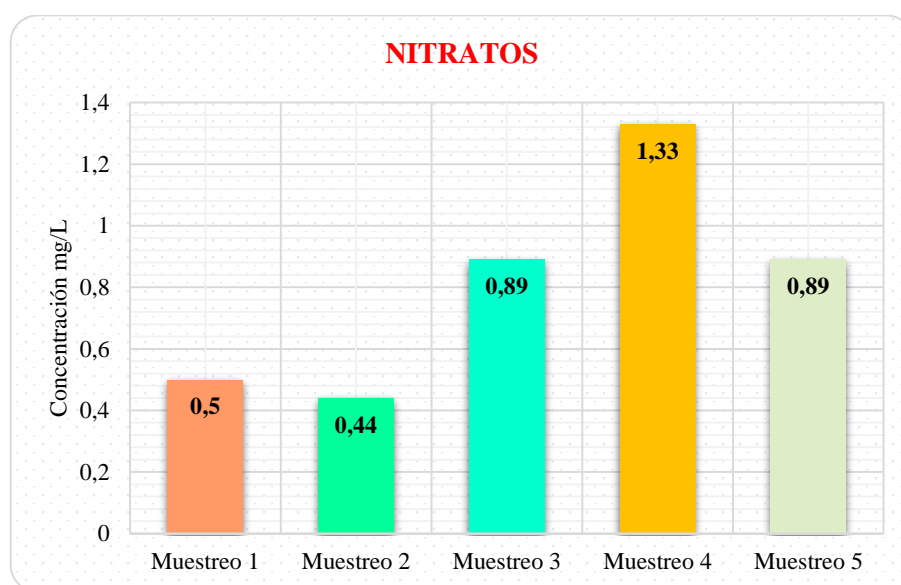


Gráfico 3-25. Variación de Nitratos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-25**. De la variación de los nitratos demuestra que la muestra 4 presenta un valor máximo de 1,33 mg/L, un valor muy bajo en comparación con otros tratamientos, esto significa que su descarga no generará un problema serio para el ambiente, ya que los nitratos es uno de los compuestos que provocan la eutrofización de ríos, lagos, etc.

3.13.8 Variación de Fosfatos.

Tabla 3-34. Variación de Fosfatos.

Fosfatos mg/L				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
0,17	0,06	0,64	0,42	0,34

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

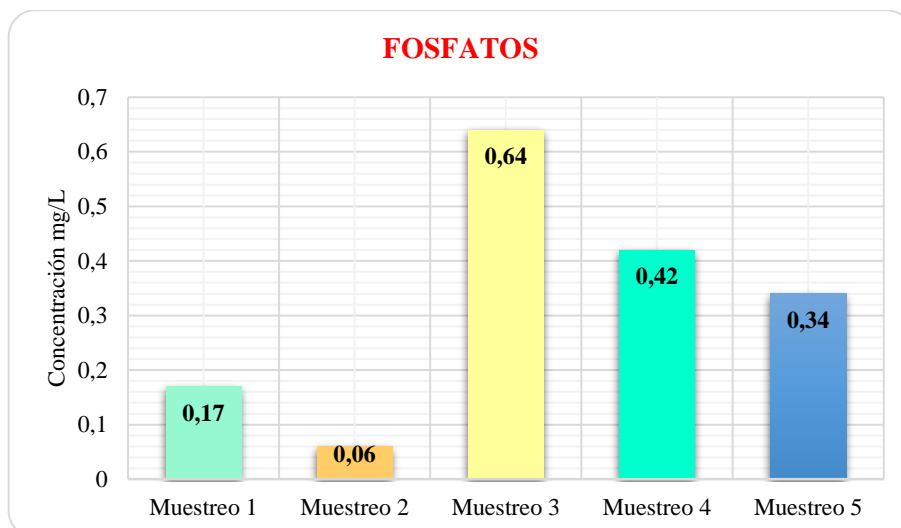


Gráfico 3-26. Variación de Fosfatos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-26** presenta valores de fosfatos, su descarga no genera ningún problema al ambiente porque su concentración es menos de 1mg/L, también es precursor de la eutrofización.

3.13.9 Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 3-35. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
20	20	15	25	20

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

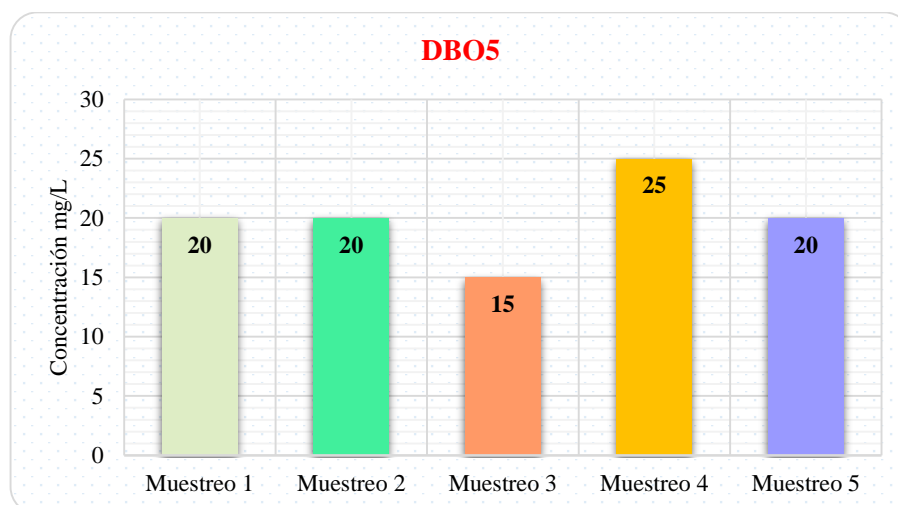


Gráfico 3-27. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La planta de tratamiento garantiza la eliminación de la DBO₅ al máximo ya que presenta concentraciones que no superan los 100 mg/L, esto quiere decir que la planta emergente pasto alemán está cumpliendo con su poder degradativo.

