



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**“DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADIO DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CANTÓN IBARRA
PROVINCIA IMBABURA”**

Tesis de Grado previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

Autor: Willam Hernán Villarreal Rosales

Director: Ing. Jorge Granja Ruales

Ibarra, Febrero/2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CANTÓN IBARRA PROVINCIA IMBABURA”

Tesis de Grado revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Jorge Granja R

DIRECTOR

FIRMA

Biol. Renato Oquendo

ASESOR

FIRMA

Ing. Renny Cadena

ASESOR

FIRMA

Ing. Juan Puerres

ASESOR

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento depongo mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040143614-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Villarreal Rosales Willam Hernán		
DIRECCIÓN:	Cdla. Padre Clemente Guerrón #48 – Tulcán/Carchi		
EMAIL:	w_illa_m-01@hotmail.es willam0106@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2 988-951	TELÉFONO MÓVIL:	0980432473

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CANTÓN IBARRA PROVINCIA IMBABURA”
AUTOR:	Villarreal Rosales Willam Hernán
FECHA:	2015/febrero/03
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Jorge Granja R

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Willam Hernán Villarreal Rosales**, con cédula de identidad Nro. **040143614-2**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días del mes de febrero de 2015

Aceptación.



Willam Hernán Villarreal Rosales

Autor



Ing. Betty Chávez

Jefe de Biblioteca



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR
DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Willam Hernán Villarreal Rosales**, con cédula de identidad Nro. **040143614-2**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CANTÓN IBARRA PROVINCIA IMBABURA”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniero en Recursos Naturales Renovables** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 03 días del mes de febrero de 2015

Willam Hernán Villarreal Rosales

CI. 040143614-2

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 03 días del mes de febrero de 2015

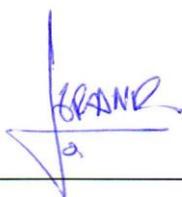
VILLARREAL ROSALES WILLAM HERNÁN. “DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CANTÓN IBARRA PROVINCIA IMBABURA”.

TRABAJO DE GRADO. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Febrero 2015. 100 p. 18 p anexos.

DIRECTOR: *Granja, Jorge.*

La planta piloto permitirá fortalecer la investigación formativa y difundir la tecnología de tratamiento biológico de agua residual en el área de influencia de la UTN. Los beneficiarios del proyecto serán docentes y alumnos de las carreras de ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Energías Renovables y Biotecnología, donde podrán desarrollar investigaciones formativas y prácticas de fortalecimiento en los conocimientos

Fecha: 03 de febrero de 2015.



Ing. Jorge Granja R

Director de Tesis



Willam Hernán Villarreal Rosales

Autor

PRESENTACIÓN

Yo, WILLAM HERNÁN VILLARREAL ROSALES como autor de la Tesis titulada **“DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CANTÓN IBARRA PROVINCIA IMBABURA”** me hago responsable de los resultados, discusiones, conclusiones y demás parte de la investigación; y pongo este documento como fuente de apoyo para consultas dirigidas a los estudiantes, así como para personas interesadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Willam Villarreal R

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios y mi familia, quienes me iluminan con amor, ejemplo y bendición.

Con todo mi cariño para mi mamá María Rosales, mi papá Jorge Villarreal y a mi hermano Jorge Luis, porque siempre están dispuestos hacer todo en la vida para que pueda lograr mis anhelos que son motivos de orgullo, de igual manera por motivarme y darme la mano cuando más los necesito.

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora es motivo de satisfacción devolver todo lo inmenso que me han otorgado.

William Villarreal R

AGRADECIMIENTO

Mi mayor agradecimiento está dirigido a Dios y mi familia.

Son muchas las personas especiales a las que debo agradecer su amistad, respeto, comprensión, cariño y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Muchos de ellos están conmigo, otros en el infinitito recuerdo y en mi corazón. Sin importar donde estén o si alguna vez leen estas palabras sabrán entender que mi mayor agradecimiento es porque forman parte de mi ardua labor como persona, comprometido con la sinceridad, justicia y verdad.

Mi mayor reconocimiento a la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y en especial a los amigos y docentes de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, que durante el desarrollo de mi formación han grabado la ciencia y la ética profesional, de forma especial al Ing. Jorge Granja por el apoyo manifestado a lo largo del proceso que hoy se forja en el presente documento, al Ing. Guillermo Loyo B, Dr. Carlos Játiva, Biol. Renato Oquendo, Ing. Reney Cadena e Ing. Juan Puerres quiénes han justipreciado la importancia del proyecto y han puesto su conocimiento y colaboración en el proceso.

Un sincero agradecimiento al PhD. Szabolcs Szilveszter, por brindar la apertura y conocimiento en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como su apoyo técnico en desarrollar un proceso eficiente.

A la empresa de Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra – EMAPA-I, mediante apoyo técnico y logístico.

William Villarreal R

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	- 19 -
1 INTRODUCCIÓN	- 19 -
1.1 OBJETIVOS	- 21 -
1.1.1 Objetivo general	- 21 -
1.1.2 Objetivos específicos	- 21 -
1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES	- 22 -
CAPÍTULO II	- 23 -
2 REVISIÓN DE LITERATURA	- 23 -
2.1 GENERALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES	- 23 -
2.1.1 Origen de las aguas residuales urbanas	- 24 -
2.1.2 Constituyentes del agua residual	- 24 -
2.1.3 Aspecto de las aguas residuales	- 25 -
2.1.4 Volumen de aguas residuales	- 25 -
2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES	- 25 -
2.2.1 Sólidos	- 25 -
2.2.2 Gases	- 27 -
2.2.3 Líquidos	- 27 -
2.3 COMPOSICIÓN BIOLÓGICA	- 28 -
2.4 COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL URBANA	- 28 -
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	- 29 -
2.5.1 Características físicas	- 29 -
2.5.1.1 Sólidos	- 29 -
2.5.1.2 Turbiedad	- 29 -
2.5.1.3 Color	- 29 -
2.5.1.4 Olor	- 29 -
2.5.1.5 Temperatura	- 30 -
2.5.1.6 Densidad	- 30 -
2.5.1.7 Caudal	- 30 -
2.5.2 Características químicas	- 30 -
2.5.2.1 pH	- 30 -
2.5.2.2 Conductividad	- 30 -
2.5.2.3 Nitrógeno	- 31 -
2.5.2.4 Nitrógeno en forma de nitrito	- 31 -
2.5.2.5 Nitrógeno en forma de nitrato	- 31 -
2.5.2.6 Fósforo	- 31 -
2.5.2.7 Oxígeno disuelto	- 31 -
2.5.2.8 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	- 31 -
2.5.2.9 Demanda química de oxígeno (DQO)	- 32 -
2.5.2.10 Grasas y aceites	- 32 -
2.5.3 Características biológicas	- 32 -
2.6 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	- 32 -
2.6.1 Beneficios de tratar las aguas residuales	- 33 -
2.7 NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	- 33 -
2.7.1 Recolección de las aguas residuales	- 34 -
2.7.2 Tratamiento preliminar	- 35 -
2.7.2.1 Rejillas manuales de desbaste	- 35 -
2.7.3 Tratamiento primario	- 35 -

2.7.3.1	Sedimentador primario	- 36 -
2.7.3.2	Biodigestor	- 37 -
2.7.4	Tratamiento secundario	- 37 -
2.7.4.1	Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical	- 38 -
2.7.4.2	Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal	- 39 -
2.7.5	Tratamiento terciario	- 39 -
2.7.5.1	Desinfección	- 40 -
2.8	MARCO LEGAL.....	- 40 -
CAPÍTULO III		- 43 -
3	METODOLOGÍA.....	- 43 -
3.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	- 43 -
3.2	DIAGNÓSTICO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL	- 44 -
3.2.1	Ubicación de puntos de muestreo.....	- 44 -
3.2.2	Caracterización del agua residual	- 44 -
3.2.3	Muestreo del agua residual.....	- 45 -
3.2.3.1	Ficha técnica de la muestra.....	- 46 -
3.2.3.2	Cadena de custodia de la muestra.....	- 47 -
3.2.4	Estimación del caudal de aguas residuales	- 47 -
3.2.4.1	Caudal medio diario (Q_{med})	- 48 -
3.2.4.2	Caudal máximo instantáneo ($Q_{máx}$)	- 48 -
3.2.4.3	Caudal máximo para cualquier tamaño de la población.....	- 49 -
3.2.4.4	Caudal mínimo ($Q_{mín}$).....	- 49 -
3.2.5	Línea del proceso de tratamiento.....	- 49 -
3.3	PRE-TRATAMIENTO.....	- 50 -
3.3.1	Rejillas	- 50 -
3.3.1.1	Diseño de rejillas de limpieza manual	- 51 -
3.3.2	Trampa de grasas	- 52 -
3.4	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	- 52 -
3.4.1	Diseño del Sedimentador.....	- 53 -
3.4.1.1	Velocidad de sedimentación.....	- 53 -
3.4.1.2	Cámara de sedimentación.....	- 54 -
3.4.1.3	Dimensionamiento del sedimentador	- 55 -
3.4.2	Diseño del biodigestor	- 57 -
3.4.2.1	Cantidad de biogás que podría obtenerse y su aprovechamiento energético	- 57 -
3.5	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	- 58 -
3.5.1	Diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial	- 58 -
3.5.1.1	Tamaño del humedal	- 60 -
3.5.1.2	Tiempo de residencia hidráulico	- 61 -
3.5.1.3	Profundidad	- 61 -
3.5.1.4	Área transversal del lecho.....	- 61 -
3.5.1.5	Selección del lecho filtrante	- 61 -
3.5.1.6	Gradiente del lecho.....	- 63 -
3.5.1.7	Sellado del lecho.....	- 63 -
3.5.1.8	Estructuras de entrada y salida	- 63 -
3.5.1.9	Vegetación	- 64 -
CAPÍTULO IV.....		- 65 -
4	CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISEÑO.....	- 65 -
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA RESIDUAL URBANA	- 65 -

4.1.1	Primer muestreo.....	- 66 -
4.1.2	Segundo muestreo	- 66 -
4.1.3	Tercer muestreo	- 67 -
4.1.4	Análisis de los resultados finales del muestreo	- 67 -
4.2	PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	- 70 -
4.3	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	- 70 -
4.3.1	Cálculo de población a 25 años	- 71 -
4.3.2	Cálculo de caudales	- 72 -
4.3.2.1	Caudal medio diario	- 72 -
4.3.2.2	Caudal máximo instantáneo.....	- 72 -
4.3.2.3	Caudal mínimo	- 73 -
4.3.3	Diseño de la trampa de grasas	- 74 -
4.3.3.1	Volumen útil.....	- 74 -
4.3.3.2	Tiempo de retención hidráulico.....	- 74 -
4.3.4	Diseño para rejillas de desbaste manual	- 75 -
4.3.4.1	Área útil de la rejilla	- 75 -
4.3.4.2	Pérdida de carga en las rejillas	- 76 -
4.3.4.3	Longitud de la rejilla.....	- 76 -
4.3.4.4	Número de barrotos	- 77 -
4.3.5	Diseño del sedimentador	- 77 -
4.3.5.1	Velocidad de sedimentación (ley de Stokes).....	- 78 -
4.3.5.2	Número de Reynolds	- 78 -
4.3.5.3	Coeficiente CD (ley de Allen).....	- 78 -
4.3.5.4	Velocidad real de sedimentación (ley de Newton).....	- 79 -
4.3.5.5	Área superficial del sedimentador	- 79 -
4.3.5.6	Dimensiones del sedimentador.....	- 80 -
4.3.5.7	Velocidad horizontal.....	- 80 -
4.3.5.8	Velocidad de arrastre	- 81 -
4.3.5.9	Relación de velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura	- 81 -
4.3.5.10	Tiempo de retención hidráulico.....	- 82 -
4.3.5.11	Área total de orificios en la pantalla difusora.....	- 82 -
4.3.5.12	Número de orificios en la pantalla difusora.....	- 82 -
4.3.5.13	Altura efectiva de la pantalla difusora.....	- 83 -
4.3.5.14	Ubicación de los orificios en filas	- 83 -
4.3.5.15	Ubicación de los orificios en columnas	- 83 -
4.3.5.16	Eficiencia del sedimentador en la remoción de DBO.....	- 84 -
4.3.5.17	Eficiencia del sedimentador en la remoción de SST	- 84 -
4.3.6	Diseño del biodigestor	- 86 -
4.3.6.1	Volumen de metano producido.....	- 86 -
4.3.6.2	Cantidad de Biogás producido.....	- 87 -
4.3.6.3	Capacidad calorífica del Biogás y energía producida	- 87 -
4.3.6.4	Volumen total del digestor	- 88 -
4.3.7	Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial.....	- 89 -
4.3.7.1	Profundidad efectiva la cubeta	- 89 -
4.3.7.2	Selección del substrato o lecho filtrante	- 89 -
4.3.7.3	Vegetación a implementarse en el humedal	- 90 -
4.3.7.4	Área superficial del humedal	- 90 -
4.3.7.5	Tiempo de retención hidráulico.....	- 91 -
4.3.7.6	Área de la sección transversal	- 91 -

4.3.7.7	Ancho del humedal.....	- 92 -
4.3.7.8	Longitud del humedal.....	- 92 -
4.4	PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	- 94 -
CAPÍTULO V	- 95 -
5.1	CONCLUSIONES	- 95 -
5.2	RECOMENDACIONES	- 96 -
5.3	BIBLIOGRAFÍA	- 97 -
5.4	ANEXOS.....	- 101 -

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE INTERÉS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	- 24 -
TABLA 2. GRADO DE CONTAMINACIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS.....	- 28 -
TABLA 3. NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	- 33 -
TABLA 4. COORDENADAS DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, UTM-WGS84 ZONA 17S.....	- 44 -
TABLA 6. COORDENADAS DE UBICACIÓN DEL PUNTOS DE MUESTREO, UTM-WGS84 ZONA 17S.....	- 44 -
TABLA 5. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA.....	- 45 -
TABLA 7. FICHA TÉCNICA PARA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	- 47 -
TABLA 8. FORMULARIO DE REGISTRO Y MANEJO DE MUESTRAS	- 47 -
TABLA 9. CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS REJILLAS DE DESBASTE	- 51 -
TABLA 10. DATOS DE PARTIDA PARA LA SEDIMENTACIÓN	- 53 -
TABLA 11. PARÁMETROS DE DISEÑO DE HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL Y HORIZONTAL.....	- 59 -
TABLA 12. MATERIALES EMPLEADOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES... -	62 -
TABLA 13. ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	- 66 -
TABLA 14. ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	- 67 -
TABLA 15. ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	- 67 -
TABLA 16. PROMEDIO DE ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	- 68 -
TABLA 20. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL	- 70 -
TABLA 17. DATOS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL	- 71 -
TABLA 18. DATOS DE CAUDAL MEDIO.....	- 72 -
TABLA 19. DATOS CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO.....	- 73 -
TABLA 21. DATOS DE LA TRAMPA DE GRASAS.....	- 74 -
TABLA 22. DATOS DE TIEMPO DE RETENCIÓN.....	- 75 -
TABLA 23. DATOS DEL ÁREA ÚTIL DE LA REJILLA	- 76 -
TABLA 24. DATOS DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN LAS REJILLAS.....	- 76 -
TABLA 25. DATOS DE LONGITUD DE LA REJILLA	- 76 -
TABLA 26. DATOS DE NÚMERO DE BARROTOS	- 77 -
TABLA 27. DATOS DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.....	- 78 -
TABLA 28. DATOS DEL NÚMERO DE REYNOLDS	- 78 -
TABLA 29. DATOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE	- 79 -
TABLA 30. DATOS DE LA VELOCIDAD REAL DE SEDIMENTACIÓN.....	- 79 -
TABLA 31. DATOS DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL SEDIMENTADOR	- 80 -
TABLA 32. DATOS DE LAS DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR	- 80 -
TABLA 33. DATOS DE LA VELOCIDAD HORIZONTAL	- 80 -
TABLA 34. DATOS DE LA VELOCIDAD DE ARRASTRE	- 81 -
TABLA 35. DATOS DE LA RELACIÓN DE VELOCIDADES DE FLUJO.....	- 81 -
TABLA 36. DATOS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DEL SEDIMENTADOR	- 82 -
TABLA 37. DATOS DEL ÁREA TOTAL DE ORIFICIOS EN LA PANTALLA DIFUSORA.....	- 82 -
TABLA 38. DATOS DEL NÚMERO DE ORIFICIOS DE LA PANTALLA DIFUSORA.....	- 83 -
TABLA 39. DATOS DE ALTURA DE LA PANTALLA DIFUSORA	- 83 -
TABLA 40. DATOS DE LA UBICACIÓN EN FILAS DE LOS ORIFICIOS	- 83 -
TABLA 41. DATOS DE LA UBICACIÓN EN COLUMNAS DE LOS ORIFICIOS	- 84 -

TABLA 42. DATOS DE LA EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR EN LA REMOCIÓN DE DBO.....	- 84 -
TABLA 43. DATOS DE LA EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR EN LA REMOCIÓN DE SST	- 85 -
TABLA 44. DATOS DEL VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO.....	- 86 -
TABLA 45. DATOS DE LA CANTIDAD DE BIOGÁS PRODUCIDO	- 87 -
TABLA 46. DATOS DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL BIOGÁS Y ENERGÍA PRODUCIDA..	- 87 -
TABLA 47. DATOS DEL VOLUMEN TOTAL DEL DIGESTOR	- 88 -
TABLA 48. DATOS DE LA SELECCIÓN DEL SUBSTRATO O LECHO FILTRANTE	- 89 -
TABLA 49. DATOS DE LA VEGETACIÓN A IMPLEMENTARSE EN EL HUMEDAL	- 90 -
TABLA 50. DATOS DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL HUMEDAL	- 91 -
TABLA 51. DATOS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO DEL HUMEDAL.....	- 91 -
TABLA 52. DATOS DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	- 92 -
TABLA 53. DATOS DE ANCHO DEL HUMEDAL	- 92 -
TABLA 54. DATOS DE LONGITUD DEL HUMEDAL	- 92 -

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CONDICIÓN FÍSICA Y COMPOSICIÓN DE LOS SÓLIDOS CONTENIDOS EN UN AGUA RESIDUAL DOMESTICA MEDIA (LAS CIFRAS INDICAN PARTES POR MILLÓN).....	- 26 -
FIGURA 2. REJILLAS MANUALES DE DESBASTE.....	- 35 -
FIGURA 3. SEDIMENTADOR PRIMARIO	- 36 -
FIGURA 4. PROCESO DEL BIODIGESTIÓN.....	- 37 -
FIGURA 5. HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL	- 38 -
FIGURA 6. HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL	- 39 -
FIGURA 7. LÁMPARA UV PARA DESINFECCIÓN	- 40 -
FIGURA 8. ÁREA DE ESTUDIO	- 43 -
FIGURA 9. MUESTREO DE AGUA PUNTO 1.....	- 46 -
FIGURA 10. MUESTREO DE AGUA PUNTO 2.....	- 46 -
FIGURA 11. MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL.....	- 46 -
FIGURA 13. REJILLA DE DESBASTE MANUAL	- 50 -
FIGURA 14. PANTALLA DIFUSORA DEL SEDIMENTADOR	- 54 -
FIGURA 15. PROCESO INTERNO DEL BIODIGESTOR	- 57 -
FIGURA 16. DISPOSICIÓN DEL SUBSTRATO EN UN HUMEDAL FV	- 62 -
FIGURA 17. EFECTO DE LA CONFIGURACIÓN DEL HUMEDAL EN LA DISTRIBUCIÓN EFECTIVA DEL CAUDAL	- 63 -
FIGURA 18. ENTRADA CON RED DE TUBERÍAS Y TUBERÍA PRINCIPAL EN LA ORILLA.....	- 64 -
FIGURA 19. MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL.....	- 66 -
FIGURA 20. PREPARACIÓN DE MUESTRAS	- 66 -
FIGURA 21. ANÁLISIS DE DBO	- 66 -
FIGURA 22. ANÁLISIS DE MUESTRAS	- 66 -
FIGURA 24. DETALLE DE ORIFICIOS ABOQUILLADOS.....	- 86 -
FIGURA 25. SISTEMA DE HUMEDALES HÍBRIDO	- 89 -
FIGURA 26. RELACIÓN LARGO-ANCHO DEL HUMEDAL	- 93 -
FIGURA 27. SELECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL SUSTRATO EN HFSSV	- 93 -
FIGURA 28. SELECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL SUSTRATO EN HFSSH	- 94 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MAPA DE UBICACIÓN	-103-
ANEXO 2. MAPA BASE.....	-105-
ANEXO 3. MAPA DE IMPLANTACIÓN.....	-107-
ANEXO 4. ANÁLISIS DE AGUA, PRIMER MUESTREO	-109-
ANEXO 5. ANÁLISIS DE AGUA, SEGUNDO MUESTREO.....	-111-
ANEXO 6. ANÁLISIS DE AGUA, TERCER MUESTREO.....	-113-
ANEXO 7. ESTUDIO DE SUELOS.....	-115-
ANEXO 8. PLANOS TOPOGRÁFICOS	-119-
ANEXO 9. PLANIMETRÍA GENERAL DEL ESTADIO UTN.....	-121-
ANEXO 10. PLANOS DE LA TRAMPA DE GRASA Y REJILLA DE DESBASTE.....	-123-
ANEXO 11. PLANOS DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO.....	-125-
ANEXO 12. PLANOS DEL BIODIGESTOR.....	-127-
ANEXO 13. PLANOS DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	-129-
ANEXO 14. PRESUPUESTO REFERENCIAL	-131-
ANEXO 15. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, LIBRO VI – ANEXO 1	-133-
ANEXO 16. ARTÍCULO CIENTÍFICO	-137-

RESUMEN

El estadio UTN se encuentra en el perímetro urbano de la ciudad de Ibarra, sector que presenta déficit en precipitaciones anuales como en agua de riego, según la metodología de Holdridge, la zona de vida donde se encuentra el estadio corresponde a bosque seco montano bajo (bsMB) con asociación edáfica seca (AES). En virtud a la información proporcionada por el departamento de construcciones y mantenimiento de la UTN, se necesitan aproximadamente 50 m³ diarios de agua para regar el gramado del estadio y plantas ornamentales, siendo la demanda mayor en época seca correspondiente al periodo de julio a septiembre. La planta de tratamiento de aguas residuales se implementará como fuente alternativa de abastecimiento de agua para mantenimiento de áreas verdes, enmarcada en la política sustentable de la Universidad Técnica del Norte. El área del estadio UTN presenta topografía favorable, espacio necesario y condiciones visuales adecuadas para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. La planta piloto se diseñó para obtener una calidad de agua residual apta para riego ornamental o para descarga a cuerpos de agua dulce; a la vez beneficiar a docentes y alumnos de la carrera de ingeniería en Recursos Naturales Renovables, como un medio de aprendizaje para fortalecer la investigación formativa. Se caracterizó el grado de contaminación del agua residual e identificó los parámetros con mayor incidencia en el dimensionamiento y posterior tratamiento del agua residual. La planta depuradora ostenta un pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, desinfección y posterior uso del efluente tratado. El sistema natural de depuración de agua residual eliminará la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, fósforo, nitrógeno y patógenos; potencializando el uso de la biodiversidad existente en las regiones del país como alternativa viable al saneamiento ambiental a escala menor.

