

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DESCENTRALIZADOS DE AGUAS
RESIDUALES PARA PEQUEÑAS EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

ANA MARIA VILLANUEVA CHAVARRO



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA, 2012

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DESCENTRALIZADOS DE AGUAS
RESIDUALES PARA PEQUEÑAS EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

ANA MARIA VILLANUEVA CHAVARRO

Trabajo de grado presentado como requisito
Para optar el título de Ingeniera Agrícola

Director:
M.Sc. EDUARDO VALENCIA GRANADA



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA, 2012

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva (Huila), Noviembre de 2012

DEDICATORIA

En primer lugar dedico mi proyecto al Señor Jesús por ser mi guía espiritual, a mi hija Valentina por permitirme ocupar parte de su compañía en el desarrollo de mi trabajo de grado, a mis padres Jorge y Esperanza quienes me han apoyado siempre en mi proyecto de vida, a mi abuelita Mery por brindarme apoyo incondicional y aconsejarme de la mejor manera, a mi esposo Juan Diego por su compañía, colaboración y apoyo, a mi hermano Juan José por colaborarme en algunos momentos arduos de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al director de mi proyecto de grado, Msc. Eduardo Valencia Granada por su apoyo, acompañamiento y por compartir sus conocimientos para la elaboración de un trabajo completo.

Al Arquitecto Martín Emilio Orozco, por su colaboración y por compartir sus conocimientos; porque me enseñó a profundidad los conceptos esenciales que se deben tener en cuenta para representar un dibujo en AutoCAD, ahora puedo decir que éste software no seguirá siendo un obstáculo para el desarrollo de mi vida profesional.

A los profesores del Programa de Ingeniería Agrícola, por enseñarme y llenarme de conocimientos para fortalecer mi perfil profesional.

A todos mis compañeros que fortalecieron mis conocimientos y me ayudaron en momentos difíciles, en especial a Ingrid, Mario, Paola y Cristian P.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO CONCEPTUAL	1
1.1 Conceptos	1
1.2 Antecedentes	8
2. METODOLOGIA	15
2.1 Localización	15
2.2 Métodos	16
3. RESULTADOS	20
3.1 Estado del Tratamiento de las Aguas Residuales en el Departamento del Huila	20
3.1.1 Generalidades del Departamento del Huila	20
3.1.2 Saneamiento en el Sector Rural del Departamento del Huila	21
3.1.3 Contaminación por Aguas Residuales en el Sector Rural	22
3.1.3.1 Cargas Contaminantes	23
3.1.4 Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales	25
3.1.4.1 Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas	25
3.1.4.2 Tratamiento de Aguas Residuales del Café	27
3.1.4.3 Tratamiento de Aguas Residuales Porcinas	29
3.2 Propuesta de Unidades de Sistemas de Tratamiento	30
3.2.1 Características de las Aguas Residuales	30
3.2.1.1 Características de las ARD	31
3.2.1.2 Características de las ARP	32
3.2.1.3 Características de las ARC	33
3.2.2 Unidades de Tratamiento para las ARD	35
3.2.2.1 Tratamiento Preliminar	36
a. Trampa de Grasas	36
3.2.2.2 Tratamiento Primario	39
a. Tanque Séptico – Dos Compartimientos	39
b. Tanque Séptico de Acción Múltiple	43
c. Sedimentadores Primarios	46
3.2.2.3 Tratamiento Secundario	50
a. Albercas Biológicas	50
b. Humedal	53
c. Filtro con Plantas Acuáticas	56
d. Canal con Plantas Acuáticas	58

e. Escalinata de Oxigenación	61
3.2.2.4 Estructura Complementaria	61
a. Lecho Secado de Lodos	61
3.2.3 Propuesta de Sistemas de Tratamiento para las ARD	62
3.2.3.1 Propuesta I	62
3.2.3.2 Propuesta II	66
3.2.3.3 Propuesta III	69
3.2.3.4 Propuesta IV	72
3.2.4 Unidades y Sistemas de Tratamiento para las ARP	75
3.2.4.1 Unidades de Tratamiento	75
a. Tanque Mezclador	75
b. Sedimentador para Concentrado	77
c. Biodigestor	79
3.2.4.2 Propuesta de Sistemas de Tratamiento	79
3.2.4.2.1 Propuesta I	82
3.2.4.2.2 Propuesta II	86
3.2.5 Unidades y Sistemas de Tratamiento para las ARC	89
3.2.5.1 Unidades de Tratamiento	89
a. Desnatador o Sedimentador	89
b. Filtro Vertical y Ascendente	92
c. Filtro Horizontal y Flujo a Pistón	95
3.2.5.2 Propuesta de Sistemas de Tratamiento	98
3.2.5.2.1 Propuesta I	98
3.2.5.2.2 Propuesta II	101
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
PLANOS	
BIBLIOGRAFIA	

LISTA DE ABREVIATURAS

a	Ancho
Af	Afluente
Afi	Área de la Finca
AG	Aguas Grises
AN	Aguas Negras
AR	Agua Residual
ARC	Agua Residual del Café
ARD	Agua Residual Doméstica
ARP	Agua Residual Porcina
AC	Área Cosechada
AS	Área Sembrada
As	Área Superficial
bl	Borde Libre
CC	Carga Contaminante
CCkg	Carga Contaminante por kilogramo
CCkg –café	Carga Contaminante por kilogramo de Café
CC_{SS}	Carga Contaminante SS
CC_{DBO}	Carga Contaminante DBO
CC_{pc}	Carga Contaminante per-cápita
CC_u	Carga Contaminante Unitaria
CR	Coefficiente de Retorno
CF	Coliformes Fecales
d	Día
D	Dotación
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Ef	Efluente
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
G y A	Grasas y Aceites
h	Altura
hab	Habitantes
ha	Hectáreas
HH	Huevos de Helmintos
hr	Hora
l	Longitud
L	Litros

m	Metros
N	Nitrógeno
OD	Oxígeno Disuelto
P	Fósforo
P_r <i>CAFE</i>	Producción de Café
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residual
ph	Potencial de Hidrógeno
Q	Caudal
Q_{ARC}	Caudal del Agua Residual del Café
Q_{ARD}	Caudal del Agua Residual Doméstica
Q_{ARP}	Caudal de Agua Residual Porcina
Q_b	Caudal del Agua del Beneficio
Q_{con}	Caudal Consumo
Q_{dp}	Caudal del día pico
r	Radio
STAR	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
STARD	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas
STARC	Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Café
STARP	Sistema de Tratamiento de Agua Residual Porcina
SS	Sólidos Suspendidos
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
ST	Sólidos Totales
TSAM	Tanque Séptico de Acción Múltiple
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
Ton	Toneladas
V	Volumen
$V_{útil}$	Volumen útil
W_{cer}	Peso del Cerdo