3.13.10 Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

Tabla 3-36. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

Demanda Química de Oxígeno mg/L				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
57	55	46	74	52

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

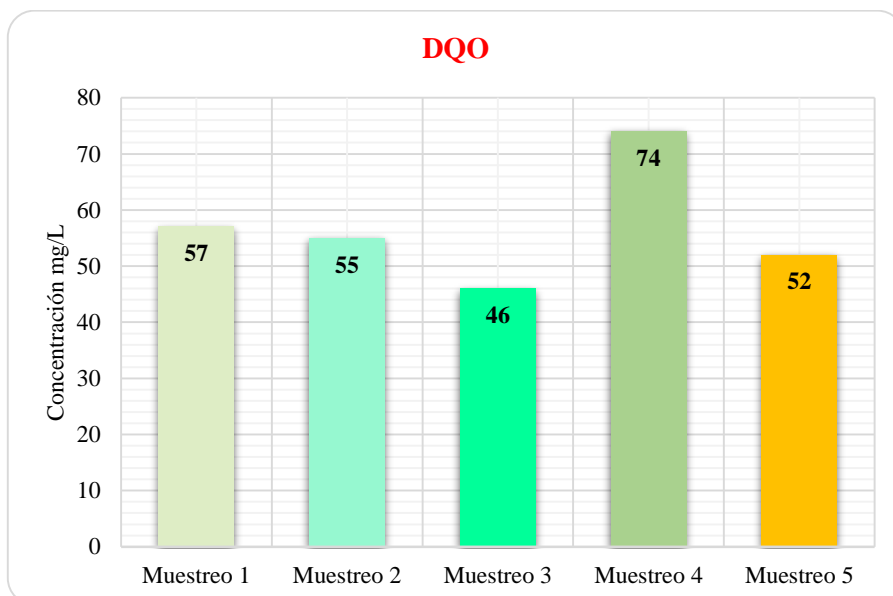


Gráfico 3-28. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El gráfico 3-28 de la variación de la DQO representa valores bajos que no superan los 100 mg/L, siendo el valor más alto 74 mg/L, la PTAR domésticas trabaja correctamente en su degradación.

3.13.11 Variación de los coliformes Totales.

Tabla 3-37. Variación de los Coliformes Totales.

Coliformes Totales Nmp/100ml				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
1,6	0,86	0,5	0,03	1

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

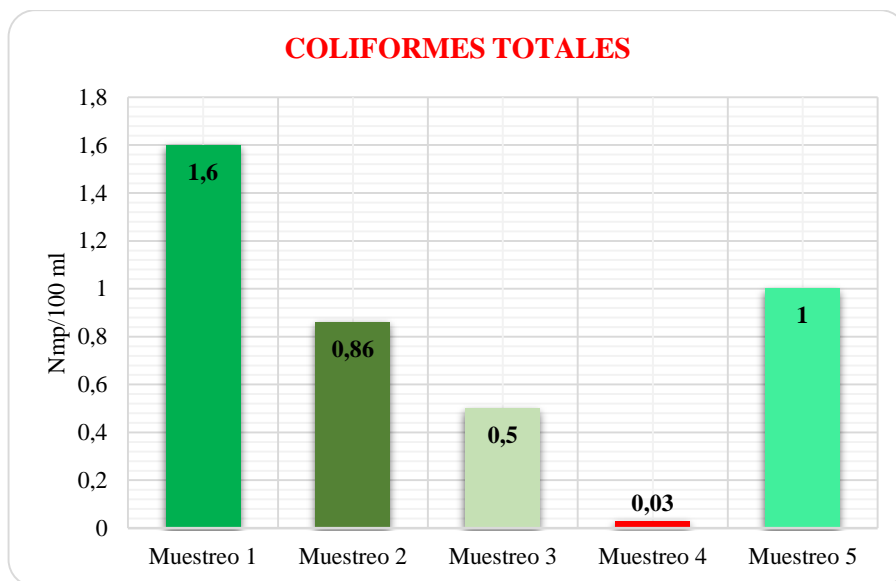


Gráfico 3-29. Variación de los Coliformes Totales.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La **figura 3-29** representa la variación de los Coliformes Totales donde se puede visualizar la reducción completa de estos microorganismos gracias a los rizomas de la planta (pasto alemán). Su baja concentración garantiza que es un agua buena para ser reutilizada en el riego de jardines, lavado de carros y para riego de cachas de fútbol.

3.13.12 Variación de los Tensoactivos.

Tabla 3-38. Variación de los Tensoactivos.

Tensoactivos mg/L				
Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
0,41	0,35	5,84	2,21	2,68

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Los tensoactivos representan el mayor problema en la depuración de las aguas residual debido a su alto contenido de compuestos químicos, que son difícil de ser degradado por las rizomas de las planta, una solución biotecnológica es utilizar bacterias degradadoras.

En la **tabla 3-38** de la variación de los tensoactivos, se puede visualizar datos de los 5 análisis realizados después del tratamiento, donde la muestra 3 alcanza una concentración máxima de 5,84 mg/L.

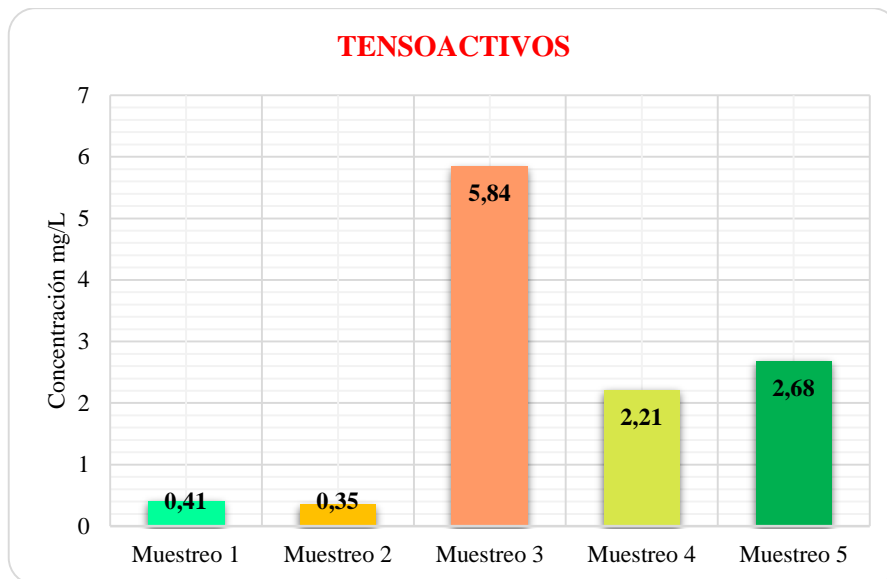


Gráfico 3-30. Variación de los Tensoactivos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.14 Comparación del afluente, efluente con la norma y eficiencia de la PTAR domésticas.

Estas comparaciones se realizan con los promedios de los análisis del antes y después del tratamiento, y con los límites máximos permisibles establecido por la normativa ambiental ecuatoriana vigente TULSMA LIBRO VI ANEXO I: tabla 12. Límite de descargas hacia un cuerpo de agua dulce.

Tabla 3-39. Comparación de datos iniciales y finales de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales.

Parámetros	Unidad	Análisis antes del tratamiento.	Análisis después del tratamiento	Límite máximo Permisible.	Observaciones.	Eficiencia %
Potencial de hidrógeno.	-	7,26	6,73	6-9	Cumple.	7
Sólidos sedimentables.	mg/l	6,2	0,4	1,0	Cumple.	94
Sólidos totales	mg/l	560,44	188,08	1600	Cumple.	66
Turbidez	UNT	250,8	35,8	-	Aceptable.	86
Conductividad eléctrica.	μS/cm	196,95	186,48	-	Poco aceptable.	5
Aceites y grasas.	mg/l	10,41	0,224	30,0	Cumple.	98
Nitratos.	mg/l	11,37	0,71	-	Cumple.	94
Fosfatos.	mg/l	6,3	0,326	-	Aceptable.	95
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	mg/l	214	20	100	Cumple.	91
Demanda Química de oxígeno (DQO).	mg/l	775	56,8	200	Cumple.	93
Coliformes totales.	Nmp/100 ml	4680000	0,8	5000	Aceptable.	100
Tensoactivos.	mg/l	4,28	2,3	0,5	No cumple.	46

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.14.1 Reducción del Potencial de Hidrógeno.