ABSTRACT

UTN stadium is located in the urban perimeter of the city of Ibarra, sector which has low annual rainfall and water volume that could be utilized for irrigation, the area corresponds to low-mountain dry forest (bsMB) associated with dry soil (AES) category. According to the information of UTN Construction and Maintenance Department for the irrigation of the pitch and green areas approximately 50 m³ per day of water is needed. An optimal alternative for the water scarcity would be wastewater reuse for irrigation by treating the area wastewater on site at the stadium. This treatment system will have positive impact on economic, social, environmental and cultural resources, therefore supports the environmental regulations stated by UTN to achieve sustainability. For the implementation of the project all topographical, space and visual aspects are provided. The pilot system can be a mean of learning to strengthen the formative research and the development of new eco-technologies in sanitation. The process to design is based on characterizing the degree of pollution of wastewater which is medium/high, so the quality parameters of residual water with great importance in design were determined such as: temperature, suspended solids, volatile solids, settleable solids, biochemical demand of oxygen and nutrients (phosphorus and nitrogen). Treatment steps consist pre-treatment, primary treatment, secondary treatment, disinfection and reuse of the treated effluent. The secondary treatment is a combined horizontal and vertical subsurface flow wetland, these hybrid natural systems uses the advantages of each type of the wetland in order to obtain the best possible performance in BOD, TSS, phosphorus, nitrogen removing and heavy metals removal, potentializing the use of existing biodiversity in the regions of the country as a viable alternative to the environmental sanitation in smaller scale.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

El agua como componente indispensable para cualquier forma de vida, unido al desarrollo de poblaciones y caracterizada por una creciente demanda en actividades de consumo e industrial, está acarreado una mayor explotación a uno de los recursos naturales más utilizados y el peor tratado (Kuklinski, 2011). El tratamiento del agua residual es un reto urbanístico y la afirmación de una identidad comprometida con el desarrollo sustentable.

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre, la búsqueda de métodos para manejarlos, de manera que, puedan ser aprovechados en distintos ámbitos por los seres vivos; de aquí que uno de los recursos de vital importancia para el hombre, como lo es el agua sean sujeto de estudio (Izembart & Le Boudec, 2008). La generación de efluentes es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, actividades que modifican las características de calidad del agua de partida, contaminándola e invalidando, en algunos casos, su posterior aplicación para otros usos. Es un hecho que el vertido de aguas residuales sin depurar provoca daños, en ocasiones irreversibles, al medio ambiente y salud pública (Henry & Heinke, 1999).

Advertida la necesidad de suspender definitivamente el sistema de riego con agua potable para el césped y plantas ornamentales del estadio olímpico UTN, y que a su vez representa un gasto económico elevado, se plantean el diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales, que cumpla con requerimientos de funcionalidad, eficiencia y generación calidad de agua apta para el riego ornamental; es así que, el tratamiento de las aguas residuales domiciliarias debe ser entendido como una necesidad, a fin de mantener

condiciones ambientales adecuadas para la población y propender a un uso racional y sustentable de los recursos acuáticos.

El presente proyecto tiene la finalidad de documentar, sistematizar y sustentar el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, generadas por las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte y de los sectores de influencia, siendo un reto de importancia social, ecológica, y económica, enmarcado en la política de sustentabilidad de la Universidad y del Plan Nacional para el Buen Vivir.

La planta piloto permitirá fortalecer la investigación formativa y difundir la tecnología de tratamiento biológico de agua residual en el área de influencia de la UTN. Los principales beneficiarios de este proyecto serán docentes y alumnos de las carreras de ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Energías Renovables y Biotecnología, quienes podrán desarrollar investigaciones formativas y prácticas de fortalecimiento en los conocimientos adquiridos en el aula.

La Universidad se beneficia a través de reducción en gastos energéticos, obtención de fertilizantes orgánicos que pueden ser utilizados en las granjas experimentales o directamente en el gramado del estadio UTN. Con el desarrollo de este tipo de proyectos se logra que los recursos y energías renovables tengan una mayor participación en la satisfacción de las necesidades energéticas del mismo, contribuyendo así al desarrollo sustentable, reducción del incremento de gases de efecto invernadero y mitigación de los efectos adversos al cambio climático local y mundial.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Establecer el diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio de la Universidad Técnica del Norte.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el estado de contaminación de las aguas residuales urbanas aledañas al estadio UTN.
- Analizar los parámetros de calidad de agua que intervienen en el diseño del sistema de tratamiento.
- Definir y dimensionar la línea del sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.2 Preguntas directrices

¿Los criterios de diseño cumplen con los requerimientos técnicos para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales?

¿El diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales permitirá generar una calidad de agua de cumpla con la normativa ambiental vigente?

CAPÍTULO II

2 REVISIÓN DE LITERATURA

Capítulo encaminado a la revisión de diferentes fuentes bibliográficas, enfocadas en el saneamiento ambiental y diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas, de las cuales, se han obtenido el apoyo de conceptos e ideas sustentables, necesarias para la realización del presente proyecto.

2.1 Generalidades de las aguas residuales

El agua residual son aguas de abastecimiento para la población, que han sido contaminadas por diversos usos. Es el resultado de la combinación de los líquidos y/o desechos arrastrados por el agua procedente de casas, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales y aguas superficiales o de precipitación que puedan agregarse (Falcon, 1990).

El agua se considera contaminada cuando se altera su composición o condición natural por una degradación instantánea o paulatina de su calidad, hasta dejar de ser apta para el uso previsto en las actividades humanas y naturales. La calidad de agua en el Ecuador ha venido paulatinamente deteriorándose, especialmente en los últimos años, produciéndose grandes cantidades de residuos contaminantes que son vertidos en los ríos y esteros sin ningún tratamiento (Da Ros, 1995). En el país, la gestión en saneamiento en el sector urbano es deficiente, de la misma manera en el sector rural es inexistente; por lo cual se produce un círculo vicioso, en donde la contaminación del agua genera un deterioro ambiental, que a su vez altera la sostenibilidad de los sistemas naturales, así como la cantidad y calidad disponible del recurso hídrico (Aguirre, Barhm, & Bleuze, 2013).

La realidad actual es una deuda muy alta en cuanto a esfuerzos técnicos y tecnológicos para mejorar la calidad del agua que se vierte producto de actividades humanas domésticas, industriales y agropecuarias.

2.1.1 Origen de las aguas residuales urbanas

Falcon (1990), señala que las aguas residuales provienen de la actividad humana y pueden ser originadas por:

- a) Desechos humanos y animales
- b) Desperdicios caseros
- c) Corrientes pluviales

Desechos humanos y animales. Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales, mediante los sistemas hidráulicos de retretes y en cierto grado de los procedentes de animales, que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles.

Desperdicios caseros. Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de alimentos; los desperdicios además de contener partículas de alimentos contienen grasas, jabones y detergentes.

Corrientes pluviales. La lluvia realiza la acción de lavado de calles y deposita cantidades variables de agua con polvo, arena, hojas, plásticos y otras basuras directamente al alcantarillado.

2.1.2 Constituyentes del agua residual

Los constituyentes que se encuentran en aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos; siendo los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos los de mayor importancia en el tratamiento de aguas.

En la tabla 1 se presentan los constituyentes principales del agua residual.

Tabla 1. Principales constituyentes de interés en el tratamiento de aguas residuales

Constituyentes	Razones de interés
Sólidos suspendidos totales	Formación de depósitos de lodos y condiciones anaerobias.
Compuestos orgánicos biodegradables	Agotamiento de oxígeno en fuentes naturales y desarrollo de condiciones sépticas.

Constituyentes	Razones de interés
Constituyentes inorgánicos disueltos	Constituyentes inorgánicos adicionados por el uso. Aplicaciones en el reciclaje y en la reutilización de aguas residuales.
Metales pesados	Constituyentes metálicos adicionados por el uso.
Nutrientes	Crecimiento excesivo de la vida acuática indeseable, eutroficación, concentración de nitratos en agua para consumo.
Patógenos	Transmisión de enfermedades.
Polutantes orgánicos prioritarios	Sospechosos de ser carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos o de toxicidad aguda alta. Muchos polutantes prioritarios son resistentes a los métodos de tratamiento convencionales.

(Crites & Tchobanoglous, 2000)

2.1.3 Aspecto de las aguas residuales

Las aguas residuales son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tiene un olor a moho no desagradable. Flotan en ellas cantidades variables de materia: sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel y otros residuos.

2.1.4 Volumen de aguas residuales

El volumen de aguas residuales que se producen varía de acuerdo con la población y depende de muy diversos factores, es así que una ciudad exclusivamente residencial que cuente con alcantarillado sanitario, puede producir entre 140 a 160 litros por persona y por día (Corbitt, 2003).

También debe notarse que las aguas residuales varían grandemente, tanto en composición como en volumen, de hora en hora, de acuerdo con los cambios de actividades de la población.

2.2 Composición química de las aguas residuales

Generalmente las aguas residuales contienen sólidos disueltos y sólidos suspendidos. La cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 1000 ppm en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición. Los sólidos pueden estar disueltos, suspendidos o flotando (Seoáñez, 1995).

2.2.1 Sólidos

Los sólidos de las aguas residuales pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física. Existen sólidos orgánicos e inorgánicos. La clasificación se encuentra en la figura 1, junto con sus características.

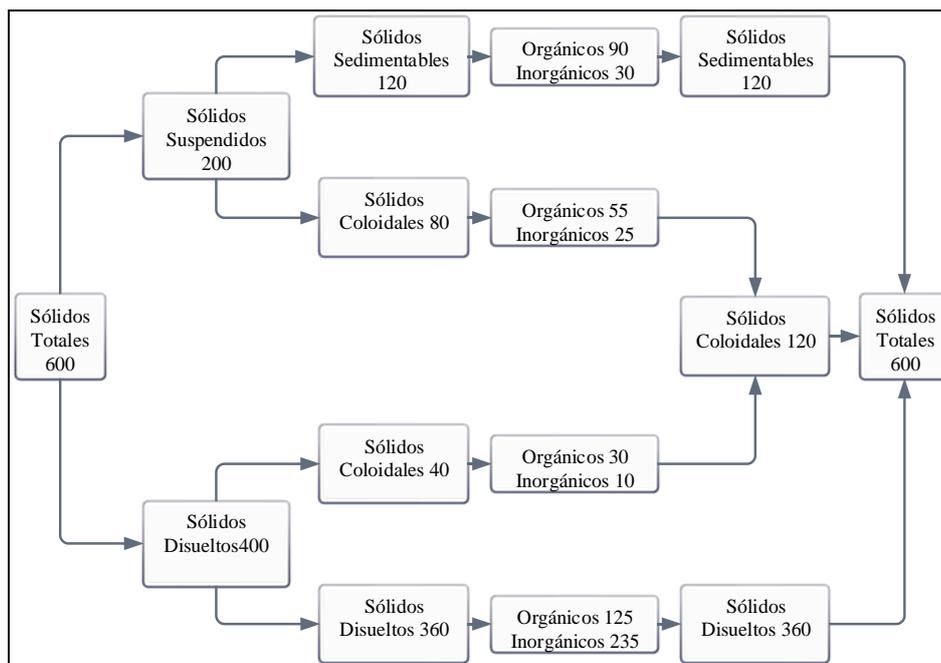


Figura 1. Condición física y composición de los sólidos contenidos en un agua residual domestica media; las cifras indican partes por millón (Falcon, 1990).

Los sólidos totales son el conjunto de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de los sólidos suspendidos y disueltos; generalmente, las materias en suspensión representan del 100 al 120% del DBO₅ (Ronzano & Dapena, 2002).

Según su composición se clasifican en:

- a) **Sólidos orgánicos.** En general son de origen animal o vegetal, que incluyen productos de desecho de la vida animal y vegetal, materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden también incluirse compuestos orgánicos sintéticos. Están sujetos a la degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos; además son combustibles, es decir, pueden ser quemados (Falcon, 1990).
- b) **Sólidos inorgánicos.** Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Los sólidos inorgánicos frecuentemente son registrados como sustancias minerales: arena, grava, arcilla, lodos, sales minerales y otros compuestos como sulfatos y carbonatos principalmente (Seoáñez, 1995).

Según su condición física se clasifican en:

- a) **Sólidos suspendidos.** Son perceptibles a simple vista en y que pueden separarse del agua residual mediante procesos físicos o mecánicos, como sedimentación y la filtración. Están constituidos aproximadamente por un 70 por ciento de sólidos orgánicos y por un 30 por ciento de sólidos inorgánicos (Seoáñez, 1995).

Los sólidos suspendidos se dividen en:

- ❖ **Sólidos sedimentables.** Son la porción que por su tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un periodo determinado, generalmente en una hora (Fernández, 2004).
 - ❖ **Sólidos coloidales suspendidos.** Se definen indirectamente como la diferencia entre sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. Su composición es orgánica en unas dos terceras partes, e inorgánicas el resto; están sujetas a una rápida degradación y son un factor importante en el tratamiento y disposición de las aguas residuales (Falcon, 1990). No se sedimentan tan fácilmente por su peso específico próximo al del líquido o por encontrarse en estado coloidal (Hernández Muñoz, Hernández Lehmann, & Galán, 2004).
- b) **Sólidos disueltos.** Aunque no es técnicamente correcto, son los sólidos que se encuentran disueltos en el agua residual.

No todos los sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. De los sólidos disueltos totales aproximadamente un 90 por ciento está verdaderamente disuelto y un 10 por ciento está en estado coloidal (Szilveszter, 2014).

2.2.2 Gases

Según Seoáñez (1995), las aguas residuales urbanas contienen diversos gases con diferente concentración.

- a) **Oxígeno disuelto.** Es el gas más importante y es consumido por la actividad química y biológica.
- b) **Ácido sulfhídrico.** Es un gas que se forma por la descomposición de sustancias orgánicas e inorgánicas en un medio aerobio.
- c) **Anhídrido carbónico.** Se produce en la fermentación de los compuestos orgánicos.
- d) **Metano.** Se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica al reducir ciertas bacterias el CO₂.

2.2.3 Líquidos

Por lo general, las aguas residuales urbanas llevan algunos líquidos volátiles como gasolinas y alcoholes, entre otros (Seoáñez, 1995).

2.3 Composición biológica

Se conoce que anualmente un individuo puede genera entre 30 a 35 kg de materia fecal sólida y un volumen de orina de 450 litros (Kuklinski, 2011).

En las aguas residuales se encuentran un gran número de organismos vivos, manteniendo la actividad biológica, produciendo descomposición, degradación y fermentación de los compuestos orgánicos e inorgánicos (Szilveszter, 2014).

Estos organismos pueden ser:

- a) Bacterias (parásitas, saprófitas, aerobias, anaerobias, facultativas y autótrofas)
- b) Mohos
- c) Virus
- d) Protozoarios
- e) Metazoarios

2.4 Composición típica del agua residual urbana

La composición típica de las aguas residuales está detalladas en la tabla 2. Los valores de concentración están dados en (mg/L), excepto sólidos suspendidos (ml/L) y el pH.

Tabla 2. Grado de contaminación típica de las aguas residuales urbanas

PARÁMETROS	COMPOSICIÓN		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1000	500	200
Fijos	300	150	80
Volátiles	700	350	120
Sólidos en suspensión	500	300	100
Fijos	100	50	30
Volátiles	400	250	70
Sólidos disueltos	500	200	100
Fijos	200	100	50
Volátiles	300	100	50
Sólidos sedimentables	250	180	40
Fijos	150	108	24
Volátiles	100	72	16
DBO ₅	400	220	110
DQO	1000	500	250
COT	290	160	80
N _{total}	86	50	25
N _{orgánico}	35	20	10
NH ₄ ⁺	50	30	15
NH ₃ ⁺	0,4	0,2	0,1
NO ₂ ⁻	0,1	0,05	0

PARÁMETROS	COMPOSICIÓN		
	Fuerte	Media	Débil
P _{total}	15	8	4
P _{orgánico}	5	3	1
P _{inorgánico}	10	5	3
pH	6-9	6-9	6-9
Grasas	150	100	50

(Gómez & Hontoria, 2003) citado por (Osorio, Torres, & Sánchez, 2010)

2.5 Características de las aguas residuales

Las características principales de evaluación y monitoreo de las aguas residuales urbanas se describen desde el punto de vista físico, químico y biológico.

2.5.1 Características físicas

Son características que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua y que se detallan con los sentidos de la vista, tacto, gusto y olfato (Arellano & Guzmán, 2011).

2.5.1.1 Sólidos

Generalmente las aguas contienen sólidos disueltos, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, que son partículas muy gruesas, se depositan por gravedad en el fondo de cuerpos receptores. Son material flotante como trozos de vegetales, animales, basuras, entre otros (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.5.1.2 Turbiedad

Es la medida de la propiedad de dispersión de la luz en las aguas residuales, debido al material coloidal que impide la transmisión de la luz y que la absorbe o dispersa reduciendo su transparencia (Cárdenas, 2005).

2.5.1.3 Color

El color aparente es causado por los sólidos suspendidos, el color verdadero lo constituye el material coloidal y sustancias en solución (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.5.1.4 Olor

Es producto de la degradación biológica (bacterias y algas) bajo condiciones anaerobias de las aguas. El principal compuesto de olor indeseable es el (H₂S) sulfuro de hidrógeno (Sierra, 2011).

2.5.1.5 Temperatura

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La temperatura de los efluentes urbanos no plantea grandes problemas, ya que oscila entre 15 y 25° C (Baruth, 2005).

2.5.1.6 Densidad

Se define como su masa por unidad de volumen; siendo de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. El valor de la densidad es importante para el cálculo del número de Reynolds (Sierra, 2011).

2.5.1.7 Caudal

Volumen de agua que pasa en una unidad de tiempo en un determinado punto, generalmente se expresa en litros por segundo (Corbitt, 2003).

2.5.2 Características químicas

Son parámetros relacionados con la capacidad del agua para disolver, las concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias y elementos químicos (Arellano & Guzmán, 2011).

2.5.2.1 pH

El pH es una medida del grado de acidez o alcalinidad de un agua residual (Cárdenas, 2005).

Si el agua residual tiene acidez ésta tiende a ser muy corrosiva, la cual puede atacar químicamente tanto a los sistemas de distribución como a los órganos de las plantas de tratamiento.

Mientras que agua residual básica provoca incrustaciones tanto en los sistemas de distribución como en las plantas de tratamiento (Drinan, 2001).

2.5.2.2 Conductividad

La conductividad del agua es la capacidad de las sales disueltas especialmente de iones de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos para conducir la corriente eléctrica (Sierra, 2011).

2.5.2.3 Nitrógeno

El nitrógeno es el nutriente esencial para el crecimiento protista y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son las del nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar el tratamiento de las aguas residuales por tratamientos biológicos (Stefanakis, Akkratos, & Tsihrintzis, 2014).

2.5.2.4 Nitrógeno en forma de nitrito

Está presente en concentraciones bajas, los nitritos son de gran importancia en estudios de aguas residuales porque son altamente tóxicos para muchas especies acuáticas (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.5.2.5 Nitrógeno en forma de nitrato

La concentración de nitratos es importante, debido a las normas que ha fijado la EPA, la concentración de nitratos en aguas no debe superar el valor límite de 45 mg/l como NO_3^- dadas sus graves y ocasionalmente fatales consecuencias sobre la población infantil (Szilveszter, 2014).

2.5.2.6 Fósforo

En las aguas residuales, el fósforo puede encontrarse en forma de sales minerales (ortofosfatos, polifosfatos), pero también en forma de compuestos orgánicos (Cárdenas, 2005). El fósforo en aguas superficiales genera un crecimiento incontrolado de algas y otros organismos biológicos (Stefanakis et al, 2014).