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Capacidad Máxima para el Diseño de las Unidades
- Tabla 2. Caudales de Aguas Residuales Domésticas
- Tabla 3. Concentración del Agua Residual Doméstica
- Tabla 4. Concentración del Agua Residual Porcina
- Tabla 5. Concentración del Agua Residual del Café
- Tabla 6. Caudal de Aguas Residuales
- Tabla 7. Manual de Operación de la Trampa de Grasas
- Tabla 8. Manual de Mantenimiento de la Trampa de Grasas
- Tabla 9. Resumen de Diseño de la Trampa de Grasas
- Tabla 10. Presupuesto de la Trampa de Grasas
- Tabla 11. Manual de Operación del Tanque Séptico-Dos compartimientos
- Tabla 12. Manual de Mantenimiento del Tanque Séptico-Dos compartimientos
- Tabla 13. Resumen de Diseño del Tanque Séptico-Dos compartimientos
- Tabla 14. Presupuesto del Tanque Séptico-Dos compartimientos
- Tabla 15. Manual de Operación del Tanque Séptico de Acción Múltiple
- Tabla 16. Manual de Mantenimiento del Tanque Séptico de Acción Múltiple
- Tabla 17. Resumen de Diseño del Tanque Séptico de Acción Múltiple
- Tabla 18. Presupuesto del Tanque Séptico de Acción Múltiple
- Tabla 19. Resumen del Sedimentador Convencional
- Tabla 20. Presupuesto del Sedimentador Convencional
- Tabla 21. Manual de Operación del Sedimentador con Lecho Filtrante y Lenteja de Agua
- Tabla 22. Manual de Mantenimiento del Sedimentador con Lecho Filtrante y Lenteja de Agua
- Tabla 23. Manual de Operación de Albercas Biológicas
- Tabla 24. Resumen de Albercas Biológicas
- Tabla 25. Presupuesto de Albercas Biológicas
- Tabla 26. Manual de Operación del Humedal
- Tabla 27. Manual de Mantenimiento del Humedal
- Tabla 28. Resumen del Humedal
- Tabla 29. Presupuesto del Humedal
- Tabla 30. Resumen del Filtro con Plantas Acuáticas
- Tabla 31. Presupuesto del Filtro con Plantas Acuáticas
- Tabla 32. Manual de Mantenimiento del Canal con Plantas Acuáticas
- Tabla 33. Resumen del Canal con Plantas Acuáticas
- Tabla 34. Presupuesto del Canal con Plantas Acuáticas

Tabla 35. Remociones Esperadas del Sistema: TSAM – Canal con Plantas Acuáticas

Tabla 36. Eficiencias Teóricas del Sistema: TSAM– Canal con Plantas Acuáticas

Tabla 37. Caracterización del Efluente del Sistema: TSAM – Canal con Plantas Acuáticas

Tabla 38. Remociones Esperadas del Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas

Tabla 39. Eficiencias Teóricas del Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas

Tabla 40. Caracterización del Efluente del Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas

Tabla 41. Remociones Esperadas del Sistema: Tanque Séptico Dos Compartimientos - Humedal

Tabla 42. Eficiencias Teóricas del Sistema: Tanque Séptico Dos Compartimientos - Humedal

Tabla 43. Caracterización del Efluente del Sistema: Tanque Séptico Dos Compartimientos – Humedal

Tabla 44. Remociones Esperadas del Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas Canal con Plantas Acuáticas

Tabla 45. Eficiencias Teóricas del Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas

Tabla 46. Caracterización del Efluente del Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas

Tabla 47. Resumen de Diseño del Tanque Mezclador

Tabla 48. Presupuesto del Tanque Mezclador

Tabla 49. Resumen de Diseño del Tanque Mezclador

Tabla 50. Presupuesto del Tanque Mezclador

Tabla 51. Manual de Operación del Sedimentador para Concentrado

Tabla 52. Manual de Operación del Biodigestor

Tabla 53. Manual de Mantenimiento del Biodigestor

Tabla 54. Resumen de Diseño del Biodigestor

Tabla 55. Presupuesto del Biodigestor

Tabla 56. Remociones Esperadas del Sistema: Recuperando Concentrado

Tabla 57. Eficiencias Teóricas del Sistema: Recuperando Concentrado

Tabla 58. Caracterización del Efluente del Sistema: Recuperando Concentrado

Tabla 59. Remociones Esperadas del Sistema: Sin Recuperar Concentrado

Tabla 60. Eficiencias Teóricas del Sistema: Sin Recuperar Concentrado

Tabla 61. Caracterización del Efluente del Sistema: Sin Recuperar Concentrado

Tabla 62. Manual de Operación del Desnatador o Sedimentador
Tabla 63. Manual de Mantenimiento del Desnatador o Sedimentador
Tabla 64. Presupuesto del Desnatador o Sedimentador
Tabla 65. Manual de Operación del Filtro de Flujo Vertical y Ascendente
Tabla 66. Presupuesto del Filtro Vertical y Ascendente
Tabla 67. Resumen del Filtro Horizontal
Tabla 68. Presupuesto del Filtro Horizontal
Tabla 69. Remociones Esperadas del Sistema: Filtro Circular – Canal con Plantas Acuáticas
Tabla 70. Eficiencias Teóricas del Sistema: Filtro Circular – Canal con Plantas Acuáticas
Tabla 71. Caracterización del Efluente del Sistema: Filtro Circular – Canal con Plantas Acuáticas
Tabla 72. Remociones Esperadas del Sistema: Filtro Horizontal - Humedal
Tabla 73. Eficiencias Teóricas del Sistema: Filtro Horizontal - Humedal
Tabla 74. Caracterización del Efluente del Sistema: Filtro Horizontal – Humedal