Tabla 3-40. Reducción del Potencial de Hidrógeno.

Potencial de Hidrógeno		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límite máximo permisible.
7,26	6,73	6-9

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

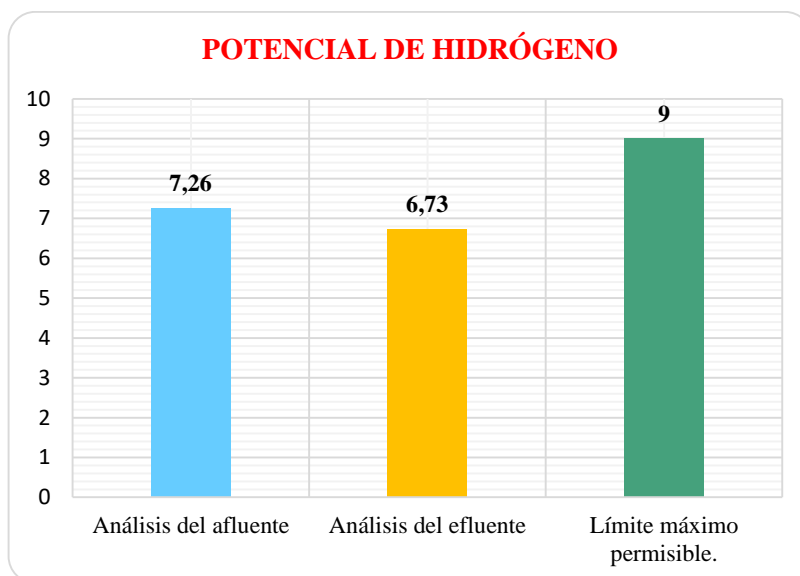


Gráfico 3-31. Reducción del Potencial de Hidrógeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia que compara los iones más solubles en el agua, en la **gráfica 3-31** se puede apreciar un pH promedio de 7,26 antes del tratamiento considerada básica y después del tratamiento este valor baja a 6,73 que en el rango de pH se considera ácida.

Los valores de pH de antes y después se encuentran dentro del límite máximo permisible establecidos por la normativa ambiental vigente ecuatoriana TULSMA LIBRO VI ANEXO I. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas, por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc. El TULSMA establece un rango de pH que va de 6-9 valores bajos o altos a lo recomendado por la normativa ambiental vigente los microorganismos tiene mucha deficiencia a su adaptación provocando la muerte.

3.14.2 Reducción de Sólidos Sedimentables.

Tabla 3-41. Reducción de Sólidos sedimentables.

Sólidos Sedimentables (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límite máximo permisible.
6,2	0,4	1,0

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

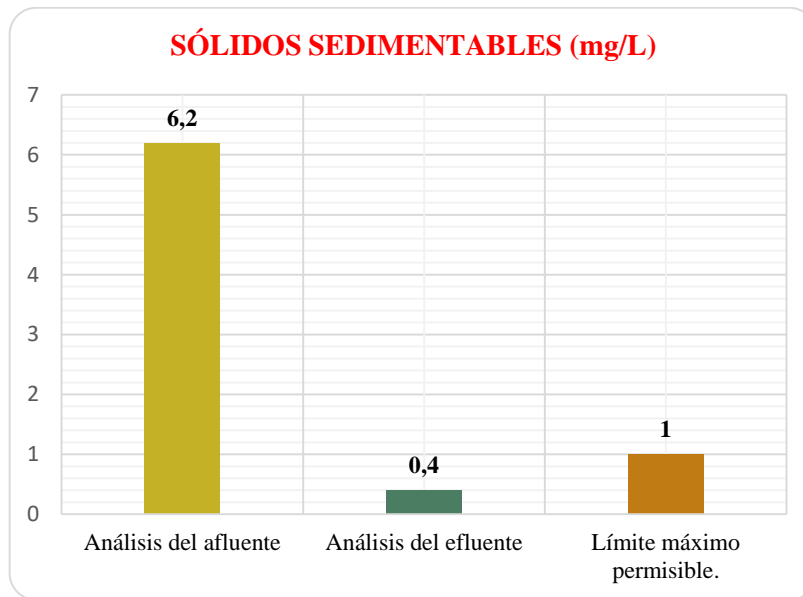


Gráfico 3-32. Reducción de los Sólidos Sedimentables.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Con respecto a los sólidos sedimentables en la **gráfica 3-32** se puede observar ciertas variaciones significativas que garantizan la calidad del agua tratada, el primer análisis representa el agua con los contaminantes arrojando un valor promedio de 6,2 mg/L de sólidos sedimentables y el segundo análisis arroja un dato de 0,4 mg/L, haciendo una comparación de este último análisis con los límites máximos permisibles se presencia el cumplimiento del mismo, y pueden ser descargadas a un cuerpo de agua dulce con facilidad, presenta una eficiencia de remoción del 94%.

A los sólidos sedimentables se le puede definir como cantidad de materia que sedimenta de una muestra en un periodo de tiempo y suele medirse en unidades de volumen (ml/l).

Para su determinación se deja decantar la muestra en un cono Imhoff durante una hora. Es de suma importancia porque nos permite ajustar la recirculación del sistema biológico.

3.14.3 Reducción de Sólidos Totales.

Tabla 3-42. Reducción de los Sólidos Totales.