2.5.2.7 Oxígeno disuelto

Es la cantidad de oxígeno que proviene de la mezcla agua y aire ocasionada por el viento y en la mayoría de los casos del proceso fotosintético de las plantas acuáticas (Cárdenas, 2005). El oxígeno disuelto en el agua permite el desarrollo de organismos biológicos que tienden a regenerar el sistema hídrico contaminado (Kuklinski, 2011).

2.5.2.8 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos heterótrofos, para transformar la materia orgánica metabolizable, en anhídrido carbónico, agua y productos finales (Gil, 2005). Permite apreciar la carga del agua en materias biodegradables y su poder auto-

depurador (Kuklinski, 2011). Las concentraciones de DBO_5 varían en relación al número de habitantes, es así que, ciudades de pocos habitantes valores de DBO_5 altos y grandes ciudades valores bajos (Ronzano & Dapena, 2002).

2.5.2.9 Demanda química de oxígeno (DQO)

Es el consumo de oxígeno, en la oxidación total por vía húmeda de la materia carbonácea (Gil, 2005). La DQO es una estimación de las materias orgánicas presentes en el agua, susceptible a ser oxidadas químicamente, cualquiera que sea su origen (nitritos, amoníaco) orgánico o mineral (Ferrer & Seco, 2008).

2.5.2.10 Grasas y aceites

Son constituyentes que debido a sus propiedades pueden causar muchos problemas en los sistemas de tratamiento, limitando así la transferencia de oxígeno a los organismos biológicos (Hernández et al, 2004).

2.5.3 Características biológicas

Las aguas residuales contienen gran número de organismos vivos (bacterias, virus, algas, hongos y algunos protozoos) que son los que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentación, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. Su importancia radica, en la existencia en residuos humanos como coliformes y E. Coli (Seoánez, 1995). Los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos (Ferrer & Seco, 2008).

2.6 Tratamiento de aguas residuales domésticas

El tratamiento de las aguas residuales tiene la finalidad de remover sólidos, grasas, aceites y otros materiales flotantes o sedimentables para que el agua residual pueda ser reutilizada o vertida sin ningún riesgo social y ambiental. En el pasado, el objetivo del tratamiento era la remoción de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos y patógenos hoy la finalidad es y la reutilización de los efluentes especialmente en el área agrícola (Henry & Heinke, 1999).

El grado de tratamiento de las aguas puede ser determinado mediante los límites de vertido para el efluente, el grado hasta el cual es necesario llevar un tratamiento determinado varía mucho de un lugar a otro.

Existen factores básicos determinantes:

- a) Características de aguas residuales.
- b) Calidad del efluente de salida requerido.
- c) Coste y disponibilidad del terreno.
- d) Consideraciones de las futuras ampliaciones.

Los tratamientos de aguas residuales pueden ser clasificados en sistemas preliminares, primarios, secundarios y terciarios o avanzados (Ramalho, 2003).

2.6.1 Beneficios de tratar las aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales cumple el objetivo de proteger la salud pública y el medio ambiente. Si las aguas residuales van a ser vertidas a un cuerpo receptor natural (mar, ríos, lagos) o son reutilizadas como fuente de riego en áreas verdes (glorietas, camellones, jardines, centro recreativos, parques, campos deportivos, fuentes de ornato), será necesario realizar un tratamiento para evitar enfermedades causadas por bacterias y virus en personas que entran en contacto con esas aguas, de igual manera para proteger la fauna y flora presentes en el cuerpo receptor natural (Metcalf & Eddy, 1995).

El reúso del agua tratada representa una oportunidad para poner en práctica estrategias de desarrollo territorial integrado y equilibrado con los objetivos sociales, económicos y medioambientales, promoviendo la conservación y valorización de los potenciales culturales y ambientales (Pozo, 2012).

2.7 Niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas

Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales es común hablar de niveles de tratamiento, los cuales para fines prácticos han sido clasificados como: recolección y transporte, preliminar o pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado (Davis & Masten, 2005).

En la tabla 3 se describe las consideraciones que caracteriza cada nivel de tratamiento.

Tabla 3. Niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas

Niveles de Tratamiento	Descripción	Tratamiento
Recolección	Conducción y disposición del agua residual al sistema de tratamiento.	Alcantarillado sanitario.

Niveles de Tratamiento	Descripción	Tratamiento
Preliminar	<p>Remoción de constituyentes del agua residual que puedan causar problemas operacionales o de mantenimiento.</p> <p>Sistemas auxiliares destinados a la preparación de las aguas residuales para su disposición o tratamiento subsecuente</p>	<p>Desbaste o Rejas. Desarenadores. Tanques desgrasadores. Homogeneización. Aireación preliminar.</p>
Primario	<p>Remoción de parte de los sólidos sedimentables y degradación de la materia orgánica presente en el agua residual.</p>	<p>Tanque séptico. Tanque Imhoff. Sedimentación simple (primaria). Precipitación química y sedimentación. Digestión de lodos. Lechos de secado.</p>
Secundario	<p>Remoción de compuestos orgánicos, biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto).</p> <p>Complementa los tratamientos precedentes y debe incluir un proceso biológico adecuado y una sedimentación final.</p>	<p>Tratamientos biológicos aerobios. Filtros percoladores (biológicos). Lodos activados. Sistemas de lagunas de estabilización. Tratamientos biológicos anaeróbicos. Reactores anaeróbicos de flujo ascendente. Filtros anaeróbicos.</p>
Terciarios	<p>Remoción de sólidos suspendidos, en general por filtración en medio granular.</p> <p>La desinfección hace siempre parte del tratamiento terciario, incluyéndose en esta definición la remoción de nutrientes</p> <p>Complementa los procesos siempre que las condiciones locales exijan eventualmente un grado más elevado de depuración.</p>	<p>Procesos físico-químicos. Procesos físico-biológicos. Desinfección</p>

(Davis & Masten, Ingeniería y ciencias ambientales, 2005)

2.7.1 Recolección de las aguas residuales

Las zonas residenciales constituyen la principal fuente de generación de aguas residuales urbanas, por lo tanto, la cantidad de agua residual depende directamente de la cantidad de población, por ello es típico hacer la determinación del caudal en función de la población y su consumo medio diario; el caudal es variable en el día y en el año (Osorio, Torres, &

Sánchez, 2010). En áreas residenciales se consume entre el 20 y 30% del agua de abastecimiento a la zona, por lo que el 80 o 70% remanente se vierte al sistema de alcantarillado como agua residual; es así que el alcantarillado sanitario es el medio de recolección y transporte al sistema de tratamiento (Corbitt, 2003).

2.7.2 Tratamiento preliminar

Son sistemas auxiliares destinados a preparar las aguas residuales para su disposición o tratamiento subsecuente, removiendo constituyentes del agua residual, que puedan causar problemas operacionales o de mantenimiento (Crites & Tchobanoglous, 2000). El tratamiento previo realiza la operación de desbaste (retención de sólidos con grandes dimensiones), desarenado (extracción de grava y arena), separación de aceites y grasas por flotación, homogeneización que permite alimentar a la planta de forma continua y con un caudal constante (Kuklinski, 2011).

2.7.2.1 Rejillas manuales de desbaste

Son dispositivos constituidos con barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, que retiene objetos grandes que pudiesen dañar o estorbar en bombas, válvulas y demás equipo mecánico. Las rejas de limpieza manual tienen aberturas de 20 a 45 mm, tomando en cuenta que las velocidades máximas de llegada en el canal van de 0,6 a 1,2 m/s (Metcalf & Eddy, 1995). En la figura 2 se presenta un perfil de rejilla con desbaste manual.

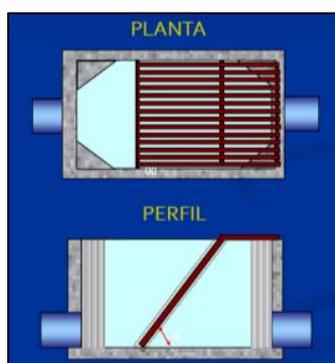


Figura 2. Rejillas manuales de desbaste, (Arellano & Guzmán, 2011)

2.7.3 Tratamiento primario

Tratamiento que constituye en sedimentar alrededor de 50-70% de sólidos suspendidos, es un proceso físico o fisicoquímico. También se procede a disminuir la DBO en un 30-45%.

Los objetivos del tratamiento son:

- ❖ Eliminar materia en suspensión

- ❖ Eliminar sólidos coloidales.
- ❖ Eliminar metales y materia orgánica.

En consecuencia del tratamiento se obtiene gran cantidad de lodos. Los sólidos obtenidos se someten a un proceso de digestión anaerobio y posterior secado para ser manejados como fertilizantes (Kuklinski, 2011). Este proceso se puede ejecutar con un sedimentador primario y un biodigestor de lodos.

2.7.3.1 Sedimentador primario

La sedimentación es un proceso necesario. Las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los procesos de tratamiento debido a que, niveles elevados de turbiedad inhiben los procesos biológicos, causando elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente (OPS/CEPIS, 2005).

Un sedimentador consta de las siguientes partes que se pueden observar en la figura 3.

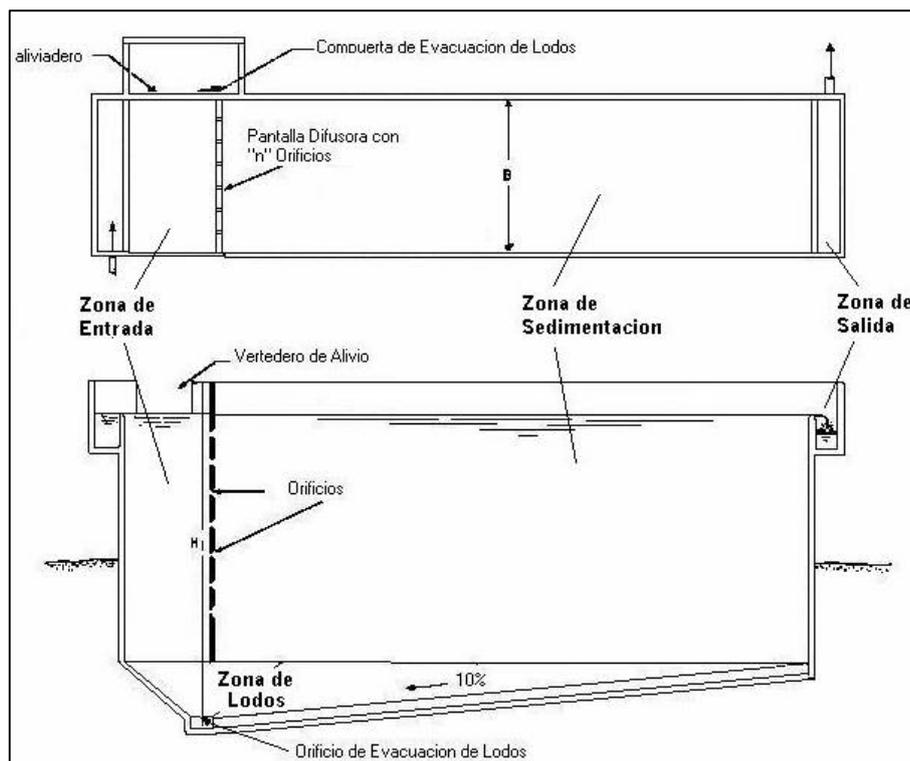


Figura 3. Sedimentador primario, (OPS/CEPIS, 2005)

Zona de entrada. Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

Zona de sedimentación. Canal rectangular con volumen y condiciones de flujo adecuados para sedimentación de partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es igual en todos los puntos, flujo pistón.

Zona de salida. Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

Zona de recolección de lodos. Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, una tubería y válvula para su evacuación periódica.

El sedimentador tiene por objeto separar del agua cruda partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm.

El sedimentador primario dimensionado y operado de manera eficiente puede eliminar entre el 50 y 70% de sólidos suspendidos y entre el 25 y 45% de la DBO₅ (Spellman, 2003).

2.7.3.2 Biodigestor

Sistema que transforma los residuos orgánicos (biomasa) en dos productos: energía y fertilizante orgánico, utilizando la digestión anaeróbica. El fertilizante es un abono natural que mejora el rendimiento de los cultivos. Los desechos de las rejillas se mezclan generalmente con los lodos cuando, por su naturaleza y sus dimensiones son semejantes a los desperdicios domésticos (OPS/CEPIS, 1996). Los lodos así formados contienen una elevada proporción de proporción orgánica (de 20 a 30% de la materia seca), materia grasa (6 a 30%) y celulosa (8 a 15%), tienen un aspecto no homogéneo, son generalmente de color pardo y poseen un olor desagradable. En la figura 4 se ilustra el proceso del biodigestor.

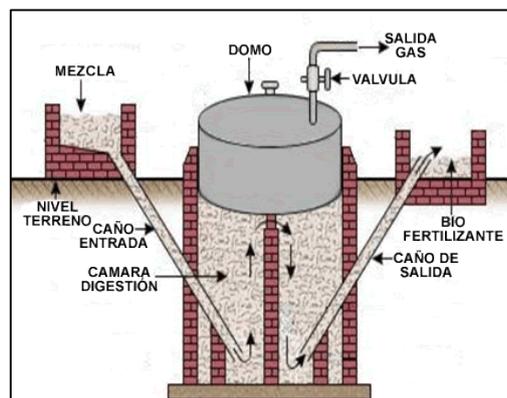


Figura 4. Proceso del biodigestión, (Ferrer & Seco, 2008)

2.7.4 Tratamiento secundario

El proceso secundario conlleva a utilizar métodos biológicos aerobios para oxidar y degradar compuestos orgánicos, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto) a través de microorganismos presentes en las aguas residuales y el complemento con plantas macrófitas (Kuklinski, 2011).

La remoción de sólidos suspendidos por filtración en medio granular hace siempre parte del tratamiento, incluyéndose de igual manera la remoción de nutrientes. La inclusión de procesos biológicos logra eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO₅; los sistemas más empleados es el humedal artificial subsuperficial de flujo vertical y/o horizontal, siendo un proceso efectivo los sistemas híbridos (ONU-HABITAT, 2008).

2.7.4.1 Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical

Los humedales artificiales, una tecnología natural de tratamiento de aguas residuales, de bajo precio, eco-tecnológica y biológica, diseñada con el fin de imitar los procesos de los ecosistemas de humedales naturales, se destacan como una alternativa potencial o como un sistema suplementario para el tratamiento de aguas residuales (Stefanakis et al, 2014).

En la figura 5 se presenta un humedal artificial de flujo vertical, es un lecho de filtración que se planta con vegetación acuática.

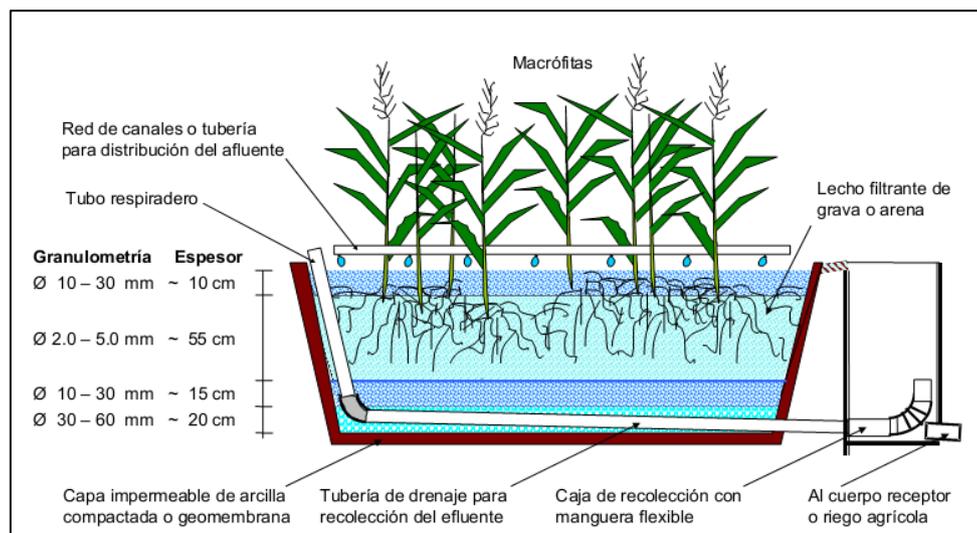


Figura 5. Humedal artificial de flujo vertical, (Stefanakis, Akratos, & Tsihrintzis, 2014)

Las aguas residuales se vierten o dosifican a la superficie del humedal desde arriba usando un sistema mecánico de dosificación.

El agua fluye verticalmente hacia abajo por la matriz del filtro. El medio filtrante actúa tanto como filtro para eliminar sólidos, como una superficie fija para que las bacterias se sujeten, y como una base para la vegetación.

La capa superior es plantada con vegetación que puede desarrollar raíces profundas y gruesas, que entran en el medio de filtración. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

2.7.4.2 Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

Se denomina humedal de flujo horizontal porque las aguas residuales de vierten o descargan a la entrada del humedal y fluyen lentamente a través del sustrato poroso bajo la superficie del lecho siguiendo una trayectoria más o menos horizontal hasta que alcanzan la zona de salida. Durante el trayecto, las aguas residuales entran en contacto con una red de zonas anaeróbicas, aeróbicas y anóxicas. Las zonas aeróbicas se encuentran alrededor de las raíces y rizomas de la vegetación del humedal que liberan oxígeno en el sustrato.

Durante el paso de las aguas residuales a través de la rizosfera, éstas se limpian mediante degradación microbiológica y diferentes procesos físicos y químicos (Vymazal & Kröpfelová, 2007). Los humedales de flujo horizontal pueden eliminar de forma efectiva los contaminantes orgánicos (SST, DBO5 y DQO) de las aguas residuales.

En la figura 6 se presenta las características típicas de un humedal de flujo horizontal.

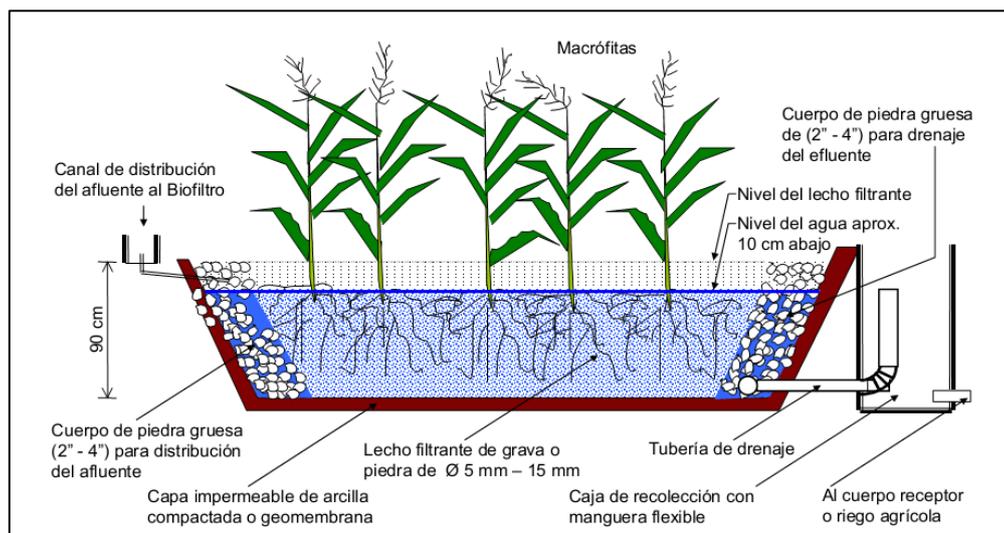


Figura 6. Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal, (Stefanakis, Akratos, & Tsihrintzis, 2014)

Debido a la poca transferencia de oxígeno en el interior del humedal, la remoción de nutrientes (especialmente el nitrógeno) es limitada, sin embargo, los humedales subsuperficiales de flujo vertical eliminan los nitratos existentes en las aguas residuales, por lo que se considera un sistema óptimo realizar un proceso híbrido entre un humedal de flujo horizontal y uno de flujo vertical.

2.7.5 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se emplea para eliminar agentes patógenos de los efluentes del proceso de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua

receptores, o bien obtener la calidad adecuada para el reúso en sistemas de riego, sin perjudicar o mantener riesgos en la salud pública. Actualmente el sistema de mayor empleo para desinfectar es la radiación UV (EPA, 1999). En la figura 7 se propone uno de los modelos de lámpara UV más utilizados en el saneamiento ambiental.

2.7.5.1 Desinfección

En la última década se ha podido comprobar que la radiación UV (agente desinfectante físico) tiene propiedades germicidas importantes, de igual manera que no contribuye a la formación de compuestos secundarios tóxicos. La desinfección es último paso del tratamiento de agua residual, tiene la finalidad de eliminar patógenos que provoquen riesgos a la salud (Davis & Masten, 2005). El proceso se realiza en determinadas circunstancias, a través del método de desinfección con lámparas UV de baja o media presión, práctico para aguas residuales, debido a que es capaz de inactivar bacterias, virus, esporas y quistes de protozoos; pero su eficiencia está determinada o condicionada en base a la turbidez del agua residual tratada (Osorio et al, 2010).



Figura 7. Lámpara UV para desinfección, (Gil, 2005)

2.8 Marco legal

El sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio olímpico UTN se enmarca en los principales cuerpos legales de regularización ecuatorianos vigentes, que son:

Constitución de la República del Ecuador

Título II - derechos, capítulo segundo - derechos del buen vivir, sección segunda - ambiente sano.

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*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Títulos II - derechos, capítulo séptimo - derechos de la naturaleza.

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.

Título VI - régimen de desarrollo, capítulo primero - principios generales.

