



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“ Estudio comparativo de la eficiencia de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas con fines de reutilización en la parroquia Tumbaco del cantón Quito.”

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos para optar por el título de

Ingeniero Ambiental

Profesor Guía

Dr. Daniel Ruilova

Autores

Alejandro Duque Molina

María Teresa Vergara

2010

DECLARACION DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajo de Titulación”.

.....

Daniel Ruilova L.

C.I. 070178558-6

DECLARACION DE AUTORIA DE LOS ESTUDIANTES

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente”.

.....

Alejandro Duque M.

C.I. 171317980-0

.....

Maria Teresa Vergara

C.I. 171486611-6

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la oportunidad de existir y de aprender en este extenso camino, por haber puesto en nuestras vidas a maravillosas personas sin las cuales ninguno de estos logros serían posibles, nuestros padres.

A Daniel Ruilova, mentor de nuestros años universitarios, que con todo el cariño y paciencia supo inculcarnos conocimientos más allá de la cátedra.

A Miguel Gualoto, por ser un maestro y amigo que nos enseñó que el trabajo va de la mano al amor por la ciencia.

Gracias, porque la amistad no sucumbe ante las dificultades y se hace mas fuerte al paso del tiempo.

DEDICATORIA

Porque el mejor regalo para un padre es ver crecer a sus hijos, este trabajo está dedicado a las personas que día a día hacen un esfuerzo por el bienestar de su familia.

Gracias a ustedes, Carmita, Germán, Jacqueline, Eduardo por ser nuestros compañeros y amigos en este viaje llamado vida.

RESUMEN

La presente propuesta hace referencia al diseño e implementación de dos sistemas de tratamiento de aguas servidas domiciliarias mediante procesos de autodepuración aerobios (aguas grises) y anaeróbios (aguas negras) provenientes de un domicilio de la Urbanización La Viña. Sin embargo la presente experiencia nos permitió conjugar los procesos citados anteriormente, en un Sistema Combinado de Tratamiento de Aguas Domesticas (SCTAD) con el objetivo de obtener aguas tratadas para su reutilización en riego de áreas de jardín con fines ornamentales.

Se determinó que el nuevo diseño adoptado superó las expectativas de tratamiento en términos de eficiencia de reducción de los niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno total (N), Fosfatos (PO_4)³ y Sólidos Suspendidos (SS) ayudando a mejorar la calidad de aguas tanto para el riego de áreas de jardín con fines ornamentales como para su disposición final en el cuerpo receptor el Rio San Pedro, comparados con los parámetros establecidos en la normativa aplicable.

Este sistema constituye una solución creativa que requiere de bajos rubros de inversión, áreas de emplazamiento reducidas sin comprometer la eficiencia del sistema, técnicas de manejo y mantenimiento sencillas, que adicionalmente genera un impacto positivo en la mejora escénica de jardines ornamentales, que puede ser replicada no solamente con fines de mejora de las calidades de aguas del efluente, sino también en términos de reducción del consumo de agua dedicado a estos fines.

ABSTRACT

This proposal addresses the design and implementation of two black water home treatment systems using aerobic and anaerobic auto-cleansing systems of black and gray waters that come from a house located in the urbanization “La Viña”. Nevertheless, this experience allowed us to conjugate the aforementioned processes, into a combined system of home water treatment (SCTAD in spanish), with the objective of obtaining black treated water with optimum quality for its reuse in irrigation.

We determined that the new adopted design surpassed the expectations of treatment in terms of efficiency in reduction of levels of chemical oxygen demand; biochemical demand of oxygen, nitrates, phosphates and suspended solids; as such helping improve the quality of irrigation water and its final course in the San Pedro river; as compared with the established nominal values.

This system constitutes a creative solution that requires low investment costs, small areas without compromising its efficiency, easy handling and maintenance techniques; also it generates a positive impact in the landscape improvement that can be replicated not only with water quality improvement ends, but also on terms of economic savings, by reducing the usage of water used for irrigation.

Índice

CAPITULO I	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
CAPITULO II	5
2. MARCO TEORICO	5
2.1. Descripción de los conceptos básicos de la propuesta	5
2.1.1. Aguas negras domiciliarias.....	5
2.1.2. Aguas grises domiciliarias	5
2.1.3. Tratamiento aerobio de aguas residuales	5
2.1.4. Tratamiento anaeróbico de aguas residuales	7
2.1.5. Lodos activados.....	9
2.1.6. Microorganismos	10
2.1.7. Biofiltros.....	10
2.1.8. Macrófitos acuáticos eficientes en procesos de depuración de aguas domésticas	11
2.2. Modelos de sistemas existentes considerados como antecedentes del modelo propuesto.....	11
2.2.1. Sistemas de tratamiento aeróbico de aguas comúnmente utilizados..	11
2.2.2. Sistemas de tratamiento anaeróbico de aguas comúnmente utilizados	18
CAPITULO III	25
3 DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL	25
3.1. Línea base.....	25
3.1.1. Descripción del área de estudio	25
3.1.2. Marco legal que sustenta la propuesta	29

CAPITULO IV..... 31

4. METODOLOGIA.....	31
4.1. Introducción.....	31
4.2. Parámetros e indicadores del sistema.....	31
4.3. Diseño de los sistemas.....	36
4.3.1. Línea operativa de aguas grises.....	36
4.3.2. Línea operativa de aguas negras.....	43
4.3.3. Sistema de biofiltros complementario.....	47
4.3.4. Sistema de distribución.....	50
4.4. Métodos de valoración.....	50
4.4.1. Valoración química.....	51
4.4.2. Valoración biológica.....	51
4.4.3. Operaciones de muestreo.....	52
4.4.4. Tiempos de retención.....	54

CAPITULO V..... 56

5. RESULTADOS.....	56
5.1. Población objeto.....	56
5.1.1. Niveles de evacuación de aguas domiciliarias de la población de Tumbaco.....	56
5.1.2. Características físico-químicas de las aguas domiciliarias de las viviendas de la zona periférica de Tumbaco.....	57
5.2. Parámetros de operación de los sistemas.....	58
5.2.1. Línea operativa de aguas grises.....	58
5.2.2. Línea operativa de aguas negras.....	63
5.2.3. Sistema de biofiltros complementario.....	65
5.2.4. Tanque de recepción final y de distribución de aguas tratadas.....	66
5.2.5. Área total de emplazamiento del sistema.....	67
5.2.6. Volumen total del sistema.....	68
5.2.7. Tiempo de retención del sistema.....	68
5.2.8. Área total de emplazamiento de las bacterias dentro del sistema.....	69
5.3. Análisis comparativos químicos del interior del sistema.....	69
5.3.1. Hidrobiología general.....	69
5.3.2. Valoración interna de parámetros.....	73
5.3.3. Valoración comparativa de los parámetros químicos del sistema, el cuerpo receptor (Río San Pedro) y normativas.....	78

CAPITULO VI.....	82
6. ANÁLISIS FODA	82
CAPITULO VII.....	84
7. PRESUPUESTO	84
CAPÍTULO VIII.....	86
8. CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA:	89
ANEXOS	92

Indice de anexos

Anexo 1: Modelos de sistemas aerobios de tratamiento de aguas existentes	92
Anexo 2: Modelos de sistemas anaerobios de tratamiento de aguas existentes	93
Anexo 3: Ubicación de la planta piloto - Domicilio Dr. Daniel Ruilova	97
Anexo 4: Resumen de los caudales y cargas contaminantes caracterizadas	98
Anexo 5: Marco legal aplicable	99
Anexo 6: Sistema combinado de tratamiento de aguas domesticas.....	105
Anexo 7: Línea operativa de aguas grises.....	109
Anexo 8: Ubicación del sitio de muestreo del Río San Pedro – Fundación Amen.....	112
Anexo 9: Fotografías de muestreo.....	113
Anexo 10: Trabajo de laboratorio – Análisis de muestras.....	114
Anexo 11: Microbiología del sistema combinado de tratamiento de aguas	120
Anexo 12: Resultados generados por Gruntec	125

Índice de tablas

Tabla 1.1: Condiciones ambientales en las fases anaeróbicas.....	9
Tabla 3.2: Resultado de catastro industrial	27
Tabla 3.3: Población de la zona y acceso al alcantarillado publico.....	28
Tabla 5.4: Criterios de clasificación en la escala de saprobios para el rio San Pedro.....	71
Tabla 5.5: Valoracion de la eficiencia interna.....	78

Índice de cuadros

Cuadro 4.1:	Sitio de muestreo en el sistema y análisis químicos aplicables.	52
Cuadro 4.2:	Sitios de muestreo en el sistema y análisis biológicos aplicables	53
Cuadro 4.3:	Sitio de muestreo en el rio San Pedro y análisis químicos aplicables	54
Cuadro 4.4:	Sitios de muestreo en el Rio San Pedro y análisis biológicos aplicables	54
Cuadro 4.5:	Consumo de agua diario del usuario.....	55
Cuadro 4.6:	Tiempo de retención del sistema anaerobio de tratamiento de aguas.....	55
Cuadro 4.7:	Tiempo de retención del sistema aerobio de tratamiento de aguas.....	55
Cuadro 5.8:	Características físico químicas de las aguas grises	57
Cuadro 5.9:	Características físico químicas de las aguas negras.....	58
Cuadro 5.10:	Características físico- químicas de las aguas grises en el sistema de captura de grasas.....	59
Cuadro 5.11:	Características físico-químicas de las aguas grises de la subfase3.....	63
Cuadro 5.12:	Características físico-químicas de las aguas negras en el biodigestor.....	65
Cuadro 5.13:	Características físico-químicas de las aguas en el tanque de recepción.....	67
Cuadro 5.14:	Área total de emplazamiento del sistema.....	67
Cuadro 5.15:	Volumen total del sistema	68
Cuadro 5.16:	Tiempo de retención del sistema.....	68
Cuadro 5.17:	Área total de emplazamiento de las bacterias dentro del sistema.	69
Cuadro 5.18:	Pruebas microbiológicas para la determinación del índice bacteriano del Río San Pedro	72

Cuadro 7.19: Presupuesto estimado.....	84
--	----

Índice de Ilustraciones

Ilustración 4.1: Línea operativa de aguas grises.....	40
Ilustración 4.2: Línea operativa de aguas negras.	45
Ilustración 4.3: Sistema de biofiltros complementario.....	48
Ilustración 4.4: Sistema de distribución de aguas tratadas	50
Ilustración 5.5 Tipos de macrófitos acuáticos usados en el sistema	60

Índice de figuras

Figura 5.1: Comportamiento DQO.....	73
Figura 5.2: Comportamiento DBO	74
Figura 5.3: Comportamiento Nitrógeno Total	75
Figura 5.4: Comportamiento Fosfatos	76
Figura 5.5: Comportamiento Sólidos Suspendidos	78
Figura 5.6: Valoración comparativa del sistema, rio San Pedro y normativas..	79

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. Introducción

Llamamos aguas residuales a los líquidos procedentes de la actividad humana, que llevan en su composición grandes cantidades de sustancias disueltas sean estas orgánicas o inorgánicas y que generalmente son vertidos a las alcantarillas y luego a las masas de aguas receptoras epicontinentales o marinas. Son residuales debido a que habiendo sido usada el agua, esta se constituyen en un residuo, o sea algo que no sirve para el uso directo, como es el consumo humano.

Su origen y naturaleza puede ser diverso, pudiendo estas según su origen ser: domésticas, urbanas o industriales; y según su naturaleza orgánica o inorgánica. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por los sistemas de alcantarillado en los que se incluyen, las aguas lluvia y las infiltraciones de agua de los suelos. Las aguas residuales urbanas se originan a causa de los desechos o residuos de actividades domésticas, recogimiento de aguas lluvia, infiltraciones y los restos que quedan de las actividades industriales.

El criterio *Tratamiento de Aguas* consiste en el conjunto de operaciones unitarias físicas, químicas y biológicas cuya finalidad es la eliminación o reducción de los contaminantes o de las características no deseables en las aguas; las aguas a tratarse pueden ser naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

Hoy en día se conocen dos criterios de gestión para el tratamiento de aguas residuales, sobre los cuales se sustentan una serie de métodos, procedimientos, y sistemas de tratamiento, estos son: sistemas aeróbicos y sistemas anaeróbicos.

Los sistemas aeróbicos se sustentan en procesos que se utilizan casi exclusivamente para el tratamiento de las aguas residuales de grandes ciudades. Los prototipos de estos sistemas fueron desarrollados en Inglaterra en el año de 1914 por Andern y Lockett y fueron llamados así, debido a que dentro de estos sistemas se producen grandes masas activadas de microorganismos capaces de estabilizar los residuos líquidos por vía aeróbica. En la actualidad se usan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales.

Los sistemas anaeróbicos se sustentan en la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica, donde existe ausencia de oxígeno molecular disponible en el medio, estos procedimientos han hallado su aplicación dentro de procesos de digestión de fangos y/o lodos activos; por lo que son recomendables para tratar aguas residuales espesas procedentes ya sea de domicilios o de actividades industriales.

1.2. Justificación

Los habitantes de los diversos asentamientos urbanos que se ubican a lo largo de la cuenca del río San Pedro como, Lumbisi, Cumbayá y Tumbaco durante años han descargado los efluentes domiciliarios directamente al río. A pesar de contar con servicio de alcantarillado que también es enviado al Río San Pedro.

De acuerdo con estudios realizados por la Empresa Metropolitana de Agua Potable y alcantarillado de Quito, en el río San Pedro se presentan valores físicos-químicos y bacteriológicos superiores a los límites de calidad, afectando directamente los siguientes usos: agua para abastecimiento público, uso doméstico restringido (lavado de ropa), uso del agua para riego sin restricciones. Tampoco sirve para el desarrollo de vida acuática y silvestre, ni siquiera para actividades de recreación y estética. (EMAAP-Q, 2010)

Por esta razón y como parte de la responsabilidad ciudadana de los habitantes de la cuenca del río San Pedro, es prioritario proponer y ejecutar soluciones a este tipo de problemas ambientales a través de la implementación de sistemas

de tratamiento domiciliario de efluentes domésticos, con el fin de que las aguas residuales sean para ser tratadas y reutilizadas dentro de las propiedades, o sean vertidas al río pero con parámetros de calidad aceptables.

Existen ejemplos de proyectos implementados en el País para recoger y conducir las aguas residuales que anteriormente eran descargadas en los ríos para su depuración. Esta es la labor de la planta de tratamiento de la ciudad de Cuenca a través de la empresa ETAPA, que tiene como objetivos:

- “Tratar las aguas residuales generadas en el área metropolitana de la ciudad, con la finalidad de evitar que sean fuente de proliferación de enfermedades que pudieran afectar a la salud de los habitantes de la ciudad y de poblaciones que se encuentran localizadas aguas debajo de los cursos de agua.
- Devolver al medio ambiente aguas libres de contaminación.
- Recuperar la belleza escénica de los ríos, fortaleciendo actividades de esparcimiento y turismo.
- Reutilizar el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en actividades tales como riego, cultivo de peces, recreación, generación de energía hidroeléctrica, entre otros”. (ETAPA, 2010).

A pesar de que las autoridades competentes todavía no han normado las descargas residuales domésticas a cuerpos receptores de agua, se debería implementar un sistema combinado de tratamiento de aguas domésticas con el objetivo de reutilizar los efluentes generados y reducir los procesos de contaminación de las aguas del Río San Pedro.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y poner en práctica dos modelos de tratamiento de efluentes domiciliarios, mediante procesos de autodepuración aerobios y anaeróbicos.

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Diseñar un sistema domiciliario de tratamiento anaeróbico de aguas grises y negras combinado.
- 2) Diseñar un sistema domiciliario de tratamiento aeróbico de aguas grises y negras combinado.
- 3) Valorar cualitativamente ambos sistemas en función de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las calidades de las aguas tratadas en cada uno de los sistemas.
- 4) Seleccionar el sistema idóneo en función de su eficiencia operativa

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Descripción de los conceptos básicos de la propuesta

2.1.1. Aguas negras domiciliarias

Son aquellas aguas que abastecen a la población humana, que una vez usadas en casas, edificios dejan de ser purificadas y no aptas para el uso humano; el origen de estas aguas son principalmente las provenientes los inodoros y duchas, por lo tanto tiene en suspensión una gran cantidad de excremento humano y orina, compuesto de sólidos suspendidos, disueltos y coliformes fecales.

Una de las características principales de las aguas negras son la cantidad microorganismos que encontramos, la presencia de estos organismos son de suma importancia ya que el éxito de la degradación y descomposición de la materia orgánica depende de sus actividades metabólicas.

2.1.2. Aguas grises domiciliarias

Son las aguas que también se usan en casas y edificios, que una vez utilizadas no son aptas para el uso en otros procesos antrópicos; el origen de estas aguas provienen principalmente de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras. En donde encontramos sólidos suspendidos y disueltos (sólidos orgánicos e inorgánicos), tales como grasas, aceites, detergentes.

A diferencia de las aguas negras, las aguas grises no contienen un alto contenido de microorganismos parásitos provenientes de las excretas humanas.

2.1.3. Tratamiento aerobio de aguas residuales

El proceso aerobio es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones, el oxígeno es reducido y el carbono es oxidado al igual que la materia orgánica o inorgánica, todos los

organismos que usan oxígeno libre como aceptador de electrones son aerobios.

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de los contaminantes mediante actividad biológica que se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloides o disueltas del agua residual, en un proceso también conocido como mineralización. La mineralización o descomposición microbiológica del material orgánico de las aguas residuales en productos finales inorgánicos como dióxido de carbono, agua, nitrógeno amoniacal o nitratos, ortofosfatos y sulfatos. (Romero, 2005: p. 216).

Usualmente, las bacterias son los organismos más importantes en el tratamiento aerobio de las aguas residuales porque son excelentes oxidadores de la materia orgánica y crecen bien en aguas residuales, siendo capaces de formar una capa floculenta gelatinosa de muy buenas características para la remoción de la materia orgánica. Son comunes *Zooglea ramigera*¹, *Pseudomonas*², *Flavobacterium*³ y *Alcaligenes*⁴.

El uso de plantas de tratamiento biológico aerobias han sido preferidas sobre las de tipo anaerobio debido a que brindan la posibilidad de tratar una mayor gama de aguas residuales, mayor estabilidad que presenta el proceso y la facilidad de control y la capacidad de conseguir un mayor grado de eliminación de DBO, nitrógeno, fósforo. (Morris, 2005, p.70 -71).

¹ *Zooglea ramigera*: Bacteria mucilaginoso que forma grandes colonias con numerosas células encerradas en una gruesa cubierta mucilaginoso común, las células individuales libres se mueven con ayuda de flagelos polares

² *Pseudomonas*: Género de bacilos rectos o ligeramente curvados, gram negativos, oxidasa positivos, aeróbicos estrictos aunque en algunos casos pueden utilizar el nitrato como aceptor de electrones

³ *Flavobacterium*: Género bacteriano perteneciente al grupo de las flavobacterias organotrofas. Son bacilos aerobios, inmóviles, gram negativos.

⁴ *Alcaligenes*: Genero microbiológico de bacterias gram negativas aeróbicas.

2.1.4. Tratamiento anaeróbico de aguas residuales

El proceso anaeróbico es un proceso por el cual las bacterias no utilizan el oxígeno disuelto del sustrato para metabolizar los sólidos orgánicos, sino que utilizan el oxígeno que contienen las moléculas de los sólidos orgánicos tales como los carbohidratos, proteínas y grasas, para así transformar todos los sólidos orgánicos complejos en compuestos de masa molecular baja. Estos serán empleados como fuente de energía y de carbón celular. (Romero, 1999: p. 231- 233).

En términos de producción de energía, el proceso anaerobio es mucho menos eficiente que el aerobio, ya que la mayoría de energía liberada en el proceso catabólico anaerobio proveniente de las sustancias descompuestas permanece en los productos finales orgánicos reducidos, como el metano- CH_4 .

En este tratamiento encontraremos gases disueltos como: metano- CH_4 , dióxido de carbono- CO_2 (por descomposición de la materia orgánica), ácido sulfhídrico- H_2S (por descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre). (Departamento de sanidad del estado de Nueva York, 2000, p. 56-59.)

La degradación anaerobia de la materia orgánica requiere de la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas aerobias ⁵ y anaerobias estrictas⁶, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo. La digestión anaerobia de la materia orgánica involucra cuatro pasos de transformación:

a) *Hidrólisis*: El proceso se inicia con las bacterias hidrolíticas⁷ mediante transformaciones enzimáticas, estas fermentan los compuestos

⁵ Bacterias facultativas: Bacterias que pueden adaptarse para crecer y metabolizar compuestos orgánicos, tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

⁶ Bacterias anaeróbicas estrictas: Bacterias que crecen y metabolizan compuestos orgánicos, estrictamente en ausencia de oxígeno.

⁷ Bacterias hidrolíticas: Bacterias que son capaces de descomponer moléculas orgánicas complejas (proteínas, carbohidratos, grasas) en moléculas orgánicas más simples.

orgánicos como carbohidratos⁸, proteínas⁹ y lípidos¹⁰ que son de estructuras complejas y son transformadas en unidades moleculares más pequeñas como azúcares (monosacáridos)¹¹, aminoácidos¹² y ácidos grasos¹³ para emplearlos como fuente de energía y de carbón celular. (Romero, 1999: p. 235- 237).

b) Acidificación (Acidogénesis): Una vez hidrolizados los compuestos orgánicos de cadena larga, las bacterias formadoras de ácidos (acidogénicas) transforman estas sustancias hidrolizadas en ácidos orgánicos de cadena corta, principalmente, ácido acético¹⁴, ácido propiónico¹⁵ y ácido butírico¹⁶. También hay formaciones de hidrógeno molecular- H₂ y dióxido de carbono- CO₂, pero en pocas cantidades. (Romero, 1999: p. 235- 237).

c) Formación de ácido acético (Acetogénesis).- Una vez fermentados los ácidos orgánicos de cadena corta, las bacterias acetogénicas utilizan

⁸ Carbohidratos: Son moléculas orgánicas compuestas por carbono (C), hidrogeno (H) y oxígeno (O).

⁹ Proteínas: Son macromoléculas (moléculas con masa molecular elevada) compuestas por carbono (C), hidrogeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N).

¹⁰ Lípidos: Moléculas compuestas por carbono (C), hidrogeno (H) y en menor proporción de oxígeno (O), azufre (S), nitrógeno (N) y fósforo (P). Son moléculas hidrófobas (insolubles en agua).

¹¹ Monosacáridos: Los monosacáridos son azúcares más simples que no se hidrolizan, es decir, no se descomponen en otros compuestos. Pueden estar formados de 3 – 7 átomos de carbono.

¹² Aminoácidos: Molécula orgánica compuesta por carbono (C), hidrogeno (H), oxígeno (O) y azufre (S). Es un elemento fundamental para la síntesis de la proteína.

¹³ Ácidos grasos: Son moléculas anfipáticas, es decir que poseen dos regiones. Una hidrófoba (insolubles en agua) y otra hidrófila (afinidad con el agua). Los ácidos grasos de cadena corta son más solubles que los ácidos grasos de cadena larga porque la región hidrófoba es más corta.

¹⁴ Ácido acético: Producido a través de la fermentación bacteriana de los azúcares, las melazas o el alcohol. Su fórmula es CH₃-COOH.

¹⁵ Ácido propiónico: Producido por la fermentación del azúcar. Igualmente se puede obtener como subproducto del ácido acético. Su fórmula es CH₃CH₂COOH

¹⁶ Ácido butírico: Producido por la fermentación de la lactosa gracias a las bacterias anaerobias. Su fórmula es CH₃-(CH₂)₂-COOH

estos compuestos para producir acetato¹⁷, hidrogeno molecular- H₂ y dióxido de carbono- CO₂. (Romero, 1999: p. 235- 237).

- d) *Formación de metano* (Metanogénesis).- Finalmente las bacterias metanogénicas convierten el acetato a metano- CH₄ y dióxido de carbono- CO₂, o reducen el dióxido de carbono- CO₂ a metano- CH₄.(Romero, 1999: p. 235- 237).

Los microorganismos de las distintas fases tienen requisitos diferentes en lo que concierne a condiciones ambientales; el potencial hidrógeno- pH y la temperatura- T°C, son factores especialmente importantes.

Tabla 1.1: Condiciones ambientales en las fases anaeróbica:

Parámetros	Etapa 1		Etapa 2	
	Hidrolisis	Acidificación	Acetogénesis	Metanogénesis
PH	5,2	6,3	6,7	7,5
Temperatura	25 °C	35 °C	35 °C	69 °C

Fuente: Adaptado de Gunt Hamburg, 2010.

Los microorganismos de las dos primeras fases pueden realizar su metabolismo con o sin oxígeno. Los microorganismos de la tercera y la cuarta fase son, por el contrario, estrictamente anaerobios y reaccionan con gran sensibilidad a la presencia de oxígeno y a fluctuaciones del potencial hidrogeno- pH.

2.1.5. Lodos activados

Los lodos activados son flóculos que consisten principalmente de materia orgánica muerta, material inorgánico y están poblados de bacterias, los lodos activados se forman cuando tenemos microorganismos suspendidos en las aguas servidas domésticas y mediante procesos físicos de aireación, estos microorganismos forman flocs biológicos.

¹⁷ Acetato: El acetato es una sal que se forma a través de la mezcla del ácido acético con una base.

Tienen propiedades tanto de absorción como de adsorción de la materia orgánica; la materia orgánica absorbida es utilizada como alimento por las bacterias y es transformada en sólidos insolubles no putrescibles. La materia orgánica adsorbida inicialmente no es usada por las bacterias en sus procesos de oxidación ni de síntesis, si no que es almacenada en el floc biológico. Hay momentos en el que el lodo a ocupado su capacidad de almacenamiento máxima, en este caso el lodo deja de adsorber material orgánico.

Para que el lodo vuelva a estabilizarse de nuevo se necesita un periodo de aireación durante el cual el material orgánico adsorbido inicialmente será absorbido por las bacterias para los procesos de síntesis y oxidación.

2.1.6. Microorganismos

Las aguas residuales domesticas contiene incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles, excepto bajo el microscopio. Su presencia es de suma importancia porque son uno de los motivos para el tratamiento de estas aguas, y su éxito, incluyendo la degradación y descomposición depende de sus actividades.

Es posible que en un estudio microscópico de las aguas residuales domesticas se pueda mostrar la presencia de bacilos, coccus y la bacteria filamentosa *Sphaerotilus natans*, así como hongos, algas, protozoos, metazoos, gusanos o artrópodos. El número total de bacterias en una muestra de agua residual domestica puede variar entre 2 000 000 y 20 000 000 por ml, y a causa de la extrema rapidez de multiplicación de las bacterias, una muestra que contenga 1 000 000 de bacterias por ml, en un primer análisis puede tener tres o cuatro veces más, unas cuantas horas después. (Bauman, 1971, p. 426-428)

2.1.7. Biofiltros

Son también llamados filtros percoladores, y son usados en los procesos de tratamiento de aguas residuales domesticas, estos biofiltros actúan como una biopelícula que se adhieren a lechos sólidos, como pueden ser, piedra u otro medio natural o sintético. En esta biopelícula encontramos los microorganismos encargados de reducir la carga orgánica.