Sólidos Totales (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límite máximo permisible.
560,44	188,08	1600

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

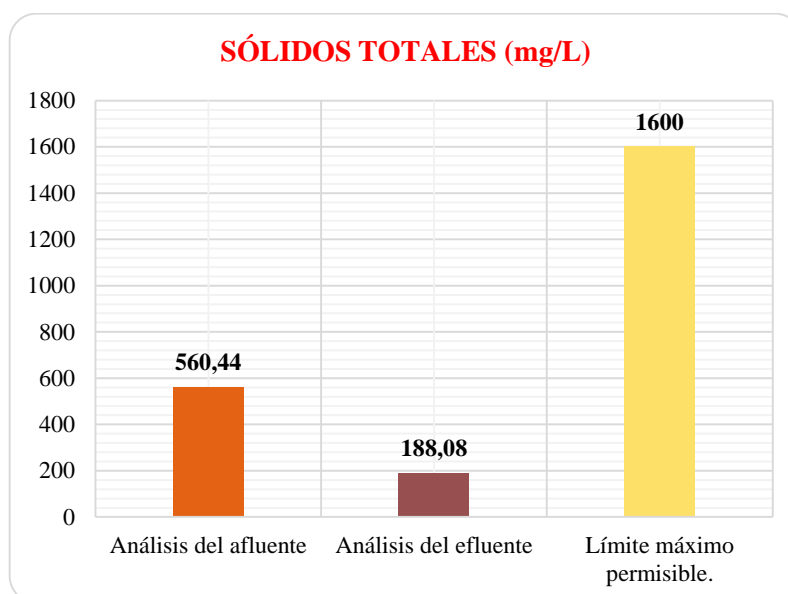


Gráfico 3-33. Variación de los Sólidos Totales.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Cabe mencionar que la **gráfica 3-33**, representa la variación de sólidos totales antes y después del tratamiento de las aguas residuales, arrojando valores promedios que van de 560,44 – 188,08 mg/L, esto significa una disminución considerable de sólidos totales después del tratamiento, también se visualiza que los dos análisis realizados son aceptables para su descarga ya que la norma permite hasta 1600 mg/L.

Esto significa que la planta de tratamiento no tendrá complicaciones al tratar de cumplir su función de depurar las aguas residuales de la comunidad San Luis de Armenia del sector OMAWUA ya que presenta una eficiencia de remoción de 66%.

3.14.4 Reducción de la Turbidez

Tabla 3-43. Reducción de la Turbidez.

Turbidez UNT		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Aceptable
250,8	35,8	*

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

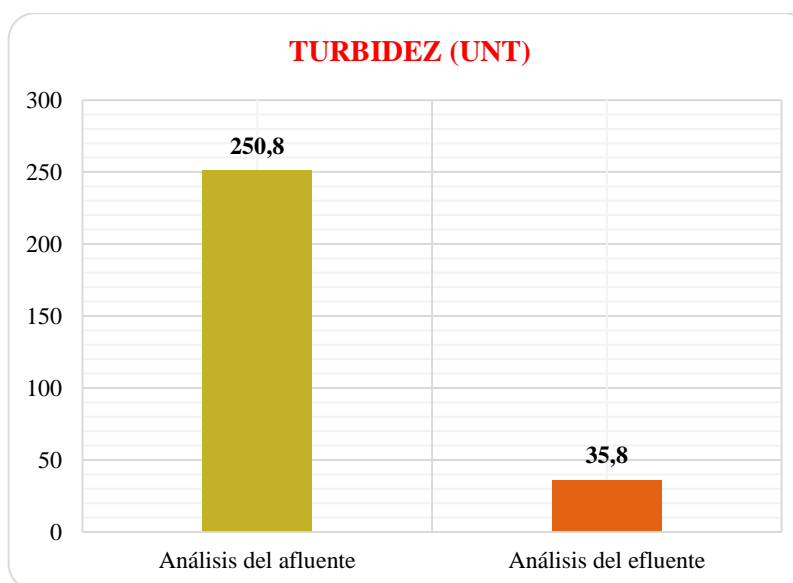


Gráfico 3-34. Reducción de la Turbidez.

Elaborado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La turbidez hace énfasis a la clara o turbia que pueda estar el agua, sus niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua. La **gráfica 3-34**, de reducción de la turbidez representa una disminución excesiva después del tratamiento con una concentración promedio de 35,8 UNT, lo que se puede deducir como aceptable, además en algunas fuentes el valor aceptable es hasta 100 UNT.

Cabe mencionar que en condición natural (valor de fondo) mas 5%, la turbiedad natural varía entre 0 y 50 UNT (unidad de turbidez nefelométrica). Tal dato encontramos en los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario, se representan en la tabla 2. De la norma TULSMA LIBRO VI ANEXO I.

3.14.5 Reducción de la Conductividad Eléctrica.

Tabla 3-44. Variación de la Conductividad Eléctrica.

Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Aceptable
196,95	186,48	*

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

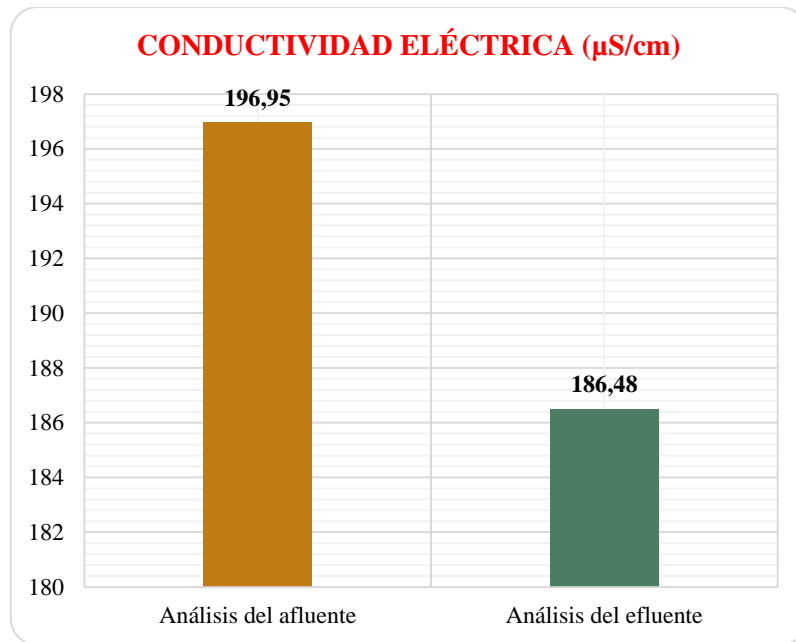


Gráfico 3-35. Reducción de la Conductividad Eléctrica.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La conductividad es la capacidad que tiene el agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Los iones positivos son sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{+2}). Los iones negativos son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), carbonato, bicarbonato. Los nitratos y fosfatos no contribuyen de forma apreciable a la conductividad pero son importantes biológicamente.

La **gráfica 3-35** presenta valores de conductividad eléctrica que varían de acuerdo al tratamiento, en donde las concentraciones no tienen mucha diferencia, por ejemplo, el análisis realizado antes del tratamiento arroja un valor promedio de 196,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y después del tratamiento 186,48 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se aprecia que la eficiencia de remoción de este indicador es mínima. La conductividad eléctrica es un parámetro que no es controlado por la normativa ambiental vigente TULSMA.

3.14.6 Reducción de Aceites y Grasas.

Tabla 3-45. Reducción de Aceites y Grasas.