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.

Título VII – régimen del buen vivir, capítulo segundo – biodiversidad y recursos naturales, sección sexta-agua.

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.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Título VII – régimen del buen vivir, capítulo segundo – biodiversidad y recursos naturales, sección séptima - biosfera, ecología urbana y energías alternativas.

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

Art. 415.- El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes.

Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclo vías.

Ley de prevención y control de la contaminación ambiental

CAPITULO II- de la prevención y control de la contaminación de las aguas.

Art. 6.- 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.

Plan Nacional para el Buen Vivir (2013-2017)

Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

Política 7.7. Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental.

Política 7.8. Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental en los procesos de extracción, producción, consumo y pos consumo

Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)- Recurso agua-Libro VI-Anexo 1

4.1.4 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

4.2.3 Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

Hace referencia al proceso metodológico y sistemático utilizado para cumplir el proceso que conlleva al diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del área de influencia directa del estadio olímpico UTN.

La realización del proyecto se enmarca en la ejecución sistemática de las etapas de investigación; iniciando con la medición del caudal de descarga, seguido de la caracterización del agua residual; para luego realizar el levantamiento topográfico del emplazamiento en el cual se va a construir la planta de tratamiento y finalmente dimensionar las unidades de tratamiento.

3.1 Ubicación del área de estudio

El predio donde se encuentra el estadio olímpico UTN está ubicado en la Av. 13 de Abril y Morona Santiago, Parroquia El Sagrario, Cantón Ibarra, Provincia Imbabura.

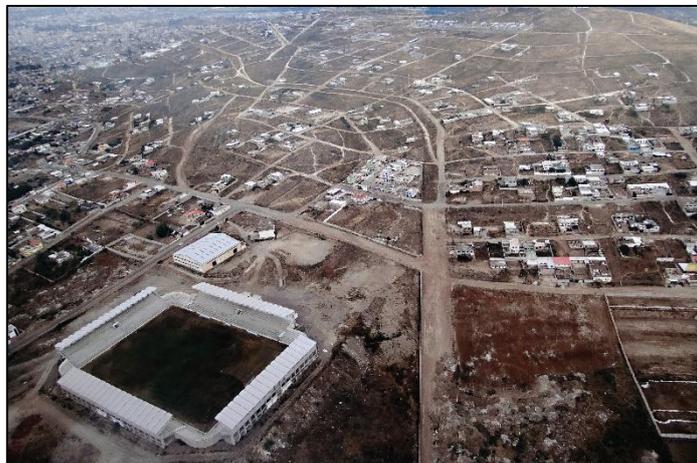


Figura 8. Área de estudio, (Autor, 2015)

En la tabla 4 se presentan las coordenadas exactas del área de estudio.

Tabla 4. Coordenadas de ubicación del área de estudio, UTM-WGS84 zona 17S.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud
1	820505	10041825	2230msnm
2	820188	10041833	2250 msnm
3	820200	10042027	2240 msnm
4	820391	10042110	2220 msnm

(Autor, 2015)

De igual manera en el anexo 1 se presenta el mapa de ubicación del área del proyecto y en el anexo 3 se presenta el espacio donde se construirá la planta de tratamiento de aguas residuales con su respectiva implantación.

3.2 Diagnóstico cuantitativo y cualitativo de calidad del agua residual

Se inicia el proceso con la selección de parámetros de calidad de agua para llevar a cabo el análisis correspondiente, se estiman los caudales de diseño y se establece una planificación de la toma de muestras. En base a los resultados de calidad se debe establecer el proceso o línea de tratamiento de aguas residuales.

3.2.1 Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de captación y muestreo se ubican en dos sitios, donde se dispone de pozos de revisión de aguas residuales, los puntos de muestreo se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Coordenadas de ubicación del puntos de muestreo, UTM-WGS84 zona 17S

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud
1	820184	10041829	2250 msnm
2	820150	10042018	2245 msnm

(Autor, 2015)

3.2.2 Caracterización del agua residual

La caracterización se realizó mediante análisis físico-químicos y microbiológicos. Los análisis se efectuaron en el laboratorio de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I).

Los parámetros de análisis se establecieron mediante criterio técnico en base de las tablas del TULSMA: criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola y la tabla de límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Los parámetros analizados se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de evaluación de calidad de agua

PARÁMETRO	VARIABLES	UNIDADES
FÍSICO	Temperatura	°C
	Conductividad	uS/cm
	Sólidos totales disueltos	mg/l
	Sólidos suspendidos	mg/l
	Sólidos sedimentables	mg/l
QUÍMICO	pH	-
	Nitratos	mg/l
	Nitritos	mg/l
	Nitrógeno amoniacal	mg/l
	Fosfatos	mg/l
	Fósforo total	mg/l
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l
	Demanda Química de Oxígeno	mg/l
BIOLÓGICO	Coliformes totales	NMP
	Coliformes fecales	NMP

(Autor, 2015)

3.2.3 Muestreo del agua residual

Según Ramalho (2003), existen dos tipos de muestras que pueden tomarse: (1) *muestra simple*, y (2) *muestra compuesta*.

La muestra simple nos proporciona las características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada. Se usa generalmente cuando: el caudal de agua residual y su composición es relativamente constante. El volumen mínimo de una muestra simple debe estar entre 1 y 2 litros.

Las muestras compuestas son formadas por mezcla de muestras individuales tomadas en diferentes momentos. La cantidad de cada muestra individual que se añade a la mezcla compuesta debe ser proporcional al flujo de caudal en el momento en que la muestra fue tomada.

Es así que (V) es el volumen total de la muestra compuesta que hay que tomar; (V_i) es volumen de cada muestra individual (i) de la muestra compuesta; (Q_{med}) el caudal medio; (Q_i) el caudal instantáneo en el momento en que la muestra (i) es tomada y (n) el número de muestras que deben ser mezcladas.

El volumen de muestra requerida por unidad de caudal fue establecido mediante la siguiente relación:

$$\frac{V_i}{Q_i} = \frac{V}{n * Q_{med}}$$

Donde:

$$V_i = \left(\frac{V}{n * Q_{med}} \right) * Q_i$$

La frecuencia del muestreo depende de la variabilidad del caudal y la carga contaminante. Para pequeñas variaciones las muestras sólo hace falta que se tomen a intervalos entre 2 y 24 horas. Sin embargo, para grandes variaciones puede requerirse tomar muestras hasta cada 15 minutos.

Las muestras individuales de la muestra compuesta deben tener entre 25 y 100 ml y el volumen compuesto debe tener entre 1 y 4 litros.

Las muestras fueron totalmente identificadas mediante una ficha técnica y de igual manera movilizadas desde los puntos de muestreo hasta el laboratorio mediante una cadena de custodia. En las figuras 9, 10 y 11 se presenta el proceso de muestreo.



Figura 9. Muestreo de agua punto 1, (Autor, 2015)



Figura 10. Muestreo de agua punto 2, (Autor, 2015)



Figura 11. Muestras de agua residual, (Autor, 2015)

3.2.3.1 Ficha técnica de la muestra

Permite de forma sistemática identificar la información de las características de la muestra y los análisis requeridos. En la tabla 7 se presenta los datos principales en la ficha.

En redes de saneamiento sin infiltraciones de consideración, los volúmenes recogidos de agua residual son en orden del 75% al 85% del volumen de agua distribuida en el abastecimiento.

El consumo medio a lo largo del tiempo evoluciona de acuerdo con el modelo:

$$D_f = D_o(1 + \alpha)^t$$

Siendo: D_o (dotación en el momento de la realización del estudio), t (tiempo), α (coeficiente de incremento poblacional que se recomienda no sea mayor a 0,012 aunque a veces se llega a considerar como válido 0,02).

El crecimiento poblacional está dado por el modelo siguiente:

$$P_f = P_o(1 + \alpha)^t$$

Para lo cual: P_f (población futura), P_o (población actual), α (tasa de crecimiento poblacional) y t (tiempo).

Sin embargo, con los planteamientos actuales para el desarrollo sustentable, está avanzando la consideración de tratar de reducir, o al menos, mantener las dotaciones unitarias de agua, consiguiendo una mayor eficiencia en su distribución y aprovechamiento.

3.2.4.1 Caudal medio diario (Q_{med})

Es el valor del caudal de aguas residuales en un día de aportación al sistema depurador.

El caudal medio de aportaciones se deduce mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{med} = \frac{80\% * P_f * D_f}{86400}$$

Siendo: **80%** (porcentaje de recuperación), P_f (población futura) y D_f (dotación “futura” de agua).

3.2.4.2 Caudal máximo instantáneo ($Q_{m\acute{a}x}$)

Representa el valor máximo de escurrimiento que se puede presentar en un determinado periodo del día. Se obtiene a partir del producto del caudal medio y el coeficiente de Harmon (M).

La expresión está diseñada únicamente para una población (P) igual o mayor a mil habitantes.

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{med} * M$$

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{med} * \left(1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}} \right)$$

Para poblaci3n menor a mil habitantes, el caudal máximo instantáneo se calcular considerando lo siguiente:

- ❖ Para $P \leq 100$ hab., se utiliza la tabla de caudales máximo instantáneo, según los valores experimentales de la Boston Society of Civil Engineers.
- ❖ Para $100 < P < 1000$ hab., se utiliza una interpolaci3n lineal entre el caudal máximo dado por la Boston Society of Civil Engineers y el dado por la expresi3n de Harmon para una poblaci3n igual a 1000 habitantes.

3.2.4.3 Caudal máximo para cualquier tamaño de la poblaci3n

Para Spellman (2003), el caudal máximo puede estimarse mediante la siguiente ecuaci3n:

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{med} * \left(1,2 + \frac{2,6}{\sqrt[4]{Q_{med}}} \right)$$

3.2.4.4 Caudal mínimo ($Q_{m\acute{i}n}$)

Representa el menor volumen de escurrimiento que se presenta y se calcula mediante la siguiente formula.

$$Q_{m\acute{i}n} = 0,5Q_{med}$$

3.2.5 Línea del proceso de tratamiento

Para el diseño se considera los resultados de los análisis de agua residual y la legislaci3n ambiental vigente, de igual manera el objetivo de reusar el agua residual una vez tratada para regadío del gramado del estadio y ornamentaci3n del predio.

El la figura 12 se presenta un esquema de la línea de proceso para la implementaci3n del sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio UTN.

El proceso básico consiste en sistema de recolecci3n del agua cruda, pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, desinfecci3n, almacenamiento y posterior uso en regadío del gramado y plantas ornamentales.

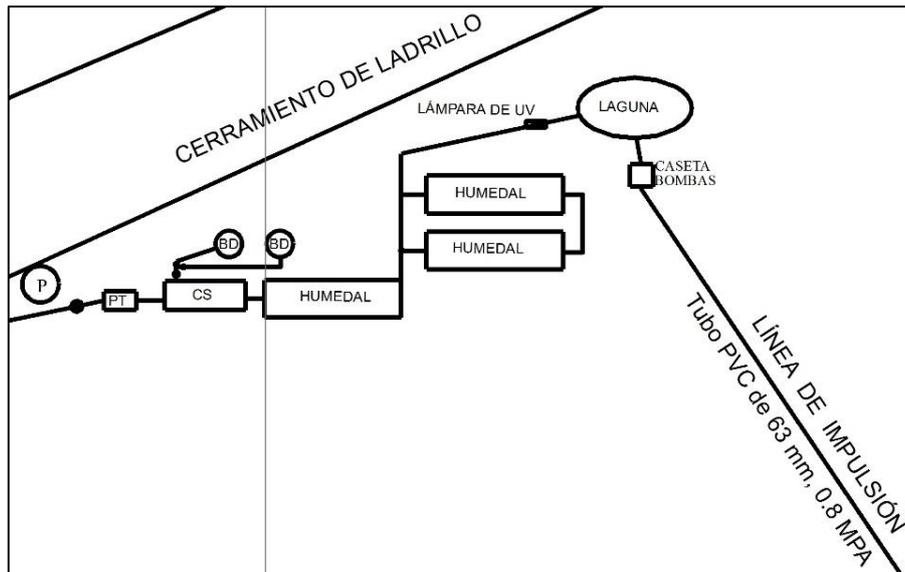


Figura 12. Línea del sistema de tratamiento de aguas residuales, (Autor, 2015)

3.3 Pre-tratamiento

Realiza la separación de sólidos gruesos, grasas y regula de mejor manera el caudal para el proceso siguiente.

3.3.1 Rejillas

La primera operación unitaria obligada en el tratamiento de aguas residuales es el cribado, esta operación se realiza usando rejillas y circulando el agua a través de ellas. Sus principales objetivos son: reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo el influente de aguas residuales crudas, evitar la obstrucción de los conductos y proteger los equipos (Allende, 1994).

La figura 13 es la rejilla de desbaste normalmente utilizada.

Las rejillas más utilizadas son las de limpieza manual, separación ente barrotes entre 1,5 y 5,0 cm, inclinación 30° a 60° con respecto al plano horizontal. Para rejillas finas se usan barrotes de entre 6mm a 13mm de diámetro.



Figura 13. Rejilla de desbaste manual, (Autor, 2015)

3.3.1.1 Diseño de rejillas de limpieza manual

Para Lozano-Rivas (2012), los criterios de diseño de las rejillas se fundamentan en las velocidades de paso del flujo de aguas residuales, a través de ellas.

Esta velocidad no debe ser tan baja que promueva la sedimentación de sólidos en el canal ni tan alta que genere arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes de la reja.

Los criterios de diseño se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Criterios de diseño de las rejillas de desbaste

Parámetro	Valor o rango
Velocidad mínima de paso	0,6 m/s (a caudal medio)
Velocidad máxima de paso	1,4 m/s (a caudal punta)
Grado de colmatación estimado entre intervalos de limpieza	30%
Pérdida de carga máxima admisible	15 cm (a caudal medio)

(Lozano-Rivas, 2012)

El área en la zona de la rejilla se puede calcular con la siguiente expresión:

$$A_R = B_c * \frac{L}{L + b} * \left(1 - \frac{G}{100}\right)$$

Donde,

A_R [área útil del canal en la zona de la rejilla (m²)], B_c [ancho del canal (m)], L [espacio entre barrotes (m)], b [ancho de barrotes (m)], G [grado de colmatación-usualmente se adopta un valor de 30%].

Debido a que los barrotes restan área útil del canal, incrementando la velocidad del flujo entre la rejilla, se hace necesario, en ocasiones, incrementar el ancho del canal en la zona donde está ubicada la criba o aumentar la profundidad.

La pérdida de carga generada por la rejilla (diferencia de altura de la lámina de agua antes y después del paso por la rejilla se puede calcular con esta expresión propuesta por Lozano-Rivas).

$$\Delta H = \beta * \left(\frac{b}{L}\right) * \frac{V_p^2}{2g} * \sin \theta$$

Donde,

ΔH [pérdida de carga generada por la rejilla (m)], β [factor dependiente de las barras circulares], b [diámetro de barrotes (m)], L [espacio entre barrotes (m)], V_p [velocidad de

paso del agua a través de la rejilla (m/s)], g [aceleración de la gravedad (m/s²)] y θ [Ángulo de inclinación de los barrotes (°)]

El número de barrotes se puede calcular con la siguiente expresión

$$N = \frac{B_R - L}{b + L}$$

Donde,

N [número de barrotes], B_R [ancho del canal en la zona de rejilla (m)], L [espacio entre barrotes (m)], b [ancho de barrotes (m)]. Generalmente una rejilla fina retiene 12 a 25 ml/d*hab, mientras que una rejilla gruesa 5 a 12 ml/d*hab.

3.3.2 Trampa de grasas

Para OPS/CEPIS (2003) se recomienda las siguientes especificaciones para el diseño de la trampa de grasa:

- ❖ La relación largo/ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendido entre 2:1 a 3:2.
- ❖ La profundidad deberá ser mayor a 0,80 m y menor a 2.00 m.
- ❖ El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser mayor 0,30 m.
- ❖ La trampa de grasa deberá ser de forma cónica o piramidal invertida con la pared del lado de salida vertical. Y el lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45° a 60° con respecto a la horizontal
- ❖ La trampa de grasa y el compartimento de almacenamiento o desalojo de grasa estarán conectados a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua.
- ❖ Para caudales inferiores a 1l/s, el volumen máximo de tanque será de 2m³.
- ❖ El tiempo de retención hidráulico será menor a 45 minutos y permitirá regular un caudal constante a través de todo el sistema consecuente.

3.4 Tratamiento primario

Esta etapa tiene como objetivo eliminar, por efecto de la gravedad, los sólidos suspendidos de las aguas residuales; se logra bien sea de manera libre, o asistida con químicos que aglomeran las partículas (floculantes) para que ganen peso y decanten con mayor velocidad.

Estos sólidos suspendidos eliminados son, en su mayoría, materia orgánica, por lo cual se presenta una reducción importante en la concentración de DBO del efluente. Las operaciones unitarias más frecuentemente empleadas para el tratamiento primario de las aguas residuales son el reactor anaeróbico con deflectores (García & Corzo, 2008).

3.4.1 Diseño del Sedimentador

Esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que traen consigo las aguas. La mayoría de las fuentes superficiales de agua tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión (partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm), siendo necesaria su remoción previa.

3.4.1.1 Velocidad de sedimentación

Se determina la velocidad de sedimentación de acuerdo a los criterios indicados anteriormente en relación a los diámetros de las partículas. Los datos necesarios se establecen en la tabla 10.

Tabla 10. Datos de partida para la sedimentación

Q = Caudal	0,0008	m ³ /s
ρ_p = Densidad relativa Partícula	2,65	g/cm ³
ρ_f = Densidad del Agua	0,998 ≈ 1	g/cm ³
η = Viscosidad del Agua	0.01	cm ² /s
d = Diámetro de Partículas	0,02	cm
g = Gravedad	980	cm/s ²
T= Temperatura del Agua	20	°C

(Autor, 2015)

Como primera aproximación utilizamos la ley de Stokes.

$$V_s = \frac{g}{18} \left(\frac{\rho_p - \rho_f}{\eta} \right) d^2$$

Se comprueba el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V_s * d}{\eta}$$

Reynolds debe cumplir para la aplicación de la ley de Stokes ($Re < 0.5$), si los valores calculados ($Re > 0.5$) caen en la zona de transición, por lo que el coeficiente C_D se calcula con la ley de Allen:

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0,34$$

Conocido este valor, se puede determinar la velocidad real de sedimentación de la partícula en la zona de transición se obtiene mediante la ley de Newton:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_D} (\rho_p - 1) d}$$

En la experiencia de Szilveszter (2014), se utiliza una constante $\phi=20$ para sedimentación de un flóculo, es así que:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_D * \phi} (\rho_p - 1) d}$$

3.4.1.2 Cámara de sedimentación

Para OPS/CEPIS (2005), los criterios de diseño que se deben conocer y considerar son los siguientes datos de inicio:

- ❖ Calidad fisicoquímica del agua.
- ❖ El periodo de operación es de 24 horas por día.
- ❖ El tiempo de retención será entre 2 a 6 horas.
- ❖ La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,70 a 1 metro de distancia de la pared de entrada.
- ❖ Los orificios más altos de la pantalla 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 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo, como se indica en la figura 14.

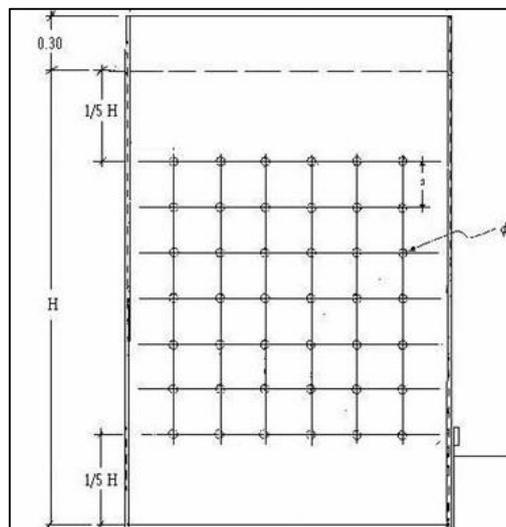


Figura 14. Pantalla difusora del sedimentador, (OPS/CEPIS, 2005)

- ❖ La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m³/m²/día.

- ❖ La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.
- ❖ La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será:

$$3 < \frac{L}{B} < 6$$

- ❖ La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será:

$$5 < \frac{L}{H} < 20$$

- ❖ El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10%.
- ❖ La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- ❖ Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
- ❖ La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- ❖ El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s.
- ❖ Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura.

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

3.4.1.3 Dimensionamiento del sedimentador

Se determina el área superficial de la unidad (A_s), es el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo a la relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Siendo: V_s [velocidad de sedimentación (m/s)], Q [caudal de diseño (m³/s)].

De igual manera se puede utilizar la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

Dónde: Q [caudal de diseño (m³/día)], C_s [carga superficial (m³/m²/día)].

Las dimensiones de largo L (m), ancho B (m) y altura H (m) se determinan de manera que se cumplan las relaciones o criterios mencionados anteriormente. Considerando el espaciamiento entre la entrada y la cortina o pared de distribución de flujo.