El objetivo de estos biofiltros es que las aguas residuales sea regadas perpendicularmente a la biopelícula y se deje percolar únicamente por gravedad, el lecho del filtro es altamente permeable, al cual se van adherir tanto microorganismos como sólidos orgánicos e inorgánicos.

2.1.8. Macrófitos acuáticos eficientes en procesos de depuración de aguas domésticas

Los macrófitos acuáticos o también llamados plantas acuáticas cumplen un papel primordial en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeña escala por dos razones importantes:

- a) Los macrófitos acuáticos actúan como un filtro natural al momento de depurar las sales minerales provenientes de la digestión aerobia de los sólidos orgánicos, ya que utilizan estas sales (nitratos y fosfatos) como fertilizante para su crecimiento.
- b) Los macrófitos acuáticos al momento de realizar su fotosíntesis oxigénica desprenden oxígeno, una parte de este oxígeno se libera al agua, lo que permite la vida de microorganismos aerobios que realizan los procesos de digestión de los sólidos orgánicos.

2.2. Modelos de sistemas existentes considerados como antecedentes del modelo propuesto

2.2.1. Sistemas de tratamiento aeróbico de aguas comúnmente utilizados¹⁸

a) Lagunas de estabilización aerobias

Son uno de los métodos de purificación de aguas residuales más antiguos. Se trata de embalses de agua de tamaño variable rodeados de barreras naturales

¹⁸ Los diseños de cada uno de los sistemas mencionados en este apartado se los puede observar en el Anexo 1

o artificiales de contención donde fluyen aguas residuales y en donde microorganismos, primordialmente autótrofos y fotosintetizadores llevan a cabo sus actividades metabólicas donde la producción de oxígeno es destinada a los microorganismos responsables de la degradación de contaminantes y el dióxido de carbono es provisto por la misma población microbiana.

Las lagunas de estabilización requieren de poca profundidad para que el medio se mantenga en condiciones aerobias, al llegar la luz al fondo de la misma, razón por la cual las cargas orgánicas son menores en otro tipo de lagunas, pero es esta misma razón la que les hace susceptible a variaciones importantes de temperatura estacional o diaria, que incide directamente en la población microbiana y en el rendimiento de la laguna. Las tasas de eliminación de DBO en exceso se encuentran entre el 80%-90%. (Levin, 2005, p.87).

b) Lagunas aireadas y sistemas de lagunas

Su funcionamiento es similar a las lagunas anteriormente descritas, con la diferencia de que éstas están provistas de aireadores superficiales con el fin de mantener el criterio de aerobividad en toda la laguna y promocionen la transferencia de oxígeno, lo que les permite tener una mayor profundidad (2-5m) y suspensión completa de sólidos, sin embargo también son susceptibles a variaciones diarias y estacionales de temperatura.

Generalmente este tipo de sistemas operan bajo condiciones de flujo continuo de paso único sin recirculación, en donde los organismos aerobios se alimentan del material orgánico y crean flóculos microbianos que son separados antes del vertido del agua tratada. Por esta razón es común un sistema de lagunas en donde a una laguna aerobia le sigue una facultativa o una de sedimentación para el tratamiento de lodos activos. (Levin, 2005, p.88).

c) Reactores de fangos activados

Aplican el mismo principio de aerobividad con el fin de promocionar el crecimiento bacteriano aerobio y degradador del contaminante, evitar la proliferación de organismos anaerobios y la generación de malos olores, sin

embargo se realiza la recirculación de biomasa que se genera en el proceso con el fin de acelerar el proceso de degradación.

En general, las aguas residuales ingresan a un tanque de aireación y bajo condiciones optimas se genera un gel polisacárido que provocara la aglomeración de microorganismos en flóculos microbianos, conocido como fangos activados, que dará lugar a la separación y adición de sólidos suspendidos al gel y a la vez los microorganismos pueden transformarlo en biomasa y dióxido de carbono, descontaminando el agua. El efluente generado es tratado en decantadores o tanques de sedimentación en donde se separa el sobrenadante del claro, el sobrenadante es parcialmente recirculado y el exceso es un producto residual importante que necesita un tratamiento paralelo.

En presencia de condiciones no favorables, hay excesiva presencia de organismos filamentosos que impiden el normal funcionamiento de los sistemas. Si bien el principio básico operativo de los fangos activos es el mismo, en la actualidad se manejan diferentes diseños de reactores, como son los reactores de fangos con mezcla completa, reactores de flujo pistón con fangos activos, reactores en serio con fangos activos, entre otros. (Levin, 2005, p.89-93).

d) Canales de oxidación

Son reactores en forma de largos depósitos de hormigón introducidos en el suelo en donde existe un movimiento circular de aguas residuales por medio de agitadores axiales horizontales sumergidos y cuya velocidad esta determinada para evitar la sedimentación y por ende condiciones anaerobias en el fondo del estanque. Este proceso permite reducir contaminantes como nitrógeno además de DBO, en este proceso también se producen cantidades de fangos residuales que deben ser adecuadamente dispuestos. (Levin, 2005, p.93-94).

e) Lechos bacterianos o filtros percoladores

Se los conoce también como reactores de lecho con relleno, en donde las aguas residuales se escurren a través del relleno y son depuradas mediante biomasa que crece sobre el propio relleno, este compuesto de un cilindro grande y abierto relleno de material grueso y suelto como roca de lava, escoria, ladrillos o plásticos, el reactor cuenta con un sistema de distribución de aguas. Durante la operación se forma una biopelícula compuesta de bacterias, hongos, protozoos, larvas de gusanos y si la iluminación es adecuada, algas. (Levin, 2005, p.99-100).

f) Biodiscos o contactores biológicos rotatorios RBC's

Son otro tipo de reactores que como los lechos bacterianos utilizan una biopelícula formada sobre la superficie de discos de plásticos que giran lentamente sobre un eje horizontal situado justo encima del líquido tratado para depurar contaminantes, consiguiendo una aireación sin compresión o dispersión del aire ya que debido a la rotación, diferentes sectores de los discos se encuentran expuestas al líquido a tratar. Se trata de tener un número adecuado de estas unidades con el fin de maximizar el área superficial por unidad de volumen del agua residual. (Levin, 2005, p.100-101).

g) Tratamiento con macrófitos acuáticos

El sistema de tratamiento acuático es aquel en el cual se aplican aguas residuales sobre terrenos húmedos naturales o artificiales con el propósito de remover sus contaminantes, la mayor parte de los sistemas de tratamiento acuático están constituidos por pantanos, ciénagas, turberas y una o más lagunas de poca profundidad, en las cuales una o más especies de plantas acuáticas (plantas tolerantes al agua como la espadaña, la enea, los juncos, la vellorita o primavera y el jacinto de agua) crecen y se desarrollan.

El uso de macrófitos flotantes en sistemas de tratamiento de aguas residuales se basa en la propiedad de las plantas macrófitas emergentes de eliminar por absorción, el nitrógeno, el fósforo y además tienen la facultad de llevar oxígeno

a su medio soporte, las raíces de las plantas forman un tupido filtro por el que discurre el agua, que es el soporte ideal para las bacterias comedoras de materia orgánica, ya que tiene una superficie específica inmensa.

Con esto se consigue un doble efecto, las plantas eliminan el fósforo y el nitrógeno, y las bacterias la materia orgánica, constituyendo un sistema depurador más completo que ningún otro de los utilizados en la actualidad.

Uno de los inconvenientes que presenta este tipo de tratamiento es la tasa explosiva de crecimiento de plantas que pueden causar el cubrimiento total de la superficie del cuerpo de agua, que se traduce en el deterioro de la calidad de agua con fines de consumo humano, riego o recreación, para esto se debe realizar un plan adecuado que impida la proliferación excesiva de las plantas.

Algunos de los ejemplos más representativos de estos sistemas son:

g1) Tratamiento con jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*):

Usados para tratar aguas residuales crudas, así como para efluentes primarios y secundarios, en fase activa de crecimiento, permite remover metales pesados, nutrientes, pesticidas y otros contaminantes orgánicos debido a la masa activa de microorganismos que descomponen y ayudan en la remoción de contaminantes del agua residual y que se alojan en las raíces de los mismos.

Para asegurar una eficiencia adecuada de este tipo de sistema, se debe proveer una profundidad apropiada de penetración de las raíces de la planta que asegure un contacto completo del agua residual con el jacinto.

Para el tratamiento de aguas residuales crudas, el autor Jairo Rojas (2005) recomienda un número igual o mayor a dos lagunas de carga hidráulica 200 m³/ha.d , con una profundidad menor a 1.5 m y un área de 0,4 ha, que con un tiempo de retención mayor a 50 días determina una calidad esperada del efluente con DBO < 30 mg/L y SS < 30 mg/L, mientras que para efluentes secundarios con igual número de lagunas, se obtendrá una calidad esperada de DBO < 10 mg/L, SS < 10 mg/L, P < 5 mg/L y N < 5 mg/L, con un tiempo de

retención de 6 días y una carga hidráulica de 800 m³/ha.d. (Romero, 1999: p. 223).

g2) Tratamiento con lentejas de agua (*Lemna sp*):

Operan bajo el mismo principio que el tratamiento con jacintos, siendo el principal aporte la velocidad de crecimiento de la lenteja de agua y que la disposición final del mismo luego del proceso depurador (20 días) sea como alimento para ganado por el alto poder nutritivo que presenta esta variedad.

h) Tratamiento a través de humedales artificiales:

Son sistemas de tratamiento conformados mediante lagunas con profundidades que oscilan entre 0,45 m y 1,0 m, con tiempos de retención de 3 a 14 días, cargas orgánicas de hasta 200 Kg/(ha x día), pendientes características que varían del 0% al 0,5%, y dentro de las cuales se pueda sembrar una variedad de vegetación (preferiblemente nativas como la totora, carrizo o juncos) que realice el proceso fotosintético y aglomere a vegetación complementaria, tal como las algas que son productoras de oxígeno. (EPA, 2001)

Una de las características fundamentales de los humedales artificiales es que sus funciones son principalmente regulados por los microorganismos y su metabolismo, la actividad microbiana transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles, altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal. En comparación con otros métodos, tiende a ser simple, barato y amigable con el medio. (EPA; 2009)

La clasificación de los humedales artificiales obedece al tipo de contaminantes presentes en el agua a tratar, de forma general se los divide y conceptualiza como:

- Humedales de flujo libre superficial: el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga, en algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal.

- Humedales de flujo subsuperficial: está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o la fase final de tratamiento, y está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado.” (EPA; 2001)

La grava es el medio más utilizado en Estados Unidos y Europa, aunque también se ha utilizado roca triturada, grava, arena u otro tipo de materiales del suelo. El medio se planta normalmente con los mismos tipos de vegetación emergentes presentes en las praderas inundadas y, por diseño, el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio. (EPA; 2001)

Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada.

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, sólidos suspendidos SS y nitrógeno así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y protozoos, la remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residuales con el suelo y se puede esperar también una reducción de un orden de magnitud en coliformes fecales.

El tamaño de los humedales es determinado por el contaminante que requiere la mayor área para su remoción, esta es la superficie del fondo de las celdas del humedal, y para que sea efectiva en un 100 por ciento, la distribución del flujo de agua residual debe ser uniforme en toda la superficie.

Los humedales están mejor adaptados para aplicaciones de tamaño pequeño y mediano ($\leq 227,100$ l/d o $\leq 60,000$ galones/día) y en sistemas de mayor tamaño en los cuales se tiene un potencial significativo de contacto con el público, mosquitos o generación de olores. Su uso en sistemas de tratamiento en el punto de origen proporciona un efluente de alta calidad para la aplicación al terreno. (EPA; 2001)

De acuerdo a David Trinidad en su estudio relativo a este sistema, “los humedales proporcionan beneficios intangibles aumentando la estética del sitio y reforzando el paisaje”. A simple vista se pueden confundir los humedales artificiales con los naturales si se adecuan siguiendo los contornos naturales del sitio en donde se implementan, además se convierten en un hábitat de pájaros.

2.2.2. Sistemas de tratamiento anaeróbico de aguas comúnmente utilizados¹⁹

Si un sistema anaerobio se va a implementar en una vivienda, condominio, industria o como tratamiento de aguas residuales municipales, se debe determinar la naturaleza del agua residual cruda, los requerimientos de uso o disposición del efluente, así como los impactos visuales que se pueden considerar en la construcción de estos sistemas.

Es por esto que generalmente la solución para implementar el sistema adecuado, es seguir ciertos procedimientos como son:

- a) Caracterización del agua residual cruda y revisar si existen normas de vertimiento.
- b) Tener varios diseños conceptuales, incluyendo los procesos existentes de cada sistema, parámetros de diseño, dimensiones y comparación de costos.
- c) Detalle de los materiales de construcción ha ser usados por cada diseño conceptual.
- d) Operación, que incluye los procesos para la remoción de contaminantes como: DBO, sólidos suspendidos, patógenos, nitrógeno, fósforo y sustancias orgánicas refractarias como detergentes.
- e) Mantenimiento. (Romero, 1999: p. 682-683)

Así, si los sistemas de tratamiento de aguas residuales anaeróbicos se manejan eficientemente y se evalúan cada una de los procedimientos para

¹⁹ Los diseños de cada uno de los sistemas mencionados en este apartado se los puede observar en el Anexo 2

construir estos sistemas se van a obtener impactos positivos sobre la producción de aguas residuales, pudiendo minimizar el impacto negativo que puede generar estos sistemas, generando una eficiencia de espacios y uso de material, así como la recirculación de las aguas residuales domesticas para riego, obteniendo efectos económicos positivos, al igual que mantendremos un manejo integrado de los recursos hídricos.

A continuación se detalla los sistemas de tratamiento anaerobios más utilizados.

a) *Tanque Imhoff.*

Es un sistema de tratamiento anaerobio de doble función, recepción de las aguas negras y procesamiento de estas aguas, el tanque en mención se compone en 3 compartimientos importantes:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

Funcionamiento.- Las aguas negras fluyen a través de una cámara de sedimentación²⁰, aquí gran parte de los sólidos sedimentables se remueven, que luego por la acción de la gravedad resbalan y pasan a una cámara de digestión²¹, a través de una ranura con traslape, que tiene como objeto impedir que tanto gases como partículas suspendidas (producto de la digestión) interfieran en el proceso de sedimentación; todos los gases que se producen en la digestión anaerobia son desviados hacia el área de ventilación²².

²⁰ Cámara de sedimentación: cámara amplia en donde se sedimentan las partículas sólidas por acción de la gravedad.

²¹ Cámara de digestión: La cámara de digestión es donde los lodos activos se depositan para realizar la digestión de la materia orgánica.

²² Área de ventilación: Es por donde el gas producido en el proceso de la digestión escapa fuera del reactor biológico.

El tanque Imhoff puede ser tomado como una planta de tratamiento anaerobio completo, es por esto que el tanque tiene que tener una capacidad tanto para los lodos secundarios como para los que recibirá de la cámara de sedimentación. (Departamento de sanidad del estado de Nueva York, 2000, p. 56-59.)

b) Tanque séptico:

Es una fosa que recibe las aguas residuales y las trata, se caracteriza porque en él se da el proceso de la sedimentación así como un proceso séptico, que no es más que la digestión de la materia orgánica por la acción de bacterias anaeróbicas, que darán como producto secundario los lodos activos²³.

Estos tanques se encuentran enterrados y cubiertos herméticamente, con una capa de concreto, esto se da porque la concentración de material orgánico y de bacterias patógenas en las aguas residuales es alta. En estos tanques se debe tener mucha precaución, ya que de no existir una buena protección del tanque, todas las aguas residuales podrían infiltrarse a los acuíferos subterráneos y contaminar estas fuentes de aguas.

Estos tanques deben contar con un acceso apropiado para que su limpieza y mantenimiento sean fáciles, al igual que es recomendable que se instale un tubo de ventilación para que los gases del tanque no queden retenidos.

Su principal objetivo es reciclar las aguas servidas, eliminando los desechos sólidos en un lapso de entre 1 y 3 días. (Romero, 1999: p. 688- 694).

c) Proceso anaerobio de contacto:

Este proceso se refiere a la utilización de lodos recirculados dentro de un reactor sellado donde se mezclan con las aguas residuales a ser tratadas, este proceso fue desarrollado para que los tiempos de retención sean cortos y las edades de los lodos sean largas.

²³ Lodos activos: Flóculos (conglomerados con estructura suelta) que consisten principalmente en materia orgánica muerta, material inorgánico y está poblado de bacterias.

Una de las desventajas de este tratamiento es que tanto las cargas hidráulicas²⁴ como las cargas orgánicas²⁵ deben ser constantes, ya que este proceso es considerado muy sensible y su control es difícil, es por esto que la concentración de las cargas no debe ser muy variable.

Funcionamiento.- Dentro del reactor anaerobio hay agitadores mecánicos, cuya función es mezclar el contenido para mejorar la superficie de contacto entre los lodos y las aguas residuales, que una vez tratadas pasan a una unidad desgasificadora²⁶, que es un proceso de arrastre, agitación del gas; por último va a un tanque de sedimentación, donde el sobrenadante del sedimentador se descarga. El lodo anaerobio sedimentado se recircula al reactor, para volver a empezar el proceso. (Romero, 1999: p. 694- 696).

d) Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio:

Este proceso tiene como característica el uso de manto de lodos que está conformado por gránulos biológicos²⁷ o partículas de microorganismos, en este tipo de tratamiento el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye ascensionalmente a través de este lodo granulado, en el cual se desarrollan bacterias con buenas características de sedimentación.

Una vez cumplido el ciclo de degradación de la materia orgánica, comienza a liberarse el gas, este tiende a pegarse a los granos o partículas biológicas, una vez que este gas empieza a elevarse lleva consigo partículas que chocan con las pantallas desgasificadoras que se encuentran como deflectores en la parte superior, el gas se libera y se dirige a las campanas colectoras de gas,

²⁴ Carga hidráulica: El volumen de agua aplicado por unidad de superficie en un determinado período de tiempo.

²⁵ Carga orgánica: Cantidad de materia orgánica, generalmente medida como DBO5, expresada como peso por unidad de tiempo.

²⁶ Unidad desgasificadora: Unidad utilizada para la eliminación de gases disueltos en el agua. Ya sea por agitación o calor.

²⁷ Gránulos biológicos: Gránulos que forman un lodo granular, son agregados de origen microbiano que no coagulan en condiciones de bajo estrés hidrodinámico y que sedimentan significativamente más rápido que los flóculos de lodo activo

mientras las partículas caen de nuevo al manto de lodos. El éxito de este proceso es que no necesita que el reactor tenga ningún tipo de mezcla (mecánica o manual), ni tanques independientes de sedimentación, al igual que toda la generación de lodos se quedara dentro del reactor permitiendo obtener edades de lodo mucho mayor. El tiempo de retención es de 6 horas aproximadamente. (Romero, 1999: p. 696- 702).

e) Proceso anaeróbico de película adherida y lecho expandido:

Este proceso es semejante al proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, ya que los afluentes se reciben por la parte del fondo, así como sus efluentes salen por la parte superior; la diferencia de este proceso es que el agua fluye mediante bombeo y esto aumenta las velocidades ascensionales para fluidizar ²⁸el crecimiento bacterial. El medio de crecimiento de las bacterias es diferente, ya que aquí se usa arena, carbón activado granular, antracita u otro agregado, esto se debe a que usando este medio de crecimiento tenemos una gran adhesión bacterial.

Una de las características de estos lechos es que actúan por acción de la fuerza de arrastre del agua, se los conoce como lechos fluidizados, ya que al incrementarse la velocidad de flujo de agua se produce la expansión del lecho, de tal manera que las biopartículas son soportadas parcialmente por el fluido y parcialmente por el contacto de biopartículas, permaneciendo así en la misma posición relativa dentro del lecho. Este proceso se maneja con tiempos de retención hidráulica de 30 minutos a una temperatura aproximada de 20°C. (Romero, 1999: p. 710- 713.)

f) Filtro anaeróbico de flujo ascensional:

Este filtro está constituido por un tanque de forma vertical con medio sólido para el soporte del crecimiento biológico anaeróbico, este filtro anaerobio usa como medio de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, el

²⁸ Fluidización: Proceso por el cual una corriente ascendente de fluido (líquido, gas o ambos) se utiliza para suspender partículas sólidas.

espesor que se ha observado de biopelícula sobre diferentes medios plásticos es de 1 a 3 mm. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes en el medio. (Romero, 1999: p. 706- 708.)

El agua residual es puesta en contacto desde la parte inferior del tanque para que así pase por el filtro anaerobio donde se está dando el crecimiento bacterial, y como estas bacterias están retenidas en el medio de crecimiento no salen junto al efluente y es posible obtener lodos de edades mayores. Este tipo de filtros anaeróbicos son también utilizados para desnitrificar efluentes ricos en nitratos o como pretratamiento en planta de purificación de agua. (Romero, 1999: p. 706- 708.)

g) Filtro anaerobio de flujo en descenso:

Este filtro está constituido por un reactor que se encuentra de forma vertical igual que el del flujo ascensional, una de las diferencias entre este filtro y el de flujo ascensional es que las bacterias crecen sobre superficies que están orientadas verticalmente, el afluente es aplicado por la parte superior del reactor y el efluente es extraído del fondo; el medio de crecimiento que usa este filtro es el mismo que el ascensional (piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos).

El flujo descendente y los canales que se ubican verticalmente permiten tratar aguas residuales con sólidos suspendidos, una de las ventajas es que los tiempos de retención del sistemas son cortos pero entre las desventajas tenemos, que puede haber pérdida de sólidos suspendidos y la necesidad de recirculación del lodo activo. (Romero, 1999: p. 708- 709.)

h) Reactor anaeróbico de pantallas:

Este reactor cuenta con una serie de pantallas colocadas de forma vertical en un reactor de forma horizontal, lo que se trata de hacer en este tipo de tratamiento es que tanto la biomasa como el efluente tengan movimientos ascendentes como descendentes pasando por estas pantallas que soportaron crecimiento biológico para el tratamiento de las aguas residuales.

En este sistema no hay pérdida de microorganismos ya que se recircula la biomasa, para obtener así un lodo de mayor edad para un mejor tratamiento. Los tiempos de retención del sistema son de 19 horas con temperaturas de 17°C. (Romero, 1999: p. 714.)

CAPITULO III

3 DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL

3.1. Línea base

3.1.1. Descripción del área de estudio

Ubicación geográfica

La urbanización La Viña se encuentra situada en la parroquia Tumbaco, cantón Quito, es una zona habitada cuyas condiciones de vida son “ altas ” y tendientes al uso diario y sin criterio ambiental del recurso agua, evacuando directamente y en forma continua sus efluentes al río San Pedro.

El lugar de emplazamiento de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales domesticas se realiza en: Los Cipreses # 8 La Viña (Tumbaco) el posicionamiento global tiene como Latitud: 0°12'19.78"S, Longitud: 78°24'50.26"O, Altitud: 2305 m.s.n.m, en este sector se ubica la propiedad de la familia Ruilova quienes se prestaron para colaborar con el proyecto. Véase *Anexo 3*.

La familia está compuesta de cuatro miembros y la vivienda cuenta con un jardín en una extensión de 700m², el consumo promedio de agua es de 830,3 litros por día, representados por el agua que se utiliza en usos caseros como: aseo personal, cocina, lavado de ropa, aparatos sanitarios y riego de jardines.

Distribución geográfica del río San Pedro

De acuerdo al Plan de Manejo de la Calidad del Agua PMCA (Administración Zonal Tumbaco – DMQ, 2009), se cita a la cuenca del Río San Pedro como una de las subcuencas que proveen de recursos hídricos al Distrito Metropolitano de Quito.

El río San Pedro se inicia a los 2.760 msnm en el cantón Mejía, 3 Km al sur de la parroquia de Tambillo, y termina desembocando en confluencia con el río Machángara, a 2.080 msnm en el río Guayllabamba. (IGM, 2010)

La zona presenta un clima propio de los valles de la serranía que en verano puede llegar hasta 32°C y en las noches mas frías de invierno puede bajar a 6°C, se mantiene en una mafia de 12° a 26°C., la precipitación media anual se encuentra entre los 500 y 1.000 mm. (INAMHI, 2010).

Es importante mencionar que existen otras fuentes de aguas como acuíferos subterráneos, que son colindantes al Río San Pedro, como es el acuífero del Valle de los Chillos.

Importancia económica y ambiental del río en las zonas de afectación de Tumbaco y Cumbayá

La apertura de la carretera que va hacia el Oriente en el año de 1968, abrió las puertas para que se incremente el índice ocupacional del Valle de Tumbaco y a partir de los años ochenta se inicia una explosión con el desarrollo de nuevas urbanizaciones, lo que trae consigo el surgimiento de comercio y servicios privados de educación y salud. “En la actualidad alrededor de 400 empresas como la Cervecería Andina, Ferrero, Nestle, Pronaca, Snob, cuatro textileras, cuatro centros comerciales, agroindustrias, empresas dedicadas a productos agrícolas de exportación y un conjunto de servicios de primer orden para cubrir la demanda de los habitantes, como para los flujos de personas que semanalmente bajan desde Quito a disfrutar del clima y de los platos criollos que se elaboran en todo el valle” (Administración Zonal Tumbaco – DMQ, 2009).

La siguiente tabla registra las industrias, comercios y servicios que se encuentran dentro del área de Tumbaco y del Valle de los Chillos que tienen una afectación directa sobre la zona de estudio.

Tabla 3.2: Resultado de catastro industrial

<i>Administración</i>	<i>Año</i>	<i>Parroquias</i>	<i>Industrias</i>	<i>Comercios</i>	<i>Servicios</i>	<i>Total</i>
Tumbaco	2006	Primera fase: Cumbaya, Tumbaco,Pifo,Puembo, Tababela; Yaruqui, Checa, El Quinche	75	91	44	210
Valle de los Chillos	2005	Conocoto, Alangasi, Amaguaña, Guangopolo, La Merced, Pintag	441	114	SD	555

SD: Sin Datos

Fuente: adaptado de DMA, 2008.

La problemática desatada por el crecimiento poblacional ha obligado al cambio en el uso del suelo de la zona y un desordenado asentamiento sobre el territorio, aunque la densidad poblacional aun es baja (1,86 hab/Ha) ya que gran parte del territorio corresponde a áreas naturales de protección como son el llano, el flanco occidental de la cordillera y los grandes cañones de los ríos que atraviesan el área.

Sin embargo, esta misma premisa desata una problemática reflejada en la pérdida progresiva de las áreas naturales de protección debido al apareamiento de nuevos compradores de tierras, expansión de la frontera agrícola, relleno de quebradas con escombros como en el caso de El Inga, el desalojo de desechos sólidos y aguas residuales líquidas que se escurren por las laderas de los ríos.

Demografía de las áreas poblacionales que descargan sus aguas al río San Pedro y sus afluentes.

El valle de Tumbaco está delimitado para la administración a través del Municipio de Quito y por ocho parroquias rurales: Cumbayá, Tumbaco, Puembo, Pifo, Tababela, Yaruqui, El Quinche y Checa.