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización del Proyecto
- Figura 2. Cobertura de Servicios Públicos en Departamento del Huila
- Figura 3. Cargas Contaminantes de las Aguas Residuales con mayor impacto del Departamento del Huila
- Figura 4. Tanque Tipo I (TSAM)
- Figura 5. Tanque Séptico Tipo II (con dos compartimientos)
- Figura 6. Tanque Séptico Tipo III (un solo compartimiento)
- Figura 7. Desnatador y Filtro. Esquema Planta
- Figura 8. Desnatador y Filtro. Esquema corte longitudinal
- Figura 9. Sistema de Tratamiento Modular Anaerobio. Esquema Planta
- Figura 10. Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA. Esquema Corte Longitudinal
- Figura 11. Biodigestor. Esquema Planta
- Figura 12. Biodigestor. Esquema corte longitudinal
- Figura 13. Corte Longitudinal y Transversal del Humedal
- Figura 14. Sistema: Tanque Séptico de Acción Múltiple – Canal con Plantas Acuáticas. Esquema
- Figura 15. Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas
- Figura 16. Sistema: Tanque Séptico Dos Compartimientos – Humedal. Esquema
- Figura 17. Sistema. Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas. Esquema
- Figura 18. Sistema: Recuperando Concentrado. Esquema
- Figura 19. Sistema: Sin Recuperar Concentrado. Esquema
- Figura 20. Sistema: Filtro Vertical – Canal con Plantas Acuáticas. Esquema
- Figura 21. Sistema: Filtro Horizontal – Humedal. Esquema

RESUMEN

En el Programa de Ingeniería Agrícola de la USCO, se han realizado varios estudios referentes al tratamiento de aguas residuales en el sector rural del departamento del Huila, este proyecto pretende hacer una recopilación de los mismos. Partiendo de que son las aguas residuales domésticas, del beneficio del café y de la producción porcina; las que mayor impacto producen en el ambiente y en la salud pública, y que los principales Sistemas de Tratamiento construidos son los Tanques Sépticos para las domésticas, el Desnatador y Filtro para el beneficio del café y los Biodigestores para las porcinas; se propone una serie de Unidades y Sistemas de Tratamiento. Los Sistemas propuestos están concebidos dentro del concepto de Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles y están compuestos por una o varias Unidades de Tratamiento Primario y Secundario; de los cuales se presenta un Esquema y las Eficiencias esperadas. Para cada una de las Unidades, se elaboraron los respectivos diseños, caracterizados por ser novedosos, pequeños, de bajo costo, de fácil operación y mantenimiento y acorde a las condiciones del campo; de los cuales se presenta Planos, Presupuesto y Manuales de Operación y Mantenimiento. Se espera que este estudio sea un aporte al tema tratamiento de aguas residuales en el sector rural y el inicio de un estudio académico sistemático del mismo.

Palabras Clave: Aguas residuales; Tratamiento; Sistemas descentralizados.

ABSTRACT

The Program of Agricultural Engineering USCO, there have been several studies related to wastewater treatment in rural areas of the department of Huila, this project aims to make a collection of them. Given that are domestic wastewater, the processing of coffee and pork production, which produce greater impact on the environment and public health, and that the main treatment systems are constructed septic tanks for domestic, the skimmer and Filter for the benefit of coffee and Biodigestores for pig, we propose a series of treatment units and systems. The proposed systems are designed within the concept of integrated and sustainable Decentralized Systems and consist of one or more units of primary and secondary treatment, which is an outline and expected efficiencies. For each of the units, the respective designs were developed, characterized by being innovative, small, low cost, easy operation and maintenance and according to the conditions of the field, which is presented Plans, Financial and Operating Manuals and maintenance. It is hoped that this study is a contribution to the subject wastewater treatment in rural areas and the beginning of a systematic academic study of it.

Keywords: Wastewater; Treatment; Decentralised systems.

INTRODUCCIÓN

En el sector rural del departamento del Huila, generalmente, las aguas residuales de origen doméstico y de la producción agropecuaria, son vertidas crudas a las fuentes de agua, generando dos problemas de igual importancia: contaminación ambiental y riesgos para la salud pública.

En algunas ocasiones, como una alternativa de solución, se han construido sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales centralizadas, que en la mayoría de los casos son de alto costo y por no realizarles las actividades de operación y mantenimiento requeridas, no están operando u operan parcialmente con eficiencias bajas. Es necesario tener presente, que en el sector rural, por la ubicación dispersa de las viviendas, por dificultades topográficas y por aspectos socio - económicos, en la mayoría de las ocasiones resulta inconveniente construir sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales centralizados.

Actualmente, como una propuesta alternativa y dentro del concepto hoy aceptado “El problema de la contaminación es global, pero la solución debe ser cada vez más local”, para la disposición de las aguas residuales en el sector rural, se están proponiendo los sistemas descentralizados; que tienen como ventajas no requerir de alcantarillados, ser soluciones individuales, pequeñas y sencillas y de fácil operación y mantenimiento. Podría resumirse en: sumando soluciones pequeñas se colabora a la solución de un problema grande.