Se determina la velocidad horizontal V_H (m/s) de la unidad mediante la ecuación. El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Para calcular la velocidad de arrastre V_d (m/s) de la unidad se procede a través de la siguiente ecuación.

$$V_d = \sqrt{\frac{8k * g * (\rho_s - 1) * d}{f}}$$

Siendo: k: Factor de forma (0.04, Arenas unigranulares no adheribles)

V_d : Velocidad de desplazamiento (cm/s)

f: Factor de fricción de Darcy-Weisbach (0.025)

El tiempo de retención hidráulico en horas, se expresa mediante la relación:

$$TRH = \frac{As * H}{3600 * Q}$$

El número de orificios de la pantalla difusora, cumpliendo con los criterios de diseño se estiman mediante la siguiente expresión

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Siendo: A_o : Área total de orificios (m^2)

V_o : Velocidad en los orificios (m/s)

Q: Caudal de diseño (m^3/s)

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

Siendo: n: número de orificios

a_o : Área de cada orificio (m^2)

A_o : Área total de orificios (m^2)

3.4.2 Diseño del biodigestor

El diseño de digestores debe responder tanto al lugar como al grado de aplicación y a la finalidad de la tecnología. En los últimos años se han desarrollado numerosas tecnologías para el tratamiento anaerobio de lodos, tanto de cultivos en suspensión como fijos. Sin embargo, los dos tipos de digestores más empleados son los de alta y baja carga, ambos con cultivos en suspensión (Metcalf & Eddy, 1995).

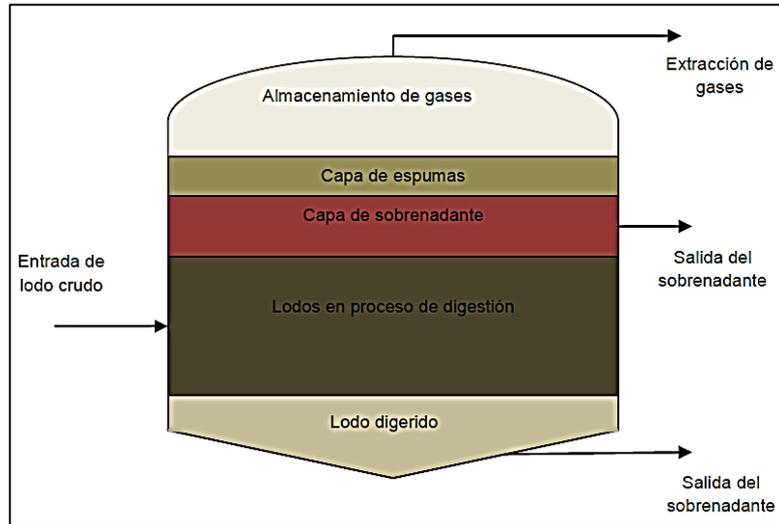


Figura 15. Proceso interno del biodigestor, (Ronzano & Dapena, 2002)

En la figura 15 se puede establecer que el digestor comprende dos zonas bien diferenciadas: una gaseosa, donde se acumula el biogás; y otra líquida, donde se deposita el lodo. La parte gaseosa comprende un 25% del volumen total del digestor; la líquida un 75% del mismo. Así, el volumen total será la suma de ambos:

$$V_T = V_G + V_L$$

Donde,

V_T [volumen del digestor (m^3)], V_G [volumen del gas (m^3)] y V_L [volumen del líquido (m^3)].

Es así que:

$$V_G = 0,25 * V_T$$

$$V_L = 0,75 * V_T$$

3.4.2.1 Cantidad de biogás que podría obtenerse y su aprovechamiento energético

Para Sánchez (2003), el potencial de producción de metano (BO) para aguas residuales es aproximadamente de $0.406 m^3 CH_4/KgVS$, con una eficiencia de reducción (Ef) de VS (sólidos volátiles) al 50%.

Es así que el volumen de biogás producido se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_{CH_4} = BO * (VS * Ef) * \left(1 - \frac{K}{(U * TR) - 1 + K}\right)$$

$$V_{CH_4} = m^3 / día$$

$$TR = 30 \text{ días}$$

$$BO = 0.406 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{Kg VS}$$

$$TC = \text{Óptima } 35^\circ C$$

$$VS = 11.39 \text{ Kg} / \text{día}$$

$$K = 0.6 + 0.0006 * e^{(0,1185*(VS*Ef))}$$

$$Ef = 50\%$$

$$U = 0.013 * TC - 0.129$$

K es la descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo y es adimensional.

U es el crecimiento de producción de metano con el cambio de temperatura por día.

El volumen líquido y gaseoso se relacionan mediante:

$$V_G = \frac{V_L}{3}$$

3.5 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. Un tratamiento secundario eficiente remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SST. Para este proceso se diseña un sistema híbrido entre un humedal artificial subsuperficial de flujo vertical y horizontal (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

3.5.1 Diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial

Según ONU-HABITAT (2008), un humedal artificial es una cubeta de poca profundidad rellena de algún tipo de material (substrato), generalmente arena o grava, y plantada con vegetación resistente a condiciones de saturación. Las aguas residuales se introducen en la cubeta y fluyen sobre la superficie o a través del substrato y son vertidas fuera de ésta a través de una estructura que controla la profundidad de dichas aguas en el interior del humedal. Un humedal artificial se compone de los siguientes cinco componentes principales:

- a) Cubeta
- b) Substrato o Lecho filtrante
- c) Vegetación
- d) Membrana impermeabilizante
- e) Estructuras de entrada y salida

La última generación de humedales artificiales ha sido desarrollada haciendo uso del sistema de flujo vertical con cargas intermitentes.

Los motivos del creciente interés en el uso de este tipo de sistemas son principalmente:

- ❖ Presentan una mayor capacidad de transferencia de oxígeno dando como resultado una buena nitrificación.
- ❖ Son considerablemente más pequeños que los sistemas flujo horizontal.
- ❖ Pueden eliminar eficientemente DBO5, DQO y los patógenos.

Los criterios básicos para el diseño de un humedal artificial se detallan en la tabla 11:

Tabla 11. Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo vertical y horizontal

Factor	Unidad	Intervalo	Valor usual
Humedal de flujo vertical			
<i>Medio filtrante</i>			
Arena fina lavada (secundario)	mm	0,25-0,75	0,35
Grava fina (primario)	mm	2-8	2-5
Profundidad	cm	45-90	60
Coeficiente uniformidad	%	3-6	<4
Porcentaje finos		2-5	<4
<i>Drenaje</i>			
Clase (tubería perforada)			
Tamaño	Pulg.	3-4	4
Pendiente	%	0,1-1	0,5
Grava de drenaje	mm	20-40	40
<i>Distribución de agua</i>			
Diámetro de tubería	Pulg.	1-2	1,5
Distancia entre tuberías	m	0,5-1,2	0,6
Orificio distribución	mm	3-8	6
Distancia entre orificios	m	0,5-1,2	0,6
<i>Hidráulica</i>			
Carga hidráulica	l/m ² /día	40-60	50
Carga orgánica	Kg DBO/m ² /día	0,0025-0,01	<0,005
<i>Dosificación</i>			
Frecuencia	Veces/día	4-24	12
Volumen/orificio	l/orif./dosis	0,6-1,1	0,9
Tiempo aplicación	Minutos	2-15	5
Humedal de flujo horizontal			
<i>Medio filtrante</i>			
Grava ingreso y salida	mm	40-100	50
Grava media	mm	5-10	8
Profundidad del medio	m	0,7-1,5	0,7
Pendiente	%	0,5-1	1
Relación largo-ancho		2:1-7:1	3:1

Factor	Unidad	Intervalo	Valor usual
Drenaje			
Tubería perforada	Pulg	3-4	4
Distribución de agua			
Tubería perforada	Pulg	3-4	3
Hidráulica			
Profundidad del agua	m	0,1-0,8	0,6
Carga orgánica	Kg DBO/m ² /día	3-7,5	<11
carga hidráulica	m ³ /m ² /día	0,1-0,2	

(Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

3.5.1.1 Tamaño del humedal

El tamaño del humedal está basado en la ecuación de Kickuth:

$$A_h = \frac{Q_d(\ln C_i - \ln C_e)}{K_{DBO}}$$

Donde,

A_h (área de superficie del lecho, en m²),

C_e (concentración de DBO₅ en el efluente, en mg/l) y

Q_d (nivel promedio de flujo diario de desechos, en m³/día),

K_{DBO} (constante de velocidad, en m/día)

C_i (concentración de DBO₅ en el afluente, en mg/l),

El parámetro K_{DBO} es determinada a partir de la formula $KTdn$.

$$KT = K_{20}(1,06)^{(T-20)}$$

Donde,

K_{20} (constante de velocidad a 20°C, en día⁻¹), T (temperatura de operación del sistema, en°C), d (profundidad de la columna de agua, en metros) y n (porosidad del sustrato, en porcentaje expresado en forma de fracción).

La relación largo-ancho del humedal tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del agua; es recomendable usar la relación 3:1.

Para humedales que funcionaran como tratamiento secundario la condición es que el caudal de aplicación sea mayor al caudal de infiltración y la fórmula del caudal de infiltración se reduce a:

$$Q_i = A_s * K_s * 3600$$

Donde,

Q_i (caudal de infiltración, en m^3/h), A_s (área superficial, en m^2) y K_s (conductividad hidráulica).

3.5.1.2 Tiempo de residencia hidráulico

El tiempo de residencia hidráulico se define como:

$$T_{RH} = \frac{n * L * W * d}{Q}$$

Dónde: n (porosidad efectiva del medio), d (profundidad promedio del líquido en el lecho, en m), L (longitud del lecho, en m), W (ancho del lecho, en m) y Q (caudal promedio a través del lecho, en m^3/d).

3.5.1.3 Profundidad

En general, la profundidad del substrato en un humedal artificial de flujo subsuperficial se limita aproximadamente a la profundidad de las raíces de la plantas, de tal manera que las plantas estén en contacto con el afluente e influyan en el tratamiento.

Sin embargo, se debe tener en cuenta el tiempo de retención hidráulica.

Se recomienda usar un substrato con una profundidad entre 70cm y 90cm, puesto que puede proporcionar una nitrificación adecuada, además de favorecer la remoción de contaminantes orgánicos.

3.5.1.4 Área transversal del lecho

En los humedales subsuperficiales el área de la sección transversal se calcula mediante la expresión:

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

Dónde: Q (caudal promedio a través del lecho, en m^3/d), K_s (conductividad hidráulica) y S (pendiente del fondo del humedal)

3.5.1.5 Selección del lecho filtrante

Los lechos cumplen diferentes funciones: Son material de enraizamiento para la vegetación, ayudan a distribuir y/o recolectar de manera uniforme el caudal en la entrada y salida,

proporcionan área superficial para el crecimiento de los microbios, filtran y atrapan las partículas.

Partículas muy pequeñas tienen una conductividad muy baja y crean un flujo superficial. Las partículas de gran tamaño tienen una conductividad hidráulica muy alta, pero disponen de poca área de superficie húmeda por volumen unitario de hábitat microbiana.

Un lecho con partículas gruesas y angulares es adverso a la propagación de las raíces.

Los materiales de tamaño medio, generalmente caracterizados como gravas, suelen comprometer el buen funcionamiento por lo que se recomienda que sean lavados previamente a su uso ya que así se pueden eliminar arenas finas que podrían bloquear los espacios huecos.

Se recomienda usar arena (0 a 4 mm) como sustrato principal con un $d_{10} > 0,3$ mm y un $d_{60}/d_{10} < 4$ y con una permeabilidad de 10^{-3} a 10^{-4} m/s.

En la figura 16 se muestra la disposición generalmente utilizada del sustrato o lecho filtrante.

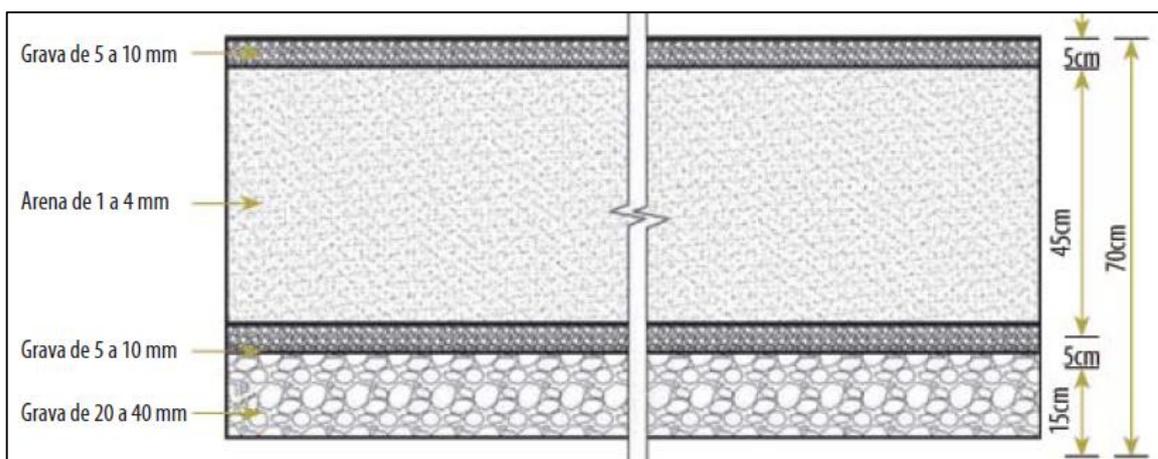


Figura 16. Disposición del sustrato en un humedal FV, (ONU-HABITAT, 2008)

En la tabla 12 se muestra las principales características de los sustratos empleados para el diseño y construcción de humedales verticales y horizontales.

Tabla 12. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales

Tipo de material	Tamaño efectivo d_{10} (mm)	Conductividad hidráulica, K_s ($m^3/m^2/d$)
Arena gruesa	2	100-1000
Arena gravosa	8	500-5000
Grava fina	16	1000-10000
Grava media	32	10000-50000
Roca gruesa	128	50000-250000

(Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

3.5.1.6 Gradiente del lecho

En teoría, el gradiente inferior debe coincidir con el gradiente del nivel hídrico con el objeto de mantener la profundidad del agua uniforme a lo largo del lecho. Lo más práctico sería lograr que el fondo forme un gradiente uniforme a lo largo de la dirección del flujo desde la entrada hasta la salida, facilitando de esta manera el drenaje cuando sea necesario hacer el mantenimiento. No se ha investigado cuál sería el gradiente óptimo, no obstante, se recomienda que sea de 0,5% a 1% para facilitar tanto la construcción como el drenaje correcto.

3.5.1.7 Sellado del lecho

Se pueden usar los suelos locales para sellar los humedales sí disponen de alto contenido arcilloso, suficiente para conseguir la permeabilidad necesaria. En base a su disponibilidad y rentabilidad, se pueden seleccionar membranas impermeabilizantes. Para lograr instalar la membrana con éxito, es crucial preparar el substrato evitando que éste contenga materiales que puedan perforarla. El grosor de las membranas depende de la permeabilidad del suelo.

3.5.1.8 Estructuras de entrada y salida

Las estructuras de entrada y salida distribuyen el caudal y controlan su trayectoria a través del humedal, así como la profundidad del agua. En la figura 17 se detallan las múltiples estructuras de entrada y salida ubicadas a cada extremo del humedal son esenciales para asegurar la distribución uniforme del afluente a través del humedal.

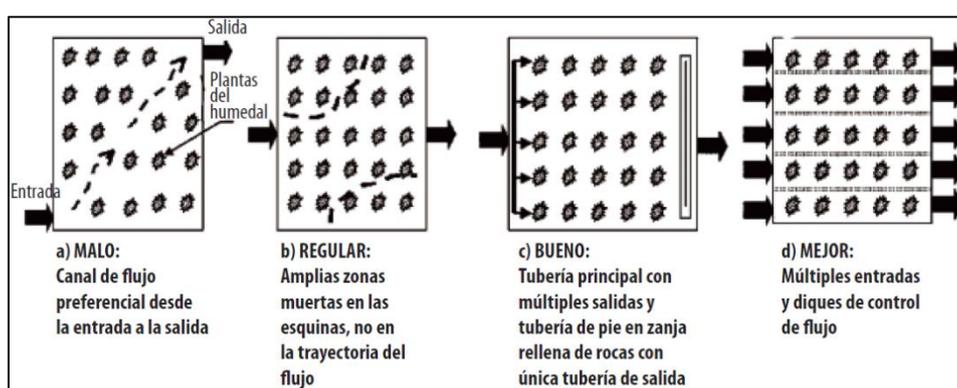


Figura 17. Efecto de la configuración del humedal en la distribución efectiva del caudal, (ONU-HABITAT, 2008)

Entradas

Las estructuras de entrada en los humedales subsuperficiales incluyen colectores superficiales y subsuperficiales tales como una tubería perforada. En los humedales FV es fundamental lograr una distribución uniforme por toda el área del lecho, figura 18. Las

estructuras para humedales FV se componen de un tanque de alimentación intermitente con una red de distribución.



Figura 18. Entrada con red de tuberías y tubería principal en la orilla, (ONU-HABITAT, 2008)

Salidas

Las estructuras de salida ayudan a mantener uniforme el caudal a través del humedal así como a controlar la profundidad operativa.

El diseño de humedales de flujo subsuperficial debe permitir una inundación controlada a 15 cm para promover un crecimiento deseable de plantas, controlar la maleza y mantener un gradiente hidráulico adecuado en el lecho. En los sistemas FV, el sistema de recolección puede consistir en una red de tuberías de drenaje rodeada por rocas de gran tamaño.

La tubería de drenaje llevará a un sumidero de recolección que facilitará el drenaje total del lecho vertical.

3.5.1.9 Vegetación

Según González (2011), existe una serie de criterios que la vegetación a ser plantada en los humedales artificiales debe cumplir:

- ❖ Utilización de especies locales predominantes.
- ❖ Penetración profunda de las raíces.
- ❖ Rizomas fuertes y raíces fibrosas en gran cantidad.
- ❖ Considerable biomasa o densidad de tallo para lograr la máxima transferencia de agua.
- ❖ Asimilación de nutrientes.
- ❖ Área superficial máxima para poblaciones microbianas.
- ❖ Transporte eficiente de oxígeno hacia la zona de raíces para facilitar la oxidación de metales tóxicos reducidos.
- ❖ Soporte de una amplia rizosfera.

CAPÍTULO IV

4 CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISEÑO

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos durante todo el proceso de investigación y elaboración del proyecto.

Esta sección el primer punto de partida de la jerarquía dimensional, para llevar a cabo un adecuado dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual está orientado a garantizar un eficiente funcionamiento, y así cumplir con los objetivos de saneamiento propuestos y cumplir con la normativa ambiental vigente.

Los datos base de partida se analizan en las siguientes cuantificaciones unitarias:

- a) Caracterización del agua residual
- b) Población
- c) Caudales de diseño
- d) Dimensionamiento de las unidades de tratamiento (Trampa de grasas, sedimentador, humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y/o vertical).

4.1 Caracterización del estado de contaminación del agua residual urbana

Para realizar el diagnóstico de calidad del agua residual se procedió a tomar muestras en los pozos de revisión de los puntos de muestreo 1 y 2. Se realizaron tres muestreos y los resultados se presentan en las tablas 13, 14 y 15. Los resultados de análisis se generaron en el laboratorio de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I). Los parámetros analizados se establecieron mediante el criterio técnico del equipo asesor en base a las tablas del TULSMA: criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola y la tabla de límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

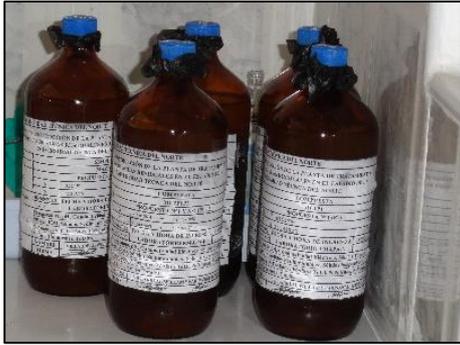


Figura 19. Muestras del agua residual, (Autor, 2015)



Figura 21. Análisis de DBO, (Autor, 2015)



Figura 20. Preparación de muestras, (Autor, 2015)



Figura 22. Análisis de muestras, (Autor, 2015)

4.1.1 Primer muestreo

Se tomaron cinco muestras; tres muestras simples y una compuesta que corresponde al pozo de revisión del punto de muestreo número 1. Además se obtuvo una muestra compuesta representativa de los dos pozos.

Tabla 13. Análisis físicos, químicos y microbiológicos

ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS															
Parámetros	Temperatura	pH	Conductividad	Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Sedimentables	DBO5	DQO	N-Amóniaco	N-Nitratos	P-Fosfatos	N-Nitritos	COLIFORMES TOTALES	E. COLI		
Unidades	°C		uS/cm	mg/L	cm3/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	ufc/100 ml			
Límites permisibles															
No	Muestra	Fecha													
1	MS1P1	21/12/2012	20,5	7,36	369	182	1,8	240	329	5,3	7,8	11,7	0,332	4,9E+06	3,7E+05
2	MS2P1	21/12/2012	21,2	7,31	580	287	2,2	440	752	48,5	3,9	29,3	0,177	5,6E+06	4,5E+05
3	MS3P1	21/12/2012	22,8	7,43	561	283	12,0	420	836	112,0	10,1	30,3	0,385	7,3E+06	3,9E+05
4	MC1P1	21/12/2012	21,5	7,40	488	248	12,0	420	793,0	53,3	21,0	24,3	0,356	7,1E+06	4,3E+05
5	MC1P1P2	21/12/2012	22,1	7,42	522	267	33,0	460	587	43,8	10,3	19,4	0,286	7,7E+06	4,5E+05

(EMAPA-I, 2012)

4.1.2 Segundo muestreo

Se tomaron cinco muestras; tres muestras simples y una compuesta que corresponden al pozo de revisión del punto de muestreo número 2. Además se obtuvo una muestra compuesta representativa de los dos pozos.