La parroquia de Cumbayá está compuesta por cuatro sectores: Cumbayá centro, Reservorio, Primavera y Lumbisi, mientras que la parroquia de Tumbaco consta de los sectores: Tumbaco centro, El Nacional, La Morita, El Arenal, Cununyacu, Collaqui e Ilalo.

Todos los sectores antes citados tienen su descarga final de residuos líquidos a las aguas del río San Pedro, debido a la escasa cobertura de servicios básicos y los problemas asociados con el cambio de uso de suelo y crecimiento de asentamientos poblacionales.

Tabla 3.3: Población de la zona y acceso al alcantarillado público

Parroquias	Zonas	Habitantes	# de viviendas	Alcantarillado- Red Publica
Cumbayá	Periférico Cumbayá	1510	432	22.5%
	Cumbayá Barrios	17405	5103	74.4%
	Cumbayá Cabecera	2163	577	93.7%
Tumbaco	Periférico Tumbaco	24540	7442	22.2%
	Tumbaco Barrios	9833	2831	78.3%
	Tumbaco Cabecera	4125	1179	95.1%

Fuente: autores en base a registros AZ Tumbaco, 2009.

Producción per cápita de efluentes domiciliarios estimados dentro de las áreas poblacionales objeto de estudio.

Las parroquias de Cumbayá y Tumbaco se encuentran a un lado y otro de la cuenca del Río San Pedro y acoge una población estimada en 80.000 habitantes, que de acuerdo al informe del Gabinete Itinerante del Municipio de Quito zona Tumbaco, estima una tasa de crecimiento poblacional de 1.39% para la zona de Cumbayá y Tumbaco en respuesta de la demanda habitacional generada por el crecimiento de la ciudad de Quito y la implementación de un

nuevo aeropuerto en la zona, que generara un impacto sobre la tendencia de crecimiento (Asociación de Municipalidades del Ecuador, 2010).

En el estudio “Caracterización de las descargas de las aguas residuales de la ciudad de Quito”, enmarcada dentro del Plan de Descontaminación de los ríos de Quito, el Programa de Saneamiento Ambiental de EMAAP-Q analizó los caudales y las cargas contaminantes. El estudio se llevó a cabo durante 204 días de muestreo, caracterizando 21 descargas; los resultados obtenidos demostraron que el caudal medio de las 21 descargas caracterizadas es de 4,80 m³/s, siendo el de mayor caudal el río Machángara (3,48 m³/s), los ríos San Pedro y Guayllabamba en segundo lugar, con un caudal de 0,69 m³/s, seguidos por el río Monjas, con 0,64 m³/s.

Finalmente, la población equivalente aproximada que descarga efluentes a lo largo de todos los cuerpos receptores, ha sido calculada y alcanzaría un valor cercano de 1.465.000 habitantes, valor calculado con un “aporte per cápita” aproximado de 50g de DBO/hab/día (Administración Zonal Tumbaco – DMQ, 2009). Véase Anexo 4 para mayor detalle.

3.1.2. Marco legal que sustenta la propuesta

El Ministerio del Medio Ambiente es el organismo del estado responsable de la formulación de políticas y de la aplicación de la Legislación Ambiental aplicable a la gestión de residuos líquidos domiciliarios.

Este ente político al referirse a la utilidad de la Legislación Ambiental expresa lo siguiente: “ *Las leyes ambientales implementan los mecanismos necesarios para asegurar un ambiente sano. Todas las personas que vivimos en el país podemos recurrir a las normas ambientales y respaldarnos en ellas de acuerdo a nuestras necesidades*”, y agrega lo siguiente “*El Ministerio del Ambiente para desempeñar una eficiente gestión ambiental, se apoya en varias leyes y reglamentos encaminados a la protección y conservación de los ecosistemas y de los recursos naturales del Ecuador*”.

Existen leyes especiales para diferentes áreas vinculadas con el tema del agua, la Constitución del 2008 dicta en varios de sus artículos parámetros

sobre el uso, conservación y recuperación del recurso agua, la Ley de Aguas que es un reglamento mas específico que regula todas las actividades que involucran a este recurso, el Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ecuador, libro VI de la Calidad Ambiental, que incluye límites permisibles de descargas de aguas residuales a diferentes receptores, la *Ordenanza 199 – DMQ Recursos Hídricos*, que hace referencia y establece el uso eficiente del agua, la descontaminación de los ríos así como planes y programas a la gestión integrada de los recursos hídricos y la *Ordenanza 213 RESOLUCIÓN N° 0002-DMA-2008* que hace referencia a los parámetros de control de descargas líquidas de sectores productivos.

Sin embargo, la Legislación Ecuatoriana no contempla una normativa referente al nivel de contaminación permitido en las descargas de aguas de uso doméstico, para el presente caso se tomará como referencia la utilización de parámetros incluidos en el anexo *“Guía orientativa de los parámetros de descarga a analizarse.- Anexo D Ordenanza 213”*, para determinar la calidad de aguas, y los límites permisibles para descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce y alcantarillado que se incluyen en el *Libro VI Anexo I, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador*, tomados como criterios generales de descarga de efluentes aunque no sea específicamente una norma técnica para descarga de aguas residuales domiciliarias. Véase *Anexo 5 para mayor detalle*.

CAPITULO IV

4. METODOLOGIA

4.1. Introducción.

La metodología como parte de este proceso de investigación posibilitara la sistematización de métodos y técnicas utilizados para llevar la propuesta a término.

En este punto es importante destacar que si bien es cierto existen métodos generales para el sustento científico-técnico de la presente propuesta se han realizado aportes y adaptaciones significativas que nos han permitido generar los resultados según las realidades locales.

4.2. Parámetros e indicadores del sistema

Para el diseño del Sistema Combinado de Tratamiento en la Fuente de Aguas Domiciliarias- SCTAD se han identificado una serie de parámetros e indicadores, que además de contribuir en los procesos de diseño, también contribuyen dentro de los procesos de valoración de sus eficiencias.

Cabe indicar que dentro del SCTAD se plantean dos líneas operativas, una aerobia y otra anaerobia, las mismas que confluyen en una fase final de tratamiento, previa al sistema de distribución

En este sentido, se han generado los siguientes parámetros e indicadores del sistema:

Área operativa (aerobio, anaerobio): Nos ayuda a conocer la extensión total que ocupan los sistemas en el lugar donde estos van a estar operativos y, se determina multiplicando dos dimensiones (ancho y largo).

Volumen operativo (aerobio, anaerobio): Nos sirve para saber el volumen o espacio total que ocupa los sistemas, se determina multiplicando las tres dimensiones (ancho, largo y profundidad).

Superficies de adherencia de microorganismos: son las superficies del sistema donde los microorganismos responsables de los procesos de biodigestión se adhieren. En este caso, ripio en la fase aerobia y tabiques construidos de ladrillos en la fase anaerobia.

Poblaciones de microorganismos: Para este caso se han hecho contabilizaciones de las unidades formadoras de colonias de los microorganismos que operaran dentro de los procesos de biodigestión.

Indicadores de saprobios: Saprobiidad es un estado de la calidad del agua, respecto al contenido de materia orgánica degradable que se refleja en la composición de las especies de la comunidad, es la expresión biológica de la DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno); una comunidad indica el nivel (grado o zona) sapróbico según su composición y desarrollo. Los organismos tienen diferentes respuestas frente al deterioro del ambiente por un largo tiempo, pueden adaptarse y sobrevivir, tratar de escapar, formar estados de resistencia o morir.

Muchos seres vivos pueden desarrollarse bien en aguas de calidad muy diversa, pero otros están estrechamente ligados a condiciones ambientales muy específicas, estos organismos estenoicos²⁹ son utilizados como indicadores, en este caso de la contaminación por materia orgánica, por lo tanto, a partir de la observación de los cambios en la composición y abundancia de especies, que ocurren en las comunidades acuáticas en tiempo y espacio, se puede deducir el grado de contaminación. (Ruilova, D. 2008).

Para la presente propuesta y con el fin de determinar el grado de saprobiedad en el Río San Pedro, se utiliza el sistema de Kolkwitz & Marson (1902) reconoce cuatro grados sapróbicos en el proceso de auto purificación de un cuerpo de agua:

²⁹ Estenoico: Organismo que requiere condiciones muy estrictas para desenvolverse adecuadamente.

- Nivel polisapróbico; predominan procesos de reducción (agua fuertemente contaminada)
- Nivel α mesosapróbico; predominan procesos oxidativos (agua muy contaminada).
- Nivel β mesosapróbico; continúan los procesos oxidativos (agua moderadamente contaminada).
- Nivel oligosapróbico; oxidación completa (agua apenas contaminada). (Ruilova, D. 2008).

Parámetros físico-químicos de los sistemas y del cuerpo receptor

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): es el parámetro más utilizado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales con el fin de determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico y evaluar la eficiencia de los procesos de tratamientos biológicos y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras. (Romero, 1999: pág. 38.).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): es una medida aproximada del contenido total de materia orgánica presente en una muestra de agua, acelerando el proceso de biodegradación, a través de la oxidación forzada, que de otra forma es llevada de forma natural y que puede durar un tiempo significativamente menor a esta.
- Nitrógeno total: las aguas residuales presentan una elevada carga contaminante que responde, en gran parte, a la materia orgánica que contienen, en cuya composición se encuentran los compuestos de nitrógeno, entre las formas de nitrógeno, unas de las de mayor interés en las aguas son el amoniacal y el total. El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica, es un producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados, las aguas superficiales no deben contener normalmente amoniaco. En general, la

presencia de amoníaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos. (Romero, 1999: pág. 28.).

- El nitrógeno total está compuesto por el nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico, y este está constituido por las formas de nitrógeno correspondientes al nitrato, nitrito y amonio.
- Fosfatos $(PO_4)^{3-}$: debido a que el fósforo orgánico deriva de la descomposición de la materia orgánica y del uso de detergentes en el lavado domestico, y que este elemento es un limitante en la productividad primaria en los cuerpos de agua, se convierte en un parámetro necesario para determinar la calidad de aguas de descarga ya que pueden producir un crecimiento repentino en la biota fotosintetizadora en un fenómeno conocido como eutrofización. (Cardenas, 1999: pág. 164.)
- Sólidos Suspendidos: son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua, estos sólidos pueden separarse de las aguas negras por medios físicos o mecánicos como son; sedimentación y filtración; se incluye las partículas flotantes mayores, que consisten en arena, polvo, arcillas, sólidos fecales.

Esta constituido aproximadamente por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos. (Iturralde, 1978, pág. 23)

- pH: se mide el ph como parámetro referencial físico del sistema, para lo cual se utilizan tiras indicadoras de pH de Macherey-Nagel.

Macrófitos acuáticos utilizables

Dentro de la propuesta se han identificado 4 grupos de macrófitos acuáticos que serán posibles de utilizarlos, como elementos importantes dentro de la implementación del diseño, a saber:

- Papiro (*Cyperus papyrus*): es una planta vivaz³⁰ de la familia de las Cyperaceas propia de márgenes de ríos y cursos de agua, utilizada con frecuencia para estanques, embalses, pequeños lagos, o bien como planta de interior en maceta. (Casas, 2006: pág. 42.)
- Carrizo (*Phragmites sp*): tiene el aspecto de una pequeña caña de entre uno y dos metros de altura que, como la caña auténtica (*Arundo donax*), se extiende a partir de brotes que surgen de un tallo subterráneo de crecimiento horizontal denominado rizoma. Es una de las especies principales usadas en el tratamiento de aguas a partir de humedales artificiales, donde la acción bacteriana en la superficie de las raíces y la hojarasca elimina algunos de los nutrientes. (Menéndez, 2010).
- Caña (*Arundo donax*): planta de la familia de las gramíneas que alcanza hasta los 5 metros de altura. Es una planta introducida que se ha naturalizado y que se mantiene en los alrededores de viviendas y zonas de cultivo, incluso se siembra en parques y jardines, vive en lugares húmedos y encharcados, en acequias y cursos de agua. (Casas, 2006: pág. 50)
- Malanga (*Colocasia esculenta* Schott): pertenece a la familia de las aráceas comestibles, la que comprende los géneros: *Colocasia*, *Xanthosoma*, *Alocasia*, *Cyrtosperma* y *Amorphophallus*, son plantas herbáceas, suculentas que alcanzan una altura de 1-3 metros, sin tallo aéreo. La malanga se adapta más a suelos profundos, fértiles, con suficiente materia orgánica y bien drenada, también puede desarrollarse en terrenos húmedos en las llanuras de los ríos, lagunas, orillas de drenes y canales de riego donde no se desarrollan otros cultivos. Existen variedades que crecen bajo el agua (cultivos bajo inundación), en tanto que otras prefieren los suelos bien drenados (cultivos secos). (Casas, 2006: pág. 39.)

³⁰ Planta vivaz: Son aquellas que pueden vivir más de 2 años, duran de un año para otro; no mueren con la llegada del invierno, como las de Temporada (Plantas Anuales)

4.3. Diseño de los sistemas

A pesar de que la propuesta hace referencia al diseño e implementación de dos sistemas de autodepuración: aerobia para aguas grises y anaerobia para aguas negras, dentro del diseño se plantean tres líneas operativas de tratamiento:

- Línea aerobia: tiene como objetivo tratar las aguas grises provenientes de la cocina, cuarto de maquinas.
- Línea anaerobia: recibe las aguas negras provenientes de los inodoros y duchas.
- Fase complementaria: es la conjugación de las dos líneas de tratamiento tanto aerobio y anaerobio. Véase Anexo 6

Con esto se logra que cada sistema sea independiente, con caudales específicos de tratamiento (aguas grises y aguas negras), evitando xenobióticos que pueden entrar al sistema y afectar el rendimiento de las bacterias ocasionando un colapso en el tratamiento de las aguas.

El tratamiento de aguas residuales domesticas tendrá como objetivo disminuir la cantidad de agua de desecho que es incorporada al Río San Pedro como destino final del alcantarillado domiciliario aun cuando, como se hizo referencia en el apartado de Marco legal, no exista una norma adecuada que determine los límites permisibles de descarga de aguas al medio natural después de un tratamiento de este tipo.

4.3.1. Línea operativa de aguas grises³¹

El agua utilizada en usos domésticos contiene principalmente materias orgánicas o sea, enormes moléculas inestables esencialmente carbonatadas que, mediante la acción de las bacterias se transformaran en moléculas más simples, para ello se necesitan importantes cantidades de oxígeno que se encargara de la transformación de estas en materia mineral.

³¹ Las fotografías de la implementación del sistema mencionado en este apartado se las puede observar en el Anexo 7

El sistema de tratamiento aerobio al que se someterán las aguas residuales grises contara con los siguientes procesos:

- Pretratamiento; con el fin de eliminar elementos de mayor tamaño, se ha dispuesto una trampa para grasas como primer paso, evitando la saturación del sistema por el ingreso de este tipo de compuestos.
- Tratamiento primario; con el objetivo de retener las materias sólidas que están en suspensión en el agua a través de filtración en un lecho de ripio de diferente tamaño de poro y que a la vez trabajara como superficie de adherencia de bacterias para el tratamiento biológico.
- Tratamiento secundario; diseñado para eliminar la contaminación carbonatada disuelta en el agua (las materias orgánicas) a través de la acción de bacterias que consumen oxígeno; para crear un medio apropiado al desarrollo de estas bacterias, hay que aportar oxígeno a través de plantas acuáticas asentadas en el lecho de ripio de cada uno de los subsistemas.

El agua tratada a través de esta serie de procesos será dirigida a un sistema adicional de filtrado en medio aerobio junto con el agua resultante del proceso de tratamiento anaeróbico de aguas negras con el fin de darle un tratamiento adicional.

Se deber recordar que el uso final de las aguas tratadas se enfoca a la reutilización de las mismas en la jardinería, razón por la cual se omite cualquier tratamiento de patógenos que puedan presentarse en las aguas ya que no se busca una calidad higiénica lo suficientemente aceptable para el consumo humano de las aguas.

El sistema aerobio está conformado de tres subfases simétricamente iguales que recogen las aguas grises provenientes del uso de la cocina y cuarto de maquinas, como se indicó anteriormente, se cuenta con un capturador de grasas para el agua proveniente de la cocina y el resto del afluente entra de forma directa al sistema.

Cada uno de las subfases está dividido en tres zonas.

- Zona de inundación (ZI).- destinada a la contención del exceso de agua, si la hubiese, como consecuencia de la fluctuación en su uso a lo largo de las horas del día y de los días de la semana, evitando la saturación del sistema y manteniendo el tiempo de retención promedio para cada una de las celdas, por lo tanto la representatividad de este volumen es prescindible.
- Zona de biofiltro (ZB).- es la zona de tratamiento propiamente dicho, en donde se concentran la mayor cantidad de organismos degradadores gracias a las superficies de adherencia (ripió) fijadas a través de mallas galvanizadas de diferentes tamaños de abertura para evitar el paso del ripio hacia la zona siguiente.
- Zona de agua tratada (ZA).- es la zona mas profunda del sistema, donde se acumula el agua que ha pasado por los distintos subsistemas y se moviliza a través de los sistemas de comunicación interna o tuberías hacia los siguientes subsistemas.

Los sistemas se encuentran comunicados a través de tuberías internas en donde el agua se desliza por gravedad en cada subfase y por corrientes de flujos entre sistemas, asegurando que el caudal que ingresa atraviere cada uno de los subfases; la presencia de esta red unitaria facilita la dilución de las aguas residuales y evita los riesgos de malos olores y la aparición de mosquitos; las aguas residuales no aparecen nunca en la superficie por lo que hace posible la instalación de este tipo de sistema en la cercanía de viviendas y la integración en el paisaje no presenta dificultades.

Cada una de las lagunas contiene macrófitos del tipo papiro (*Cyperus papyrus*, caña (*Arundo donax*), malanga (*Colocasia esculenta* Schott) y carrizo (*Phragmites sp*), arraigados en el lecho de ripio, con el fin de ralentizar la corriente, favorecer el sedimento de las materias en suspensión y mantener el sistema parcialmente oxigenado mediante la aportación de oxígeno a nivel de las raíces, los tallos sirven de soporte a cultivos de bacterias.

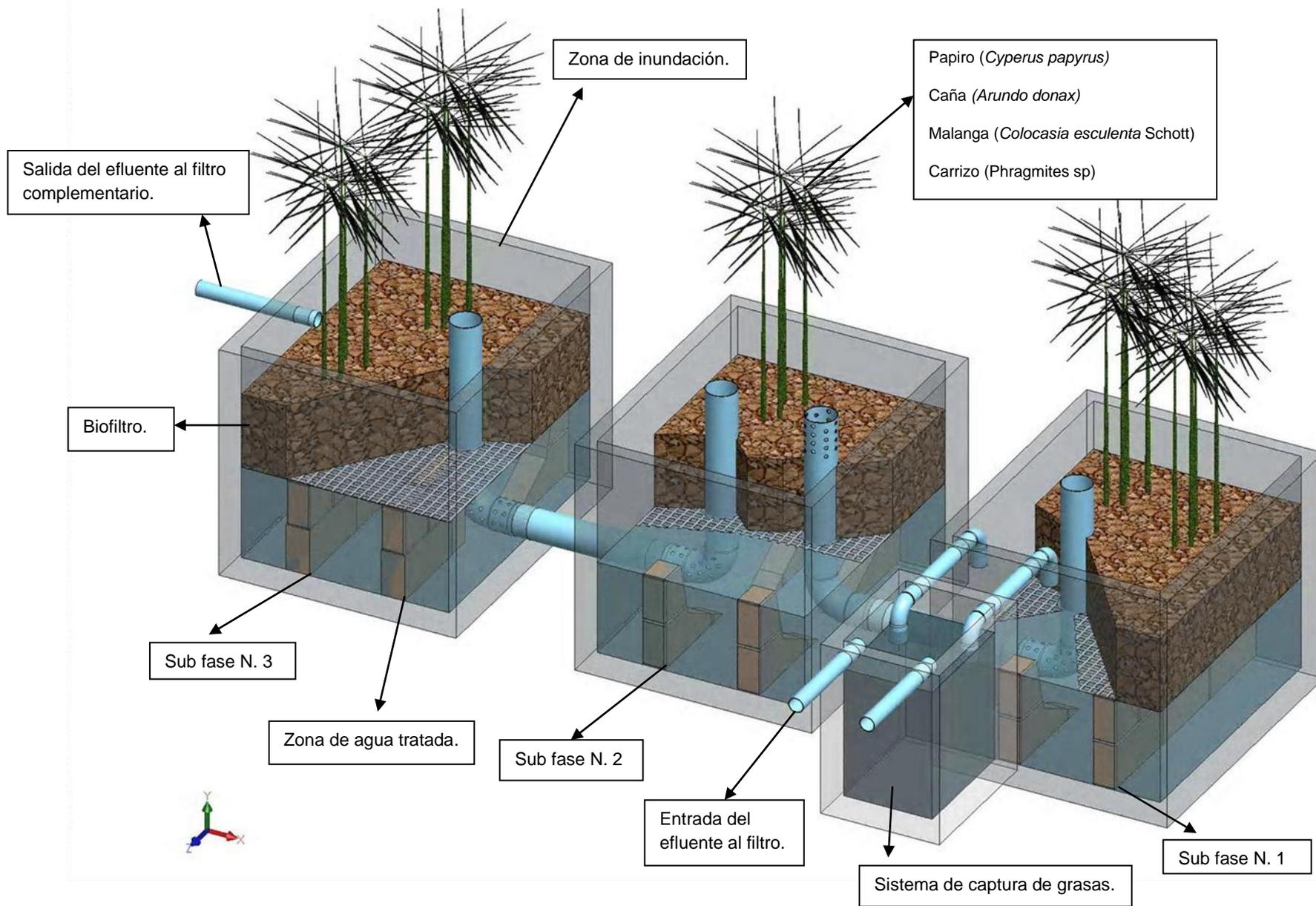
Varios estudios sobre sistemas de tratamiento con lechos de macrófitos o filtros vegetales³² han demostrado que los buenos resultados en la depuración se deben esencialmente a la actividad de las colonias bacterianas fijadas en el sustrato granular. El papel de las plantas acuáticas es predominantemente mecánico, manteniendo la capacidad de infiltración por el movimiento de los tallos y el crecimiento continuado de los rizomas, pero además aportan con una cierta cantidad de oxígeno y de ácidos orgánicos en la zona de las raíces, con lo cual se favorece el desarrollo de las bacterias.

Materiales utilizados en el sistema:

- Cemento
- Ladrillos
- Tubos PVC de 2" y 4"
- Malla galvanizada
- Ripio
- Uniones de tubería (codos)
- Macrófitos acuáticos

³² Tomado de: Izembart, H., 2003, El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales, Editorial Gustavo Gili S.A., España, p. 26-27.

Ilustración 4.1: Línea operativa de aguas grises



Medidas del sistema:

Las medidas de las lagunas para cada una de las tres subfases de la línea de tratamiento aerobio de agua son iguales:

- Ancho 0.80m
- Largo 1.00m
- Profundidad 0.80m

Área total del sistema.

$$A1=0.80m \times 1.00m= 0.80m^2=A2+A3$$

$$ATotal=A1+A2+A3$$

$ATotal= 2.40m^2$

Volumen del sistema

El volumen total del sistema estará definido como la suma de los volúmenes parciales de los tres subsistemas en cada una de las fases.

- Zona de inundación (ZI).

Debido a que esta zona está contemplada para retener el exceso de agua debido a la fluctuación de caudales durante las horas del día, se prescinde de este volumen para futuros cálculos.

- Zona de biofiltro (ZB).

Posee una profundidad de 0.26m. e incluye una franja de ripio que mediante la utilización del principio de Arquímedes se determino ocupa un total del 33.3% del volumen de la zona ZB del sistema.

$$ZB= 0.80m \times 0.26m \times 1.00m= 0.208m^3$$

$$ZB= 0.208m^3 - 0.069m^{3*}= 0.139m^3$$

* Corresponde al 33% del volumen del sistema que es ocupado por el ripio

- Zona de agua tratada (ZA).

$$VZA = 0.80\text{m} \times 0.34\text{m} \times 1.00 = 0.272\text{m}^3$$

Para el cálculo del volumen total del sistema compuesto por tres fases:

$$V1 = 0.272\text{m}^3 + 0.139\text{m}^3 = 0.411\text{m}^3$$

$$V_{\text{Total}} = V1 + V2 + V3$$

$$V_{\text{Total}} = 1.233\text{m}^3$$

Área de asentamiento de microorganismos

Corresponde al área total donde los microorganismos se adhieren dentro de los sistemas, para determinar el área de asentamiento de los microorganismos sobre el biofiltro de ripio, se toma una muestra representativa del material utilizado (465 piedras de ripio) en un volumen de agua (0.002m³), determinado un área promedio (0.06 * 0.04m = 0.0024m²) y calculando el área total de la muestra.

- Área promedio	0.0024 m ²
- Tamaño de muestra	465
- Área total de la muestra	1.116 m ²

Se calcula el área de asentamiento a través de la relación existente entre el área total de la muestra en un volumen determinado de agua, con el volumen que ocupa el ripio en cada uno de los subsistemas.

- Área total de la muestra	1.116 m ²
- Volumen de la muestra	0.002 m ³
- Volumen ocupado por el ripio en cada subsistema	0.069 m ³
- Área de asentamiento en la Fase 1 AS1	38.50 m ²

De esta manera se obtiene un resultado que corresponde al área de asentamiento en la subfase 1 de la línea aerobia, el área de asentamiento total se deriva de la suma de las aéreas de asentamiento de cada uno de los subsistemas que se asume como iguales para las tres fases.(AS1=AS2=AS3)

$$AT_{\text{asentamiento}} = AS1 + AS2 + AS3$$

$AT_{\text{asentamiento}} = 115.51 \text{ m}^2$

4.3.2. Línea operativa de aguas negras³³

Consta de un biodigestor de forma horizontal construido de polietileno altamente resistente de marca Plastigama (llamado biotanco séptico), hermético e impermeable para evitar producir desequilibrios en las fases de digestión anaerobio y ayudara a que los microorganismos no sufran estrés por la incorporación de oxígeno- O₂, dentro del cual fluirá el material orgánico a fermentar (excretas humanas) en determinada dilución de agua, la disposición del biodigestor será bajo tierra, con el fin de mantener temperaturas constantes dentro de este y reducir al máximo el impacto visual que el sistema pueda ocasionar.

Dentro del biodigestor se dispondrá de tres tabiques construidos de ladrillos dispuestos de forma perpendicular al tanque, cumpliendo varias funciones como crear movimientos tanto descendentes como ascendentes dentro del sistema para así mejorar los tiempos de retención del efluente, lo cual permite el crecimiento de microorganismos anaerobios mejorando la superficie de contacto entre éstos y el efluente a ser tratado y de esta manera disminuye significativamente la carga orgánica presente.