Las aguas residuales que causan mayor impacto en el sector rural del departamento del Huila, son la de origen doméstico, beneficio del café y de la producción porcina. Para el tratamiento de estas aguas residuales y otras provenientes de otras actividades de la producción agropecuaria y agroindustrial, se han construido algunos sistemas de tratamiento descentralizados, que a pesar de sus aceptables y en ocasiones buenas eficiencias; se caracterizan por ser construidos en la mayoría de las veces sin diseños o de forma empírica e igualmente por falta de la debida operación y mantenimiento un buen porcentaje de ellos se encuentran abandonados u operando parcialmente.

Reconociendo los esfuerzos realizados por algunas Entidades e inclusive por empresarios y campesinos para la mitigación de la problemática generada por las aguas residuales domésticas y de la producción agropecuaria,

mediante la construcción de sistemas descentralizados; así mismo de la existencia de publicaciones de Centros de Investigación, Universidades y otras Entidades Educativas, al respecto; este estudio pretende ser un aporte en el tema sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales en el sector rural, mediante la elaboración de un documento que contempla una síntesis de las unidades y sistemas más comúnmente construidos en el departamento del Huila, con una propuesta de metodología de diseño para cada uno de ellas.

La propuesta, está enmarcada dentro del concepto de Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en el Sector Rural del departamento del Huila, desarrollado por Narváez y Silva (2009), que propone la integración del Tratamiento, con el Reuso y la Producción; mediante Sistemas de Tratamiento de bajo costo, de fácil operación y mantenimiento y donde los subproductos son utilizados y por lo tanto se minimiza la contaminación.

Para el estudio, los Sistemas de Tratamiento se consideran conformados por una o varias Unidades de Tratamiento. Para cada Unidad de Tratamiento, se contempla la metodología de diseño, planos y presupuesto global y para los Sistemas de Tratamiento un Esquema del mismo y los cálculos de las Eficiencias esperadas; no contempla estructuras adicionales (medidores de flujo, vertederos de excesos, cajillas de inspección, etc), las cuales deben ser diseñadas y construidas de acuerdo a cada caso particular.

Como Sistemas Sostenibles, la sostenibilidad se contempla desde la óptica ambiental, técnica, económica y social; de tal manera que los sistemas efectivamente operen, contribuyan a minimizar los problemas de contaminación, perduren en el tiempo y contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. En este sentido, la participación de las comunidades y su compromiso debe ser desde el comienzo y durante todo el proyecto, exigiendo la capacitación y acompañamiento de las mismas.

Se espera del estudio, además de su contribución al tema de Sistemas Descentralizados, la realización de otros estudios que lo complementen y profundicen y sea el inicio del estudio metódico y la generación de Líneas de Investigación en el tema de la solución puntual de la problemática de las aguas residuales que tantos problemas genera actualmente al medio ambiente y a la salud pública.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Conceptos

Una vez que el agua ha sido utilizada en alimentación humana, en limpieza doméstica, en lavado público o en la industria, incorpora residuos y productos de todo tipo, y pasa a convertirse en lo que llamamos agua residual. (Seoáñez, 2004)

La contaminación del agua se produce por el vertimiento en ella de un elemento o compuesto, orgánico o inorgánico, que disuelto, disperso o suspendido, alcance una concentración que exceda la tolerancia para un uso determinado. Estos usos pueden ser para consumo humano, recreación, conservación de flora y fauna, uso industrial y agropecuario, etc. La fuente contaminante puede tener origen doméstico, industrial, agrícola y, a veces, origen natural. Las corrientes, lagos, bahías y demás masas de agua tienen capacidad de dilución y autopurificación de los contaminantes. Sin embargo, debido al aumento creciente de la población, y de la actividad industrial y agropecuaria, las cargas contaminantes vertidas a las fuentes cada vez exceden más estas capacidades, con el consecuente deterioro paulatino de este recurso, igualmente cada vez más necesitado para la actividad humana e industrial. (Orozco, 2005)

El aumento constante de la cantidad de agua utilizada y de las aguas residuales producidas por las comunidades urbanas y las industrias de todo el mundo plantea problemas potenciales para la salud y el medio ambiente. Los países están buscando métodos seguros e inofensivos para el medio ambiente y eficaces en función de los costos, para depurar y eliminar las aguas residuales. (FAO, 1996)

La agricultura es al mismo tiempo causa y víctima de la contaminación de los recursos hídricos. Es causa, por la descarga de contaminantes y sedimentos en las aguas superficiales y/o subterráneas, por la pérdida neta de suelo como resultado de prácticas agrícolas desacertadas y por la salinización y anegamiento de las tierras de regadío. Es víctima, por el uso de aguas residuales y aguas superficiales y subterráneas contaminadas, que contaminan a su vez los cultivos y transmiten enfermedades a los consumidores y trabajadores agrícolas. (FAO, 1997)

De acuerdo al Banco Mundial, los más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. (Reynolds, 2002)

El 86% de las aguas residuales urbanas de América Latina y el Caribe y el 65% de las de Asia se vierten sin tratar en ríos, lagos y mares. (OMS, 2004). Actualmente menos del 15% de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento y esto puede empeorar. La situación tiene ya un fuerte impacto en los cursos de agua, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de las zonas costeras en la región. Si algo no se hace en serio en la región en los próximos diez años, podrían confrontarse crisis más graves que la reaparición del cólera. (OMS, 2002)

Muchos de los contaminantes del agua tienen efectos perjudiciales a largo plazo sobre la calidad del agua, lo cual constituye un riesgo para la salud de las personas. En consecuencia, el agua dulce disponible se reduce de forma importante. Asimismo, la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios se ve disminuida drásticamente, a veces con efectos irreversibles. En consecuencia, el medio ambiente se degrada por la disminución de la productividad de la biomasa, la pérdida de la diversidad biológica y la vulnerabilidad ante otros factores estresantes. (UNWATER, 2010)