Tabla 14. Análisis físicos, químicos y microbiológicos

ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS															
Parámetros			Temperatura	pH	Conductividad	Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Sedimentables	DBO5	DQO	N-Amoníaco	N-Nitratos	P-Fosfatos	N-Nitritos	COLIFORMES TOTALES	E. COLI
Unidades			°C		uS/cm	mg/L	cm3/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	ufc/100 ml	
Límites permisibles															
No	Muestra	Fecha													
1	MS1P2	27/12/2012	22,1	7,73	255	128	10,0	260	438	64,3	8,6	22,9	0,264	6,7E+06	3,9E+05
2	MS2P2	27/12/2012	22,2	7,19	473	243	4,0	270	579	39,8	3,7	10,5	0,199	7,4E+06	5,0E+05
3	MS3P2	27/12/2012	22,5	6,21	374	170	10,0	580	1446	21,2	7,9	9,8	0,374	6,2E+06	4,3E+05
4	MC1P2	27/12/2012	22,4	6,88	433	218	8,0	530	1360,0	45,8	10,2	26,5	0,337	7,4E+06	4,9E+05
5	MC2P1P2	27/12/2012	22,2	7,34	488	249	17,0	480	1006	52,3	9,1	19,9	0,35	7,7E+06	5,1E+05

(EMAPA-I, 2012)

4.1.3 Tercer muestreo

Se tomaron ocho muestras; tres muestras simples y una compuesta que corresponde al pozo de revisión del punto de muestreo número 1, de igual manera se obtuvo tres muestras simples y una compuesta que corresponde al pozo de revisión del punto de muestreo número 2.

Tabla 15. Análisis físicos, químicos y microbiológicos

ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS															
Parámetros			Temperatura	pH	Conductividad	Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Sedimentables	DBO5	DQO	N-Amoníaco	N-Nitratos	P-Fosfatos	N-Nitritos	COLIFORMES TOTALES	E. COLI
Unidades			°C		uS/cm	mg/L	cm3/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	ufc/100 ml	
Límites permisibles															
No	Muestra	Fecha													
1	MS1P1	28/01/2013	18,2	7,39	348	166	3,4	280	316	29,5	7,4	11,5	0,205	6,9E+06	3,5E+05
2	MS2P1	28/01/2013	18,4	7,34	435	207	5,2	240	280	43,8	8,4	9,7	0,189	7,8E+06	5,5E+05
3	MS3P1	28/01/2013	17,9	7,28	512	244	4,8	430	599	31,3	7,2	27,9	0,315	8,2E+06	4,9E+05
4	MS1P2	28/01/2013	18,1	7,45	288	137	8,4	280	309	23,4	9,2	11,2	0,201	7,9E+06	5,8E+05
5	MS2P2	28/01/2013	18,2	7,29	422	201	5,3	220	322	17,2	8,3	12,5	0,212	7,6E+06	5,3E+05
6	MS3P2	28/01/2013	18,9	6,96	389	185	5,9	300	322	14,4	8,8	13,2	0,218	8,5E+06	6,1E+05
7	MC1P1	28/01/2013	18,3	7,12	472	225	8,0	380	488	22,3	7,9	27,5	0,298	7,9E+06	4,7E+05
8	MC2P2	28/01/2013	18,5	7,22	436	208	7,2	410	505	17,8	8,2	28,2	0,312	7,4E+06	5,4E+05

(EMAPA-I, 2013)

4.1.4 Análisis de los resultados finales del muestreo

Los resultados promedio de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua residual, se presentan en la tabla 16.

Para realizar el promedio se tomó en cuenta los tres resultados análisis realizados en los estudios de factibilidad y de igual manera los tres resultados de análisis realizados para el estudio de diseño.

Los valores son comparados con los límites permisibles del TULSMA.

Tabla 16. Promedio de Análisis físicos, químicos y microbiológicos

ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS																		
Parámetros				Temperatura	pH	Conductividad	Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Sedimentables	Sólidos Suspendedos	DBO5	DQO	N-Amónico	N-Nitratos	N-Nitritos	P-Fosfatos	Fósforo Total	COLIFORMES TOTALES	E. COLI
Unidades				°C	-	us/cm	mg/l	cm ³ /l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ufc/100 ml	
Límites permisibles TULSMA				<35	6,5-8,4	-	1600	1	100	100	250	-	10	-	10,00	Remoción 99,90%		
No	Muestra	Fecha	Hora															
1	MS1P1	22-abr.-2012	14H30	21,6	6,34	608	344	10	460	1550	5420	19,3	4,66	0,25	18,4	22,4	7,00E+06	1,62E+06
2	MS1P2		8H00	21,2	7,52	918	461	3	355	350	480	7,65	4,13	0,19	16,2	19,3	3,54E+07	1,62E+07
3	MS2P2		11H00	21,1	7,59	994	500	2	225	240	380	9,12	4,22	0,16	14,3	18,2	2,46E+07	1,83E+07
4	MS3P2		12H00	21,8	7,4	608	307	0,5	315	170	213	6,25	4,33	0,12	12,1	15,2	4,46E+07	2,44E+07
5	MC1P1P2							30	430	680	1095	15,2	4,19	0,21	17,7	20,1	4,90E+07	3,04E+07
1	MS1P1	3-may.-2012	12H00	22,1	7,14	432	219	4	240	255	365	7,22	4,02	0,12	9,12	12,7	8,13E+08	4,33E+08
2	MS2P1		14H00	22,6	6,8	508	255	4,8	310	220	314	6,55	4,19	0,11	7,88	10,9	6,58E+08	5,36E+08
3	MS3P1		17H00	19,9	6,89	475	237	5	260	280	378	10,14	3,98	0,14	12,44	14,5	1,58E+08	5,00E+07
4	MS1P2		12H00	22	7,41	551	279	6	360	310	410	15,42	4,22	0,16	14,2	17,1	2,05E+08	2,50E+05
5	MS2P2		14H00	21,6	6,95	940	472	5,2	296	280	395	13,27	4,16	0,14	11,1	13,3	3,93E+08	7,55E+07
6	MS3P2		17H00	20,5	7,18	783	392	6	344	305	412	13,96	4,19	0,14	12,6	12,9	2,98E+08	4,50E+07
1	MS1P1	27-may.-2012	9H30	21,3	7,41	361	181	2	182	240	359	8,26	4,2	0,12	16,5	19,4	4,00E+07	1,00E+07
2	MS2P1		12H30	22	7,51	596	299	2,5	135	210	348	21,3	3,4	0,1	18,4	21,2	2,45E+08	9,00E+07
3	MS3P1		16H30	21,4	6,97	399	201	1,5	175	210	385	15,6	3,5	0,22	14,8	14,9	1,13E+08	3,25E+07
4	MS1P2		9H30	21,6	8,16	917	459	1	140	220	333	15,9	3,9	0,16	17,8	16,5	1,75E+08	1,15E+08
5	MS2P2		12H30	22	7,71	1161	589	3,4	189	240	662	11,8	3,9	0,16	16,9	15,7	5,50E+07	3,25E+07
6	MS3P2		16H30	21,7	6,8	649	525	4	155	299	999	5,26	4,3	0,24	17,2	16,8	4,20E+08	4,50E+07

1	MS1P1	21-dic.-2012	07H30	20,5	7,36	369	182	1,8		240	329	5,3	7,8	0,332	11,7		4,9E+06	3,7E+05
2	MS2P1		10H00	21,2	7,31	580	287	2,2		440	752	48,5	3,9	0,177	29,3		5,6E+06	4,5E+05
3	MS3P1		14H00	22,8	7,43	561	283	12,0		420	836	112,0	10,1	0,385	30,3		7,3E+06	3,9E+05
4	MC1P1		07H00 A 14H30	21,5	7,40	488	248	12,0		420	793,0	53,3	21,0	0,356	24,3		7,1E+06	4,3E+05
5	MC1P1P2		07H00 A 14H30	22,1	7,42	522	267	33,0		460	587	43,8	10,3	0,286	19,4		7,7E+06	4,5E+05
1	MS1P2	27-dic.-2012	07H30	22,1	7,73	255	128	10,0		260	438	64,3	8,6	0,264	22,9		6,7E+06	3,9E+05
2	MS2P2		10H00	22,2	7,19	473	243	4,0		270	579	39,8	3,7	0,199	10,5		7,4E+06	5,0E+05
3	MS3P2		14H00	22,5	6,21	374	170	10,0		580	1446	21,2	7,9	0,374	9,8		6,2E+06	4,3E+05
4	MC1P2		07H00 A 14H30	22,4	6,88	433	218	8,0		530	1360,0	45,8	10,2	0,337	26,5		7,4E+06	4,9E+05
5	MC1P1P2		07H00 A 14H30	22,2	7,34	488	249	17,0		480	1006	52,3	9,1	0,35	19,9		7,7E+06	5,1E+05
1	MS1P1	28-ene.-2013	07H00	18,2	7,39	348	166	3,4		280	316	29,5	7,4	0,205	11,5		6,9E+06	3,5E+05
2	MS2P1		10H00	18,4	7,34	435	207	5,2		240	280	43,8	8,4	0,189	9,7		7,8E+06	5,5E+05
3	MS3P1		12H30	17,9	7,28	512	244	4,8		430	599	31,3	7,2	0,315	27,9		8,2E+06	4,9E+05
4	MS1P2		07H00 A 12H30	18,1	7,45	288	137	8,4		280	309	23,4	9,2	0,201	11,2		7,9E+06	5,8E+05
5	MS2P2		07H30	18,2	7,29	422	201	5,3		220	322	17,2	8,3	0,212	12,5		7,6E+06	5,3E+05
6	MS3P2		10H30	18,9	6,96	389	185	5,9		300	322	14,4	8,8	0,218	13,2		8,5E+06	6,1E+05
7	MC1P1		13H00	18,3	7,12	472	225	8,0		380	488	22,3	7,9	0,298	27,5		7,9E+06	4,7E+05
8	MC1P2		07H30 A 13H00	18,5	7,22	436	208	7,2		410	505	17,8	8,2	0,312	28,2		7,4E+06	5,4E+05
PROMEDIO				20,89	7,24	551,32	281,39	7,12	268,88	362,83	691,86	25,38	6,50	0,22	16,97	16,54	1,10E+08	4,47E+07
Carga Contaminante (Kg/día)							19,45		18,59	25,08	47,82	1,75	0,45	0,02	1,17	1,14		

(Autor, 2015)

En base a los datos promedio obtenidos de sólidos suspendidos, se establece que la cantidad de sólidos volátiles es de 164,90 mg/l. Los valores obtenidos de diferentes análisis físico-químicos y comparando con los valores que presenta Osorio et al (2010), se establece que el agua a ser tratada presenta un grado de contaminación de media/fuerte, es así que se debe tener muy en cuenta los criterios de diseño para cumplir con las expectativas de la investigación y de igual manera con las exigencia de la normativa civil y ambiental vigentes para este tipo de proyecto. Todos los parámetros analizados a excepción de nitritos y nitratos se encuentran sobre los valores permitidos en el TULSMA.

4.2 Parámetros de calidad de agua residual que intervienen en el diseño del sistema de tratamiento

Los parámetros críticos de calidad del agua residual para fines de diseño son la temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo y nitrógeno. Los valores promedio de los parámetros de calidad se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Parámetros de calidad del agua residual

$^{\circ}T$	Temperatura	$^{\circ}C$	20,89
SS_E	Sólidos sedimentables	mg/l	7,12
SS_U	Sólidos suspendidos	mg/l	268,88
SV	Sólidos volátiles	mg/l	164,90
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	362,83
P	Fósforo total	mg/l	16,54
NH_3	Amoníaco	mg/l	25,38

(Autor, 2015)

En base al análisis de calidad de agua residual y recomendaciones técnicas para reutilizar el agua residual con fines de riego, es necesario disminuir la contaminación orgánica y la cantidad de sólidos presentes en el agua. Los valores promedio de los parámetros presentados en la tabla 20 son considerados para el dimensionamiento del sistema depurador, especialmente en el diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal, donde se aprovecha la disminución de la carga orgánica, retención de sólidos suspendidos y la adsorción de los nutrientes a través de la vegetación implementada.

4.3 Dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales

Los análisis físico-químico y microbiológico de las aguas residuales del sector de influencia al estadio UTN indican elevada contaminación orgánica. Debido a la naturaleza, procedencia y posterior uso del agua residual, el objetivo del diseño es disminuir la carga orgánica, cantidad de sólidos en suspensión y presencia de coliformes; parámetros que determinan la turbidez y olor característico del agua residual.

En la figura 23 se define la línea de tratamiento para su respectivo dimensionamiento.

Tomando en cuenta las consideraciones técnicas, económicas, operativas y de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales se determina una proyección útil de 25 años. Los parámetros y criterios que inciden directamente en el diseño, implementación, funcionamiento y mantenimiento del sistema de tratamiento elegido, son los siguientes:



Figura 23. Línea del sistema de tratamiento de aguas residuales, (Autor, 2015)

4.3.1 Cálculo de población a 25 años

De acuerdo a Pozo (2012), se determinó que existe un total de 85 viviendas directamente relacionadas con el aporte diario de agua residual para el sistema de tratamiento propuesto. De igual manera determinó que existe un promedio de 5 personas por vivienda, obteniendo así una población equivalente de 425 personas. El tiempo de operación útil del sistema de tratamiento se establece para 25 años, es así que se realiza el cálculo de crecimiento poblacional para mencionado sistema; tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional, según el INEC (2010), para el área urbana de Ibarra es del 2%. La proyección para la población futura se define a través de la siguiente igualación y con los datos proporcionados en la tabla 18:

$$P_f = P_o(1 + \alpha)^t$$

$$P_f = 425(1 + 0,02)^{25}$$

$$P_f = 697,26 \approx 697 \text{ personas}$$

Tabla 18. Datos de crecimiento poblacional

P_f	Población futura	personas	697
P_o	Población actual	personas	425
α	Tasa de crecimiento poblacional	%	2
t	Tiempo (Vida útil del sistema)	años	25

(Autor, 2015)

Durante la operación útil del sistema de tratamiento, se considera una población futura de 697 personas. Este resultado se enmarca en los valores actuales de la población que se encuentra directamente relacionada con el área de influencia del estadio UTN y tasa de crecimiento poblacional del área urbana de la ciudad de Ibarra, determinada en el estudio de factibilidad.

4.3.2 Cálculo de caudales

Para el diseño de las diferentes unidades de tratamiento se considera una descarga diaria constante, sujeta a variaciones en función del uso del agua en diferente horario y en diversos periodos del año, donde la cantidad de agua residual producida está constituida únicamente por aguas domésticas.

4.3.2.1 Caudal medio diario

De acuerdo a Pozo (2012), estimó el consumo de 123,81 l/pe/día, por tanto el caudal medio para 25 años se define mediante la siguiente igualdad, a través de los datos proporcionados en la tabla 19:

$$Q_{med} = \frac{C_r * P_f * D_o}{86400}$$

$$Q_{med} = \frac{0,8 * 697 * 123,81}{86400}$$

$$Q_{med} = 0,799 \approx 0,80 \text{ l/s}$$

Tabla 19. Datos de caudal medio

Q_{med}	Caudal medio	l/s	0,80
C_r	Coeficiente de retorno del agua	%	80
P_f	Población futura	personas	697
D_o	Dotación de agua	l/día/persona	123,81

(Autor, 2015)

Este es el parámetro más crítico en el diseño del sistema de tratamiento, es así que, para fines de dimensionamiento y operación se considera un caudal medio de 0,80 l/s, siendo un caudal que puede presentar complicaciones hidráulicas a la hora de operar el sistema depurador.

4.3.2.2 Caudal máximo instantáneo

La expresión de caudal máximo instantáneo está diseñada únicamente para una población (P) igual o mayor a mil habitantes, es así que:

Para el sistema de tratamiento propuesto únicamente se cuenta con 697 personas, por lo cual se toma la siguiente condición para el cálculo del caudal máximo instantáneo. Para $100 < P < 1000$ hab, se utiliza una interpolación lineal entre el caudal máximo dado por la Boston Society of Civil Engineers y el dado por la expresión de Harmon para una población igual a 1000 habitantes.

Realizada la interpolación lineal se obtiene que el coeficiente de Harmon (**M**) igual a 3,74; por tanto, el caudal máximo instantáneo se define mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 20:

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{med} * M$$

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{med} * \left(1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P_f}{1000}}} \right)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,8 * 3,7326$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 2,99 \approx 3,0 \text{ l/s}$$

Tabla 20. Datos caudal máximo instantáneo

$Q_{m\acute{a}x}$	Caudal máximo instantáneo	l/s	3
Q_{med}	Caudal medio	l/s	0,80
P_f	Población futura	personas	697
M	Coeficiente de Harmon para 697 personas	-	3,7326

(Autor, 2015)

Para fines de diseño se maneja un caudal medio de 0,80 l/s y un caudal máximo de entrada instantáneo de 3,0 l/s, consideraciones que se tienen muy en cuenta para los sistemas de rebose y/o vertederos para así mantener un caudal constante durante todo el proceso de tratamiento.

4.3.2.3 Caudal mínimo

Representa el menor volumen de entrada al sistema de tratamiento y se define mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{m\acute{i}n} = 0,5 * Q_{med}$$

$$Q_{m\acute{i}n} = 0,5 * 0,8$$

$$Q_{m\acute{i}n} = 0,40 \text{ l/s}$$

El caudal mínimo que ingresara al sistema depurador será de 0,40 l/s.

4.3.3 Diseño de la trampa de grasas

La trampa de grasa como función principal consiste en retener todas aquellas sustancias que poseen un peso específico menor que el agua, dando lugar a flotar.

En base a los criterios de diseño presentados en la metodología, para la trampa de grasa se estiman las siguientes dimensiones efectivas:

4.3.3.1 Volumen útil

Es el volumen total de la cámara de recepción del agua cruda conjuntamente con el separador de agua-aceites, de igual manera dentro de esta unidad se considera el sistema de rejillas de desbaste manual.

Las dimensiones de la cámara se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 21:

$$L = \frac{3}{2} B$$

$$V_U = L * B * H$$

$$V_U = 1,41 * 0,95 * 1,5$$

$$V_U = 2 \text{ m}^3$$

Tabla 21. Datos de la trampa de grasas

V_U	<i>Volumen útil</i>	m^3	2
L	Longitud	m	1,41
B	Ancho	m	0,95
H	Altura	m	1,5
θ	Angulo en la forma cónica	°	45

(Autor, 2015)

4.3.3.2 Tiempo de retención hidráulico

Los valores para el tiempo de retención hidráulico de la cámara se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 22:

$$TRH = \frac{V_U}{Q_{med}}$$

$$TRH = \frac{2}{2,88}$$

$$TRH = 0,69 \text{ horas}$$

Tabla 22. Datos de tiempo de retención

<i>TRH</i>	<i>Tiempo de retención hidráulico</i>	<i>Horas</i>	0,69
<i>V_U</i>	Volumen útil del tanque	m ³	2
<i>Q_{med}</i>	Caudal medio	m ³ /h	2,88

(Autor, 2015)

Considerando las recomendaciones de OPS/CEPIS (2003), se establece que la trampa de grasa debe diseñarse para un volumen eficiente de 2m³ en forma cónica, debido a que el caudal a tratar es inferior a 1 l/s.

De igual manera se considera como unidad regulatoria del caudal y posee un tiempo de retención de 41.4 minutos.

Las dimensiones efectivas de la trampa de grasas son: longitud de 1,41m, ancho de 0,95m y altura de 1,50m; tomando en cuenta el espacio de seguridad entre el nivel superior del líquido y la parte inferior de la tapa sanitaria es 0,50 m.

El vertedor de rebose de grasas y control de caudal se encuentra a 0,05 m por encima del nivel superior de agua. Las paredes inferiores con forma cónica se establecen con un ángulo de inclinación igual a 45° respecto a la horizontal.

El diseño de la trampa de grasa se presenta en el anexo 10.

4.3.4 Diseño para rejillas de desbaste manual

Es la primera operación unitaria obligada en el tratamiento de aguas residuales, reduce los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo el influente y evita la obstrucción de los conductos.

Los cálculos necesarios de acuerdo a Lozano-Rivas (2012) son: El área útil de la rejilla, la pérdida de carga, longitud de la rejilla y el número de barrotes.