Aceites y Grasas (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límites máximos permisibles
10,41	0,224	30,0

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

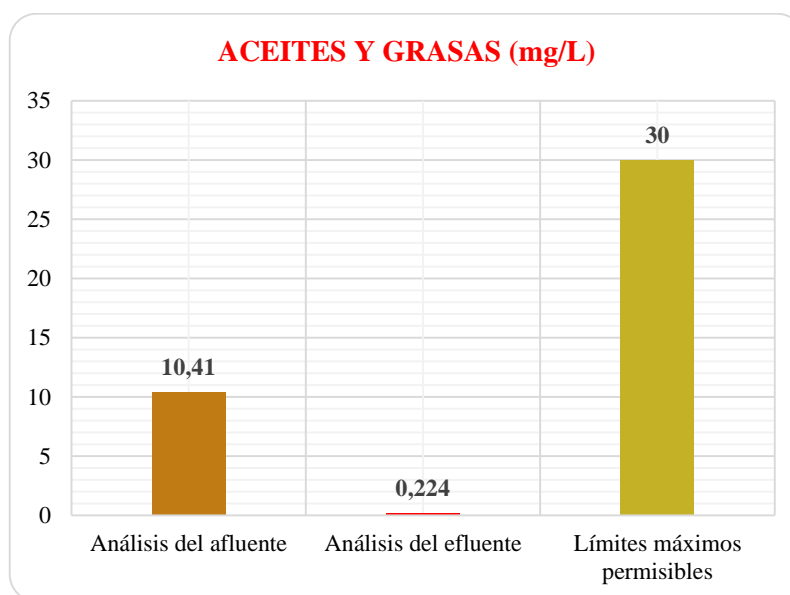


Gráfico 3-36. Reducción de Aceites y Grasas.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La **gráfica 3-36** demuestra que las concentraciones promedio de aceites y grasas disminuyen significativamente de 10,41 a 0,224 mg/L, pero cabe destacar que el valor inicial se encuentra dentro del rango de límites máximos permisibles del TULSMA (aceptable para ser descargados a un cuerpo de agua dulce sin un previo tratamiento).

3.14.7 Reducción de Nitratos.

Tabla 3-46. Reducción de Nitratos.

Nitratos (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límite máximo permisible.
11,37	0,71	10

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

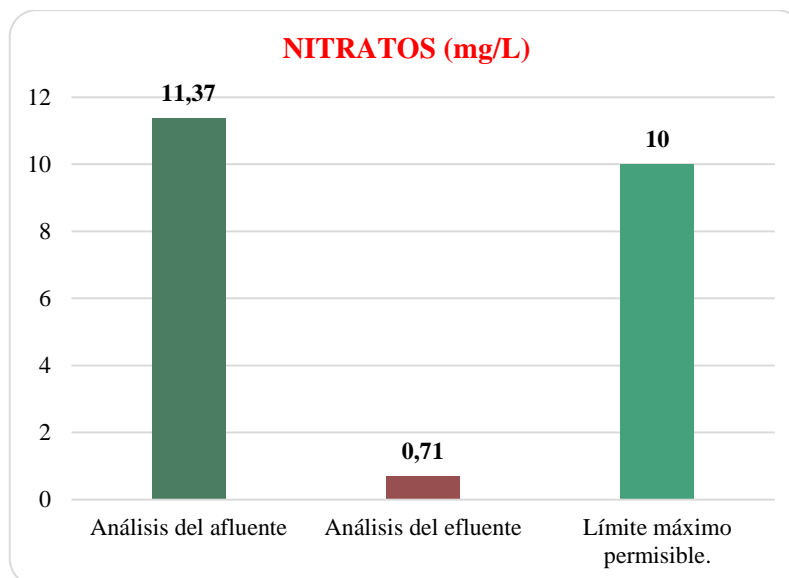


Gráfico 3-37. Reducción de Nitratos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

El **gráfico 3-37** de reducción de nitratos, demuestra que los análisis iniciales presentan una concentración promedio de 11,37 mg/L valor que no se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, después de haberle dado su respectivo tratamiento su concentración disminuye notablemente con un valor de 0,71 mg/L, estando muy por debajo del límite establecido. Los nitratos proceden de la descomposición natural de los alimentos por medio de microorganismos dando lugar al catión amonio el cual se oxida a nitritos y luego a nitratos.

3.14.8 Reducción de Fosfatos.

Tabla 3-47. Reducción del Fosfato.

Fosfatos (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Aceptable
6,3	0,326	*

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

La tabla **3-47**, representa que el fosfato que está presente en el agua residual, alcanza una concentración promedio de 6,3 mg/L y luego de su tratamiento su concentración disminuye significativamente a un valor de 0,326 mg/L. Cabe destacar que a concentraciones altas de fosfatos se produce el crecimiento de algas y por ende la eutrofización de las aguas superficiales. Por tal motivo se dice que el valor del fosfato después del tratamiento es muy aceptable, para mejor entendimiento de los resultados se presenta la siguiente gráfica.

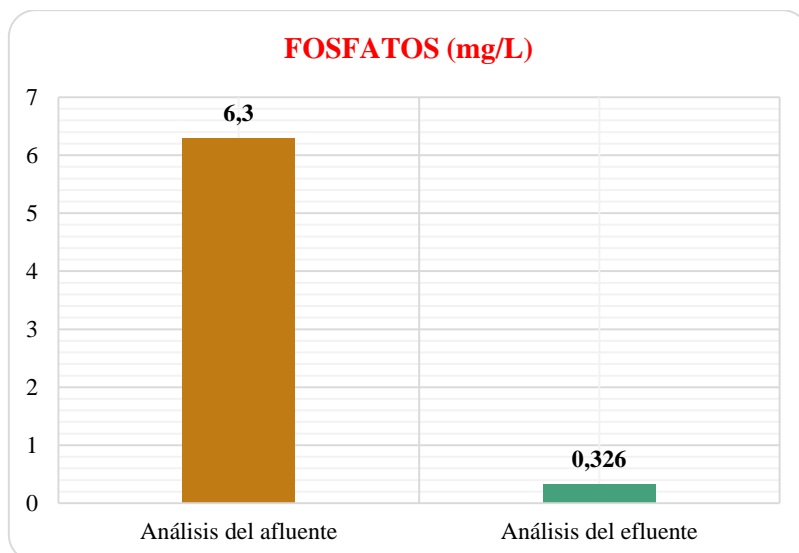


Gráfico 3-38. Reducción de Fosfatos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.14.9 Reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 3-48. Reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DBO ₅ (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límite máximo permisible
214	20	100