La contaminación del agua con aguas residuales y excretas es muy común y afecta a un gran número de personas que utilizan aguas de recreo. La mayoría de las personas afectadas presentan síntomas gastrointestinales leves. Uno de los agentes patógenos más comunes y peligrosos que se encuentra en las aguas residuales no tratadas es la bacteria *E.coli* O157. Esta bacteria, que afecta al tubo digestivo, puede causar pérdidas de sangre, diarrea aguda y fiebre. En un pequeño porcentaje de casos, la infección es lo suficientemente grave para provocar infecciones renales, hemorragias e incluso la muerte. (OMS, 2003)

La mayoría de los agentes patógenos transmitidos por el agua no crecen en el agua e inician la infección en el aparato digestivo tras su ingestión, sino que entran en los sistemas de abastecimiento de agua mediante su contaminación con heces humanas o animales. No obstante hay microorganismos medioambientales, como *Legionella*, microbacterias atípicas, *Burkholderia pseudomallei* y *Naegleria fowleri*, que pueden proliferar

en el agua y en el suelo. De todos los patógenos transmitidos por el agua, el helminto *Dracunculus medinensis* es particular, porque es el único agente patógeno que se transmite exclusivamente por el agua de consumo. (OMS, 2011)

El agua sucia causa diarrea, que mata, según se estima, a 1,8 millones de personas en todo el mundo; de ellos, 1,6 millones son niños menores de cinco años. También es responsable de muchas otras enfermedades, por ejemplo, cólera, disentería, enfermedad del gusano de Guinea, fiebre tifoidea y helmintiasis. (OMS, 2004)

El río Ganges, por ejemplo, recibe cada minuto 1,1 millones de litros de aguas residuales sin tratar, cifra particularmente alarmante si se considera que en un gramo de heces de esas aguas puede haber 10 millones de virus, un millón de bacterias, 1000 quistes de parásitos y un centenar de huevos de helmintos. (OMS, 2004)

El agua contaminada puede ser la fuente de grandes epidemias de enfermedades, como el cólera, la disentería y la criptosporidiosis; sin embargo, la mayoría de los agentes patógenos transmitidos por el agua presentan otras vías de infección importantes, como el contacto de persona a persona y la transmisión por los alimentos. (OMS, 2011)

La manera de evitar la contaminación de las aguas superficiales por aguas residuales, es el tratamiento de las aguas residuales, el cual debe estar dirigido a reducir la concentración del elemento contaminante que afecte los parámetros de calidad para el uso definido del agua. Por ejemplo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), afecta el Oxígeno Disuelto (OD), de las corrientes de agua. El agua residual doméstica (ARD), producto de la actividad normal de las viviendas humanas, tienen un alto contenido de DBO. (Orozco, 2005)

Las aguas residuales contienen dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo. Típicamente existen dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques, permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. Después se trata la corriente superior de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método más común consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica. Este método, conocido como tratamiento de lodos activados, requiere el

abastecimiento de oxígeno a los microbios de las aguas residuales para realizar su metabolismo. (Reynolds, 2002)

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. Mientras que cada región tiene sus propias necesidades correspondientes a métodos de tratamiento particulares, cierto número de opciones tradicionales y modernas de tratamiento se encuentran disponibles al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales. (Reynolds, 2002)

Los sistemas de tratamiento se han clasificado como físicos, químicos y biológicos; donde predominan fuerzas físicas, se les domina operaciones unitarias y en los que predominan reacciones químicas o biológicas, procesos unitarios. Los niveles de tratamiento se pueden clasificar de acuerdo al grado de remoción que producen en: tratamiento preliminar y primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. (Valencia, 1998)

En los Tratamientos Preliminares y Primarios, como las aguas residuales traen objetos como botellas, trapos, troncos, pedazos de metal, arenas, estos deben ser retirados antes de entrar al sistema de tratamiento. Por eso, al comienzo de todo sistema se encuentran los tratamientos preliminares y primarios, que son procesos físicos y mecánicos, que retienen sólidos gruesos y suspendidos, además de material flotante. Su importancia radica en que remueven parte de la carga contaminante a un costo mínimo, lográndose eficiencias de remoción del 30% de DBO, el 60% de los SS y el 25% de N y P. Se consideran como tratamientos preliminares: Rejillas, Desarenadores, Trampas de grasas, Tanques de homogenización o igualación. Algunos tratamientos primarios, son: Físicos: Sedimentadores, Tanques de flotación. Químicos: Precipitación, coagulación. Biológicos: Tanques sépticos. La estructura más común son los sedimentadores primarios, que son unos tanques donde el agua residual con un periodo de retención de 2 a 3 horas, es sometida a reposo para que se efectúe la sedimentación; en la parte superior se forma una espuma y en la parte inferior se depositan los lodos, los cuales son removidos para darles un tratamiento posterior. (Valencia, 1998).

El objetivo fundamental del Tratamiento Secundarios es remover DBO y SS. Son procesos de tipo biológico, por acción de los microorganismos la materia orgánica biodegradable y el Nitrógeno amoniacal, pasan a CO₂, agua y nitratos. Generalmente son procesos aeróbicos, requiriéndose algún sistema de aireación. En climas cálidos, se están imponiendo los sistemas anaeróbicos, que aunque son menos eficientes no requieren aireadores y

producen biogás. Las eficiencias de remoción están alrededor del 85% de DBO y 85% de SS. Las remociones de N, P, y microorganismos son bajas. Entre los sistemas están: Lodos activados, Filtros percoladores, Lagunas de estabilización, Lagunas aireadas, Zanjias de oxidación, Filtros anaeróbicos. (Valencia, 1998).

En los Tratamientos Terciarios o Avanzados, el objetivo es remover nutrientes (N, P), metales pesados, sustancias tóxicas, DBO soluble, así como la disposición final de los lodos. (Valencia, 1998).

Los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales, son centralizados, en los que se recolecta toda el agua residual tanto doméstica como industrial y en el que se mezclan residuos sólidos y químicos, metales pesados, arsénicos, etc.