En la parte central, el biodigestor cuenta con disipadores de velocidad, dispositivos que cumplen la función de disminuir la velocidad del agua en tratamiento para mejorar el tiempo de retención y disipar la energía de flujo

³³ Las fotografías de la implementación del sistema mencionado en este apartado se las puede observar en el Anexo 7

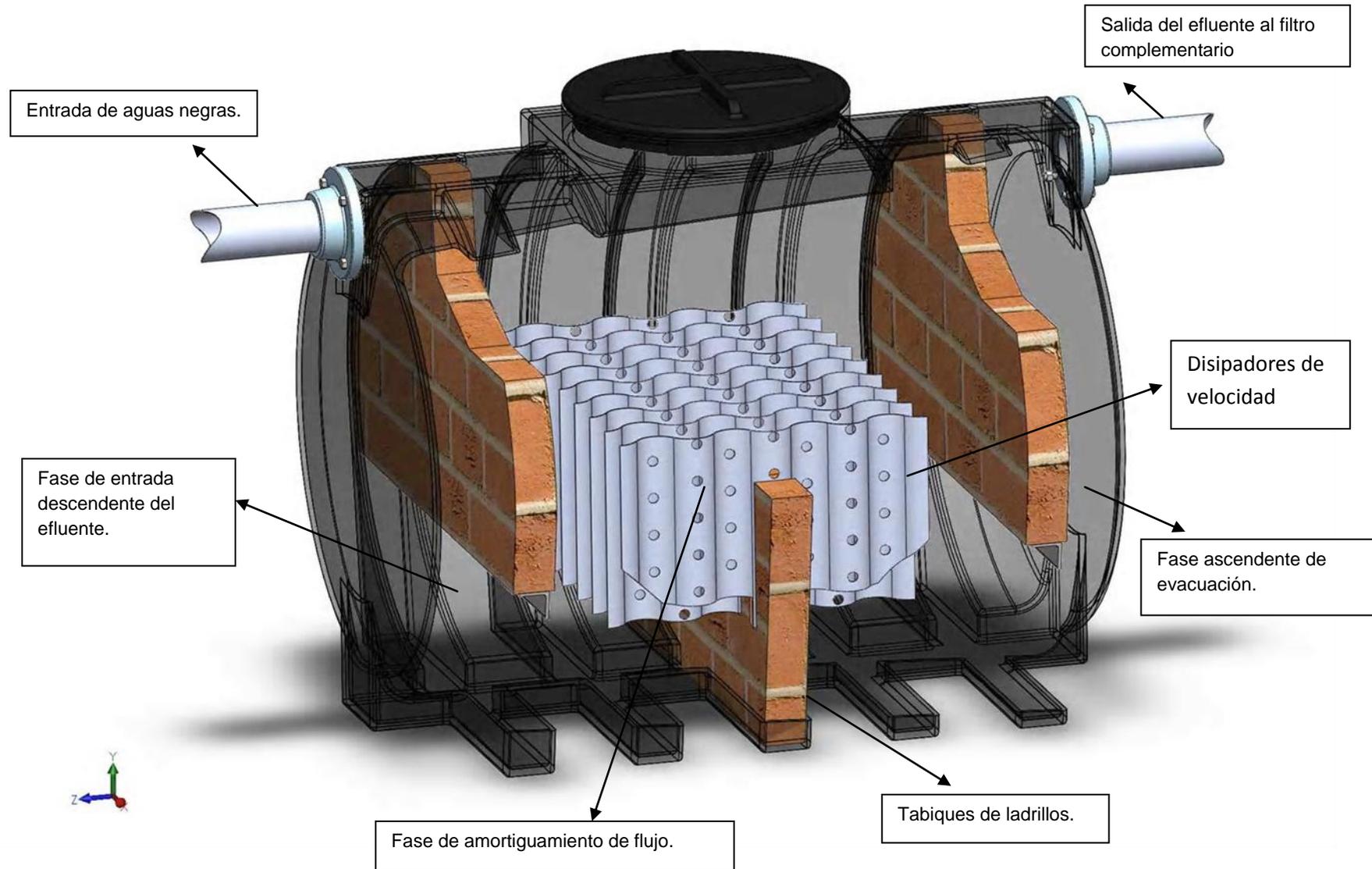
tanto ascendente como descendente, estos disipadores están contruidos de planchas plásticas onduladas para techo divididas en tres partes iguales y con agujeros en toda su superficie, superpuestas en el tabique central.

Una vez que el afluente pase por todas las fases del biodigestor es dirigido a un sistema adicional de filtrado en medio aerobio junto con el agua resultante de la línea de tratamiento aeróbico de aguas grises con el fin de darle un tratamiento adicional.

Materiales:

- Biotanque séptico 1200 litros de capacidad
- Tubos PVC 4"
- Bidas, pernos, rodela y tuercas para tanque séptico
- Planchas plásticas para techo
- Ladrillos
- Cemento

Ilustración 4.2: Línea operativa de aguas negras.



Medidas del sistema

- Ancho 1.108m
- Largo 1.544m
- Profundidad 1.201m

Área del sistema

$$A = 1.108\text{m} \times 1.544\text{m}$$

$$A = 1.7108\text{m}^2$$

Volumen del sistema.

$$V \text{ teórico} = 1.2\text{m}^{3*}$$

* Volumen esperado de acuerdo a las especificaciones técnicas de fabricación del tanque bioseptico

Plastigama

Área de asentamiento de microorganismos

Corresponde al área total donde los microorganismos se adhieren dentro del sistema. Para determinar el área de asentamiento de los microorganismos sobre los tabiques:

- Ancho 0.20m
- Largo 0.34m
- Numero de ladrillos 60

$$A = (0.20\text{m} \times 0.34\text{m}) * 60$$

$$A = 4.08 \text{ m}^2$$

4.3.3. Sistema de biofiltros complementario³⁴

Diseñado para acoger las aguas resultantes de los sistemas de tratamiento aerobio y anaerobio, aplicando el mismo principio de aerobidad de las lagunas de estabilización con presencia de macrófitos implementado en el sistema de tratamiento de aguas grises.

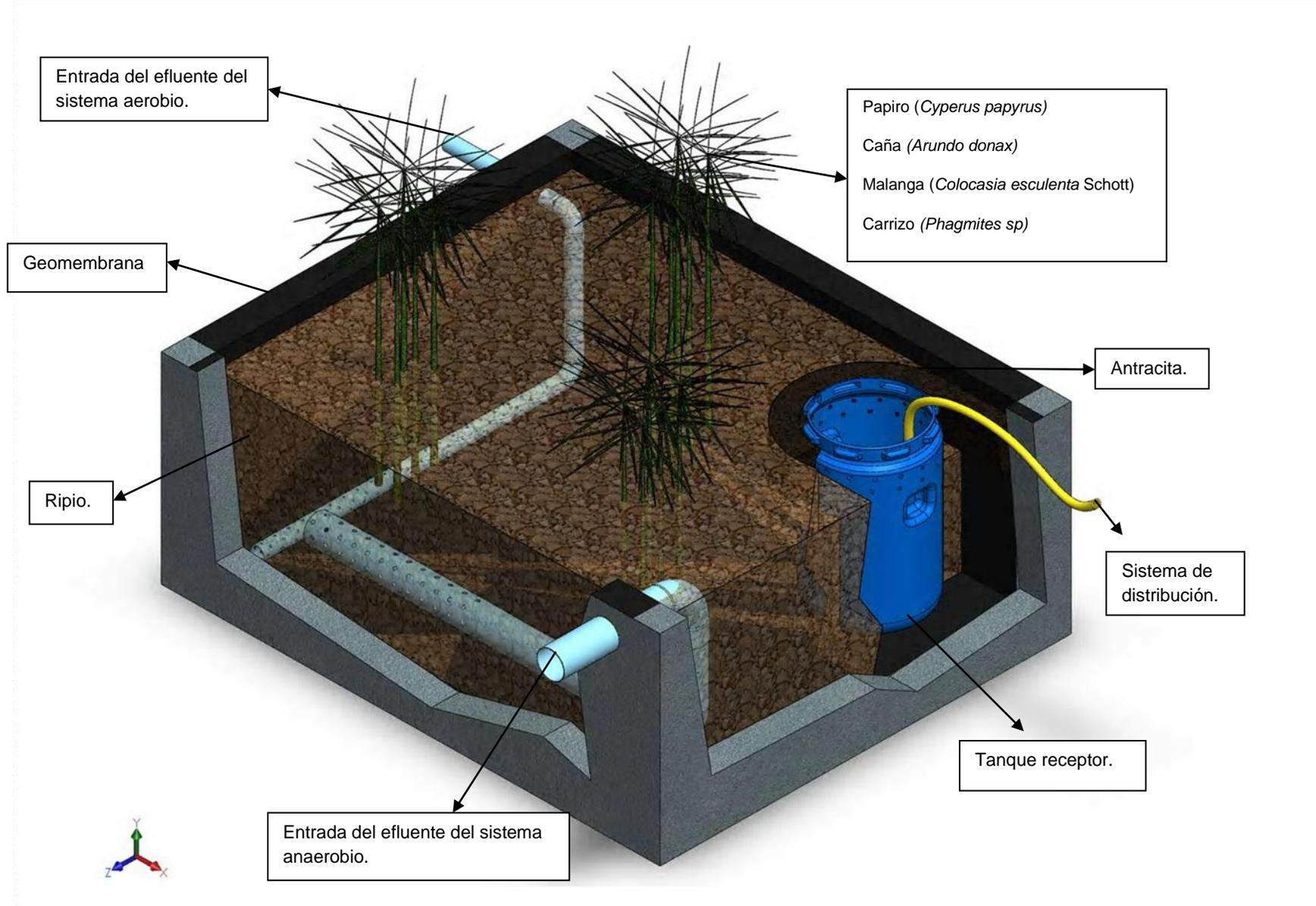
Esta zona de tratamiento final tiene como objetivo extender el tiempo de retención del agua proveniente de cada uno de los sistemas aerobios y anaerobios, brindar un tratamiento adicional aerobio para un mayor porcentaje de descontaminación de las aguas y mejorar ciertos parámetros de salida como el olor de las aguas gracias a un filtro de antracita dispuesto junto al tanque receptor que proveerá de las aguas tratadas al sistema de distribución.

Materiales:

- Tubos PVC de 2" y 4"
- Geomembrana de recubrimiento
- Ripio
- Macrófitos acuáticos

³⁴ Las fotografías de la implementación del sistema mencionado en este apartado se las puede observar en el Anexo 7

Ilustración 4.3: Sistema de biofiltros complementario.



Medidas del sistema:

- Ancho	1.50m
- Largo	1.82m
- Profundidad	0.75m

Área del sistema.

$$A = 1.5\text{m} \times 1.82\text{m}$$

$$A = 2.73\text{m}^2$$

Volumen del sistema.

$$V = 1.5\text{m} \times 1.82\text{m} \times 0.75\text{m}$$

$$V = 2.04\text{m}^3$$

Mediante la utilización del principio de Arquímedes se determinó que el ripio ocupa un total del 33.3% del volumen de la zona del sistema.

$$V_{\text{Total}} = 2.04\text{m}^3 - 0.68\text{m}^3*$$

$$V_{\text{Total}} = 1.36\text{m}^3$$

* Corresponde al 33% del volumen del sistema que es ocupado por el ripio

Área de asentamiento de microorganismos.

Se calcula el área de asentamiento a través de la relación existente entre el área total de la muestra tomada en un volumen determinado de agua, con el volumen que ocupa el ripio en este sistema.

- Área total de la muestra	1.116 m ²
- Volumen de la muestra	0.002 m ³
- Volumen ocupado ripio en esta fase	0.680 m ³

$$A_{\text{Asentamiento}} = 379.44 \text{ m}^2$$

4.3.4. Sistema de distribución³⁵

Consiste en una boya sumergible de dos pulgadas de capacidad, la cual se conecta a un sistema de riego por aspersión a un área de jardín de 700 m².

Ilustración 4.4: Sistema de distribución de aguas tratadas



Boya sumergible.

Llaves de paso.

Fuente: Autores, 2010.

Materiales:

- Tanque plástico azul de 250 litros.
- Bomba de 1 HP y boya sumergible
- Un aspersor.
- Tres llaves de paso de ½ pulgada.
- 30 m de manguera.

4.4. Métodos de valoración

Aun cuando el acceso a agua potable y alcantarillado es restringido para ciertos lugares del área de estudio, la distribución del agua contribuye a la generación de grandes volúmenes de agua residual cuya descarga final, pueden ser las mismas fuentes de abastecimiento.

³⁵ Las fotografías de la implementación del sistema mencionado en este apartado se las puede observar en el Anexo 7

De esta manera se justifica la importancia del muestreo de las aguas resultantes de los sistemas de tratamiento, con el fin de determinar la calidad de agua bajo los parámetros de medición que se explicaran más adelante.

4.4.1. Valoración química

Parámetros de control en el laboratorio

Debido a que la Legislación Ecuatoriana no contempla normativa referente al nivel de contaminación en las descargas de aguas de uso domestico, se tomara como referencia la utilización de parámetros incluidos en el anexo “*Guía orientativa de los parámetros de descarga a analizarse.- Anexo D Ordenanza 213*”, para determinar la calidad de aguas, estas son Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO, Demanda Química de Oxigeno DQO, Nitrógeno total N, Fosfatos $(PO_4)^{3-}$, sólidos suspendidos SS y pH y los límites permisibles para descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce incluidos en el *Libro VI Anexo I, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador*, tomados como criterios generales de descarga de efluentes aunque no sea específicamente una norma técnica para descarga de aguas residuales domiciliarias.

4.4.2. Valoración biológica

La presencia de organismos vivos en las aguas residuales es de vital importancia ya que los métodos de tratamiento escogido se basan en el efecto de la acción biológica.

Los análisis de las aguas residuales para el estudio de la vida biológica comprenden exámenes microscópicos con el fin de identificar colonias de bacterias presentes en ellas y exámenes hidrobiológicos para facilitar la determinación de la contaminación de los efluentes a través de indicadores macroscópicos de saprobiedad bajo el sistema de Kolkwitz & Marson.

4.4.3. Operaciones de muestreo

El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del agua residual para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas y biológicas de interés. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis. (Ruilova D., 2008)

Se realiza muestreos manuales de tipo puntual en cada una de las fases de los sistemas de tratamiento de aguas ya que la composición de la fuente es relativamente constante para el lugar, tiempo y circunstancias particulares, véase *Anexo 9*. Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis, el volumen del material captado se almacena en envases plásticos adecuadamente temperados para luego ser transportado a Gruentec Cia Ltda, laboratorio que realizó los análisis respectivos.

Las muestras serán utilizadas para la determinación de los siguientes componentes de las aguas residuales:

Cuadro 4.1: Sitio de muestreo en el sistema y análisis químicos aplicables

SITIO DE MUESTREO	ANALISIS A REALIZAR (mg/L)
Sistema de captura de grasas (SCG01)	DBO, DQO, Nitrógeno total, Fosfatos, Sólidos suspendidos.
Fase 3 Sistema aerobio (F3SA01)	DBO, DQO, Nitrógeno total, Fosfatos, Sólidos suspendidos.
Fase anaerobia (FASAN01)	DBO, DQO, Nitrógeno total, Fosfatos, Sólidos suspendidos.
Tanque receptor de distribución (TRdD01)	DBO, DQO, Nitrógeno total, Fosfatos, Sólidos suspendidos.

Elaborado por: Autores, 2010.

Para la identificación de microorganismos presentes en las aguas residuales, las muestras tomadas se procesan bajo varios métodos de laboratorio realizado por los autores véase *Anexo 10*.

Cuadro 4.2: Sitios de muestreo en el sistema y análisis biológicos aplicables

SITIO DE MUESTREO	ANALISIS A REALIZAR
Fase 1 Sistema aerobio (P1)	Conteo UFC's, tinción de gram, para identificación de microorganismos.
Fase 2 Sistema aerobio (P2)	Conteo UFC's, tinción de gram, para identificación de microorganismos
Fase 3 Sistema aerobio (P3)	Conteo UFC's, tinción de gram, para identificación de microorganismos
Filtro complementario (BF1)	Conteo UFC's, tinción de gram, para identificación de microorganismos
Tanque receptor final (TF1)	Conteo UFC's, tinción de gram, para identificación de microorganismos
Fase anaerobia (I)	Conteo UFC's, tinción de gram, para identificación de microorganismos

Elaborado por: Autores, 2010.

Con el fin de determinar parámetros básicos de control, se realiza muestreos en el Rio San Pedro para los mismos análisis de valoración química y biológica que el sistema combinado de tratamiento de aguas, véase *Anexo 9*. El sitio de muestreo se determino en base a la disponibilidad de acceso a un lugar adecuado para los muestreos, véase *Anexo 8*.

Cuadro 4.3: Sitio de muestreo en el río San Pedro y análisis químicos aplicables

SITIO DE MUESTREO	ANALISIS A REALIZAR (mg/L)
Rio San Pedro	DBO, DQO, Nitrógeno total, Fosfatos, Sólidos suspendidos.

Elaborado por: Autores, 2010.

Cuadro 4.4: Sitios de muestreo en el Río San Pedro y análisis biológicos aplicables

SITIO DE MUESTREO	ANALISIS A REALIZAR
Muestra superficial (MS)	Conteo UFC's, tinción de gram, prueba de oxidasas para identificación de microorganismos, escala de saprobios.
Muestra profunda (MP)	Conteo UFC's, tinción de gram, prueba de oxidasas para identificación de microorganismos, escala de saprobios

Elaborado por: Autores, 2010.

4.4.4. Tiempos de retención

El tiempo de retención describe el tiempo en el que un volumen de agua residual se encuentra almacenado en los sistemas de tratamiento aplicados, la importancia radica en que un tiempo de retención adecuado nos permite la degradación biológica de la materia orgánica de forma total o parcial en materia mineral.

La base para el cálculo de los tiempos de retención de cada uno de los sistemas está determinada por la capacidad de los mismos y los volúmenes de uso de agua por parte de los habitantes.

Cuadro 4.5: Consumo de agua diario del usuario.

FINES DE USO	LITROS POR DIA
Duchados	600
Inodoros	100
Lavado de dientes	9.3
Lavado de cara	1
Cocción de alimentos	10
Lavado de ropa	90
Lavaplatos	20
TOTAL CONSUMO	830.3

Elaborado por: Autores, 2010.

Para determinar el tiempo de retención en el sistema de tratamiento de aguas negras en el filtro anaerobio:

Cuadro 4.6: Tiempo de retención del sistema anaerobio de tratamiento de aguas.

Volumen de aguas negras evacuado	0.7 m ³	
Capacidad del biofiltro anaerobio	1.2 m ³	
Tiempo de retención en el biofiltros	41 horas	
Capacidad filtro complementario	1.36 m ³	
TIEMPO DE RETENCION FINAL	55.1 horas	2.3 días

Elaborado por: Autores, 2010.

Para determinar el tiempo de retención en el sistema de tratamiento de aguas grises:

Cuadro 4.7: Tiempo de retención del sistema aerobio de tratamiento de aguas.

Volumen de aguas grises evacuadas	0.13 m ³	
Capacidad de sistema aerobio	1.2 m ³	
Tiempo de retención en el sistema aerobio	288 horas	
Capacidad filtro complementario	1.36 m ³	
TIEMPO DE RETENCION FINAL	312.9 horas	13 días

Elaborado por: Autores, 2010.

CAPITULO V

5. Resultados

5.1. Población objeto

Para el año 2001, en la parroquia de Tumbaco se contabilizó un total de 38498 habitantes, con un promedio de 9625 casas. Para el año 2010, y con una tasa de crecimiento de 1,39%, se proyecta una población de 43591 habitantes y un total de viviendas de 10898.

Sin embargo la zona periférica, que es en donde se encuentra asentada la urbanización de la Viña, cuenta con un total de 27786 habitantes y un número total de casas igual a 6947. Dadas las características de la planta que se implementa en la presente propuesta, la zona periférica de Tumbaco es de nuestro mayor interés, ya que poseen similitud en las condiciones necesarias para el emplazamiento de la planta que en el sitio utilizado para este proyecto piloto.

5.1.1. Niveles de evacuación de aguas domiciliarias de la población de Tumbaco

Según los estudios realizados, se estableció que una familia promedio de la zona usa un total de 830.3 litros diarios (0.8m^3) de agua para sus actividades normales, de los cuales 130.3 litros (0.13m^3) por día corresponden a la descarga de aguas definidas como grises y 700 litros (0.7m^3) por día corresponden a la descarga de aguas negras.

Según los datos de la Administración Zonal Tumbaco las zonas periféricas de Tumbaco que se benefician con el acceso a la red de alcantarillado municipal, corresponden al 22,2% de las viviendas de la zona, la cual en su totalidad evacua al Río San Pedro.

Esto quiere decir que en la actualidad 1528 viviendas evacuan un volumen de aguas servidas de 1223 m^3 . a la red de alcantarillado y por ende al Río San Pedro como cuerpo receptor diariamente

5.1.2. Características físico-químicas de las aguas domiciliarias de las viviendas de la zona periférica de Tumbaco

En nuestros estudios se separaron las aguas domiciliarias en dos tipos de aguas servidas: aguas grises propiamente dichas y aguas negras. En nuestro caso se consideró como aguas grises a las aguas procedentes de cocina y de lavandería, las aguas negras a todas las aguas procedentes de inodoros y duchas.

Cuadro 5.8: Características físico químicas de las aguas grises

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NITROGENO TOTAL (mg/L)	FOSFATOS (mg/L)	SS (mg/L)	PH
Sistema de captura de grasas (SCG01)	700	420	4	5.9	134	7
Fase 3 Sistema aerobio (F3SA01)	320	192	6	17	54	7

Elaborado por: Autores, 2010.

Cuadro 5.9: Características físico químicas de las aguas negras

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NITROGENO T (mg/L)	FOSFATOS (mg/L)	SS (mg/L)	PH
Fase anaerobia (FASAN01)	500	300	62	22	244	7

Elaborado por: Autores, 2010.

5.2. Parámetros de operación de los sistemas

5.2.1. Línea operativa de aguas grises

Sistema de captura de grasas: recibe diariamente las aguas procedentes de cocina y lavandería. Esta fase como su nombre lo indica, captura todos los componentes lípidos y ciertas partículas suspendidas cuyos pesos moleculares les permite sedimentarse Véase Anexo 6.

- *Líneas de acceso:* Dos líneas, la primera es de 2" de diámetro procedente del sistema de maquinas y otra de 2" procedente de la cocina.
- *Volumen operativo:* Esta unidad tiene un volumen operativo de es de 0,216m³. Cabe destacar que cada 6 meses es necesario recuperar las grasas retenidas por seguridad, ya que podrían darse procesos de obstrucción del sistema que podrían que en nuestro caso son dos tubos de 2" cada uno. Se colocaron dos tubos por seguridad en caso de obstrucción, el otro tubo es mantiene funcionando el sistema.
- *Área operativa:* Esta unidad tiene un área operativa de 0,36m².
- *Líneas de evacuación:* Se colocaron 2 tubo de dos pulgadas para garantizar el flujo de caudal.
- *Físico-química de aguas* Cabe indicar que los datos tomados de este sistema fueros tomados en cuenta ya como parámetros físico químicos en

estado virgen, por la razón en que es esta fase las aguas mantienen las características físico-químicas de origen.

Cuadro 5.10: Características físico- químicas de las aguas grises en el sistema de captura de grasas

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NITROGENO TOTAL (mg/L)	FOSFATOS (mg/L)	SS (mg/L)	PH
Sistema de captura de grasas	700	420	4	5.9	134	7

Elaborado por: Autores, 2010.

- *Área de biodigestion bacteriana:* En esta fase, dado el escaso tiempo de retención que experimentan las aguas grises, no es digno de considerar el aporte que pueda dar el metabolismo bacteriano dentro de los procesos de digestión de las bacterias disueltas en las aguas grises, por tal razón no incluimos procedimientos que permitan el alojamiento de bacterias.
- *Microbiología del sistema:* Por lo dicho en el párrafo anterior, no se considera tomar muestras para cultivos bacterianos en esta fase.

Fase de tratamiento aerobio de aguas grises: conforme se vio en el grafico 4.1, la fase de tratamiento aerobio de aguas grises consta de 3 subfases a las cuales se les asigno una nomenclatura anteriormente. En cada una de las subfases de esta línea operativa se adecuo un área de alojamiento para microorganismos, que consiste en un horizonte de ripio que ocupa el 33.3% del volumen total de la subunidad.

Al tiempo que este horizonte de ripio sirve de alojamiento de la microflora bacteria responsable de los procesos de biodigestion aeróbica sirve también para el enraizamiento de macrófitos anfibios. Para lo cual, se escoge representantes de cuatro grupos de macrófitos que se sabe, crecen con éxito

en la zona de Tumbaco, entre ellos, papiro (*Cyperus papyrus*), caña (*Arundo donax*), malanga (*Colocasia esculenta* Schott) y carrizo (*Phragmites sp.*).

Ilustración 5.5 Tipos de macrófitos acuáticos usados en el sistema



Papiro (*Cyperus papyrus*)



Caña (*Arundo donax*)



Malanga (*Colocasia esculenta* Schott)



Carrizo (*Phragmites sp.*)

Elaborado por: Autores, 2010.

La función de los macrófitos acuáticos en el sistema es:

- Proveer de aire al sistema ya que los sistemas radiculares de estas plantas penetran todo el espesor del horizonte de ripio, acondicionando física y químicamente al sistema, lo que garantiza la operación aerobia del sistema.
- Los macrófitos asimilan dentro de su metabolismo, las fracciones mineralizadas (nitratos, nitritos, fosfatos), provenientes de la

transformación de los materiales orgánicos suspendidos en las aguas (lípidos, organofosforados, proteínas, entre otras), debido a la actividad de los microorganismos aerobios alojados dentro del sistema.

Subfase 1

- *Líneas de acceso:* Dos líneas procedentes de las fases de captura de grasas, dos tubos de 2" de diámetro.
- *Volumen operativo:* El volumen que ocupa esta subfase es de 0.411m^3 .
- *Área operativa:* La subfase ocupa un área total de 0.80m^2 .
- *Líneas de evacuación:* Consiste en un sistema de paso de profundidad de un volumen equivalente a las entradas (tubo PVC 4 "). El sistema de evacuación de profundidad garantiza el flujo de los caudales a través del horizonte de ripio garantizando el contacto del agua con las poblaciones de microorganismos alojados en el horizonte.
- *Físico-química de aguas:* Para esta fase no se hizo muestreo de aguas dado que los resultados no representan a la físico-química de todo el sistema; sin embargo, como bioindicación de los procesos de mineralización se tiene el grado de desarrollo de los macrófitos acuáticos donde se evidencia un grado de desarrollo menor de los papiros en comparación con el grado de desarrollo de los mismos en la fase subsiguiente, véase Anexo 7, lo que indica que el grado de mineralización de los materiales orgánicos contenidos en las aguas tratadas en la subfase 1 es evidentemente menor al grado de mineralización de los materiales orgánicos contenidos en las aguas tratadas en la subfase 2.
- *Área de biodigestión bacteriana:* Debido a la presencia de ripio y de los macrófitos acuáticos en la presente subfase, el área corresponde a 38.50m^2
- *Microbiología del sistema:* Los resultados de los análisis microbiológicos en esta subfase se encuentran en detalle en el Anexo 11.