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

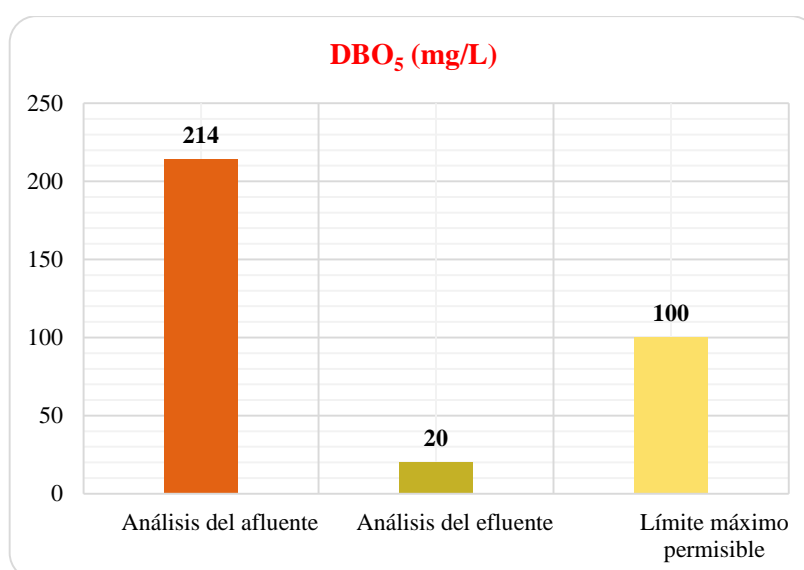


Gráfico 3-39. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En mención a la **gráfica 3-38**, la DBO₅ antes de realizar el tratamiento de las aguas residuales presenta una concentración promedio de 214 mg/L lo que significa que el agua está medianamente contaminada, y luego del tratamiento la concentración baja significativamente a 20 mg/L, estando dentro del límite máximo permisible para su descarga a un cuerpo de agua dulce.

A continuación, se presenta una tabla de la DBO₅ de acuerdo al nivel de contaminación.

Tabla 3-49. DBO₅ de acuerdo a su nivel de contaminación.

Contaminación por DBO₅ (mg/L).		
DBO ₅ ≤ 3	EXELENTE: no contaminada.	Azul
3 < DBO ₅ ≤ 6	BUENA CALIDAD.	Verde
6 < DBO ₅ ≤ 30	ACEPTABLE.	Amarillo
30 < DBO ₅ ≤ 120	CONTAMINDA.	Naranja
DBO ₅ > 120	FUERTEMENTE CONTAMINADA.	Rojo

Fuente: (Mejía et al, s.f.).

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Mediante este parámetro se puede determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residual, el cual se aplica la siguiente formula:

$$\text{eficiencia de la DBO}_5 = \frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100$$

$$\text{eficiencia de la DBO}_5 = \frac{214 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{214 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100$$

$$\text{eficiencia de la DBO}_5 = 90,65 \cong 91\%$$

3.14.10 Reducción de la Demanda Química de Oxígeno.

Tabla 3-50. Reducción de la Demanda Química de Oxígeno.

DQO (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límite máximo permisible
775	56,8	200

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

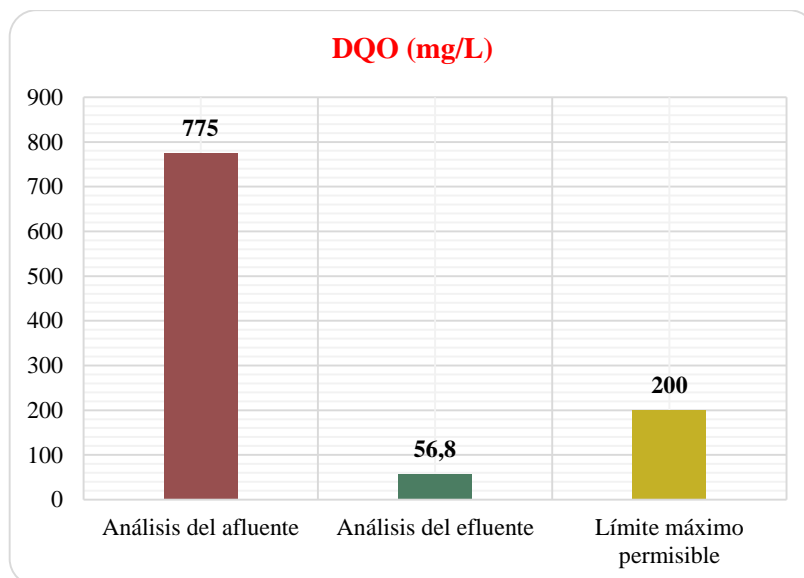


Gráfico 3-40. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Con respecto a la **gráfica 3-40** demuestra que la DQO en primera instancia presenta una concentración promedio de 775 mg/L, las diferentes etapas de tratamiento dieron resultados bajando este valor a 56,8 mg/L, lo cual demuestra que el agua puede ser descarga libremente a un cauce hídrico.

3.14.11 Reducción de los Coliformes Totales.

Tabla 3-51. Reducción de los Coliformes Totales.

Coliformes Totales (Nmp/100 ml)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Aceptable
4,68 E ⁺⁰⁶	0,8	5000

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

En la **tabla 3-51** se puede visualizar la presencia de Coliformes Totales donde los resultados antes del tratamiento arroja una cantidad promedio muy elevado de $4,68 \times 10^{+06}$ Npm/100 ml, luego del tratamiento su valor disminuye a un valor insignificante que es de 0,8 Npm/ 100 ml, demostrando que el tratamiento de aguas residuales domésticas por medio de humedales artificiales es eficiente para su remoción.

Para el mejor entendimiento de comparación de los resultados (antes y después) con los límites máximos permisibles, estos resultados son presentados mediante una gráfica:

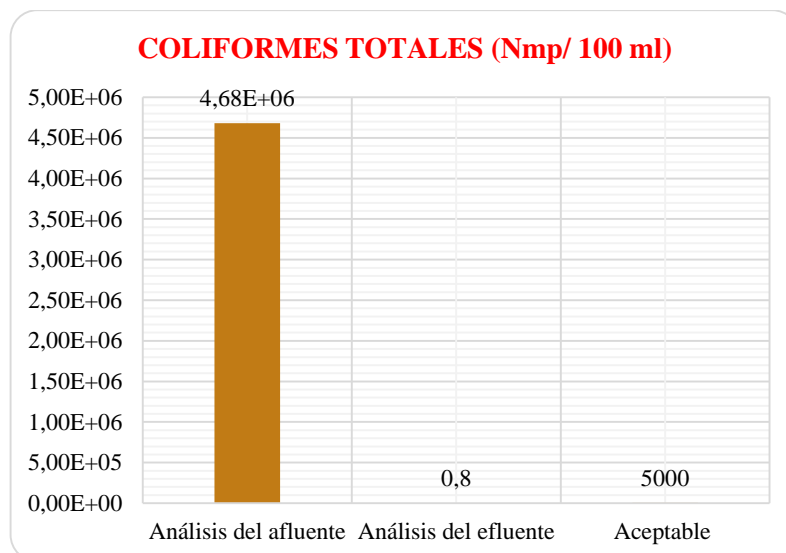


Gráfico 3-41. Variación de Coliformes Totales.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

3.14.12 Reducción de los Tensoactivos.

Tabla 3-52. Reducción de los Tensoactivos.