4.3.4.1 Área útil de la rejilla

Los valores para calcular el área útil de la rejilla se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 23:

$$A_R = B_c * \frac{L}{L + b} * \left(1 - \frac{G}{100}\right)$$

$$A_R = 1,2 * \frac{0,04}{0,04 + 0,012} * \left(1 - \frac{30}{100}\right)$$

$$A_R = 0.65 \text{ m}^2$$

Tabla 23. Datos del área útil de la rejilla

A_R	Área útil en la zona de la rejilla	m^2	0,65
B_c	Ancho del canal	m	1,2
L	Espacio entre barrotes	m	0.04
b	Diámetro de barrotes	m	0.012
G	Grado de colmatación	%	30

(Autor, 2015)

4.3.4.2 Pérdida de carga en las rejillas

Los valores para calcular la pérdida de carga en la rejilla se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 24:

$$\Delta H = \beta * \left(\frac{b}{L}\right) * \frac{V_p^2}{2g} * \sin \theta$$

$$\Delta H = 1,79 * \left(\frac{0,012}{0,04}\right) * \frac{0,8^2}{2 * 9,8} * \sin 45$$

$$\Delta H = 0,012 \text{ m}$$

Tabla 24. Datos de la pérdida de carga en las rejillas

ΔH	Pérdida de carga (Diferencia de alturas antes y después de las rejillas)	m	0.012
β	Factor dependiente de las barras circulares	-	1,79
L	Espacio entre barrotes	m	0,04
b	Diámetro de barrotes	m	0,012
V_p	Velocidad de paso a caudal máximo en la rejilla	m/s	0,8
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²	9,8
θ	Angulo de inclinación adoptado	°	45

(Autor, 2015)

4.3.4.3 Longitud de la rejilla

Los valores para calcular la longitud de la rejilla se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 25:

$$L_R = \frac{H}{\sin \theta}$$

$$L_R = \frac{0,5}{\sin 45}$$

$$L_R = 0,71 \text{ m}$$

Tabla 25. Datos de longitud de la rejilla

L_R	Longitud de la rejilla	m	0,71
H	Altura de la rejilla	m	0,5
$\sin \theta$	Angulo de inclinación adoptado	°	45

(Autor, 2015)

4.3.4.4 Número de barrotes

Los valores para calcular el número de barrotes que componen la rejilla se definen mediante la siguiente igualdad, a través de los datos proporcionados en la tabla 26:

$$N = \frac{B_c - L}{b + L}$$
$$N = \frac{1,2 - 0,04}{0,012 + 0,04}$$

$$N = 22,30 \approx 22 \text{ barrotes}$$

Tabla 26. Datos de número de barrotes

<i>N</i>	<i>Número de barrotes</i>	<i>Barrotes</i>	22
<i>B_c</i>	Ancho del canal	m	1,2
<i>L</i>	Espacio entre barrotes	m	0,04
<i>b</i>	Diámetro de barrotes	m	0,012

(Autor, 2015)

Para la rejilla de desbaste manual se considera un área útil de 0,65 m², por la cual circulará el influente en su primera instancia; se contempla una pérdida de carga de 0,012 m, lo cual es muy inferior al límite máximo establecido por Lozano-Rivas (2012).

Se diseñará la rejilla con una longitud de 0,71 m y un ancho de 1,2 m, estará conformada por 22 barrotes de forma circular con un diámetro de 12 mm cada uno, con un espacio entre sí de 4 cm y con ángulo de inclinación de 45 grados respecto a la horizontal.

El sistema de rejillas se ubicará en la entrada del tanque separador de agua-aceite.

Además la rejilla permitirá una velocidad de paso de 0,8 m/s, velocidad adecuada que no promoverá la sedimentación en el canal y no generará arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes. El diseño de la rejilla se presenta en el anexo 10.

4.3.5 Diseño del sedimentador

El diseño de esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo el influente. La mayoría de los influentes tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión (partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm), siendo necesaria su remoción previa. Los sólidos suspendidos eliminados son en su mayoría materia orgánica, por lo cual se presenta una reducción importante en la concentración de DBO.

Los parámetros y criterios de diseño se establecen y deducen a continuación:

4.3.5.1 Velocidad de sedimentación (ley de Stokes)

Los valores para calcular en primera instancia la velocidad de sedimentación se definen mediante la siguiente igualdad, a través de los datos proporcionados en la tabla 27:

$$V_s = \frac{g}{18} \left(\frac{\rho_p - \rho_f}{\eta} \right) d^2$$

$$V_s = \frac{980}{18} \left(\frac{2,65 - 1}{0,01} \right) 0,02^2$$

$$V_s = 3,59 \text{ cm/s}$$

Tabla 27. Datos de la velocidad de sedimentación

V_s	Velocidad de sedimentación	cm/s	3,59
g	Aceleración de la gravedad	cm/s ²	980
ρ_p	Densidad relativa de la partícula	g/cm ³	2,65
ρ_f	Densidad del fluido	g/cm ³	1
η	Viscosidad del fluido	cm ² /s	0,01
d	Diámetro de partículas	cm	0,02

(Autor, 2015)

4.3.5.2 Número de Reynolds

Los valores para calcular el número de Reynolds se definen mediante la siguiente igualdad, a través de los datos proporcionados en la tabla 28.

$$R_e = \frac{V_s * d}{\eta}$$

$$R_e = \frac{3,59 * 0,02}{0,01}$$

$$R_e = 7,18$$

Tabla 28. Datos del número de Reynolds

R_e	Número de Reynolds	-	7,18
V_s	Velocidad de sedimentación	cm/s	3,59
η	Viscosidad del fluido	cm ² /s	0,01
d	Diámetro de partículas	cm	0,02

(Autor, 2015)

4.3.5.3 Coeficiente CD (ley de Allen)

Los valores para calcular el coeficiente de arrastre se definen mediante la siguiente igualdad, a través de los datos proporcionados en la tabla 29.

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0,34$$

$$C_D = \frac{24}{7,18} + \frac{3}{\sqrt{7,18}} + 0,34$$

$$C_D = 4,80$$

Tabla 29. Datos del coeficiente de arrastre

C_D	Coeficiente de arrastre (zona de transición)	-	4,80
R	Número de Reynolds	-	7,18

(Autor, 2015)

4.3.5.4 Velocidad real de sedimentación (ley de Newton)

Los valores para calcular la velocidad real de sedimentación se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 30.

$$V_{SR} = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D * \varphi} * (\rho_p - \rho_f) * d}$$

$$V_{SR} = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{980}{4,80 * 20} * (2,65 - 1) * 0,02}$$

$$V_{SR} = 0,67 \text{ cm/s}$$

Tabla 30. Datos de la velocidad real de sedimentación

V_{SR}	Velocidad real de sedimentación	cm/s	0,67
ρ_p	Densidad relativa de la partícula	g/cm ³	2,65
ρ_f	Densidad del fluido	g/cm ³	1
g	Aceleración de la gravedad	cm/s ²	980
d	Diámetro de partículas	cm	0,02
C_D	Coeficiente de arrastre (zona de transición)	-	4,80
φ	Coeficiente flocular	-	20

(Autor, 2015)

4.3.5.5 Área superficial del sedimentador

Los valores para calcular el área superficial del sedimentador se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 31.

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

$$A_s = \frac{69,12}{6}$$

$$A_s = 11,52 \text{ m}^2$$

Tabla 31. Datos del área superficial del sedimentador

A_s	Área superficial del sedimentador	m^2	11,52
Q	Caudal medio diario	$\text{m}^3/\text{día}$	69,12
C_s	Carga superficial	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	6

(Autor, 2015)

4.3.5.6 Dimensiones del sedimentador

Los valores para calcular las dimensiones del sedimentador se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 32.

$$L = 4B$$

$$A_s = L * B$$

$$11,52 = 4B * B$$

$$B = \sqrt{\frac{11,52}{4}}$$

$$B = 1,70 \text{ m}$$

Tabla 32. Datos de las dimensiones del sedimentador

B	Ancho ($3 < \frac{L}{B} < 6$)	m	1,70
A_s	Área superficial del sedimentador	m^2	11,52
L	Longitud ($L=4B$)	m	6,80
H	Altura ($5 < \frac{L}{H} < 20$)	m	1,50

(Autor, 2015)

4.3.5.7 Velocidad horizontal

Los valores para calcular la velocidad horizontal se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 33.

$$V_H = \frac{100 * Q_{med}}{B * H}$$

$$V_H = \frac{100 * 0,0008}{1,70 * 1,50}$$

$$V_H = 0,031 \text{ m/s}$$

Tabla 33. Datos de la velocidad horizontal

V_H	Velocidad horizontal	m/s	0,031
Q_{med}	Caudal medio	m^3/s	0,0008

B	Ancho del sedimentador	m	1,70
H	Altura del sedimentador	m	1,50

(Autor, 2015)

4.3.5.8 Velocidad de arrastre

Los valores para calcular la velocidad de arrastre se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 34.

$$V_d = \sqrt{\frac{8k * g * (\rho_s - \rho_f) * d}{f}}$$

$$V_d = \sqrt{\frac{8(0,05) * 980 * (2,65 - 1) * 0,02}{0,025}}$$

$$V_d = 23 \text{ cm/s}$$

Tabla 34. Datos de la velocidad de arrastre

V_d	Velocidad de arrastre	cm/s	23
		m/s	0,23
k	Factor forma (unigranulares no adheribles)	-	0,05
ρ_s	Densidad relativa de la partícula	g/cm ³	2,65
ρ_f	Densidad del fluido	g/cm ³	1
g	Aceleración de la gravedad	cm/s ²	980
d	Diámetro de partículas	cm	0,02
f	Factor de fricción de Darcy-Weisbach	-	0,025

(Autor, 2015)

4.3.5.9 Relación de velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura

Los valores para comprobar la relación de velocidad y dimensiones se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 35.

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

$$\frac{6,8}{1,50} = \frac{3,10}{0,67}$$

$$4,53 \approx 4,62$$

Tabla 35. Datos de la relación de velocidades de flujo

L	Longitud del sedimentador	m	6,8
H	Altura del sedimentador	m	1,5
V_H	Velocidad horizontal	cm/s	3,10
V_S	Velocidad de sedimentación	cm/s	0,67

(Autor, 2015)

4.3.5.10 Tiempo de retención hidráulico

Los valores para calcular el tiempo de retención hidráulico se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 36.

$$TRH = \frac{V_U}{Q}$$

$$TRH = \frac{17,28}{69,12}$$

$$TRH = 0,25 \text{ días}$$

Tabla 36. Datos del tiempo de retención del sedimentador

TRH	Tiempo de retención hidráulico	días	0,25
V_U	Volumen útil del tanque	m ³	17,28
Q	Caudal medio diario	m ³ /día	69,12

(Autor, 2015)

4.3.5.11 Área total de orificios en la pantalla difusora

Los valores para calcular el área total de orificios en la pantalla difusora se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 37.

$$A_o = \frac{Q_{med}}{V_o}$$

$$A_o = \frac{0,0008}{0,10}$$

$$A_o = 0,008 \text{ m}^2$$

Tabla 37. Datos del área total de orificios en la pantalla difusora

A_o	Área total de orificios	m²	0,008
Q_{med}	Caudal medio	m ³ /s	0,0008
V_o	Velocidad en los orificios	m/s	0,10

(Autor, 2015)

4.3.5.12 Número de orificios en la pantalla difusora

Los valores para calcular el número de orificios de la pantalla difusora se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 38.

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

$$n = \frac{0,008}{0,00049}$$

$$n = 16,33 \approx 16 \text{ orificios}$$

Tabla 38. Datos del número de orificios de la pantalla difusora

<i>n</i>	<i>Número de orificios</i>	<i>Orificios</i>	<i>16</i>
<i>A_o</i>	Área total de orificios	m ²	0,008
<i>a_o</i>	Área de cada orificio	m ²	0,00049

(Autor, 2015)

4.3.5.13 Altura efectiva de la pantalla difusora

Los valores para calcular la altura de la pantalla difusora se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 39.

$$h = H - \frac{2}{5} * H$$

$$h = 1,50 - \frac{2}{5} * 1,50$$

$$h = 0,90 \text{ m}$$

Tabla 39. Datos de altura de la pantalla difusora

<i>h</i>	<i>Altura de la pantalla difusora</i>	<i>m</i>	<i>0,90</i>
<i>H</i>	Altura del sedimentador	m	1,50

(Autor, 2015)

4.3.5.14 Ubicación de los orificios en filas

Los valores para calcular la distribución de los orificios de manera horizontal se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 40.

$$a_1 = \frac{h}{nf}$$

$$a_1 = \frac{0,90}{4}$$

$$a_1 = 0,225 \text{ m}$$

Tabla 40. Datos de la ubicación en filas de los orificios

<i>a₁</i>	<i>Distancia entre filas</i>	<i>m</i>	<i>0,225</i>
<i>h</i>	Altura efectiva de la pantalla difusora	m	0,90
<i>nf</i>	Número de filas	filas	4

(Autor, 2015)

4.3.5.15 Ubicación de los orificios en columnas

Los valores para calcular la distribución de los orificios de forma vertical se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 41.

$$a_2 = \frac{B - a_1(nc - 1)}{2}$$

$$a_2 = \frac{1,70 - 0,225 * (4 - 1)}{2}$$

$$a_2 = 0,513 \text{ m}$$

Tabla 41. Datos de la ubicación en columnas de los orificios

a_2	<i>Distancia entre columnas</i>	<i>m</i>	<i>0,513</i>
B	Ancho del sedimentador	m	1,70
a_1	Distancia entre filas	m	0,225
nc	Número de columnas	columnas	4

(Autor, 2015)

4.3.5.16 Eficiencia del sedimentador en la remoción de DBO

Los valores para calcular la eficiencia del sedimentador en la remoción del DBO se definen mediante la siguiente igualdad, a través de los datos proporcionados en la tabla 42.

$$R_{DBO} = \frac{TRH}{a + b * TRH}$$

$$R_{DBO} = \frac{6}{0,018 + 0,020 * 6}$$

$$R_{DBO} = 43,48 \%$$

Tabla 42. Datos de la eficiencia del sedimentador en la remoción de DBO

R_{DBO}	<i>Remoción de DBO</i>	<i>%</i>	<i>43,48</i>
TRH	Tiempo de retención hidráulico	horas	6
a	Constante empírica	-	0,018
b	Constante empírica	-	0,020

(Autor, 2015)

4.3.5.17 Eficiencia del sedimentador en la remoción de SST

Los valores para calcular la eficiencia del sedimentador en la remoción del SST se definen mediante la siguiente igualdad, a través de los datos proporcionados en la tabla 43.

$$R_{SST} = \frac{TRH}{a + b * TRH}$$

$$R_{SST} = \frac{6}{0,0075 + 0,014 * 6}$$

$$R_{SST} = 65,57 \%$$

Tabla 43. Datos de la eficiencia del sedimentador en la remoción de SST

<i>R_{SST}</i>	<i>Remoción de SST</i>	%	65,57
<i>TRH</i>	Tiempo de retención hidráulico	horas	6
<i>a</i>	Constante empírica	-	0,0075
<i>b</i>	Constante empírica	-	0,014

(Autor, 2015)

Para el diseño del sedimentador se establece un caudal medio de 69,12 m³/día, soportando así una carga superficial de 6 m³/m²/día, carga que se encuentra en los límites permisibles según Spellman (2004).

El sedimentador primario se diseña para remover partículas suspendidas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm.

Se considera una velocidad real de sedimentación igual a 0,67 cm/s, la velocidad horizontal de 3,1 cm/s y la velocidad de arrastre es 23cm/s.

El tanque sedimentador tendrá un volumen efectivo de 17,28 m³, considerando que las dimensiones efectivas, tales como la altura igual a 1,5 m, ancho de 1,7 m y una longitud de 6,8 m se encuentran acordes a las relaciones matemáticas y a criterios de diseño presentados por OPS/CEPIS (2005).

Para facilitar el deslizamiento y posterior retiro del sedimento, el fondo de la unidad cuenta con una pendiente de 6%.

El tiempo de retención hidráulico es de 6 horas, siendo este valor el máximo permitido según los criterios de diseño presentados por OPS/CEPIS (2005).

La pantalla difusora contiene 16 orificios de 2,5 cm de diámetro cada uno, mismos que están diseñados y distribuidos de manera que generen un flujo pistón en todo el tanque a una velocidad de 0,10 m/s.

La pantalla tendrá una altura efectiva de 90 cm, es decir que, en relación a la altura del sedimentador la primera fila de orificios iniciará 30 cm por debajo del límite superior y la última fila finalizará 30cm por encima del nivel inferior, la distancia entre filas será de 22,5 cm y entre columnas de 51,3 cm, además los orificios deben ser aboquillados en un ángulo de 15° en el sentido del flujo, característica detallada en la figura 24.

La ubicación de la pantalla difusora será de 0,7 m de distancia de la pared de entrada, distancia que se debe sumar a los 6,8 m de longitud efectiva del sedimentador. Desde el nivel superior del agua se considera una distancia igual a 50 cm como margen de seguridad.

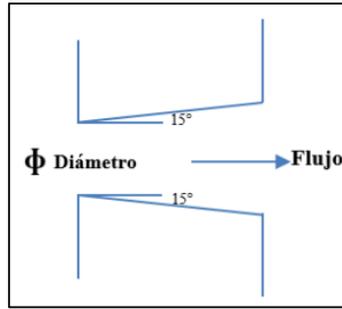


Figura 24. Detalle de orificios aboquillados, (Autor, 2015)

El sedimentador primario tendrá una eficiencia de remoción de DBO igual a 43,48% y 65,57% de eficiencia en remoción de SST, parámetros que cumplen con las especificaciones establecidas por Baruth (2005), además estos valores serán considerados para el diseño de las siguientes unidades de tratamiento.

El diseño del sedimentador primario se presenta en el anexo 11.

4.3.6 Diseño del biodigestor

Se diseña el biodigestor anaeróbico como alternativa innovadora y sustentable, para tratamiento de lodo residual generado en el sedimentador primario y de igual manera para la obtención de combustible (gas metano) para la generación de calor, así como para la obtención de ciertos residuos con un alto grado en concentración de nutrientes, el cuál puede ser utilizado como fertilizante.

Los parámetros y criterios de diseño se establecen y deducen a continuación:

4.3.6.1 Volumen de metano producido

Los valores para calcular el volumen de metano producido en el biodigestor se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 44.

$$V_{CH_4} = BO * (VS * Ef) * \left(1 - \frac{K}{(U * TR) - 1 + K}\right)$$

$$V_{CH_4} = 0,406 * (11,39 * 0,50) * \left(1 - \frac{0,601}{(0,326 * 30) - 1 + 0,601}\right)$$

$$V_{CH_4} = 2,16 m^3$$

Tabla 44. Datos del volumen de metano producido

V_{CH_4}	Volumen de metano producido	m^3	2,16
BO	Potencial de producción de metano	$m^3CH_4/KgVS$	0,406
VS	Sólidos volátiles	Kg/día	11,39
Ef	Eficiencia en la descomposición de VS	%	50

K	Es la descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo y es adimensional. $K = 0.6 + 0.0006 * e^{(0,1185*(VS*Ef))}$	-	0,601
U	Es el crecimiento de producción de metano con el cambio de temperatura por día. $U = 0.013 * TC - 0.129$	-	0,326
TC	Temperatura optima de producción	°C	35
TR	Tiempo de retención	días	30

(Autor, 2015)

4.3.6.2 Cantidad de Biogás producido

Los valores para calcular la cantidad de biogás producido se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 45.

$$V_{Biogás} = 65\% CH_4 + 35\% CO_2$$

$$V_{Biogás} = 2,16 + 1,16$$

$$V_{Biogás} = 3,32 m^3/día$$

Tabla 45. Datos de la cantidad de Biogás producido

V_{Biogás}	Volumen de biogás producido	m³/día	3,32
CH₄	Volumen de metano	m³/día	2,16
CO₂	Volumen de dióxido de carbono $CO_2 = 2.16 * 0.35 / 0.65$	m³/día	1,16

(Autor, 2015)

4.3.6.3 Capacidad calorífica del Biogás y energía producida

Los valores para calcular la energía producida mediante de la capacidad calorífica del biogás se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 46.

$$E_{Biogás} = V_{Biogás} * C_C$$

$$E_{Biogás} = 3,32 * 23,38$$

$$E_{Biogás} = 77,62 MJ/día$$

Tabla 46. Datos de la capacidad calorífica del Biogás y energía producida

E_{Biogás}	Energía producida por el biogás	MJ/día	77,62
V_{Biogás}	Volumen de biogás producido	m³/día	3,32
C_C	Capacidad calorífica del biogás	MJ/m³	23,38

(Autor, 2015)

4.3.6.4 Volumen total del digestor

Los valores para calcular el volumen total del biodigestor se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 47.

$$V_T = \frac{V_G}{0,25}$$

$$V_T = \frac{3,32}{0,25}$$

$$V_T = 13,28 \text{ m}^3$$

Tabla 47. Datos del volumen total del digestor

V_T	<i>Volumen total del digestor</i>	m^3	13,28
V_G	Volumen del biogás producido	m^3	3,32

(Autor, 2015)

El sustrato a utilizar para el funcionamiento del biodigestor es la biomasa residual, generada por la sedimentación obtenida en el tratamiento primario.

La cantidad de biomasa residual generada y con la cual se alimentará al biodigestor es de 0.49 m³/día, tomando en cuenta que en esta cantidad existe un gran porcentaje de agua.

El proceso de alimentación de biomasa residual al biodigestor se realizará de manera mecánica y siempre estará bajo la supervisión de una persona capacitada en manejo y operación de biodigestores y estaciones depuradoras de agua residual.

El diseño del biodigestor anaeróbico se calculó a partir de la cantidad de sólidos volátiles presentes en el agua residual, que representan 11,39 Kg/día y del potencial de producción de metano a partir de lodo residual primario, generando así un volumen de biogás de 3,32 m³/día, considerando que generalmente el 35% del volumen de biogás es CO₂. El tiempo de retención de la biomasa es de 30 días a una temperatura óptima de 35°C.

Acorde al valor de biogás producido se considera un aporte energético de 77,62 MJ/día, energía que será utilizada en forma de para calentar el agua de las duchas de baño del estadio UTN.

El biodigestor cuenta con un volumen total y efectivo de 13,28m³, distribuidos de manera que, 3,32 m³ son para el almacenamiento de biogás y la diferencia es para colocación de la materia a degradar. Todos los parámetros y criterios de diseño del biodigestor se encuentran acorde con lo propuesto por Vitorio, Von Sperling, & Fernandes (2007) y Sánchez (2003).

El diseño del biodigestor anaeróbico se presenta en el anexo 12.