Subfase 2:

- *Líneas de acceso:* Consiste en un sistema de paso de profundidad de un volumen equivalente a las entradas (tubo PVC 4 “).
- *Volumen operativo:* El volumen que ocupa esta subfase es de 0.411m^3
- *Área operativa:* La subfase ocupa un área total de 0.80m^2 .
- *Líneas de evacuación:* Consiste en un sistema de paso de profundidad de un volumen equivalente a las entradas (tubo PVC 4 “).
- *Físico-química de aguas:* Al igual que en la subfase anterior no se hizo muestreo de aguas dado que los resultados no representan a la físico-química de todo el sistema. El grado de desarrollo de los papiros es mucho mayor que en la subfase anterior. Véase Anexo 7.
- *Área de biodigestión bacteriana:* Es igual a la subfase 1.
- *Microbiología del sistema:* Los resultados de los análisis microbiológicos en esta subfase se encuentran en detalle en el Anexo 11.

Subfase 3:

- *Líneas de acceso:* Consiste en un sistema de paso de profundidad de un volumen equivalente a las entradas (tubo PVC 4 “).
- *Volumen operativo:* El volumen que ocupa esta subfase es de 0.411m^3
- *Área operativa:* La subfase ocupa un área total de 0.80m^2 .
- *Líneas de evacuación:* Consiste en un sistema de paso de efluente hacia el filtro complementario (tubo PVC 2 “).
- *Físico-química de aguas:* Los datos resultantes de esta subfase son considerados como los parámetros físico-químicos finales del sistema aerobio de tratamiento de aguas grises.

Cuadro 5.11: Características físico-químicas de las aguas grises de la subfase3.

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NITROGENO TOTAL (mg/L)	FOSFATOS (mg/L)	SS (mg/L)	PH
Fase 3 Sistema aerobio (F3SA01)	320	192	6	17	54	7

Elaborado por: Autores, 2010.

- *Área de biodigestion bacteriana:* Es Igual a las subfases anteriores.
- *Microbiología del sistema:* Los resultados de los análisis microbiológicos en esta subfase se encuentran en detalle en el Anexo 11.

5.2.2. Línea operativa de aguas negras

Para la implementación de esta línea se adaptó un tanque cisterna con capacidad para 1.2 m³ de fabricación nacional hecho de polietileno de alta resistencia, el mismo que es propuesto en el mercado nacional como “biotanque séptico”. A este tanque se le hicieron observaciones, las mismas que permitieron hacer las correspondientes adaptaciones que aportaron al objetivo de diseño, el mismo que se puede observar en el gráfico 4.2.

Por lo tanto, la línea operativa de aguas negras consiste en un biorreactor compuesto de las siguientes subfases:

Fase de entrada descendente:

En esta fase se encuentra el ingreso al sistema que consta de un tubo PVC de 4”, delimitada físicamente con un tabique consistente en un media luna de ladrillos que corta el sistema en la mitad superficial, logrando que los líquidos que ingresan al sistema tengan una dirección

de flujo desde la superficie hacia el fondo, logrando que hayan procesos de retención del lípidos a nivel superficial antes del tabique.

Fase de amortiguamiento de flujo:

La operación de esta fase está determinada por la implementación de un segundo tabique consistente en una media luna de ladrillos colocada en la mitad inferior del cilindro. Sobre el tabique, transversalmente se colocaron nueve laminas obtenidas de planchas plásticas onduladas para techo cuyo objetivo es disipar la energía de flujo, tanto ascendente como descendente dentro del sistema, optimizando tanto el tiempo de retención de los líquidos como el periodo de contacto entre los microorganismos existentes en él, con los sólidos orgánicos disueltos y/o suspendidos en las aguas a tratarse. Durante los periodos de flujo ascendente dentro del biofiltros ocurren procesos de sedimentación de sólidos suspendidos delante del tabique.

Fase ascendente de evacuación:

Esta fase está determinada por la presencia de un tercer tabique el mismo que consiste en una media luna de ladrillos dispuesta en la mitad superior del cilindro, lográndose con esto un flujo ascendente de evacuación de las aguas del sistema. Los procesos de sedimentación de sólidos suspendidos y disueltos en las aguas existen en menor grado si lo comparamos con la fase anterior.

- *Líneas de acceso:* Consiste en un sistema de entrada superficial (tubo PVC 4").
- *Volumen operativo:* El volumen que ocupa esta subfase es de 1.2m^3
- *Área operativa:* El área total es de 1.71m^2 .
- *Líneas de evacuación:* Consiste en un sistema de paso de efluente superficial hacia el filtro complementario (tubo PVC 4").

- *Físico-química de aguas:* Los datos resultantes de esta línea operativa son los que se muestran a continuación.

Cuadro 5.12: Características físico-químicas de las aguas negras en el biodigestor.

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NITROGENO TOTAL (mg/L)	FOSFATOS (mg/L)	SS (mg/L)	PH
Fase anaerobia (FASAN01)	500	300	62	22	244	7

Elaborado por: Autores, 2010.

- *Área de biodigestion bacteriana:* Debido a la presencia de los tabiques de ladrillos el área corresponde a 4.08m^3 .
- *Microbiología del sistema:* Los resultados de los análisis microbiológicos de esta línea operativa se encuentran en detalle en el Anexo 11.

5.2.3. Sistema de biofiltros complementario.

- *Líneas de acceso:* Dos líneas procedentes de las fases aerobia y anaerobia de tratamiento de aguas. Tubos de 2" y 4" de diámetro respectivamente.
- *Volumen operativo:* El volumen que ocupa este sistema es 1.36m^3 .
- *Área operativa:* El sistema ocupa un área total de 2.73m^2 .
- *Líneas de evacuación:* Consiste en un tanque plástico de 250 litros que recibe las aguas tratadas para ser enviado al sistema de distribución.
- *Físico-química de aguas:* No se hizo muestreo de aguas dado que los resultados serán evidenciados en el tanque plástico de recepción de aguas tratadas.

- *Área de biodigestión bacteriana:* debido a la presencia de ripio y de los macrófitos acuáticos en el presente sistema, el área corresponde a 379.44m²

Microbiología del sistema: Los resultados de los análisis microbiológicos en esta subfase se encuentran en detalle en el Anexo 11

5.2.4. Tanque de recepción final y de distribución de aguas tratadas

Este tanque almacena las aguas ya tratadas que proceden del sistema Biofiltro complementario, cabe anotar que posee un sistema de distribución de encendido automático que permite liberar el agua hacia los jardines a través de los aspersores.

Cuenta con un anillo de antracita dispuesto en el borde del tanque con el objetivo de reducir la concentración de olores que podrían causar molestias.

- *Líneas de acceso:* El agua tratada ingre al tanque de recepción mediante agujeros situados en la parte superior del mismo.
- *Líneas de evacuación:* Consiste en un sistema automático de riego por aspersión.
- *Físico-química de aguas:* Los datos resultantes de este sistema son tomados en cuenta como los resultados finales del sistema combinado de tratamiento de guas residuales los cuales se muestran a continuación.

Cuadro 5.13: Características físico-químicas de las aguas en el tanque de recepción.

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NITROGENO TOTAL (mg/L)	FOSFATOS (mg/L)	SS (mg/L)	PH
Tanque receptor de distribución (TRdD01)	85	51	39	20	33	7

Elaborado por: Autores, 2010.

- *Microbiología del sistema:* Los resultados de los análisis microbiológicos en esta subfase se encuentran en detalle en el Anexo 11.

5.2.5. Área total de emplazamiento del sistema

Cuadro 5.14: Área total de emplazamiento del sistema

Unidad operativa	Áreas operativas (m ²)	
Línea aerobia	Capturador de grasas	0.36
	Subfase 1	0.80
	Subfase 2	0.80
	Subfase 3	0.80
Línea anaerobia	1.71	
Filtro complementario	2.73	
Total	7.20	

Elaborado por: Autores, 2010.

5.2.6. Volumen total del sistema**Cuadro 5.15: Volumen total del sistema**

Unidad operativa		Volúmenes operativos (m ³)
Línea aerobia	Capturador de grasas	0.22
	Subfase 1	0.41
	Subfase 2	0.41
	Subfase 3	0.41
Línea anaerobia		1.2
Filtro complementario		1.36
Total		4.01

Elaborado por: Autores, 2010.

5.2.7. Tiempo de retención del sistema**Cuadro 5.16: Tiempo de retención del sistema.**

Unidad operativa	Tiempo de retención (días)
Línea aerobia	13
Línea anaerobia	2.3
Total	15.3

Elaborado por: Autores, 2010.

5.2.8. Área total de emplazamiento de las bacterias dentro del sistema

Cuadro 5.17: Área total de emplazamiento de las bacterias dentro del sistema.

Unidad operativa		Área emplazamiento (m ²)
Línea aerobia	Capturador de grasas	-
	Subfase 1	38.50
	Subfase 2	38.50
	Subfase 3	38.50
Línea anaerobia		4.08
Filtro complementario		379.44
Total		499.02

Elaborado por: Autores, 2010.

5.3. Análisis comparativos químicos del interior del sistema

5.3.1. Hidrobiología general

Mediante el uso de una escala de valoración adaptada de Kolkwitz & Marson en el presente estudio se logra plasmar una matriz de valoración, generado cuatro niveles de valoración de calidad de aguas para el río San Pedro a denominarse:

- Nivel polisapróbico
- Nivel α mesosapróbico
- Nivel β mesosapróbico
- Nivel oligosapróbico

En nuestro caso la identificación de estos niveles se sustenta básicamente en los siguientes bioindicadores: índice bacteriano, índice de protozoarios, índice de diatomeas, índice de poliquetos. Se ha tomado en cuenta estos bioindicadores dada la representatividad de su presencia en el cuerpo receptor (Río San Pedro). Lo dicho se puede observar en la Tabla 5.4.

Por lo tanto y basados en los análisis anteriormente citados, se clasifica al Río San Pedro como una zona con calidad de aguas igual al nivel β mesosapróbico, es decir que son aguas moderadamente contaminadas que aún tienen la capacidad de regeneración si se evita aumentar la carga contaminante ya existente.

Tabla 5.4: Criterios de clasificación en la escala de saprobios para el río San Pedro.

Zonas	Sustancias orgánicas complejas	Índice bacteriano	Índice de protozoarios	Hongos	Oxígeno Disuelto	DBO	Diatomeas	Poliquetos
Polisaprobia	XXXX	XXXX	XXX	XXXX	X	XXXX	-	X
α Mesosaprobia	XXX	XXX	XX	XXX	XX	XXX	X	XX
β Mesosaprobia	XX	XX	X	XX	XXX	XX	XX	XXX
Oligosaprobia	X	X	-	X	XXXX	X	XXX	XX

Fuente: Ruilova, D., 2008.

Criterios de valoración:

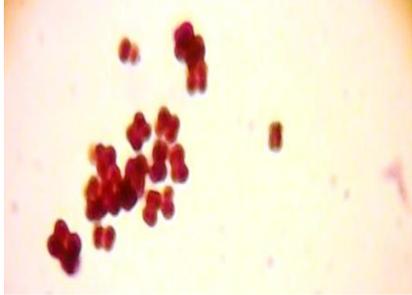
X bajo

XX medio

XXX alto

XXXX muy alto

Cuadro 5.18: Pruebas microbiológicas para la determinación del índice bacteriano del Río San Pedro³⁶

		CONTEO UFC'S	IDENTIFICACION TINCION DE GRAM	PRUEBA DE OXIDASAS	FOTOGRAFIAS
Muestra (MS)	superficial	3.50×10^6	Tetracocos Gram (-)	Gram (+) 	
Muestra (MP)	profunda	2.45×10^6	Streptobacilos en cadena formadores de esporas, tetracocos	Gram (+) 	

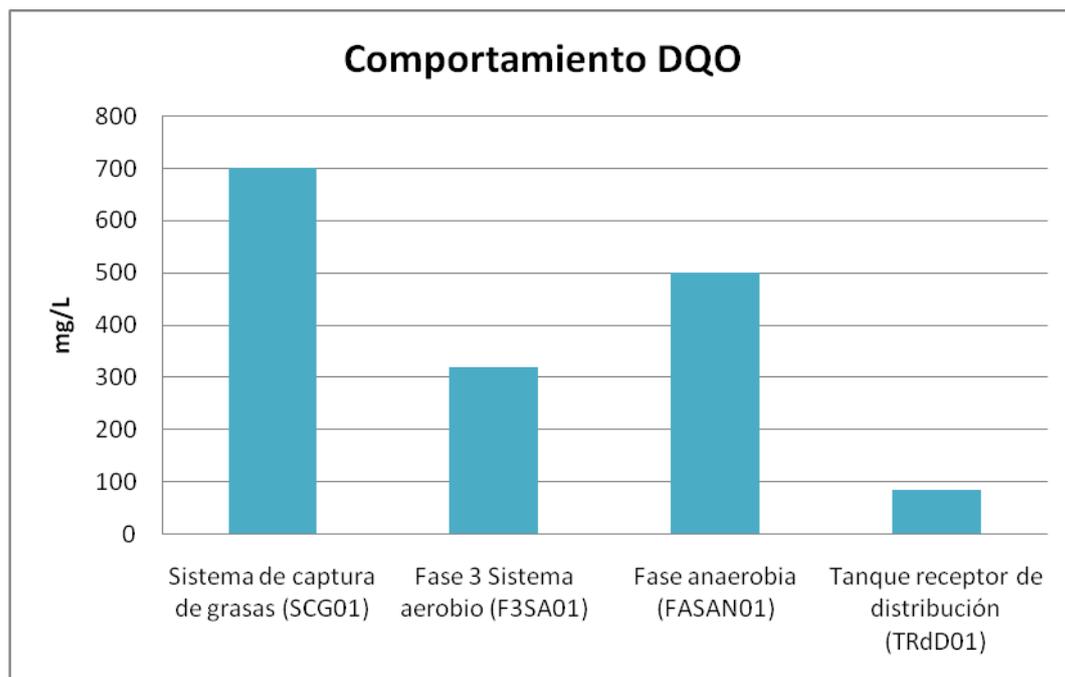
³⁶ Los protocolos de laboratorio y el procedimiento para la realización de las pruebas microbiológicas se encuentran en el Anexo 10.

5.3.2. Valoración interna de parámetros

Demanda Química de Oxígeno DBO

Entendemos por DQO a la demanda total de oxígeno requerida dentro de los procesos oxido-reducción ocurrente dentro del sistema de tratamiento de aguas.

Figura 5.1: Comportamiento DQO



Elaborado por: Autores, 2010.

Las aguas grises en terminos de DQO son mas demandantes de oxígeno que las aguas negras, es importante este razonamiento porque significa que se puede prescindir de las lineas de aguas negras, cambiando al biodigestor como sedimentador y enviando a las aguas negras a un proceso de digestion aerobia. La fase complementaria presenta una concentracion baja de DQO debido a que no existen microorganismos ni sólidos disueltos en altas cantidades por lo que se puede reutilizar el agua.

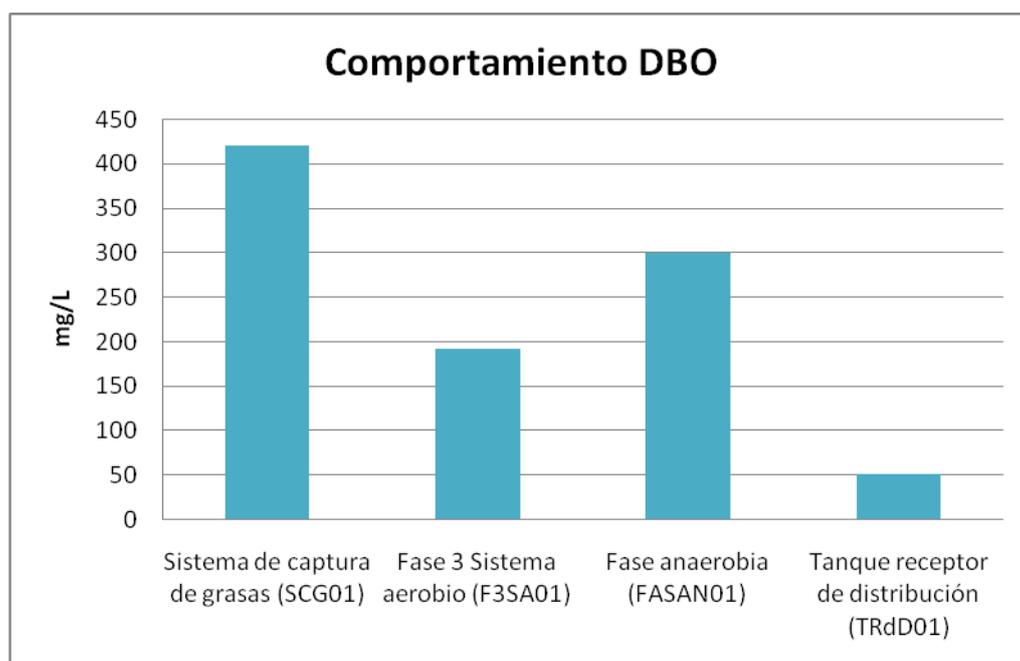
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO

Se define como la demanda bioquímica de oxígeno a la cantidad de oxígeno disuelto requerida por los microorganismos para transformar la materia orgánica existente en el medio en materia mineral.

Sin embargo debemos aclarar que la DBO es una función matemáticamente directa a la DQO, asumiéndose que la DBO corresponde al 60% de los niveles de DQO en las aguas, por lo tanto en el presente estudio se determina la DQO como base para el cálculo de la DBO.

Los indicadores logrados para cada uno de los subsistemas son los siguientes:

Figura 5.2: Comportamiento DBO



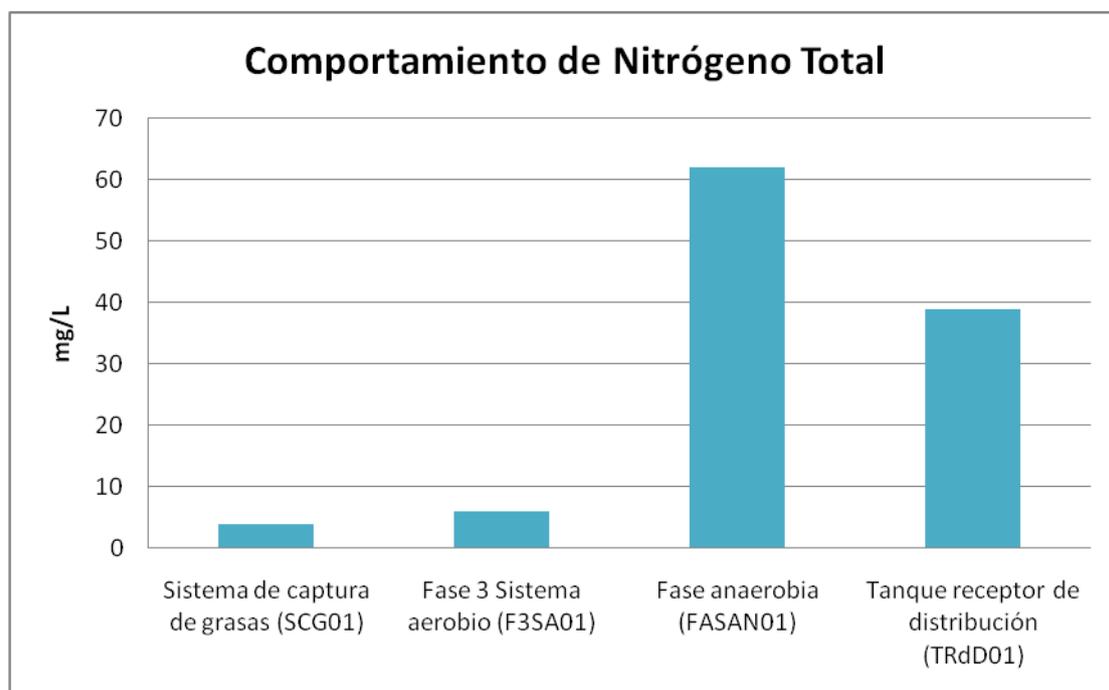
Elaborado por: Autores, 2010

La demanda bioquímica de oxígeno presenta valores altos dentro de los sistemas de captura de grasas así como en la fase anaerobia debido a que existe mayor cantidad de materia orgánica en las aguas, por ende mayor presencia de microorganismos degradadores. En el tanque de recepción final el análisis nos muestra una baja demanda como resultado de la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

Nitrógeno Total

Este parámetro tiene que ver con la presencia en las aguas de nitrógeno tanto en moléculas orgánicas (proteínas, aminoácidos, amonio NH_4) como en moléculas inorgánicas (nitratos y nitritos) procedentes de restos de alimentos evacuados a través de las aguas grises procedentes de la cocina y orina y excrementos procedentes de las aguas negras.

Figura 5.3: Comportamiento Nitrógeno Total



Elaborado por: Autores, 2010.

Las aguas de ingreso tienen diferentes concentraciones de nitrógeno provenientes de las dos líneas operativas. En las primeras fases se ingresan aguas grises que no están provistas de grandes cantidades de NH_4 , mientras que en las subfases 1, 2 y 3 los niveles de disponibilidad de nitratos y nitritos matemáticamente se incrementan a 62 mg/L, pero esto hace alusión a nitrógeno inorgánico disponible dentro del sistema, por lo que habría en el futuro que determinar cuánto nitrógeno inorgánico procedente del nitrógeno orgánico de la fase anterior ha pasado a formar parte de la biomasa de los macrofitos acuáticos que se encuentran operando dentro del sistema.

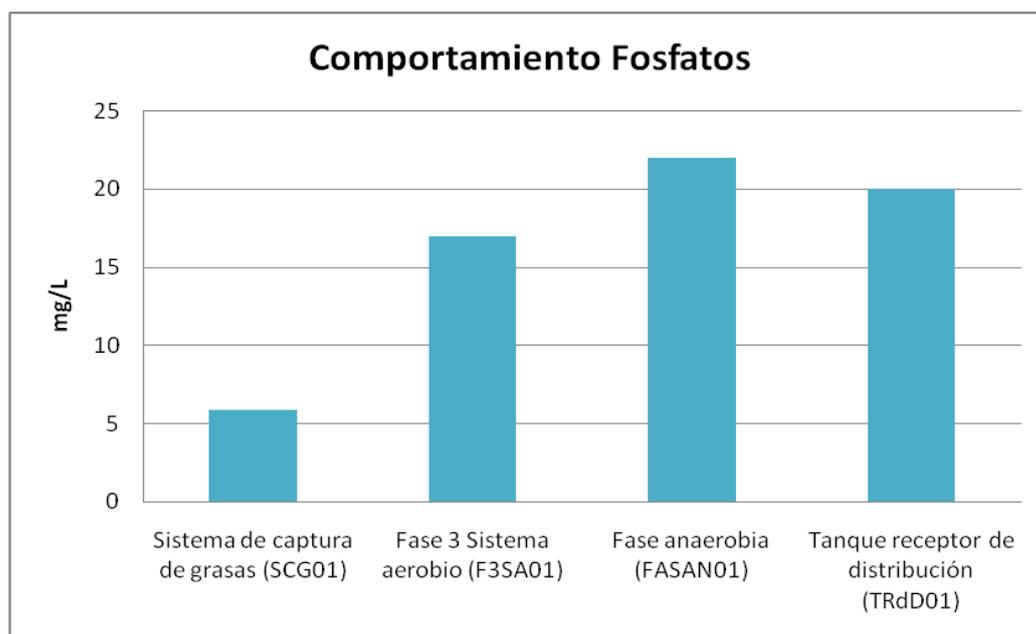
Mientras tanto, el nitrigeno total identificado en la linea anaerobia procede de orinas y excretas pudiendose sugerir que este se encuentra basicamente en forma de nitrigeno organico amoniacal que luego será oxidado a nitratos y nitritos por la poblacion bacteriana existente en el biofiltro.

Se puede observar en el histograma, la barra correspondiente al tanque receptor un nivel relativamente alto comparado con la fase aerobia, debido a que las aguas procedentes de la linea de tratamiento anaerobica se mezclan con las aguas procedentes de la linea aerobica en una fase complementaria que se creo dentro del sistema, por lo tanto el valor final es resultado de un promedio matematico de la concentracion de las aguas de las dos lineas de tratamiento.

Fosfatos

Este parametro tiene que ver con la presencia del elemento fosforo en la forma de fosfatos (PO_4^{3-}) procedentes de restos de alimentos de origen animal y vegetal, detergentes, jabones y de excrementos presentes en las aguas grises y aguas negras domiciliarias respectivamente.

Figura 5.4: Comportamiento Fosfatos



Elaborado por: Autores, 2010.

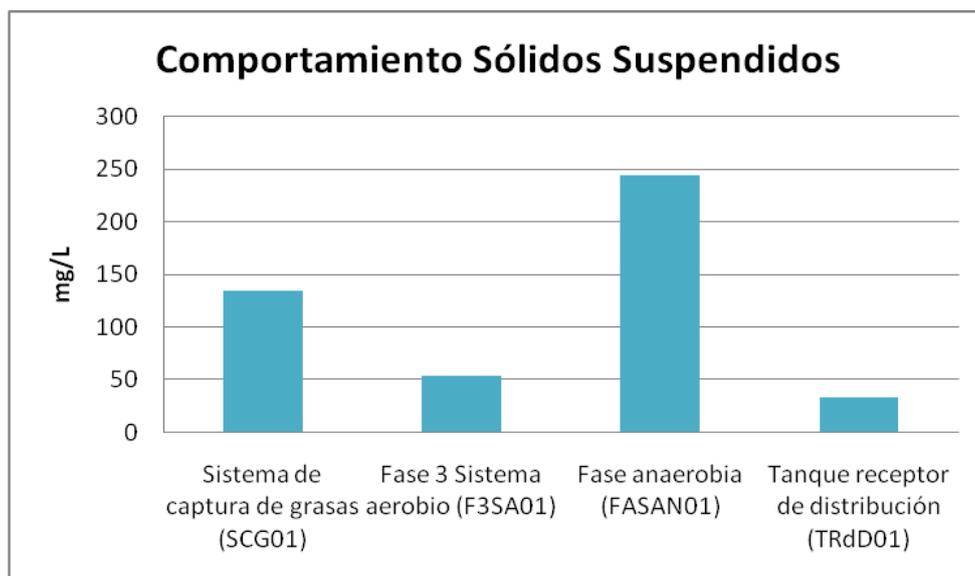
Como se muestra en la figura, el comportamiento de los fosfatos tiene una tendencia al incremento debido a los procesos de mineralización a través de las subfases aerobias, por lo tanto se produce la transformación de fósforo orgánico en fosfatos (forma inorgánica del fósforo). Un proceso similar se evidencia en el tanque anaeróbico, pero con concentraciones mayores debido a las características de las propias de las aguas negras.

Sólidos suspendidos

Este parámetro tiene que ver con la cantidad total de partículas solubles en el agua que son las que determinan el comportamiento químico de la misma. Es evidente que el sistema funciona en forma muy eficiente como filtro mecánico y retenedor de este tipo de partículas presentes en las aguas domésticas, que vienen básicamente de restos de alimentos y excretas.