Tensoactivos (mg/L)		
Análisis del afluente	Análisis del efluente	Límite máximo permisible.
4,28	2,3	0,5

Fuente: Laboratorio AQLAB 2017.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

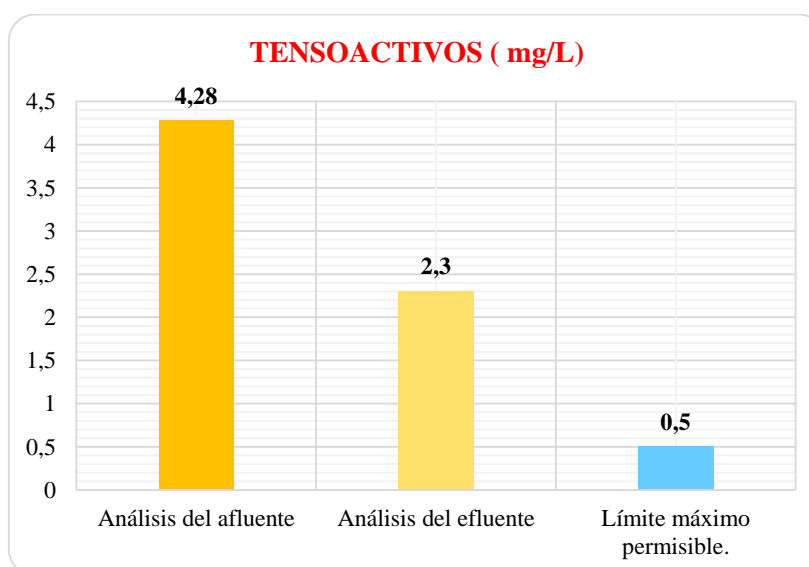


Gráfico 3-42. Variación de los Tensoactivos.

Realizado por: Guido Chimbo & Gustavo Montero 2017.

Los tensoactivos son moléculas orgánicas grandes que son solubles e insolubles en agua, provienen de las descargas de detergentes, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza, generando espumas en el agua de las plantas de tratamiento o en las superficies de los cuerpos receptores.

Como se puede observar la **gráfica 3-42**, los valores promedios de los tensoactivos están por encima del valor límite máximo permisible que es de 0,5 mg/L. Lo que significa que la planta de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificial no garantizó su depuración. Los valores presentados en la gráfica indican que antes del tratamiento la concentración de los tensoactivos es de 4,28 mg/L y después de su tratamiento baja casi el doble 2,3 mg/L, valor que no es aceptable por la norma ecuatoriana TULSMA LIBRO VI ANEXO I, tabla 12.

CONCLUSIONES.

- Se realizó 5 análisis de la caracterización físico, química y microbiológica del agua residual cruda obteniendo valores promedios de los siguientes parámetros el cual se encuentran fuera de la normativa ecuatoriana ambiental vigente; Tensoactivos 4,28 mg/L, DBO₅ 214 mg/L, DQO 775 mg/L, Sólidos Sedimentables 6,2 mg/L, y Coliformes Totales 4,68E+06 Nmp/100 ml y los que se encuentran dentro del límite máximo permisible son: Aceites y grasas 10,41 mg/L, Sólidos totales 560,44 mg/L y pH 7,26; los que son suprimidos de la tabla de comparación de límites máximos permisibles presentan valores promedios entre ellos tenemos: Nitratos 11,37 mg/L, Fosfatos 6,3 mg/L, Turbidez 250,8 UNT y la Conductividad eléctrica 196,95 μ S/cm.
- El dimensionamiento del sistema de depuración se determinó acorde a los caudales durante los 7 días de muestreos, dando un promedio de 5 m³/d de agua residual, bajo este criterio se calculó el caudal de diseño que es 29,03 m³/d, del cual parte para los cálculos del dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (aguas grises).
- El Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el sector OMAWUA consta de lo siguiente: trampa de grasas y aceites, sedimentador primario rectangular, eras de secado y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Todos estos sistemas para biodegradar una DBO₅ inicial de 214 mg/L del cual se saca la eficiencia del sistema que es de 91%. Cabe destacar que en esta etapa se tomó en cuenta los factores medio ambientales que influyeron en la construcción (intensidad de olores, relieve, nivel freático, calidad del suelo, etc.).
- El pasto alemán conocido por su nombre científico como *Echinochloa polystachya* se sustrajo de la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Francisco de Orellana, ubicado a 3 km vía aucas, para su fácil adaptación al sistema de tratamiento de aguas residuales construidos. Se sembró en estolones de 20 cm, ya que por semilla no dio resultados debido al material utilizado en la parte superior (arena).
- Durante 3 meses de esperas la planta de pasto alemán tomó el tamaño adecuado de 1,5 a 2 m de altura, el cual el sistema de tratamiento de aguas residuales mostraba los beneficios de descontaminación, tales datos se presenta de acuerdo a los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados en el laboratorio AQLAB: Aceites y grasas 0,224 mg/L, Coliformes Totales 0,8 Nmp/100ml, DBO₅ 20 mg/L, DQO 56,8 mg/L, Fosfatos 0,326 mg/L, Nitratos 0,71 mg/L, pH 6,73, Sólidos sedimentables 0,4 mg/L, Sólidos totales 188,08 mg/L,

Turbidez 35,8 UNT, Conductividad eléctrica- 186,48 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Tensoactivos 2,3 mg/L. Este último parámetro estando fuera del límite máximo permisible.

- Para el diseño y construcción de la PTAR domésticas con humedales artificiales de flujo subsuperficial en el sector OMAWUA, comunidad San Luis de Armenia se utilizó un capital de 5863,658 dólares americano, un valor bajo en comparación con los sistema de tratamiento de aguas residuales convencionales. Ya que los sistemas de humedales no requieren de elementos mecánicos.

RECOMENDACIONES.

- Al momento de poner en ejecución cualquier tipo de proyecto ya sean técnicos o investigativos, buscar primeramente la asesoría del tutor guía, asesor y personas que sepan del tema a fondo, con la finalidad de ejecutar de mejor manera los parámetros de construcción de los sistemas de tratamientos de aguas residuales por medio de humedales artificiales.
- Para conservar la vida útil del sistema de tratamiento realizar un manual de mantenimiento de manera sencilla y entendible por parte del lector. (habitantes beneficiarias)
- Los lodos extraídos de la era de secado, no arrojarlos en cualquier parte, ya que pueden ser utilizados como abono para las plantas por su alto contenido nutricional tales como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre. Debido a sus ventajas, pueden utilizarse como sustituto de fertilizantes químicos.
- Realizar análisis periódicos de la DBO₅, Tensoactivos, pH y Coliformes Totales para garantizar el funcionamiento normal de la planta piloto construido en el sector OMAWUA.
- Evitar que los mosquitos (zancudos), se desarrollen en el sedimentador primario rectangular, para lo cual se recomienda el uso de telas de Sombra Saran o Telas o Mallas de Sombra o buscar métodos que eviten su reproducción. Esto aplica solo para sistemas pequeños.
- Cuando se trate de humedales artificiales buscar especies que sean netamente de la zona para su fácil adaptación y que garantice un tratamiento satisfactorio a las aguas residuales. En este caso tenemos las más utilizadas (pasto alemán, pasto elefante, etc.).