En los Estados Unidos, un país muy avanzado en el manejo de las aguas residuales, el 25% de la población localizada en asentamientos dispersos utiliza sistemas de tratamiento de aguas residuales en el sitio, donde el terreno es el medio de disposición final. Estos sistemas son muy sencillos y de operación fácil y no costosa. (FAO, 2008). Los sistemas descentralizados, permiten el reuso de las aguas residuales; se necesita un cambio de mentalidad para solucionar el problema del tratamiento de aguas residuales. (Camacho, 2009)

Para proveer de servicios de agua y saneamiento sostenibles a las pequeñas localidades, no existe una sola tecnología, ni una única solución. Por ello, toda tecnología se debe adaptar al entorno ambiental, social y económico de las pequeñas localidades. Los desafíos en el uso de una determinada tecnología son proveer respuestas sencillas a la reducción de costos en la inversión, el incremento de las coberturas y mejoras en la calidad del servicio, entre otros. (PAS – LAC, 2007)

Un sistema descentralizado, integrado y sostenible de tratamiento de aguas residuales domesticas para el sector rural es una solución individual para las aguas residuales de cada vivienda, donde se integra el tratamiento de las aguas residuales con el reuso de los subproductos del tratamiento y los productos retornan a la vivienda beneficiando a sus pobladores. Al ser el sistema cíclico no genera residuos a disponer al ambiente, por lo tanto no se produce contaminación. (Narvárez y Silva, 2009)

El tanque séptico de acción múltiple TSAM, es un sistema de tratamiento de aguas residuales, en el cual el tanque séptico se divide en dos compartimientos, complementados con un filtro anaerobio de flujo ascendente. La primera unidad está compuesta por un compartimiento de sedimentación donde las partículas pesadas van al fondo por gravedad y las livianas se dirigen hacia la superficie, conformando una capa delgada de espumas y natas. La segunda es un digestor, donde se depositan los sólidos sedimentados de la sección superior y se inicia su correspondiente biodegradación mediante un proceso anaerobio. El tratamiento secundario se da en el filtro anaerobio, donde el efluente forma una película biológicamente activa en los espacios que dejan los agregados, degradando la materia orgánica restante. (Valencia, 1998)

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente. Este sistema purifica el agua mediante remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. (Delgadillo et al, 2010).

Los biofiltros son pilas de poca profundidad rellenas con un material que sirve como lecho filtrante, en cuya superficie se siembran plantas de pantano, y en las que las aguas residuales pretratadas fluyen en sentido horizontal o vertical. Además de ser un sistema que imita a los humedales (pantanos) naturales, donde las aguas residuales se depuran por procesos naturales. Los biofiltros son humedales artificiales de flujo subterráneo diseñados para maximizar la remoción de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. (WSP, 2007)

Las albercas biológicas se utilizan para el tratamiento de caudales pequeños de tipo domestico o de explotaciones pecuarias, siendo un tanque al cual se le siembra plantas acuáticas, emplea dos compartimientos con buchón de agua y un filtro de arena. (Medina, 2007)

Los canales con plantas acuáticas son una variante de los humedales artificiales, en la que se introduce un cultivo de plantas flotantes, como los jacintos de agua o las lentejas de agua, cuya finalidad principalmente es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces, que constituyen un buen substrato responsable de una parte importante del tratamiento. (Moreno, 2003)

El uso de jacintos de agua (*Eichonia sp.*) y lentejas de agua (*lemna sp.*) evita la entrada de luz solar al estanque. Comúnmente se utilizan para la eliminación de algas de los efluentes de lagunas o estanques de estabilización. Los sistemas de jacintos de agua además están diseñados también para proporcionar niveles de tratamientos secundarios y avanzados. Estos sistemas han sido utilizados también como medios de producción de proteínas o biomasa en cuyo caso la depuración constituye un objetivo secundario del proyecto. (Moreno, 2003).

Uno de los sistemas utilizados en el sector rural para el tratamiento de las aguas residuales porcinas son los biodigestores plásticos tipo Taiwan. Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genera electricidad. El fertilizante, llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está tratando con la misma importancia, o mayor, que el biogás, ya que provee a las familias de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas. (Martí, 2008).

Para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, se utiliza entre otros sistemas, el compuesto por un Desnatador y un Filtro. El tanque Desnatador es circular, pero el fondo es en forma de cono; se construye en ladrillo tolete y lleva tuberías de carga que reciben las aguas de primer lavado provenientes de los tanques tina, la descarga se hace después de 24 horas de operación. El Filtro recibe las aguas del segundo y tercer lavado del café, que provienen de los tanques tina y recibe también las aguas que salen del tanque desnatador después de 24 horas; para construir el filtro se debe hacer una excavación, las paredes en ladrillo tolete pañetadas y piso en cemento, el filtro está conformado por tres capas de abajo hacia arriba, de la siguiente manera: piedra, gravilla y arena; sobre la capa de gravilla se coloca geotextil 1600 para evitar taponamiento del filtro. (Marín y Leiva, 2007)

Otro sistema utilizado para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, denominado Sistema de Tratamiento Modular Anaerobio STMA, involucra una tecnología de tratamiento biológico con separación de las fases hidrolítica -acidogénica de la fase metanogénica, apta para alcanzar altas eficiencias en la remoción de carga orgánica; no utiliza energía eléctrica para bombeo del agua residual, el flujo se hace por gravedad, aprovechando la topografía de la zona cafetera colombiana; utiliza unidades prefabricadas de polietileno con tapa y negras, que permiten elevar hasta 30°C la temperatura interna de los tanques y controlar la presencia de malos olores en los alrededores; utiliza microorganismos metanogénicos, presentes en el estiércol vacuno o porcino, responsables de la etapa principal del tratamiento de las aguas mieles y trozos de guadua o de botellas plásticas no retornables que favorecen la permanencia de los microorganismos en el sistema; éste sistema durante su operación, no requiere adición de químicos para neutralizar la acidez de las aguas mieles, ni para el balance de nutrimentos. (Zambrano et al, 2010)

1.2. Antecedentes

Narváez y Silva, (2009), presentan tres propuestas para el tratamiento de aguas residuales en la zona rural del departamento del Huila. Humedales, con eficiencias teóricas de remoción de contaminantes, del 83% en DBO, 92% en SS, G y A, el 60% en N, 46% en P y 99% en CF. Las albercas biológicas, con eficiencias teóricas, 95% en DBO, 98% en SS, 92% en G y A, 85% en N, 54% en P y 99% en CF; finalmente los tanques sépticos de acción múltiple (TSAM) con eficiencias teóricas de remoción del 80% en DBO, 94% en SS, 92% en G y A, 62% en N, 58% en P y 99% en CF.