Podemos observar que en el sistema de captura de grasas presenta un nivel de 134 mg/l de sólidos suspendidos a pesar de que esta fase que actúa como amortiguador físico de los flujos de agua ocurren procesos de sedimentación de partículas pesadas y también ocurren sistema de captura de lípidos por flotación, conforme muestra en gráfico, en la subfase 3 de la línea aerobia se reducen sustancialmente los niveles de concentración, esto es fácil de comprender sabiendo que la línea de tratamiento aerobia del sistema actúa también como filtro mecánico de partículas.

En la barra correspondiente a la línea de tratamiento anaeróbica observamos un valor de 244 mg/l de sólidos suspendidos, se hace alusión a sólidos suspendidos disueltos en el agua donde no se consideran también los sólidos sedimentados y los sólidos retenidos por flotación en las diversas cámaras del sistema. En la barra correspondiente al tanque receptor encontrado en la parte final del sistema se obtiene un valor de 33 mg/l, significativamente menor en comparación a las columnas representativas de los demás componentes del sistema, lo que dice de la eficiencia del sistema en términos de retención de sólidos suspendidos.

Figura 5.5: Comportamiento Sólidos Suspendidos

Elaborado por: Autores, 2010

Como conclusión de la valoración de la eficiencia interna del sistema, se contrastarán los valores promedios de los parámetros medidos en las entradas de cada una de las líneas de tratamiento (aerobia y anaerobia) de aguas con los parámetros medidos en el tanque de distribución, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5.5: valoración de la eficiencia interna

Parametro	Concentracion promedio (mg/L)	Concentracion en el tanque receptor (mg/l)	Porcentaje de eficiencia
DQO	600	85	85.8%
DBO	360	51	85.8%
Nitrogeno total	33	39	Aumento 18%
Fosfatos	13,95	20	Aumento 43,37%
Solidos S	189	33	85.52%

Elaborado por: Autores, 2010

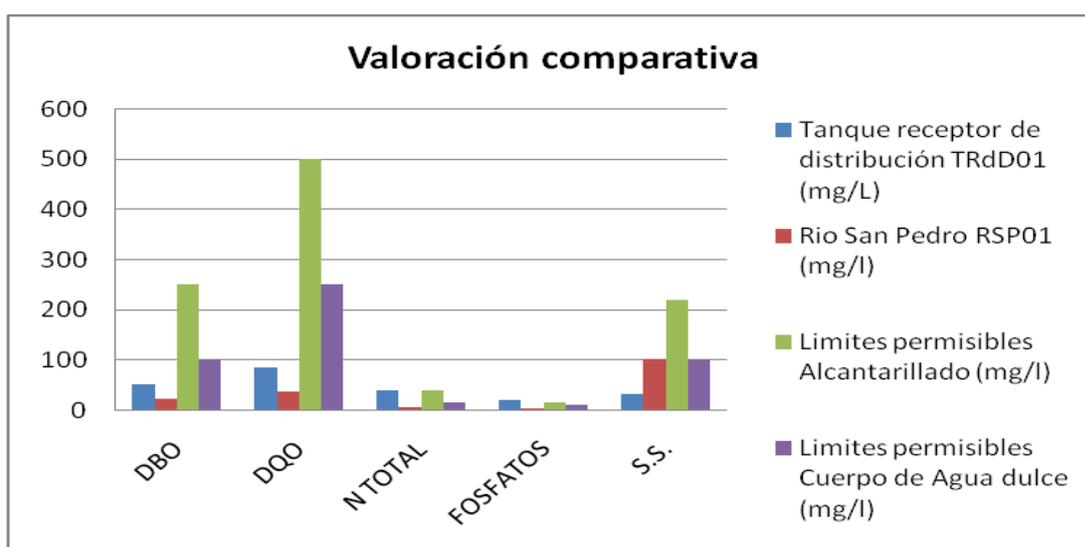
5.3.3. Valoración comparativa de los parámetros químicos del sistema, el cuerpo receptor (Río San Pedro) y normativas

Para la ejecución de este estudio como valores finales de los parámetros del sistema han sido tomados los valores obtenidos de las aguas ya tratadas dentro del sistema propuesto, las mismas que son reutilizadas con fines de riego en jardinería y huertos.

Los indicadores del Río San Pedro fueron obtenidos del muestreo realizado el día 2 de Julio de 2010 a las 11:00 am, en cuanto a los límites permisibles se ha tomado en cuenta a la normativa nacional expresada en el *Libro VI Anexo I, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador*, las cuales dentro del análisis se le asigna NORMA 1 a las Normas de descarga al alcantarillado y NORMA 2 Norma que regula las descargas a cuerpos receptores de agua dulce.

Siendo así, se ha generado el siguiente grafico, donde se registran los valores de DBO, DQO, nitrógeno total, fosfatos, sólidos suspendidos para el sistema propuesto, Río San Pedro, Norma 1 y Norma 2.

Figura 5.6: Valoración comparativa del sistema, rio San Pedro y normativas



Elaborado por: Autores, 2010.

Demanda química de oxígeno: conforme se observa en el gráfico la DQO de 85 mg/L que se registra en las aguas tratadas por nuestro sistema es significativamente menor a los valores de control de las normas 1 y 2.

Sin embargo se observan valores de DQO significativamente bajos en las aguas de Río San Pedro aun cuando se compare con el índice de las aguas tratadas por el sistema propuesto, esto merece un análisis posterior que debe sujetarse a más replicas de muestreos de las aguas del Río San Pedro como sistema ambiental abierto que es; por otro lado se debe indicar que el muestreo realizado en el Río San Pedro a las 11:00 am no es una hora considerada pico, cuando los habitantes de Tumbaco desalojan las aguas servidas, esto es de 7:00 a 9:00 am. Por lo que en lo posterior se realizara un monitoreo de las aguas en ese rango horario, dado que las aguas evacuadas en la hora pico, se encontrarían a una distancia muy importante aguas abajo.

Sin embargo queda determinada la eficiencia del sistema en términos de DQO de sus aguas si comparamos nuestro valor obtenido con los valores propuestos por las normativas 1 y 2.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: tiene un comportamiento matemático similar a la DBO, donde el valor de las aguas tratadas por el sistema propuesto es de 51 mg/l mientras que el Río San Pedro muestra indicadores relativamente bajos (22.8mg/l) en comparación a los nuestros.

Sin embargo los valores de DBO registrados al final de sistema propuesto son significativamente menores con los valores sugeridos por las normativas 1 y 2. Nuevamente con respecto a este parámetro vemos que el indicador de DBO registrado en el Río San Pedro a las 11:00 am el 2 de julio, no es real por las razones explicadas ya anteriormente.

Nitrógeno Total: en cuanto a este parámetro vemos que las aguas tratadas en este sistema registran 39mg/l de concentración, un valor relativamente mayor a los registrados por el cuerpo receptor, sin embargo es menor a los valores propuestos a la normativa 1 que regula con 40mg/L las descargas a los sistemas de alcantarillado y es mayor respecto a la norma 2 que sugiere 15

mg/L de nitrógeno total permisible en la descarga, vemos que nuestro indicador supera al indicador de la norma 1, por lo que se prevé procedimientos técnicos que permitirán ajustarnos a los valores que la norma 2 contempla.

Fosfatos: con respecto a este parámetro las aguas procesadas dentro del sistema propuesto presentan un valor de 20mg/l de concentración, un valor levemente superior a los permitidos por las normativas 1 y 2, así como con los valores reportados por las aguas del Río San Pedro. Ante esto se realizara ajustes correspondientes para reducir en el futuro los indicadores de fosfatos en nuestras aguas.

Sólidos suspendidos: en cuanto a la capacidad de retención de sólidos suspendidos las aguas resultantes de nuestro sistema reporta un valor de 33mg/l, valor significativamente menor con los valores que registre el Río San Pedro, la normativa 1 y la normativa 2, evidenciándose en forma clara la eficiencia del sistema propuesto como filtro mecánico de partículas pudiendo el mismo ser optimizado a mediano y corto plazo como filtro biológico.

CAPITULO VI

6. Análisis FODA

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
Eficiencia en la fuente	<ul style="list-style-type: none"> - Replicabilidad - Implementación por el usuario - Manejo por el usuario 	Falta de cultura ciudadana	<ul style="list-style-type: none"> - Escasa aceptación del sistema. - Problema continúa.
Requiere áreas y volúmenes operativos pequeñas	- Implementación en gran parte de las viviendas de las zonas periféricas de Quito	Falta de disponibilidad política	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema no es replicable por estamentos estatales (municipios). - Falta de implementación de las normativas vigentes.
Impactos ambientales positivos	<ul style="list-style-type: none"> - Mitigar los impactos ambientales de las aguas servidas de Tumbaco sobre el Río San Pedro. - El sistema no genera impactos escénicos en los lugares donde es implementado. 	Intereses políticos-públicos creados	- La propuesta puede herir susceptibilidades en empresas publicas como EMAAP-Q como empresa responsable de las calidades de agua para Quito

	<ul style="list-style-type: none"> -Reduce significativamente el consumo de agua destinado al riego de jardines y de huertos, en los domicilios donde es implementado. - El sistema mitiga los impactos ambientales y de salud pública sobre el Río San Pedro. - El sistema se maneja dentro de parámetros de alta bioseguridad. 		
Técnicas de construcción sencillas y económicas	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema hace uso de materiales sencillos y baratos. - El sistema es asequible para familias de todos los estratos - El sistema no requiere de logísticas complejas. - El sistema no requiere de conocimientos complejos. 		

CAPITULO VII

7. Presupuesto

A continuación se detalla la inversión total del sistema considerando que se puede optimizar el uso de materiales en futuras propuestas.

Cuadro 7.19: Presupuesto estimado.

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
LINEA DE TRATAMIENTO AEROBICO				
Cemento	saco	4	6.89	27.56
Ladrillo	ladrillo	100	0.16	16.00
Tubo PVC 4"	metro	3	13.88	41.64
Tubo PVC 2"	metro	2	5.44	10.88
Codos PVC 4"	codo	4	2.96	11.84
Codos PVC 2"	codo	2	1.00	2.00
Mano de obra	día	10	20.00	200.00
Malla galvanizada	metro	3	2.77	8.31
Ripio	10 kg	3	0.97	2.91
Arena	saco	12	1.35	16.20
LINEA DE TRATAMIENTO ANAEROBICO				
Cemento	saco	1	6.89	6.89
Arena	saco	3	1.35	4.05
Ladrillos	ladrillos	60	0.16	9.60
Bridas de 4"	Bridas	2	17.36	34.72
Tubo PVC 4"	metro	3	13.88	41.64
Tanque Bioséptico Plastigama	tanque	1	329.58	329.58

Planchas plásticas para techo	planchas	3	18.44	55.32
Mano de obra	días	2	20.00	40.00
FASE DE TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO				
Revestimiento de reservorio con geomembrana GEO-FLEX C750	reservorio	1	78.00	78.00
Tubo PVC 4"	metro	3	13.88	41.64
Codo PVC 4"	codo	2	2.96	5.92
Tapón PVC 4"	tapón	1	1.49	1.49
Tubo PVC 2"	metro	2	5.44	10.88
Codo PVC 2"	codo	2	1.00	1.00
Tapón PVC 2"	Tapón	1	0.74	1.49
Ripio	10 kg	4	0.97	3.88
Mano de obra	día	3	20.00	60.00
SISTEMA DE BOMBEO Y RIEGO				
Bomba sumergible 1 HP	Bomba	1	150.00	150.00
Boya de nivel	Boya	1	23.70	23.70
Manguera de riego	metros	30	2.33	70.00
Aspersor	aspersor	1	3.99	3.99
Servicio técnico	día	1	40.00	40.00
TOTAL (USD)				1351.07

Elaborado por: Autores, 2010.

CAPÍTULO VIII

8. Conclusiones

- El diseño inicial concebía en primera instancia dos líneas separadas de tratamiento, tanto para aguas negras, como para aguas grises. Sin embargo, en el transcurso de proceso, se rediseño el sistema logrando incorporar una fase complementaria para ambas líneas, lo que mejoro significativamente los costos de inversión, las logísticas del proceso y su eficiencia operativa.
- Se diseñó e implementó un sistema combinado de tratamiento de aguas servidas domiciliarias mediante procesos de autodepuración aerobios (aguas grises) y anaeróbios (aguas negras) provenientes de un domicilio de la Urbanización La Viña que ha demostrado ser eficiente en términos de reducción de los niveles de Demanda Química de Oxígeno en 85.8%, Demanda Bioquímica de Oxígeno en 85.8% y Sólidos suspendidos en 85.52% ; valores que superan significativamente a los valores de control contemplados en las normas.
- Aun cuando los resultados obtenidos de la presente experiencia son muy alentadores, se debe tomar en cuenta dos parámetros específicos como el nitrógeno total y fosfatos, aún requieren un pequeño ajuste con respecto a la norma de control (relacionada a los limites de descargas a cuerpos receptores de agua dulce), para lo cual ya se han identificado los detalles técnicos futuros para el sistema.
- Los resultados del sistema han sido contrastados con los parámetros regulatorios de la normativa ambiental aplicable (*Libro VI Anexo I, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador*), aún cuando era de esperar que sea la Ordenanza 213 la reguladora de todos los procesos de descargas desde sus diversas fuentes hacia los cuerpos

receptores aledaños a la ciudad de Quito. El sistema combinado de tratamiento de aguas domiciliarias ha demostrado ser eficiente respecto a la normativa citada anteriormente.

- Los resultados de los análisis de las aguas tratadas en nuestra experiencia demuestran que se reducen significativamente los parámetros físico-químicos tomados como referencia, por lo que la implementación de sistemas similares en la población de Tumbaco y/u otras poblaciones afines se convierte en una solución creativa y eficaz para el mejoramiento de las calidades de las aguas de los efluentes urbanos que han de disponerse finalmente en cuerpos de agua dulce como el río San Pedro.
- Las aguas resultantes de los procesos de tratamiento están siendo utilizadas con éxito como aguas de riego en las áreas de jardín del domicilio donde se ha puesto en práctica.
- Según los criterios analizados se concluye que la implementación del sistema ha demostrado ser eficiente en términos económicos relacionando la inversión inicial con el ahorro en el consumo de agua destinada para riego de jardines (reduciendo costos asociados hasta en un 50% de los montos planillados por consumo de agua).
- El sistema propuesto requiere un espacio mínimo de emplazamiento de 7.20 m^2 , lo que lo hace factible para cualquier vivienda que posea una área disponible de esa magnitud (patios, jardines frontales, etc).
- El sistema propuesto requiere de un espacio en volumen equivalente de 4.01 m^3 , lo que lo hace muy eficiente si lo comparamos con otros sistemas de tratamiento convencionales, lo cual garantiza las condiciones físico-químicas internas del sistema.

- El sistema propuesto, no genera impactos visuales y/o impactos escénicos de ningún tipo, al contrario contribuye con la mejora escénica de jardines, ya que los componentes vegetales utilizados como macrófitos acuáticos en la línea operativa aeróbica son además plantas decorativas, mientras que el sistema anaeróbico es empotrable en los suelos, los mismos que luego pueden ser sembrados con plantas decorativas o césped.

- El presupuesto para la construcción del sistema dentro de nuestro ensayo es de 1352,13 USD, sin embargo esta no será la oferta económica del sistema al momento de replicarse ante la comunidad, debido a que los costes relacionados a rubros tales como ladrillos, cemento, tanque séptico plástico y mano de obra de construcción en las futuras propuestas serán reemplazados, optimizándose significativamente las ofertas económicas de los sistemas, haciéndolos asequibles a la mayoría de los estratos sociales de la ciudad.

- El sistema propuesto está concebido en base a formas simples, lo que hace que sus logísticas de manejo y mantenimiento sean sencillas.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Administración Zonal Tumbaco (2009). El Valle de Tumbaco, situación, riesgos y desafíos. Gabinete Itinerante del Distrito Metropolitano de Quito. Ecuador.
2. American Water Works Association (2005): Water Treatment Plant Design, Mc Graw Hill, USA.
3. American Water Works Association (2002): Calidad y tratamiento del agua – Manual de suministros de agua comunitaria, Mc Graw Hill, España.
4. Baumann, R.; Rabbitt, H. (1971): Alcantarillado y tratamiento de aguas negras, Compañía Editorial Continental S.A., México.
5. Cárdenas, J. (2005): Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales, Colombia.
6. Campo, A. (2005): Tratamiento de aguas domesticas e industriales residuales, Colombia.
7. Casas, J. (2006): La enciclopedia del estudiante, Santillana, Buenos Aires, Argentina.
8. EMAAP-Q, (2009), Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable- Quito,
URL: <http://www.emaapq.com.ec/> Descargado 19/03/2010.
9. EPA, (2009): Handbook of Constructed Wetlands volumen 1.
URL: <http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/fhand.pdf>
Descargado 13/04/10.
10. EPA, (2009): Handbook of Constructed Wetlands volumen 1.
URL: <http://www.epa.gov/owow/wetlands/vital/what.html>
Descargado 3/03/10.

11. Eweis, J. (2005): Principios de Biorrecuperacion, Mc Graw-Hill, España.
12. De Yáñez, F. ;(235-251): Reducción de organismos patógenos y diseño de lagunas de estabilización en países en desarrollo. En: Guibbert, J. (1988): Saneamiento alternativo o alternativas de saneamiento – Primer seminario latinoamericano sobre saneamiento alternativo.
13. Departamento de sanidad del estado de Nueva York, (2000): Manual de tratamiento de aguas negras, Limusa, Estados Unidos.
14. Google earth, (2010): Mapas satelitales.
15. Gunt Hamburg,(2010):Operaciones básicas de tratamiento de aguas.
URL:http://www.gunt.de/download/anerobic%20processes_spanish.pdf.
Descargado 06/03/10.
16. Horan N.J. (1990): Biological Wastewater Treatmeant Systems - Theory and Operation, John Wiley & Sons, England.
17. INAMHI (2010), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador.
URL: <http://www.inamhi.gov.ec/html/inicio.htm>. Descargado 03/04/2010.
18. Iturralde Pablo (1978): Lagunas de estabilización. Universidad Católica del Ecuador.
19. Izembart, H.; Bertrandle B. (2003): El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales, Editorial Gustavo Gili S.A., España.
20. Kraus, E.; Hunt, W. (1965): Mineralogía – Una introducción al estudio de minerales y cristales, España.
21. Levin, M. (2005): Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos, Mc Graw-Hill, España.
22. Martínez, S.(2005): Tratamiento de Aguas Residuales con Matlab, Reverte Ediciones S.A.,México.

23. Maskew, G. (1954): Water supply and wastewater disposal, John Miley & Sons Inc, New York.
24. Maskew, G.; Geyer, J.; Cleun, D. (1990): Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, Ediciones Ciencia y Técnica S.A., México.
25. Menéndez, L.(2010) “Phragmites australis (Cav). Trin ex Steudel”

URL: <http://www.asturnatura.com/especie/phragmites-australis.html>
Descargado 6/08/2010
26. Metcalf & Eddy (1995): Ingeniería de Aguas Residuales - Tratamiento, vertido y reutilización, Mc Graw Hill, Estados Unidos.
27. Ortega, N. (2008): Métodos estadísticos para la investigación, Ecuador.
28. Ramalho, R.(2003): Tratamiento de aguas residuales, Revertè S.A., España.
29. Romero, J. (2002): Calidad del agua, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
30. Romero, J. (2002): Purificación del agua, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
31. Romero, J. (2005): Tratamiento de aguas residuales - Teoría y principios de diseño, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
32. Ruilova, D. (2008): Clases universitarias Hidrológica y Limnología Sanitaria.
Métodos de análisis de las aguas epicontinentales en Ecuador.
33. Ruilova, D. (2008): Clases universitarias Saneamiento Ambiental carrera de Ingeniería Ambiental, UDLA Quito.
34. Sánchez H. (1951): Ingeniería Sanitaria Planeamiento y Construcción de acueductos, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

ANEXOS

Anexo 1: Modelos de sistemas aerobios de tratamiento de aguas existentes³⁷

Grafico 1: Esquema Humedal de flujo superficial

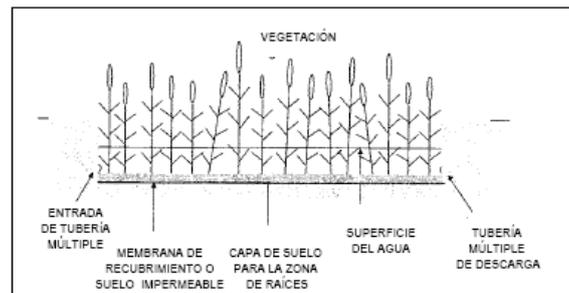


Grafico 2: Esquema Humedal de flujo subsuperficial

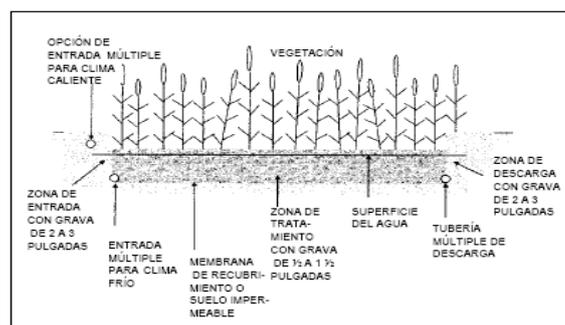


Grafico 3: Procesos de depuración de humedales

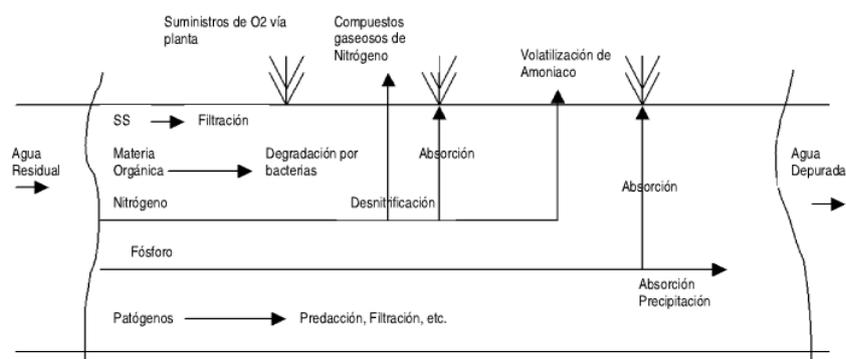


Fig. 1, Procesos de depuración de los humedales

³⁷ Tomado de: Romero J., 1999, Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño, escuela Colombiana de ingeniería.

Anexo 2: Modelos de sistemas anaerobios de tratamiento de aguas existentes³⁸

Grafico 1: Esquema de Tanque Imhoff.

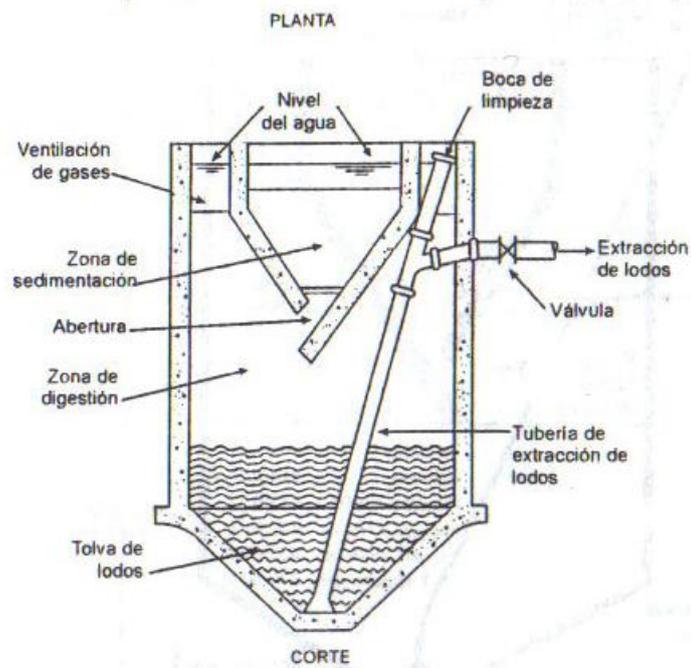
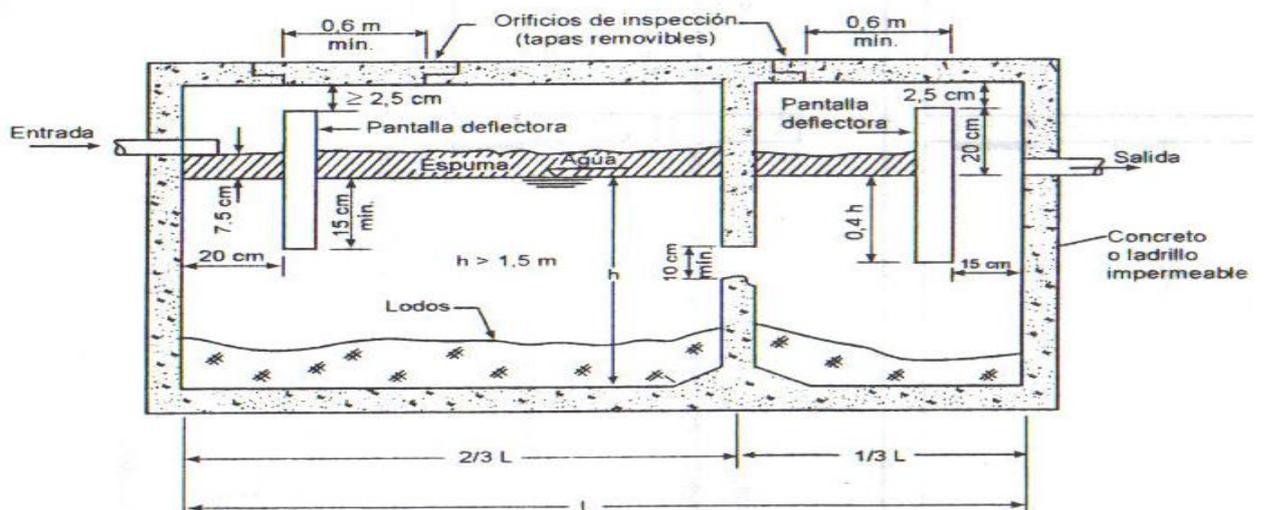


Grafico 2: Tanque séptico.



³⁸ Tomado de: Romero J., 1999, Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño, escuela Colombiana de ingeniería.

Grafico 3: Proceso anaerobio de contacto.