4.3.7 Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial

En el diseño del humedal artificial se contempla los siguientes cinco componentes principales: cubeta, substrato o lecho filtrante, vegetación, membrana impermeabilizante y estructuras de entrada y salida del agua. Aprovechando las diferentes características de los diferentes tipos de humedales, se pueden combinar los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y los de flujo subsuperficial vertical para formar los sistemas híbridos. La combinación a ser usada es: en paralelo dos humedales de flujo vertical y un humedal de flujo horizontal en serie, de la manera como se indica en la figura 25.

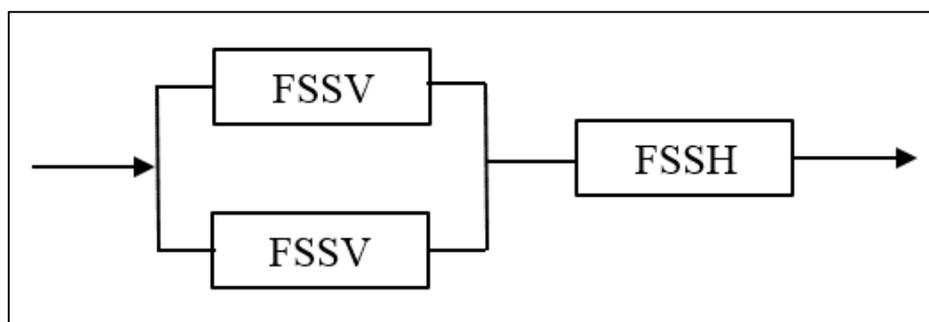


Figura 25. Sistema de humedales híbrido, (Autor, 2015)

Los parámetros y criterios de diseño se establecen y deducen a continuación:

4.3.7.1 Profundidad efectiva la cubeta

Generalmente, para los sistemas de flujo subsuperficial se consideran profundidades efectivas de 50 a 100 cm, siendo recomendable y en base a la vegetación a implementarse, usar un substrato con una profundidad efectiva de 80 cm, puesto que puede proporcionar una nitrificación adecuada, además de favorecer la remoción de contaminantes orgánicos.

4.3.7.2 Selección del substrato o lecho filtrante

El lecho filtrante cumple con las funciones de permitir el enraizamiento de la vegetación, proporcionan área superficial para el crecimiento de microorganismos depuradores, filtran y atrapan partículas además que regulan el caudal de entrada y salida. Las características del substrato seleccionado se detallan en la tabla 48.

Tabla 48. Datos de la selección del substrato o lecho filtrante

Material	Tamaño efectivo d10 (mm)	Conductividad hidráulica, Ks (m ³ /m ² /día)	Porosidad, n (%)
Arena con grava	8	500	32
Arena lavada	2	500	32
Grava	30-40	10000	36

(Autor, 2015)

4.3.7.3 Vegetación a implementarse en el humedal

La vegetación y sus restos son necesarios para el rendimiento exitoso de los humedales artificiales, contribuyendo además a darles una apariencia estética. Para cumplir con los criterios de diseño se optaron por utilizar las siguientes plantas detalladas en la tabla 49.

Tabla 49. Datos de la vegetación a implementarse en el humedal

Nombre	Imagen	Penetración de raíces en grava	Distancia de siembra
Thypa sp (Junco)		30cm	60cm
Scirpus sp (Totora)		60cm	30cm
Phragmytes sp (Carrizo)		40cm	60cm

(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

4.3.7.4 Área superficial del humedal

Los valores para calcular el área superficial del humedal se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 50.

$$A_s = \frac{Q_d * (\ln C_i - \ln C_e)}{K_T * h * n}$$

$$A_s = \frac{69,12 * (\ln 157,76 - \ln 50)}{1,16 * 0,8 * 0,32}$$

$$A_s = 267,48 \text{ m}^2$$

Tabla 50. Datos del área superficial del humedal

A_s	Área superficial del humedal	m^2	267,45
Q_d	Caudal medio diario	$m^3/día$	69,12
C_i	Concentración de DBO ₅ en el afluente	mg/l	157,76
C_e	Concentración de DBO ₅ en el efluente	mg/l	50
K_T	Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura. $K_T = K_{20} * 1,06^{(T-20)}$ $K_{20} = 1,104$	$día^{-1}$	1,16
T	Temperatura del agua	$°C$	20,89
h	Profundidad del lecho	m	0,80
n	Porosidad del sustrato (Arena gravosa)	%	32

(Autor, 2015)

4.3.7.5 Tiempo de retención hidráulico

La determinación de tiempo de retención teórico que tendrá el humedal puede hacerse mediante la siguiente expresión, la cual, al igual que la expresión del área superficial, se deriva del modelo de flujo pistón. Los valores para calcular el tiempo de retención del humedal son proporcionados en la tabla 51.

$$TRH = \frac{\ln C_i - \ln C_e}{K_T}$$

$$TRH = \frac{\ln 157,76 - \ln 50}{1,16}$$

$$TRH = 0,99 \text{ días}$$

Tabla 51. Datos del tiempo de retención hidráulico del humedal

TRH	Tiempo de retención hidráulico	días	0,99
C_i	Concentración de DBO ₅ en el afluente	mg/l	157,76
C_e	Concentración de DBO ₅ en el efluente	mg/l	50
K_T	Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura. $K_T = 1,104 * 1,06^{(T-20)}$	$día^{-1}$	1,16
T	Temperatura del agua	$°C$	20,89

(Autor, 2015)

4.3.7.6 Área de la sección transversal

Los valores para calcular el área de la sección trasversal del humedal se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 52.

$$A_v = \frac{Q}{K_S * S}$$

$$A_v = \frac{69,12}{500 * 0,01}$$

$$A_v = 13,82 \text{ m}^2$$

Tabla 52. Datos del área de la sección transversal

<i>A_v</i>	<i>Área vertical del humedal</i>	<i>m²</i>	<i>13,82</i>
<i>Q</i>	Caudal medio diario	m ³ /día	69,12
<i>K_s</i>	Conductividad hidráulica del sustrato	m ³ /m ² /día	500
<i>S</i>	Pendiente del fondo del humedal	%	1

(Autor, 2015)

4.3.7.7 Ancho del humedal

Los valores para calcular el ancho del humedal se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 53.

$$B = \frac{A_v}{h}$$

$$B = \frac{13,82}{0,80}$$

$$B = 17,28 \text{ m}$$

Tabla 53. Datos de ancho del humedal

<i>B</i>	<i>Ancho del humedal</i>	<i>m</i>	<i>17,28</i>
<i>A_v</i>	Área vertical del humedal	m ²	13,82
<i>h</i>	Altura del humedal	m	0,80

(Autor, 2015)

4.3.7.8 Longitud del humedal

Los valores para calcular la longitud del humedal se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla 54.

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

$$L = \frac{267,45}{17,28}$$

$$L = 15,48 \text{ m}$$

Tabla 54. Datos de longitud del humedal

<i>L</i>	<i>Longitud del humedal</i>	<i>m</i>	<i>15,48</i>
<i>A_s</i>	Área superficial del humedal	m ²	267,45
<i>B</i>	Ancho del humedal	m	17,28

(Autor, 2015)

El diseño del humedal de flujo subsuperficial se basa en el tipo de vegetación y en la profundidad efectiva de 0,80 m, criterios recomendados por (EPA, 1988; Vymazal & Kröpfelová, 2007; Von Muench, 2011) para favorecer la adecuada disminución del DBO, SST y los nutrientes que contiene el agua residual a ser tratada. Se contempla un sustrato conformado por gravas y arena con características específicas detalladas en el proceso de diseño. El área superficial del humedal contempla un valor igual a 267,48 m² y por consiguiente un volumen efectivo de 213,96m³. La longitud del humedal será de 15,48 m y el ancho de 17,28 m, con un tiempo de retención hidráulico de 24 horas.

Considerando el criterio de diseño establecido por Crites, Middlebrooks, & Reed (2006), el humedal será dividido en 3 unidades las cuales tendrán una relación largo-ancho de: 3:1, se detalla la característica en la figura 26.

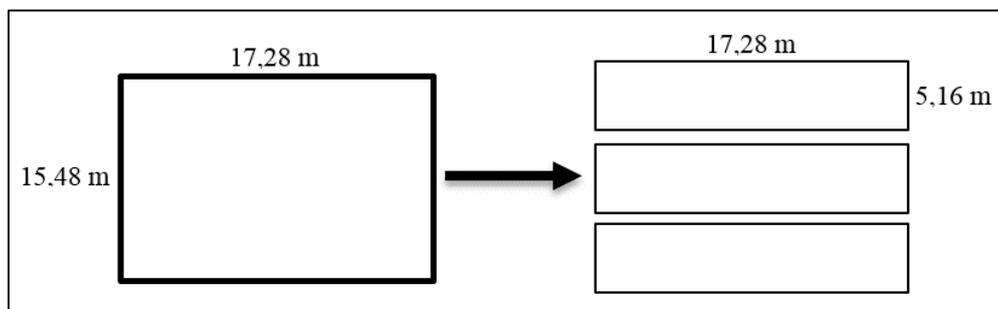


Figura 26. Relación largo-ancho del humedal, (Autor, 2015)

Los humedales de flujo subsuperficial que proporcionen tratamiento secundario deben impermeabilizarse con el fin de evitar el contacto directo entre las aguas residuales y las aguas subterráneas; es así que, el humedal se impermeabilizará a través de una Geomembrana de polietileno de 0,75mm. El sustrato utilizado para el diseño del humedal de flujo vertical se distribuye en la cubeta como indica la figura 27, manteniendo las distancias de colocación. La tubería de drenaje debe ser perforada con circunferencias de diámetro de 4 cm y espaciados entre sí a 2 m. La tubería de distribución del agua será de 1,5 pulgadas, con orificios de 6mm de diámetro separados entre sí a 60 cm.

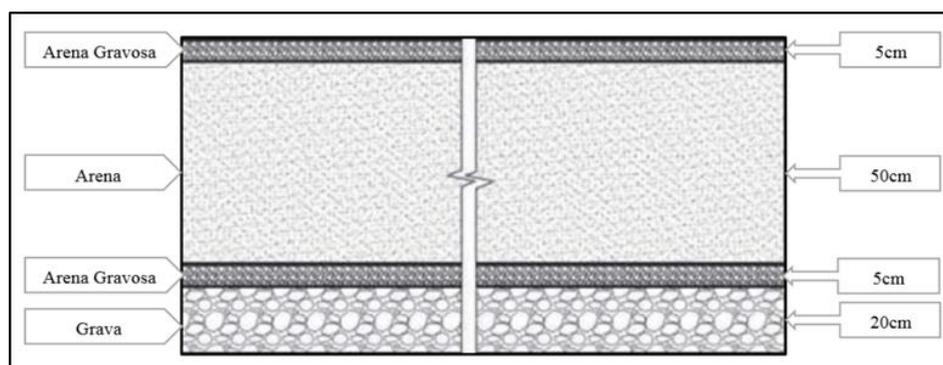


Figura 27. Selección y distribución del sustrato en HFSSV, (Autor, 2015)

El sustrato utilizado para el diseño del humedal de flujo horizontal se distribuye en la cubeta como indica la figura 28, manteniendo las distancias de colocación. La tubería de drenaje debe ser perforada con circunferencias de diámetro de 4 cm y espaciados entre sí a 2 m. La tubería de distribución del agua será de 1,5 pulgadas, con orificios de 3cm de diámetro separados entre sí a 60 cm.

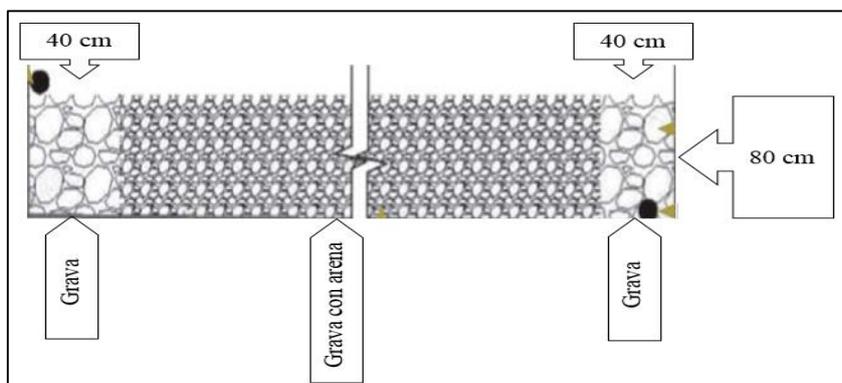


Figura 28. Selección y distribución del sustrato en HFSSH, (Autor, 2015)

Los humedales FH pueden eliminar de forma efectiva los contaminantes orgánicos (SST, DBO5 y DQO) de las aguas residuales. Debido a la poca transferencia de oxígeno en el interior del humedal, la remoción de nutrientes (especialmente el nitrógeno) es limitada, sin embargo, los humedales FV eliminan los nitratos existentes en las aguas residuales.

El diseño de humedales de flujo subsuperficial debe permitir una inundación controlada a 15 cm para promover un crecimiento deseable de plantas y controlar la maleza.

El diseño del humedal artificial se presenta en el anexo 13.

4.4 Presupuesto de implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales

El presupuesto referencial para implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio UTN es de: **79065,07 USD** (setenta y nueve mil sesenta y cinco dólares con siete centavos), precio que incluye IVA y está sujeto al plan anual de contratación respectivo.

El detalle del presupuesto referencial se presenta en el anexo 14.

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

- ❖ El estado de contaminación del agua residual a ser tratada presenta un grado de contaminación media/fuerte, donde todos los parámetros analizados a excepción de nitritos y nitratos se encuentran sobre los valores permitidos en el TULSMA.
- ❖ Los parámetros de calidad de agua residual con mayor incidencia en el diseño del sistema de tratamiento concurren en: temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, demanda bioquímica de oxígeno y nutrientes (fósforo y nitrógeno).
- ❖ Con fines de reutilizar el agua residual en sistemas de riego, se adoptó utilizar los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal, haciendo de estos un sistema híbrido y que debido a sus respectivas ventajas en la eliminación de los principales contaminantes del agua, hace de estos un sistema eficiente y viable al medio donde se instalarán.
- ❖ El sistema básico que conforma el tratamiento de las aguas residuales está constituido por: alcantarillado de recolección de aguas residuales, tanque regulador de caudal que incluye la rejilla de desbaste manual así como una trampa de grasas, sedimentador primario, biodigestor anaeróbico de lodos, lámpara de desinfección con luz UV y humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal.
- ❖ El sistema de tratamiento seleccionado se diseñó bajo estrictos criterios de diseño y de utilidad en la investigación formativa, siendo así que, cumple con todos los requerimientos ambientales y de obra civil; posibilitando así generar una calidad de agua ajustada con la normativa ambiental vigente.

- ❖ El proyecto cuenta con el aval de las principales autoridades de la Universidad Técnica del Norte, de manera que ha sido presentado y aprobado para su inmediata implementación, para lo cual se ha destinado la partida presupuestaria **No 91690000.0000.379288**.

5.2 Recomendaciones

- ❖ Tratar y recuperar las aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial para uso de regadío o simplemente para ser descargados en un cuerpo de agua.
- ❖ Fomentar la investigación en humedales artificiales a fin de promover nuevos modelos matemáticos acordes a los recursos naturales, biotecnología y energías renovables, presentes en varias regiones del país y que pueden ser replicadas a condiciones locales, analizando así sus comportamientos con otros factores involucrados, que conjuntamente con la temperatura pueden llegar a variar las eficiencias.
- ❖ Difundir la tecnología de humedales artificiales sobre todo en zonas rurales, donde debido a no tener acceso al alcantarillado las aguas residuales son vertidas directamente a fuentes de agua dulce o en su defecto en pozos cerrados que, debido a la infiltración contaminan el suelo y posteriormente las redes hídricas.
- ❖ Llevar a cabo experiencias en el laboratorio con otros tipos de plantas y microcosmos, utilizando diferentes concentraciones de contaminantes a fin de evaluar y cuantificar su capacidad depuradora y determinar la existencia de plantas óptimas.

5.3 Bibliografía

- Aguirre, S., Barhm, V., & Bleuze, S. (2013). *Agua, estado y sociedad: aportes para políticas públicas*. Quito: Graphus.
- Allende, A. (1994). *Manual de tratamiento de aguas residuales*. Cuba: IPSJAE.
- Arellano, J., & Guzmán, J. (2011). *Ingeniería ambiental*. México: Alfaomega.
- Baruth, E. (2005). *Water treatment plant design*. United States of America: McGraw-Hill.
- Cárdenas, J. (2005). *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales*. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cheremisinoff, N. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. United States of America: Butterworth Heinemann.
- Corbitt, R. (2003). *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*. España: McGraw-Hill.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Crites, R., Middlebrooks, J., & Reed, S. (2006). *Natural wastewater treatment systems*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Da Ros, G. (1995). *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica*. Quito: Abya Yala.
- Davis, M. (2010). *Water and wastewater engineering: Design principal and practice*. United States of America: McGraw-Hill.
- Davis, M., & Masten, S. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. México: McGraw-Hill.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Obtenido de http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- Drinan, J. (2001). *Water and wastewater treatment: A guide for the nonengineering professional*. United States of America: CRC Press LLC.

- EPA. (1988). *Constructed wetlands and aquatic plant Systems for municipal wastewater treatment*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales "Desinfección con luz ultravioleta"*. Washington.
- Falcon, C. (1990). *Manual de tratamiento de aguas negras*. New York: Limusa.
- Fernández, J. (2004). *Manual de fitodepuración*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Ferrer, J., & Seco, A. (2008). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. México: Alfaomega.
- Gamrasni, M. (1985). *Aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas*. México: Limusa.
- García, E. (2009). *Manual practico de saneamiento en poblaciones rurales*. Lima: Fondo Peru-Alemania.
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos "Guía práctica de diseño, construcción y exploración de sistemas de humedales de flujo subsuperficial"*. España: Universidad de Catalunya.
- Gil, M. (2005). *Procesos de descontaminación de aguas: cálculos avanzados informatizados*. Madrid: Thomson.
- González, O. (2011). Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, Vol. XXXII, 61-70.
- Headley, T., & Tanner, C. (2006). *Application of floating wetlands for enhanced*. Auckland: NIWA.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Prentice Hall.
- Hernández Muñoz, A., Hernández Lehmann, A., & Galán, P. (2004). *Manual de depuración uralita*. España: Thomson.
- Hernández, J., Pérez, M., Domínguez, E., & Cachaldora, I. (2012). Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales "Diseño, construcción y evaluación". *Revista Cubana de Química*, 147-154.
- INEC. (2010). *Población y tasa de crecimiento intercensal, por sexo según parroquias*. Ecuador.

- ITC, Instituto Tecnológico de Canarias. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Gran Canarias: Daute Diseño, S.L.
- Izembart, H., & Le Boudec, B. (2008). *El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Kuklinski, C. (2011). *Medio ambiente sanidad y gestión*. España: Omega.
- Lozano-Rivas, W. (2012). *Material de clase para las asignaturas de tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Disponibles en <http://wlozano.blogspot.com>.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. España: McGraw-Hill.
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México: Alfaomega.
- Nemerow, N., Agardy, F., Sullivan, P., & Salvato, J. (2009). *Environmental engineering: Water, wastewater, soil and groundwater treatment and remediation*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- ONU-HABITAT. (2008). *Manual de Humedales Artificiales*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2>
- OPS/CEPIS . (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. Lima.
- OPS/CEPIS. (2003). *Especificaciones Técnicas para el diseño de trampa de grasa*. Lima: Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/>.
- OPS/CEPIS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima.
- OPS/CEPIS. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Lima.
- Osorio, F., Torres, J., & Sánchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. España: Díaz de Santos.
- Pozo, V. (2012). *Estudio de factibilidad de dos sitios potenciales para la instalación de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales en el estadio de la Universidad Técnica del Norte, cantón Ibarra provincia Imbabura*. (Tesis de grado en Ing. RNR). Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

- Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté.
- Ronzano, E., & Dapena, J. (2002). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Madrid: Díaz de Santos.
- Russell, D. (2006). *Practical wastewater treatment*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Sánchez, S. (2003). *Energías Renovables*. Quito: WWF-Fundación Natura.
- Secretariado Alianza por el Agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Zaragoza: ARPIrelieve.
- Seoáñez, M. (1995). *Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Seoáñez, M. (2005). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Bogotá: Universidad de Medellín.
- Spellman, F. (2003). *Handbook of water & wastewater treatment plant operations*. Florida: CRC Press LLC.
- Spellman, F. (2004). *Mathematics manual for water and wastewater treatment plant operators*. United States of America: CRC Press LLC.
- Stefanakis, A., Akrotos, C., & Tsihrintzis, V. (2014). *Vertical flow constructed wetlands "Eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment"*. China: ELSEVIER.
- Szilveszter, S. (2014). *Curso: Tratamiento biológico de aguas residuales*. Ibarra.
- Vitorio, A., Von Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). *Biological Wastewater Treatment Series "Sludge Treatment"*. London: IWA.
- Von Muench, E. (2011). *Technology Review of Constructed Wetlands "Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment"*. Eschborn: GIZ.
- Vymazal, J. (2010). *Water and nutrient management in natural and constructed wetlands*. London: Springer.
- Vymazal, J., & Kröpfelová, L. (2007). *Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow*. Czech Republic: Springer.

5.4 Anexos

Hace referencia a información complementaria al documento descrito anteriormente.

Se exteriorizan los mapas de ubicación, base e implantación; resultados de análisis de agua residual, mecánica de suelos, planos de arquitectónicos y estructurales de las unidades de tratamiento, presupuesto referencial para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio UTN, norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, libro VI – anexo 1 y artículo científico.