En el corregimiento San Luis del Municipio de Neiva, se construyeron para algunas fincas como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas Tanques Sépticos, conformados por una sola cámara (sedimentación) de $a = 0.90$ m, $l = 2.34$ m, y $h = 1.50$ m, complementado por un campo de infiltración de 5 m de largo. Las eficiencias teóricas de remoción del sistema son DBO 52% y SS 76%. El sistema construido no corresponde al diseñado inicialmente, que era un Tanque Séptico de dos compartimentos. (Murcia y Rojas, 2012).

El Área Administrativa el Monal, Inspección San Francisco, Predio El Rayo, Municipio de Neiva; tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, el cual beneficia al 100% de la población. El sistema se

compone de dos tanques sépticos de acción múltiple TSAM construidos en paralelo, cada uno con una cámara de sedimentación con medidas $l = 2.90$ m, $a = 1.82$ m y $h = 2.48$ m, cámara de digestión $l = 1.65$ m, $a = 1.82$ m y $h = 2.48$ m, y un filtro anaeróbico $l = 2.65$ m, $a = 1.82$ m y $h = 2.28$ m, complementado con un filtro fitopedológico construidos en ramales. Para evaluar su eficiencia se realizó un muestreo y análisis de laboratorio, resultando los siguientes porcentajes de remoción: $DBO_5 = 90\%$ y $SS = 81\%$, lo cual indica que cumple con la normatividad aplicable para vertimientos en cuerpos de agua. (Campo y Murcia, 2012)

En Ginebra y Cali - Valle del Cauca, se evaluó el comportamiento del sistema tanque séptico, filtro anaerobio y un humedal de flujo subsuperficial. Los resultados obtenidos mostraron en Ginebra, donde se trabajó con valores de caudal hasta 3 veces el de diseño, en promedio remociones del 80% DQO, 81-88% en SST, 62% de CF y 18% de TKN. El sistema de La Vorágine con tiempos de 25,1 a 62,4 horas reportó comportamientos semejantes en remociones de DQO 84% Y SST 91,6%, mientras que la remoción de nitrógeno TKN se limitó a un 30% y las CF un 71,8%. En ambos experimentos se logró establecer que el sistema integrado puede trabajar hasta con el doble del caudal de diseño sin reducir su eficiencia de remoción. (Madera, 2003)

En La Vorágine, vereda perteneciente al Corregimiento de Pance del municipio de Santiago de Cali – Colombia, se realizó un estudio sobre el desempeño de un sistema integrado de tratamiento de agua residual doméstica compuesto por tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente y filtro fitopedológico. El sistema consta de dos líneas de tratamiento independientes, lo que ha permitido desarrollar el trabajo de una de ellas, bajo tres condiciones reales de funcionamiento. Finalmente la investigación permitió visualizar las soluciones que ofrece al problema de tratamiento de aguas residuales domésticas en los contextos rurales y urbanos marginales. (Rivera, 1998).

Osorio (2003), presenta una de las experiencias de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, en el tratamiento de las aguas residuales domésticas que se generan en viviendas unifamiliares, urbanizaciones, hoteles, veredas y corregimientos situados en su zona de jurisdicción. Se ha hecho seguimiento a un tanque séptico, filtro anaerobio y decantador – humedal de flujo subsuperficial, buscando alternativas económicas, fácil de operar y mantener y que cumplan con las normas de vertimiento específicas en la legislación vigente. Se han obtenido los

siguientes porcentajes de eficiencia para el sistema conformado por tanque séptico con remociones de 60-80% DBO₅ y 70-80% SST, trabajando con volúmenes de 2 hasta 85,5 m³ y profundidades de 1,2 a 2 m, el filtro anaerobio con remociones del 50-70% DBO₅ y 55-65% SST, para una capacidad de 0,7 hasta 57,37 m³ de volumen y profundidades de 0,8 a 1,8 m, y el humedal de flujo subsuperficial con remociones de 88,4% DBO₅ y 81% SST, trabajando con un área de 7,5 a 1215 m².

En la Locación petrolera Caño Gandul en el departamento de Casanare, se instaló una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas que involucra un reactor anaerobio de compartimientos paralelos de flujo a pistón (RACFP), seguido de un humedal artificial de alta tasa conformado por macrófitas nativas y comunes soportadas sobre sustrato de material plástico reciclado con un diseño especial de aproximadamente 300 m²/m³ de superficie. En cuanto a la eficiencia del sistema de tratamiento, se encontraron porcentajes de remoción de DBO, DQO y SST que en promedio fueron del 89%, 83% y 87,5% respectivamente. La eficiencia de eliminación de grasas y aceites mostró un valor superior al 80% y además logró buena eficiencia en la remoción de nutrientes presentando un valor promedio del 60% para el fósforo y el 74% para el Nitrógeno. Respecto a la eliminación de coliformes totales se obtuvo valores superiores al 89%. (Otálora, 2011)

Más de 150 ciudades y pueblos de Estados Unidos utilizan en la actualidad humedales naturales y artificiales para tratar las aguas residuales como una alternativa tecnológicamente sencilla y barata a las caras plantas de tratamiento de aguas residuales. Algunas comunidades han creado humedales artificiales para tratar sus aguas, como hicieron los residentes de Arcata (California, Estados Unidos) dirigidos por los profesores Robert Gearheart y George Allen, de la Universidad del Estado Humboldt. (Tyler, 2002)