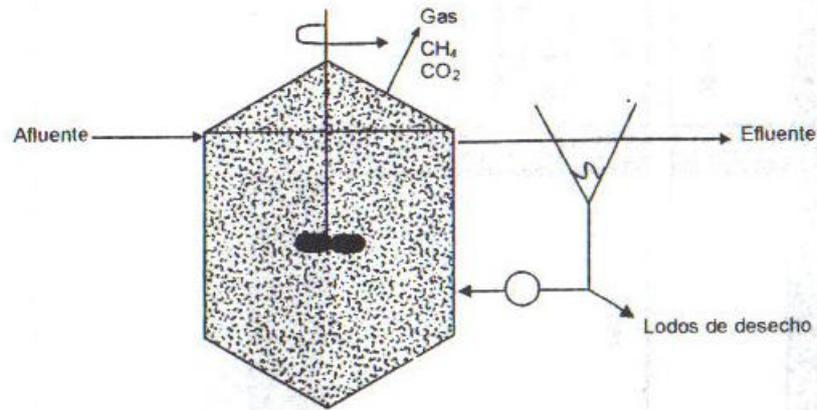


Grafico 4: Proceso anaerobio de contacto – diagrama de flujo

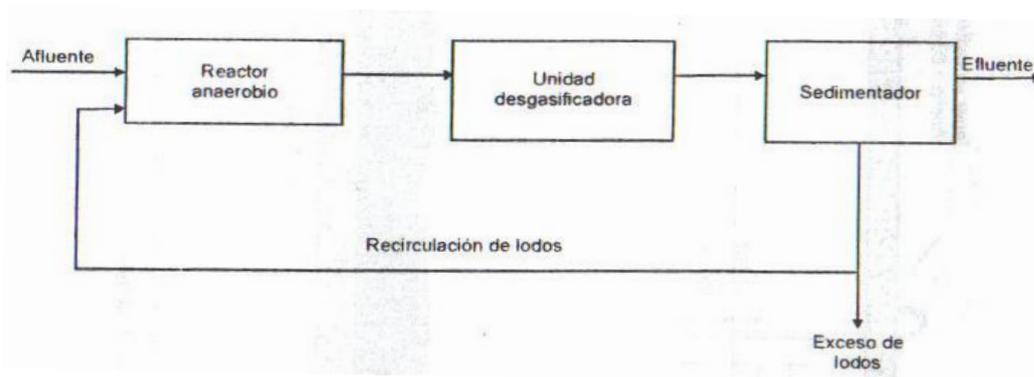


Grafico 5: Proceso ascensional de manto de lodos, con sedimentador independiente.

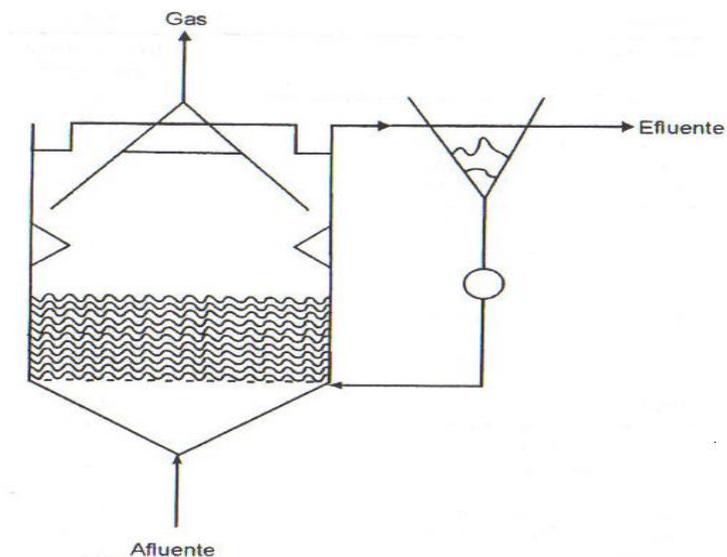


Grafico 6: Proceso de lecho fluidizado y lecho expandido.

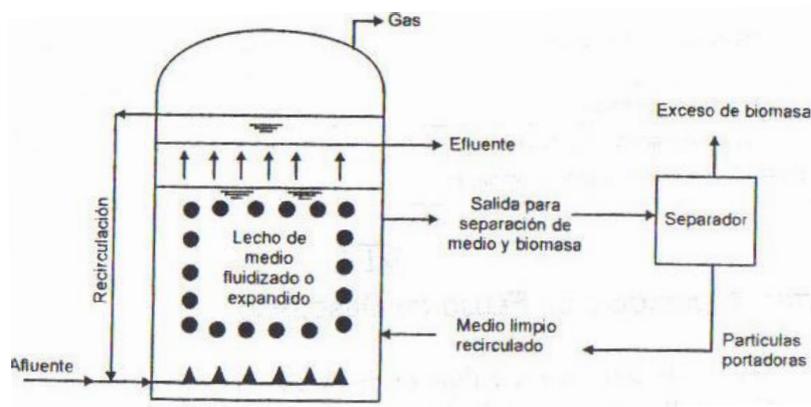


Grafico 7: Filtro anaerobio de flujo ascensional.

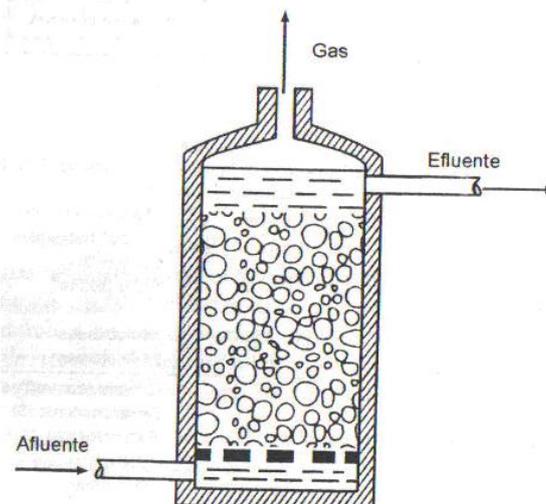


Grafico 8: Filtro anaerobio de flujo en descenso.

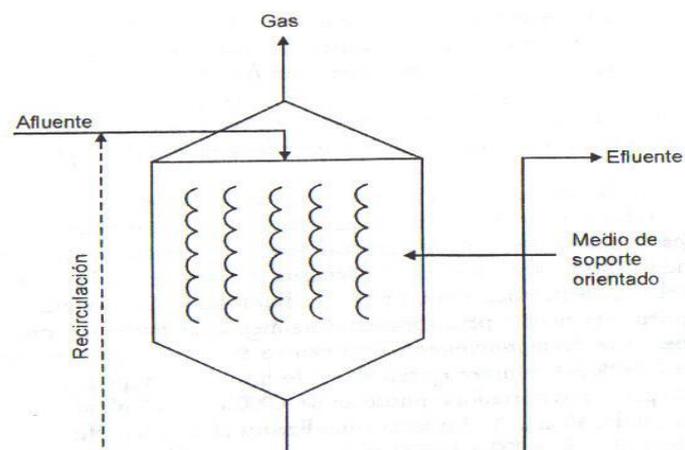


Grafico 9: Reactor anaeróbico de pantallas.

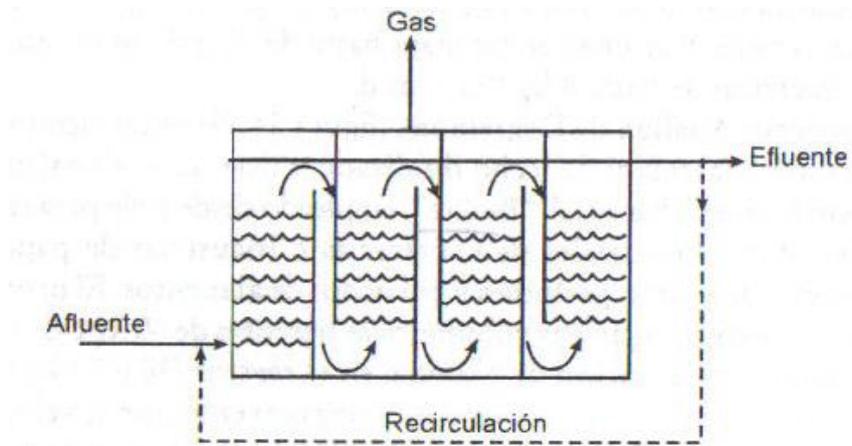
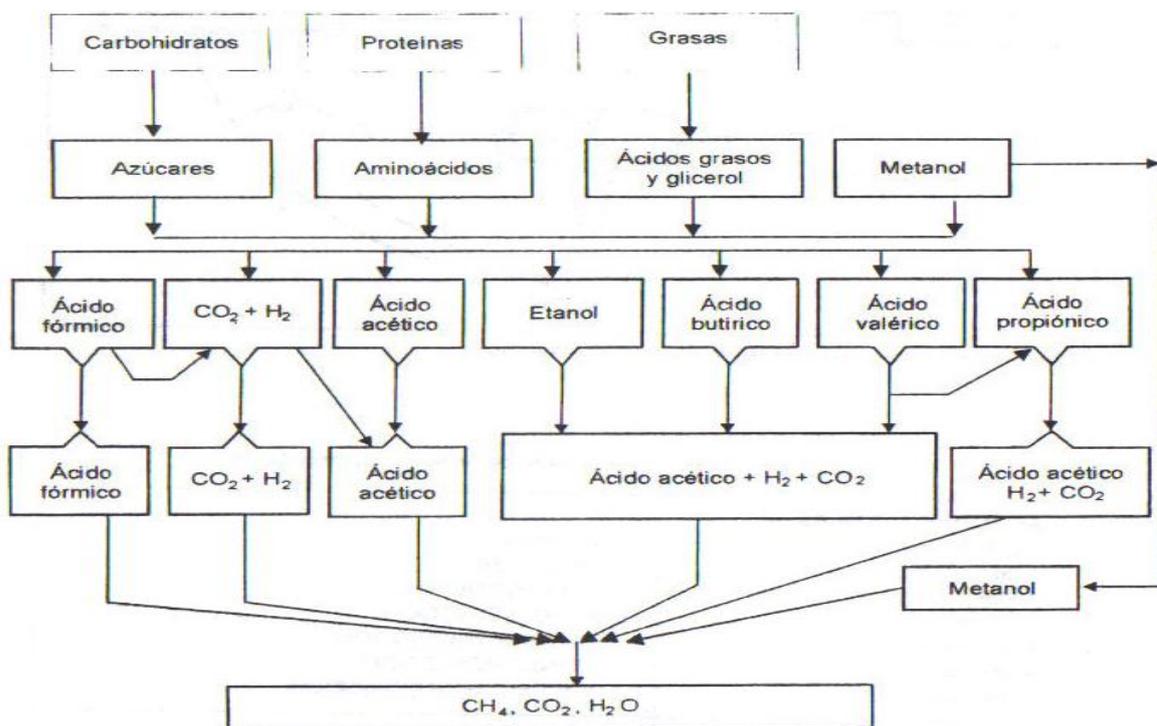
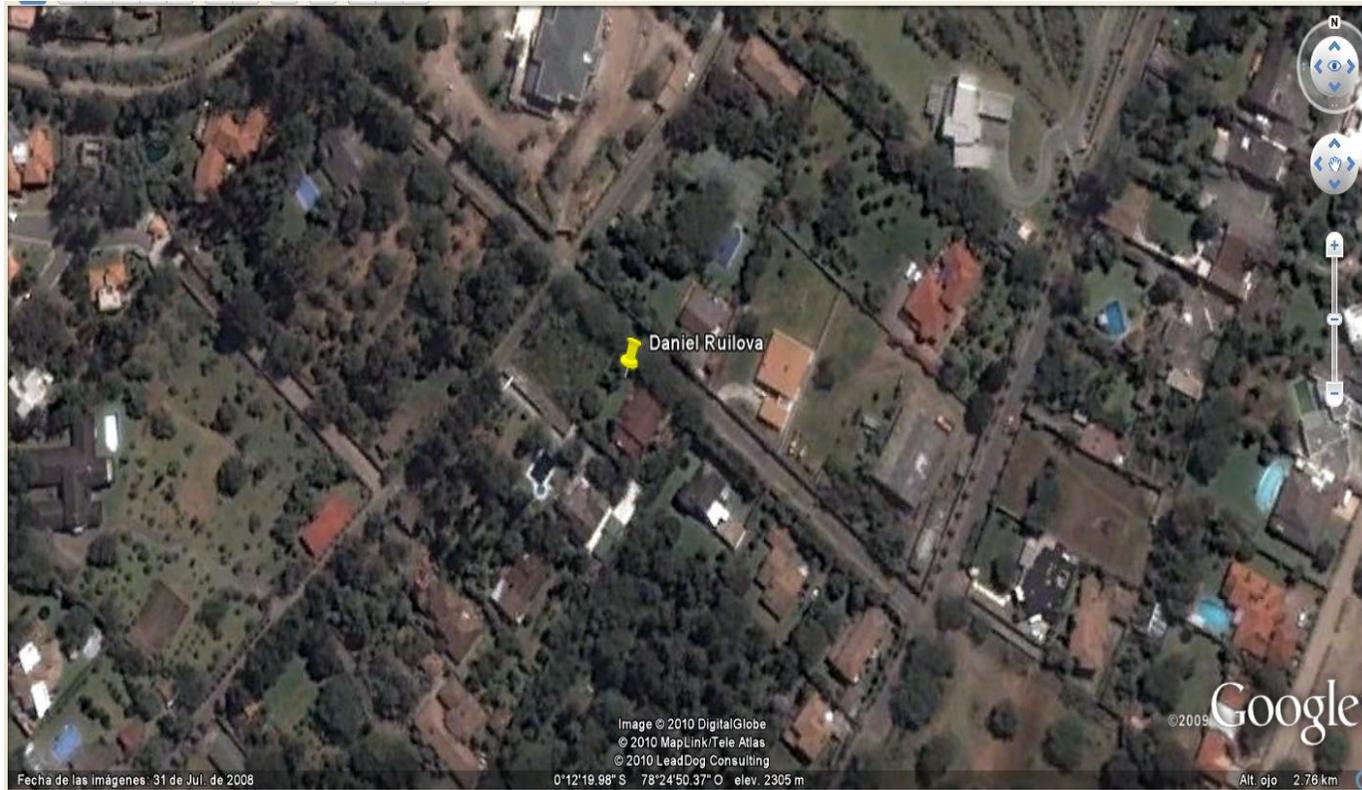


Grafico 10: Oxidación anaerobia de compuestos orgánicos.



Anexo 3: Ubicación de la planta piloto - Domicilio Dr. Daniel Ruilova³⁹

Posicionamiento global Latitud: 0°12'19.78"S Longitud: 78°24'50.26"O Altitud: 2305 m.s.n.m



³⁹ Fuente: Adaptación de Google earth, 2010.

Anexo 4: Resumen de los caudales y cargas contaminantes caracterizadas.

Descargas de los rios San Pedro y Guayllabamba

N.	ID	Descripcion	N. de campañas	Caudales diarios registrados, L/s			Cargas orgánicas, Kg DBO/dia			Poblacion equivalente
				Minimos	Medios	Máximos	Minimas	Medias	Maximas	
15	GU1	Calderon, zona norte No.1	9	106.15	115.18	123.14	1689.92	2382.1	2787.5	47643.17
16	GU2	Calderon, Zona Norte No.2	9	373.16	373.60	411.32	6789.13	8592.7	12061.79	173855.3
17	GU3	Zambiza	9	62.92	71.09	86.57	164.64	525.38	683.23	10507.5
18	GU4	Eloy Alfaro y Eucaliptos	9	44.52	63.99	84.57	1452.43	2841.2	6085.4	56825.32
19	GU5	Comité del Pueblo No.1	9	15.57	20.16	32.82	466.96	619.90	885.59	12397.92
20	GU6	Comité del Pueblo No.2	9	16.68	20.61	37.68	394.77	798.84	1347.6	15976.77
21	GU7	La Bota	9	2.93	4.80	6.86	65.93	148.48	317.34	2969.67
		Totales de los Rios San Pedro y Guayllabamba	63		689.44			16008.79		320175.7
		Totales	204		5372.08			80848.7		1616975.25

Fuente: adaptado de Administración Zonal Tumbaco 2009

Anexo 5: Marco legal aplicable

CONSTITUCION 2008

TÍTULO II, DERECHOS, Capítulo segundo, Derechos del buen vivir

Sección primera: Agua

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

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 de 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.

Capítulo séptimo, Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos (...) El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

TITULO VII RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR, Capítulo segundo, Biodiversidad y Recursos Naturales

Sección primera, naturaleza y ambiente

Art 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la

biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales y jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

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

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.

Sección Séptima

Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

Art. 415.- (...) Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos.

Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador.

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la

Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua. (...)

3.2 Criterios generales de descarga de efluentes

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
3. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
 - a) Descarga a un cuerpo de agua dulce.
 - b) Descarga a un cuerpo de agua marina.

ORDENANZAS MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

El municipio de Quito ha basado las directrices expedidas en cada una de las ordenanzas en los acuerdos y convenios internacionales a los que se ha suscrito:

- Asume las Metas del Milenio para el 2015, particularmente el manejo integrado del recurso hídrico
- Asume un compromiso de desarrollo de las políticas sobre el manejo integrado del recurso hídrico en el marco de la Década Mundial del Agua (ONU 2005-2015).

Además, bajo la Ley Orgánica de Régimen para el Distrito Metropolitano de Quito, se establece la prevención y control de cualquier tipo de contaminación del ambiente, en las fuentes y drenajes que abastecen de agua a la ciudad y en los cauces donde se eliminan las aguas negras.

ORDENANZA 199 - DMQ

RECURSOS HIDRICOS

CAPITULO I, FINALIDAD

Art. 2.- Esta ordenanza establece normas y acciones para la protección, conservación, recuperación, revalorización de las cuencas hidrográficas que abastecen de agua al Distrito Metropolitano de Quito, para procurar el suministro del recurso en cantidad, calidad y acceso en los diferentes usos (domestico, industrial, agrícola, recreación y ecológico).

CAPITULO II, DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCION PARA LA PROTECCION DE FUENTES DE AGUA

Uso eficiente del agua

Art. 3.- Todos los usuarios del agua y las entidades municipales deben impulsar el uso eficiente del recurso hídrico.(...)

Descontaminación de los ríos

Art. 4.- La EMMAP-Q ejecutara el Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado para la descontaminación y el tratamiento de descargas de agua.

Art. 7.- **GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS.-** Se impulsaran espacios de gestión de los recursos hídricos basados en la participación ciudadana, con representación pública y privada, que de manera democrática transparente y técnica, busquen optimizar su gestión.

Art. 8.- **CULTURA DE LA CONSERVACION DEL AGUA.-** Se impulsaran programas de educación, capacitación y formación en gestión integrada de los recursos hídricos que generen cambios conductuales en la sociedad en búsqueda de una cultura responsable en el manejo del recurso.

CAPITULO III, DE CONTRIBUCIONES E INCENTIVOS

Art. 10.- BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES A PROTEGERSE.- Son objeto de protección las fuentes de aguas superficiales y sus áreas de influencia directa, áreas de recarga y acuíferos de las cuencas y ecosistemas naturales que abastecen al Distrito Metropolitano de Quito y sus áreas de influencia.

Art. 13.- INCENTIVOS PARA LA CONSERVACION DE CUENCAS.- Mediante estudios de valoración económica ambiental, se determinara el tipo de incentivos que se aplicaran a los propietarios particulares o comunitarios que de manera voluntaria se adhieran y participen en los programas y proyectos que el FONAG lleve a cabo para protección y recuperación de los ecosistemas a favor de las fuentes de agua.

Los incentivos que se apliquen deberán formalizarse mediante convenio entre los propietarios y el FONAG, y el periodo de duración será de mediano plazo (5 a 10 años) y largo plazo (10 a 20 años), con el fin de lograr mejores resultados en el manejo de los recursos naturales de las cuencas.

ORDENANZA 213 – DMQ

RESOLUCION 0002 CONTROL DE DESCARGAS LÍQUIDAS DE SECTORES PRODUCTIVOS

Art. 9 Norma Técnica que regula los Contaminantes asociados a Descargas Líquidas Industriales, Comerciales y de Servicios

NORMA TÉCNICA PARA EL CONTROL DE DESCARGAS LÍQUIDAS DE SECTORES PRODUCTIVOS

1. OBJETO

La presente norma tiene por objeto limitar la concentración de contaminantes en los efluentes líquidos de origen industrial, comercial y de servicios, vertidos a cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado, sobre la base del objetivo de calidad fijado para salvaguardar la salud y el bienestar de la población así como para permitir usos adicionales de los recursos.

ANEXO D

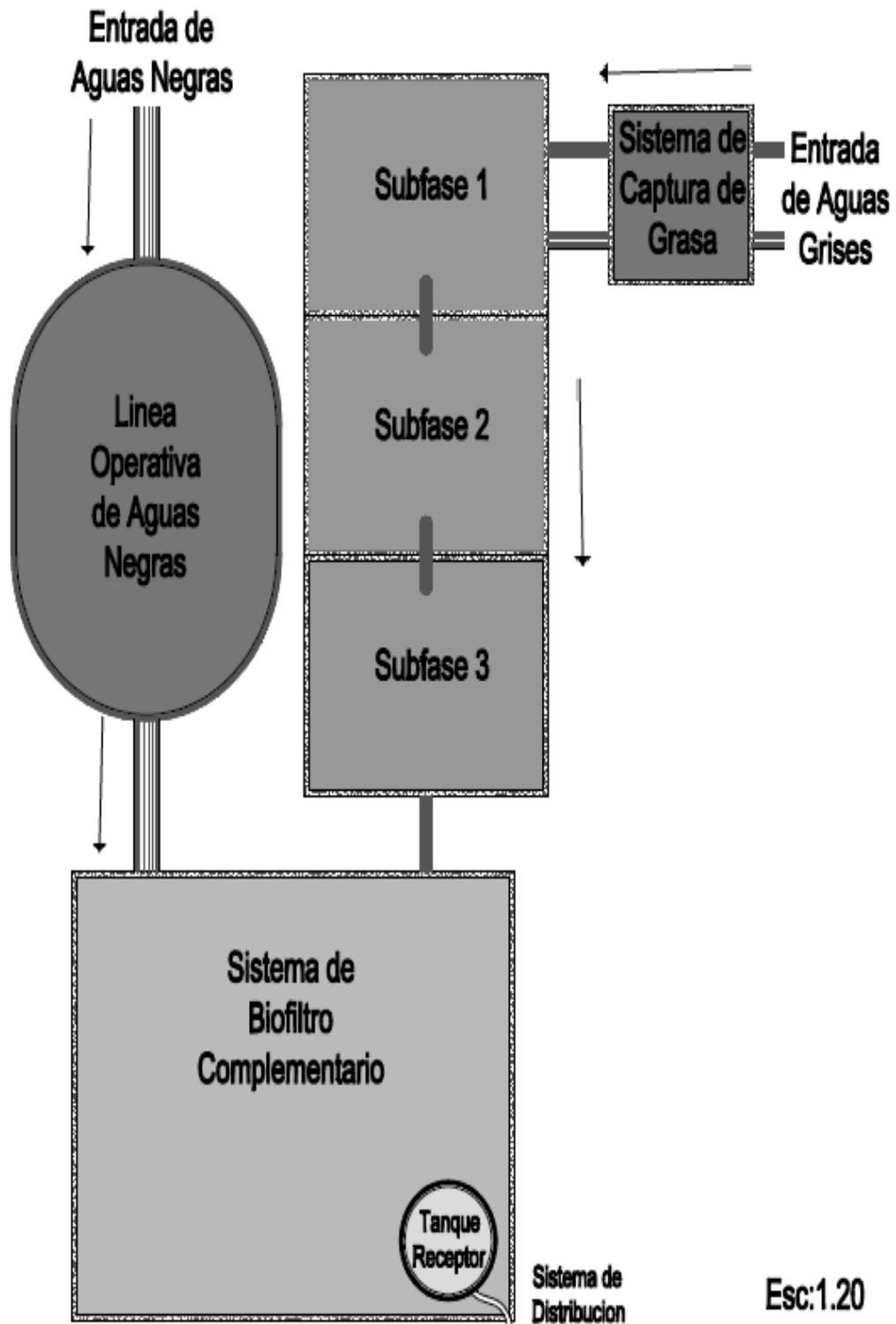
TABLA D.1: GUIA DE PARAMETROS MINIMOS POR SECTOR PRODUCTIVO

DESCRIPCIÓN	Q m3/d	pH	T°C	A&G mg/l	DBO5 mg/l	DQO mg/l	Ssed ml/l	SST mg/l	Órgano clorados	Órgano fosforados	Metales pesados	Otros
Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	x	x	x	x	x	x	x	x			Ni, Hg. Zn, Pb, Cu, Cd, Mn, As, CrVI	CN, sulfatos, sulfuros

SIMBOLOGÍA

Q	Caudal
CC	Carga Contaminante
X	Parámetros principales a monitorearse
T	Temperatura
A & G	Aceites y Grasas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)
DQO	Demanda Química de Oxígeno
TPH	Hidrocarburos Totales de Petróleo
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSed	Sólidos Sedimentables

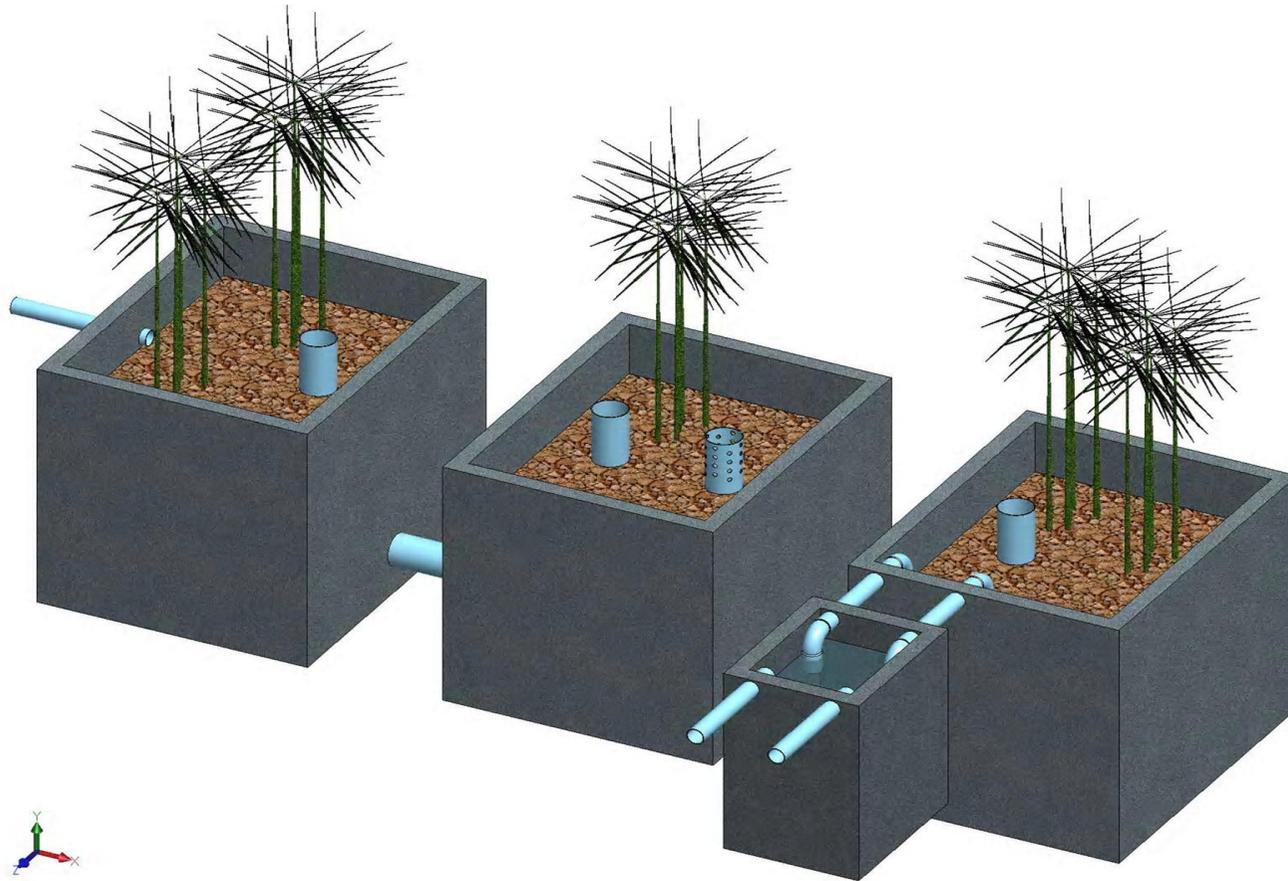
Anexo 6: Sistema combinado de tratamiento de aguas domesticas
Implementación de la planta piloto⁴⁰



⁴⁰ Elaborado por: Autores, 2010.