BIBLIOGRAFÍA.

Arias Carlos & BRIX Hans. *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.* [En línea] Ciencia e Ingeniería Neogranadina., julio de 2003. [Citado el: 1 de noviembre de 2017.] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302>.

Alianza por el agua. *Humedal artificial de flujo vertical.* [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2017.] <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t7.html>.

Carolina, Miguel. *Los humedales artificiales. Componentes y tipos.* [En línea] Iagua, 30 de enero de 2013. [Citado el: 7 de noviembre de 2017.]

Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1 000 habitantes.* [En línea] 1992. [Citado el: 27 de noviembre de 2017.] <https://ia801900.us.archive.org/0/items/ec.cpe.5.9.1.1992/ec.cpe.5.9.1.1992.pdf>.

Comisión Nacional del Agua. *Alcantarillado Sanitario.* [En línea] 2009. [Citado el: 21 de noviembre de 2017.] <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-29.pdf>.

Crites & Tchobanoglous. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* Bogotá : McGraw Hill, 2000. págs. 33, 42-44, 46-48, 168.

Delgadillo et al. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba : s.n., 2010. pág. 9.

Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). *INEC midió la calidad de agua que consumen los ecuatorianos.* [En línea] El universo, 16 de mayo de 2017. [Citado el: 1 de noviembre de 2017.] <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/05/16/nota/6186154/inec-midio-calidad-agua-que-consumen-ecuatorianos>.

Ecuador. Ministerio de ambiente. *Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes: recurso agua.* [En línea] TULSMA LIBRO VI ANEXO I, 2013. [Citado el: 30 de noviembre de 2017.] <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>.

EPA (832-F-00-024). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo libre superficial.* [En línea] septiembre de 2000. [Citado el: octubre de 09 de 2017.] https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf.

García et al. *Tatamiento de aguas residuales urbanas mediante lagunas de alta carga: Evaluación experimental.* [En línea] Ingeniería del agua, 1998. [Citado el: 5 de noviembre de 2017.] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2988/52article3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Garido cardenas, José Antonio. *Análisis comparativos de los sistemas de alcantarillado (convencionales y no convencionales) de aguas residuales domésticas.* [En línea] 2008. [Citado el: 21 de noviembre de 2017.] <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/295/2/628.2G241.pdf>.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana (GADMFO). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia San Luis de Armenia 2015-2019.* [En línea] 2015. [Citado el: 30 de noviembre de 2017.] https://www.google.com.ec/search?dcr=0&ei=jSZSWpKRIYTfmAHTtoiIDQ&q=sni&oq=sni&gs_l=psy-ab.3..0i67k118j0l2.460743.461772.0.464522.3.3.0.0.0.744.1084.3-1j6-1.2.0....0...1c.1.64.psy-ab..1.2.1083...0i131i67k1.0.ldvh5yB5Jhc.

Gualán Medina, Segundo Daniel. *Evaluación del pasto alemán (echinochloa polystachya) y lenteja de agua (lemna minor) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe.* [En línea] 17 de abril de 2016. [Citado el: 16 de noviembre de 2017.] <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/14140/1/Tesis%20Lista%20Segundo.pdf>.

Instituto de Desarrollo e Investigación Construir (IDIC). *Redes de aguas residuales.* [En línea] 2009. [Citado el: 21 de noviembre de 2017.] http://www.institutoconstruir.org/normas%20a%20publicar%20en%20la%20web/NORMA%20OS_070_REDES_DE_AGUA_RESIDUALES-2009.pdf.

Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua (EAWAG). *Lechos de Secado sin Plantas.* [En línea] s.f. [Citado el: 2017 de noviembre de 2017.] <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t12.html>.

Lara, Jaime. 2015. *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales.* [En línea] Sites, 26 de agosto de 2015. [Citado el: 15 de noviembre de 2017.] <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/2-componentes-del-humedal>.

Lozano Rivas, William Antonio. *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales.* Bogotá : Researchgate, 2012.

Manrique P., Luis Phanor. *Análisis de la evaluación del pasto aleman (echinochloa polystachya (h.b.k.)hict) cultivado en suelo arcilloso bajo cuatro frecuencias de corte.* [En línea] Acta agronómica, 1993. [Citado el: 15 de noviembre de 2017.] https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/15546/16304.

Mejía et al. *Evaluación de la calidad del agua.* [En línea] EMAPAS, s.f. [Citado el: 15 de diciembre de 2017.] http://www.emapas.inecc.gob.mx/download/lch_calidad_del_agua.pdf.

Metcalf & Eddy. *Tratamiento de aguas residuales: vertidos y reutilización.* 3. Aravaca : FreeLibros, 1995. págs. 93-109. Vol. 1.

Nicaragua. Instituto Nacional tecnológico (INATEC). *Manual del protagonistas; pastos y forrajes.* [En línea] 2016. [Citado el: 15 de noviembre de 2017.] https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Pastos_y_Forrajes.pdf.

Perú. Ministerio de ambiente. *Lechos de secado.* [En línea] diciembre de 2009. [Citado el: 29 de noviembre de 2017.] http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf.

Ramallo, R. *Tratamientos de aguas residuales.* Bogotá : Editorial Reverte, 2003.

RAS 2000: TÍTULO D. *Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales .* [En línea] noviembre de 2000. [Citado el: 23 de noviembre de 2017.] http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_d_.pdf.

RAS 2000: TÍTULO E. *Tratamineto de aguas residuales.* [En línea] Noviembre de 2000. [Citado el: 24 de noviembre de 2017.] http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf.

Seoáñez, M. *Tratado de gestión del medio ambiente urbano*. Madrid : Mundi-Prensa, 2000. pág. 66.

Solis Rodríguez, Jofre Gerardo. *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de Petroecuador terminal Riobamba*. [En línea] 2014. [Citado el: 24 de noviembre de 2017.] <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3510/1/96T00263%20UDCTFC.pdf>.

UNESCO. *Aguas residuales, el recurso desaprovechado*. Brasilia : Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, 2017. pág. 1.

Unicen. *Tipos de lagunas*. [En línea] Actividades Curriculares, 2015. [Citado el: 5 de noviembre de 2017.] <http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/IntroduccionSistemasProductivos/images/Documento/2015/Tipos%20de%20Lagunas.pdf>.

Von Münch, Elisabeth. *Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo*. [En línea] diciembre de 2009. [Citado el: 10 de noviembre de 2017.] <http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/Manual%20Humedal.pdf>.

Zavala et al. s.f. *Manual de Ecotecnias y Alternativas*. [En línea] s.f. [Citado el: 29 de noviembre de 2017.] http://komanilel.org/BIBLIOTECA_VIRTUAL/Manual_de_ecotecnias_y_alternativas_Atecocolli.pdf.