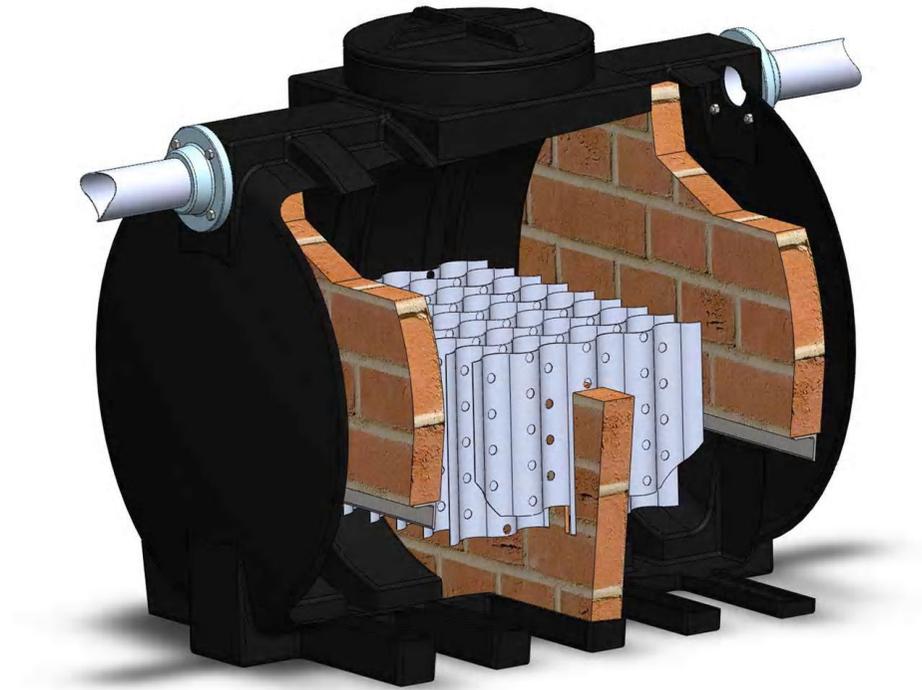
Esc:1.20

Línea operativa de aguas grises- Vista externa⁴¹



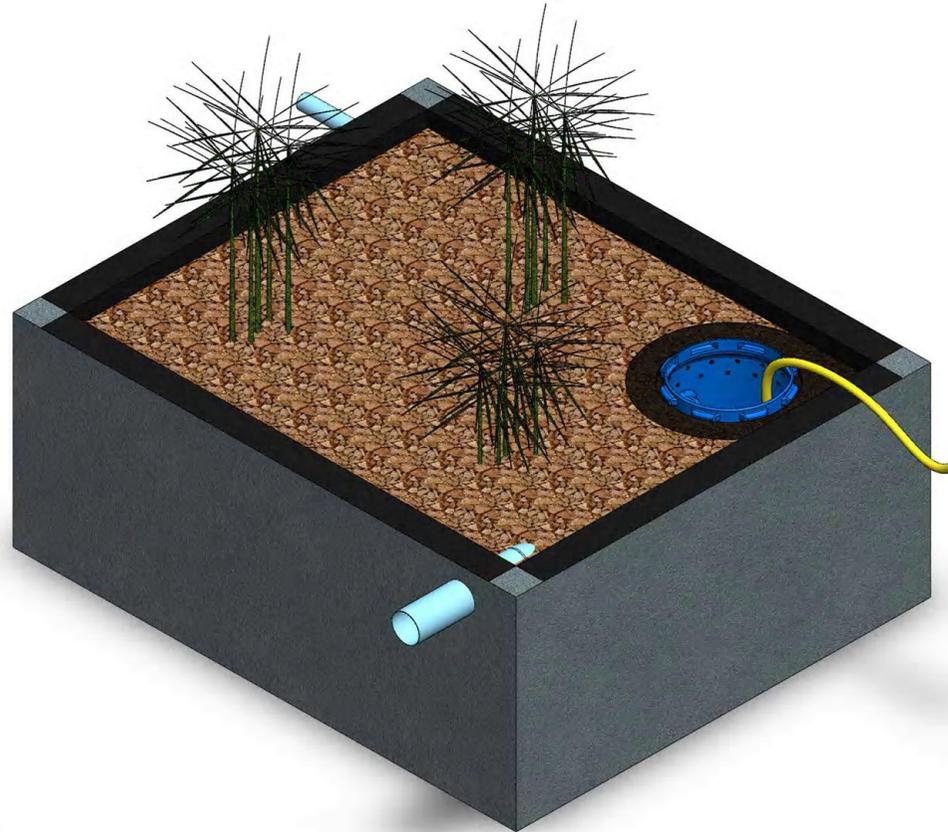
⁴¹ Elaborado por: Autores, 2010.

Línea operativa de aguas negras – Vista externa⁴²



⁴² Elaborado por: Autores, 2010.

Sistema de biofiltros complementario – Vista externa⁴³



⁴³ Elaborado por: Autores, 2010.

Anexo 7: Línea operativa de aguas grises
Fotografías de la implementación del sistema.⁴⁴



Macrófitos utilizados en el sistema.



Operación del sistema.



Área de asentamiento de microorganismos.



Grado de desarrollo de los macrófitos.



Trampa de grasa.



Impacto escénico generado.

⁴⁴ Fuente: Autores, 2010.

Línea operativa de aguas negras

Fotografías de la implementación del sistema.⁴⁵



Tanque Bioseptico Plastigama.



Colocación del tanque bajo tierra.



Construcción de los tabiques.



Difusores de velocidad dentro del biodigestor.



Sistema en funcionamiento con aguas negras



Impacto escénico generado.

⁴⁵ Fuente: Autores, 2010.

Sistema de biofiltros complementario y sistema de distribución

Fotografías de la implementación del sistema.⁴⁶



Adición del ripio al sistema.



Sistema de distribución, tanque receptor.



Sistema de distribución.

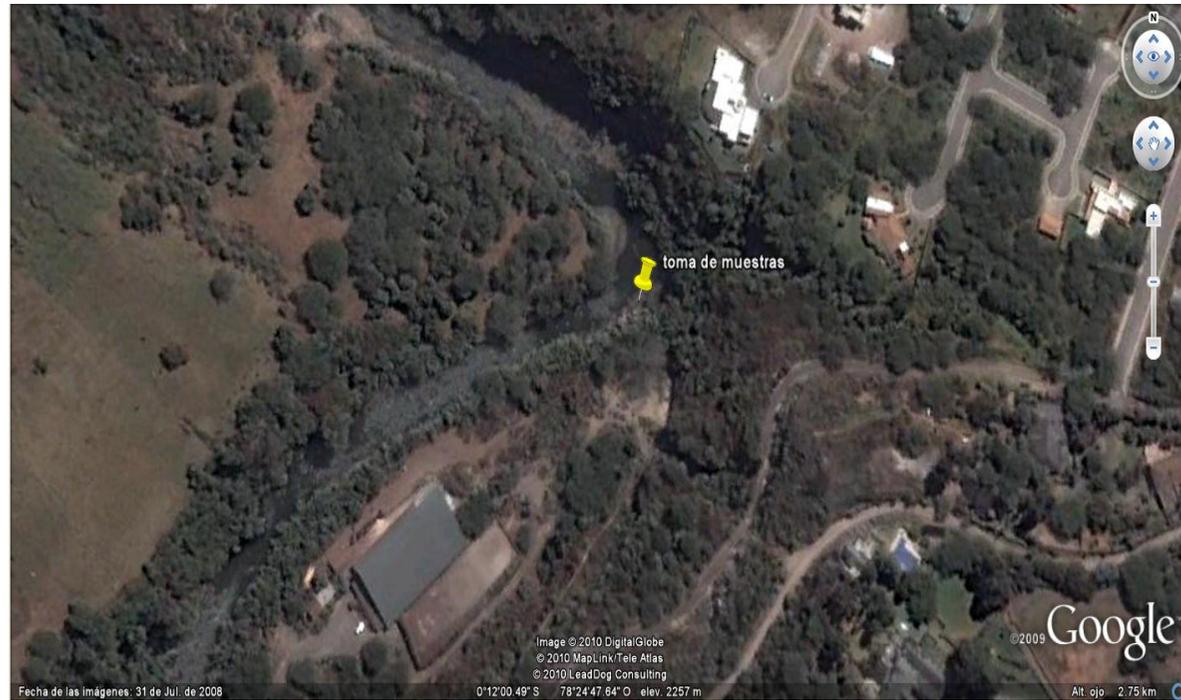


Impacto escénico generado.

⁴⁶ Fuente: Autores, 2010

Anexo 8: Ubicación del sitio de muestreo del Río San Pedro – Fundación Amen.⁴⁷

Posicionamiento global Latitud 0°12'0.45"S Longitud: 78°24'47.75"O Altitud: 2254 m.s.n.m



⁴⁷ Fuente: Adaptación Google earth, 2010.

Anexo 9: Fotografías de muestreo

Muestreo en el Río San Pedro.⁴⁸



Sitio del muestreo.



Sitio de muestreo.



Muestreo superficial.



Muestreo de profundidad.

Muestreo de los sistemas de tratamiento de aguas



Transporte de muestras.



Muestreo en la trampa de grasas.



Muestreo en el biodigestor.



Muestreo en el tanque de distribución.

⁴⁸ Fuente: Autores, 2010.

Anexo 10: Trabajo de laboratorio – Análisis de muestras⁴⁹

Pruebas microbiológicas realizadas sobre las muestras de profundidad MP y muestras de superficie MS tomadas del Río San Pedro

Protocolo de aislamiento bacteriano

- Se tomó 1mL de cada una de las muestras y se preparó una suspensión en agua destilada, realizando siembras de las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} .
- Preparación del medio de cultivo para aislamiento de microorganismos de las muestras de aguas, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Preparación de los materiales de laboratorio y medios de cultivo

- Los medios de cultivo utilizados fueron los medios estándares, agar nutritivo y se siguieron las recomendaciones del fabricante para la preparación.
- El medio de cultivo fue colocado en cajas petri para la siembra superficial de las muestras, no se realizó siembras profundas.
- Todos los materiales fueron esterilizados mediante Autoclave

Siembra de microorganismos

- Una vez los medios de cultivo estén listos, se procede a realizar la siembra de las muestras después de las diluciones con concentraciones de 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6}
- En primer lugar se rotula a las cajas petri con la misma identificación que las muestras para evitar confusiones.
- Se esteriliza el asa con la ayuda del mechero buncen encendido
- El asa es colocada sobre el agar para que se adhiera medio de cultivo a la misma
- Se toma una gota de la muestra con el asa
- Se procede a la siembra en zigzag

⁴⁹ Elaborado por: Autores, 2010.

- El procedimiento se repite para cada una de las muestras, en las tres concentraciones, cada una en una caja petri diferente y con los materiales a usar correctamente esterilizados.

Fijación para la identificación morfológica de las muestras

- Se esteriliza el asa.
- Se enfría el asa en el medio de cultivo.
- Se hace un raspado de la zona con mayor concentración de bacterias.
- Se coloca en el portaobjetos la muestra con una gota de agua destilada.
- Se fija la muestra en el fuego.

Protocolo de Tinción de Gram

Una prueba relevante en microbiología es la prueba de Gram, que determina su capacidad de absorber o no el pigmento cristal violeta, su capacidad oxidativa y patogenicidad. Se emplearon reactivos como cristal violeta, lugol, mezcla alcohol/ acetona, safranina.

- Se cubre toda placa con el reactivo cristal violeta y se espera 1 minuto.
- Se aplica lugol en toda la placa hasta cubrirla.
- Se lava las muestras en agua corriente.
- Se coloca la solución alcohol-acetona cubriendo la placa.
- Se lava las muestras en agua corriente.
- Se aplica safranina en toda la placa, se deja fijar durante un periodo de tiempo de 30 a 60 seg.
- Se lava las muestras y se observa al microscopio.

Protocolo de pruebas bioquímicas – Prueba de oxidasas

Con el asa para la siembra de profundidad de muestras se realiza un raspado de la muestra y se siembra en la oxidasas.

Pruebas microbiológicas realizadas sobre las muestras de tomadas de los sistemas de tratamiento domiciliar de aguas residuales

Protocolo de aislamiento bacteriano

- Se tomó 1mL de cada una de las muestras y se preparó una suspensión en agua destilada, realizando siembras de las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} .
- Preparación del medio de cultivo para aislamiento de microorganismos de las muestras de aguas, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Preparación de los materiales de laboratorio y medios de cultivo

- Los medios de cultivo utilizados fueron los medios estándares, agar nutritivo y se siguieron las recomendaciones del fabricante para la preparación.
- El medio de cultivo fue colocado en cajas petri para la siembra superficial de las muestras aerobias y en tubos de ensayo para las siembras profundas de reconocimiento de cepas anaerobias.
- Todos los materiales fueron esterilizados mediante Autoclave

Siembra de microorganismos

- Una vez los medios de cultivo estén listos, se procede a realizar la siembra de las muestras después de las diluciones con concentraciones de 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6}
- En primer lugar se rotula a las cajas petri con la misma identificación que las muestras para evitar confusiones.
- Se esteriliza el asa con la ayuda del mechero buncen encendido
- El asa es colocada sobre el agar para que se adhiera medio de cultivo a la misma
- Se toma una gota de la muestra con el asa
- Se procede a la siembra en zigzag
- El procedimiento se repite para cada una de las muestras areobias, en las tres concentraciones, cada una en una caja petri diferente y con los materiales a usar correctamente esterilizados.

- Para la siembra de profundidad de la muestra del sistema anaerobio se utiliza el asa idónea para este procedimiento, se esteriliza y se enfría en el medio de cultivo, se toma una gota de la muestra y se introduce en el medio de cultivo. Se realizó cuatro diluciones y se sembró las mismas identificando las muestras como:

Dilucion	Tags de identificación
10^{-1}	I
10^{-2}	II
10^{-3}	III
10^{-4}	IV

Fijación para la identificación morfológica de las muestras

- Se esteriliza el asa.
- Se enfría el asa en el medio de cultivo.
- Se hace un raspado de la zona con mayor concentración de bacterias de las muestras con concentraciones de 10^{-3} y 10^{-4}
- Se coloca en el portaobjetos la muestra con dos gotas de agua destilada.
- Se realiza una mezcla de la muestra con el agua destilada, extendiéndola en todo el portaobjetos.
- Se fija la muestra en el fuego.

Para la identificación de las muestras se asigno nuevos tags de la siguiente manera:

Punto de muestreo	Tags de identificación	Dilucion	Tag nuevo
Sistema aerobio 1	P1	10^{-3}	1
		10^{-4}	1"
Sistema aerobio 2	P2	10^{-3}	2

		10^{-4}	2"
Subsistema aerobio 3	P3	10^{-3}	3
		10^{-4}	3"
Filtro complementario	BF1	10^{-3}	4
		10^{-4}	4"
Tanque de recepción	TF1	10^{-3}	5
		10^{-4}	5"
Biofiltro	I	10^{-1}	AN1
		10^{-2}	AN2
		10^{-3}	AN3
		10^{-4}	AN4

Protocolo de Tinción de Gram

Una prueba relevante en microbiología es la prueba de Gram, que determina su capacidad de absorber o no el pigmento cristal violeta, su capacidad oxidativa y patogenicidad. Se emplearon reactivos como cristal violeta, lugol, mezcla alcohol/ acetona, safranina.

- Se cubre toda placa con el reactivo cristal violeta y se espera 1 minuto.
- Se aplica lugol en toda la placa hasta cubrirla.
- Se lava las muestras en agua corriente.
- Se coloca la solución alcohol-acetona cubriendo la placa.
- Se lava las muestras en agua corriente.
- Se aplica safranina en toda la placa, se deja fijar durante un periodo de tiempo de 30 a 60 seg.
- Se lava las muestras y se observa al microscopio.

Pruebas hidrobiológicas realizadas sobre las muestras de profundidad MP y muestras de superficie MS tomadas del Río San Pedro

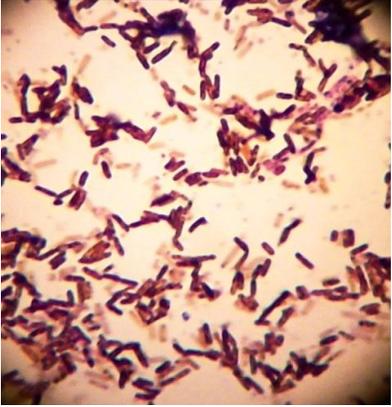
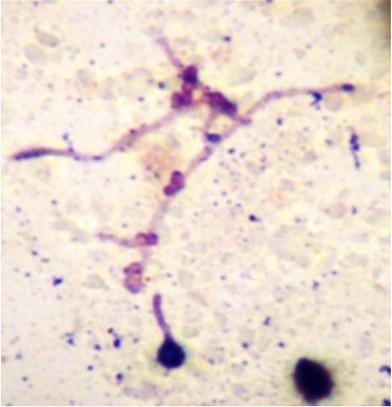
Protocolo de centrifugación de muestras

- Se tomo un litro (1L) de cada una de las muestras en vasos de precipitación.
- Se procedió a colocar en tubos de ensayo con una capacidad de 10 ml cada uno, ya que estos era de tamaño adecuado para la centrifuga modelo Rotofix 32 A a utilizar.
- Se procedió a centrifugar las muestras por un tiempo de 3 minutos a 3000 rpm.

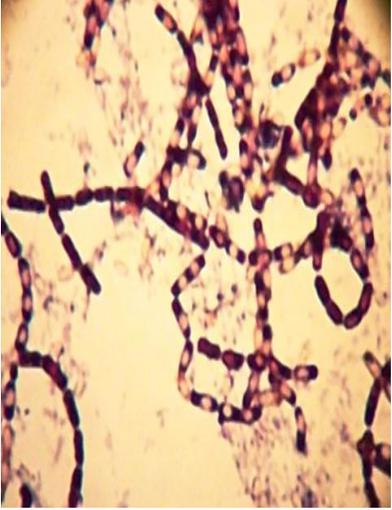
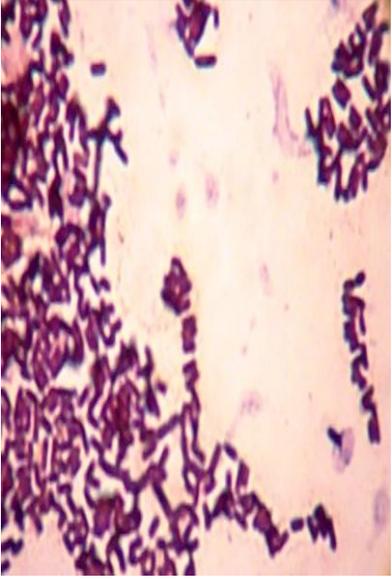
Protocolo de identificación de material en las muestras

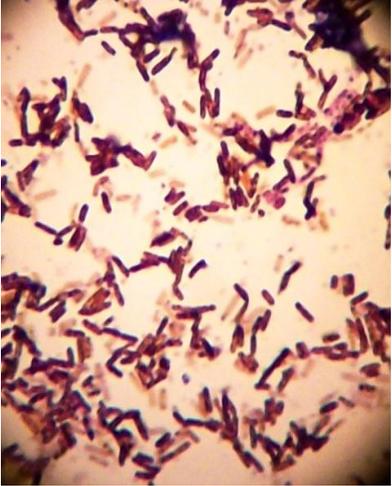
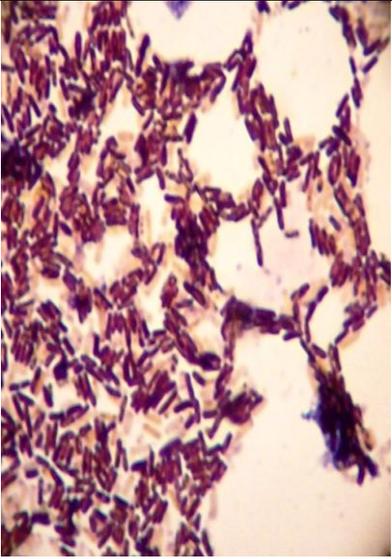
- Una vez centrifugado el material, y recogido la fase sólida resultante de las centrifugaciones, se procedió a colocar dos gotas de formaldehído para que la muestra se preserve.
- La identificación del material presente en las muestras se realizara con la ayuda de un microscopio binocular electrónico.

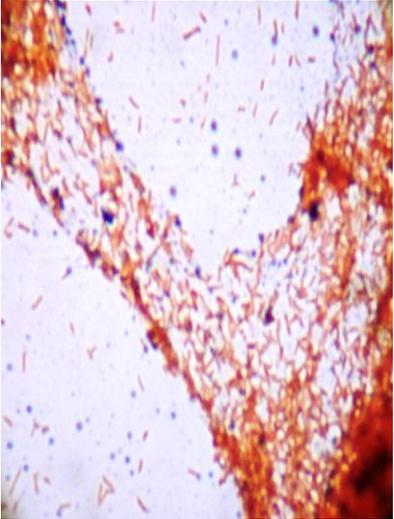
Anexo 11: Microbiología del sistema combinado de tratamiento de aguas⁵⁰

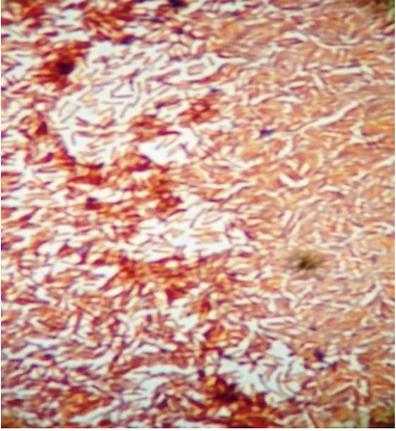
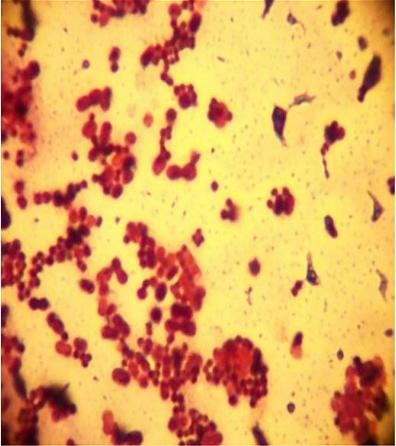
	CONTEO UFC'S	IDENTIFICACION	CODIGO	IDENTIFICACION TINCION DE GRAM	FOTOGRAFIAS
Fase 1 Sistema aerobio (P1)	8.50 x 10 ⁶	[10 ⁻⁵] Identificación 2 cepas, una de borde ondulado con un círculo interior y elevado en la parte central y la otra de menor tamaño	1SC1	Bacilos formadores de esporas gram (-)	
			1SC2	Hongos (hifas, esporangios y esporas)	

⁵⁰ Elaborado por: Autores, 2010.

		[10 ⁻⁶] Una cepa de color blanco y de forma irregular	1SC3	Estreptobacilos gram (+)	
Fase 2 Sistema aerobio (P2)	4.50 x 10 ⁶	[10 ⁻⁵] Una cepa, borde difuso, coloración intensa amarilla	2SC1	Surcobacterias alargadas gram (-)	
		[10 ⁻⁶] Una cepa de color blanco y forma irregular, igual a muestra 1"	-		

Fase 3 Sistema aerobio (P3)	18.40 x 10 ⁶	[10 ⁻⁵] Colonias ovaladas y lisas de color blanco lechoso	3SC1A	Bacilos gram (-)	
		[10 ⁻⁶] Una cepa de color blanco y de forma irregular, igual a muestra 1"	-	-	
Filtro complementario (BF1)	20.00 x 10 ⁶	[10 ⁻⁵] Cepa de color amarillo, puede ser un tipo	4SC1	Bacilos gram (-)	
		[10 ⁻⁶] No presenta crecimiento bacteriano	-		

Tanque receptor final (TF1)	3.31 x 10 ⁶	[10 ⁻⁵] Colonias ovaladas y lisas de color blanco lechoso	3SC1B	Micrococos gram (+)	
		[10 ⁻⁶] No presenta crecimiento bacteriano	-		
Fase anaerobia (I)	2.70 x 10 ⁶	Enterobacterias del género <i>Escherichia coli</i> color amarillo con halo blanco.	AN1	Cocos gram (+) y enterobacterias gram(-)	

			AN2	Enterobacterias	
		Colonias ovaladas.	AN3	Diplococos	
		Presencia de licuefacción en el tubo de ensayo	AN4	-	-

Anexo 12: Resultados generados por Gruntec



REPORTE DE ANÁLISIS
Cliente: PKS Ecuador
 Los Cipreses N° 8, La Viña
 Telf: 02372123
Attn: Dr. Daniel Ruilova Dávila
Proyecto: Análisis de agua
Muestra recibida: 02-Jul-10
Tipo de muestra: 5 Muestras de agua
Análisis completado: 16-Jul-10
Número de reporte Gruntec: 100715-AG1-5

Rotulación muestra	TRDD01	SCG01	FASAN01	RSP01	F3SA01	Método adaptado de referencia
Fecha de muestreo	02-Jul-10	02-Jul-10	02-Jul-10	02-Jul-10	02-Jul-10	
Físico-químico:						
Sólidos suspendidos totales mg/L ^(1,2,3,4)	33	134	244	103	54	SM 2540D
Aniones y no metálicos:						
Fosfato mg/L ^(1,2,3,4)	20	5.9	22	0.4	17	EPA 300.1
Nitrógeno total mg/L ^(1,3,4)	39	4	62	5	6	HACH 8075
Parámetros orgánicos:						
DQO mg/L ^(1,2,3,4)	85	700	500	38	320	EPA 410.4

(1) Acreditación No. OAE LE 2C 05-008
 (2) Acreditación CALA No. A3154

(3) Registro DINAPA No. 007-SPA-RLAH
 (4) Registro DMA No. LEA-R-005

Ing. Santiago Cadena
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial.
 Nota 2: La toma de muestra fue realizada directamente por el cliente.

Página 1 de 1