En la Ciudad de Masaya, Nicaragua se construyó una planta de tratamiento piloto Masatepe, diseñada con cuatro biofiltros de flujo horizontal en paralelo con una retención hidráulica de tres a cinco días. Se obtuvo en promedio de remoción en los resultados obtenidos en el análisis de los cuatro biofiltros un 97.4% en DBO₅, 94.5% en DQO, 34.5% en N, 26.6% en P, 97.2% en SS y 99.52% en CF. (ASTEC, 2005)

CIPAV (2007), propone el tratamiento biológico con organismos acuáticos que aporta no solo la limpieza de las aguas para riego y lavado sino que ofrece ventajas económicas como la generación de abono, combustible,

productos agrícolas y forrajes, integrados al sistema para alimentación humana y animal. El sistema integrado de producción agrícola – pecuario y descontaminación se encuentra en un área de 400 m². Sus principales componentes son cerdos – biodigestor – canales con plantas acuáticas – estanque de peces y/o riego – cultivos; lo han denominado descontaminación productiva.

En la vereda Honda Porvenir del Municipio de Pitalito, se implementó como sistema de tratamiento una Alberca Biológica para las aguas residuales domesticas; conformado por dos tanques sembrados con Jacinto de agua y un tercer tanque denominado filtro compuesto de tres lechos (piedra, grava y arena). Los tres compartimientos tienen medidas iguales a = 1 m, l = 1 m y h = 0.70 m. En una evaluación realizada, presentó porcentajes de remoción de 28% DBO, 17% DQO, 47% SS, 33% ST, 90% P y 39% Grasas y Aceites. Este sistema se ha implementado en Colombia en el sector rural, se conocen experiencias en el Líbano (Tolima) y en el Departamento del Huila en la zona sur en los Municipios de Pitalito y Palestina. (Pinzón y Vélez, 2008)

Medina (2007), para dar solución al problema de contaminación que genera la explotación porcina en la Institución Educativa el Tejar (Timaná – Huila), diseño un sistema de tratamiento para las aguas de lavado, el cual consta de una alberca biológica, siendo un tanque al cual se le siembra plantas acuáticas, emplea dos compartimientos con buchón de agua y un filtro de arena. Además este tratamiento cuenta con un canal de plantas acuáticas con buchón y lenteja de agua de gran poder depurador. Presenta remociones teóricas de 83% en DBO, 77% SS, 99.99% CF, 68% de N y 67% de P.

Para la Institución Educativa Guacirco (Neiva - Huila), que cuenta con una población académica de 240 personas, se diseñó una PTAR que consta de un tratamiento preliminar conformado por una rejilla y un desarenador, un tratamiento primario con dos albercas biológicas sembradas con buchón de agua y unas escaleras de oxigenación, un tratamiento secundario con tres albercas biológicas, dos de ellas con lenteja de agua y una con buchón de agua, y finalmente con un tratamiento terciario con cuatro filtros biológicos con papiro, siendo éste un humedal artificial de flujo subterráneo, sembrado con plantas de pantano en la superficie del lecho filtrante. Las eficiencias teóricas calculadas fueron del 91% DBO, 88% SS, 99.99% CF, 73% N y 64% P, considerándose altas. La importancia del proyecto radica en que la depuración de las aguas residuales se realiza mediante un sistema no

convencional, con plantas acuáticas, las cuales armonizan con el entorno mejorando el aspecto visual de la Institución. (Ferro, 2008)

En la Finca el Rancho de Elisa, de la vereda El Tablón del Municipio La Plata, se diseñó, construyó y evaluó un biodigestor piloto, tipo Taiwán de 12 metros de longitud y diámetro 1,30 metros. Éste sistema trata las aguas residuales producidas en una explotación porcina, produciendo como subproductos energía (biogás) y bioabono. Sus porcentajes de eficiencia reales de remoción, fueron 86% DQO, 95% DBO, 80% ST, 87% SS, y 12% CF; lo que indica que es un sistema eficiente (Botache et al, 2001)

En la Finca La Siberia, Vereda Peñas Blancas del Municipio de Neiva, se evaluó el sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas, el cual cuenta con un biodigestor complementado por una cámara de entrada y una cámara de salida. Las eficiencias teóricas del sistema son del 50% de DBO, 70% de SS y 10% en N y P. El efluente de este sistema es reusado para riego de pasto King grass, caña y plátano; y el subproducto biogás para uso doméstico. (Medina y Forero, 2012).

En la Finca Canagueros de Rivera – Huila, para el manejo de los residuos de la explotación porcina, se diseñó como sistema de tratamiento: un sedimentador para recuperar concentrado como primera unidad, un biodigestor como segunda unidad y finalmente como tercera unidad albercas biológicas. Los porcentajes teóricos de remoción fueron: 83% DBO, 94% SS, 88% G y A, 71% N, 78% P y 99,99% CF. (Artunduaga y Gordillo, 2009)

En la Finca Tajjú, ubicada en la vereda Casarrosines del Municipio de La Plata – Huila, se construyó un sistema de tratamiento para las aguas residuales porcinas. El sistema comprende un sedimentador, un biodigestor y una alberca biológica, siendo un sistema descentralizado, integrado y sostenible. Cuando se puso en funcionamiento el sistema en el año 2009, se encontraron unos porcentajes de remoción del 60% DBO, 92% SS, 84% G y A, 76% N y 81% P, lo que indican que el sistema estaba funcionando correctamente. Se evaluó el estado de construcción, operación y mantenimiento actualmente, y se encontró que el sistema se encuentra en total abandono; las aguas residuales de las porquerizas están siendo utilizadas crudas la mayor parte para riego de caña y pastos, y la otra parte es vertida al río Páez, ocasionando problemas ambientales y de salud pública. (Rojas y Casas, 2012)

En el Municipio de Gigante – Huila, se construyó un sistema de tratamiento de las aguas residuales del café, para un caficultor con 3 hectáreas. Se empleó como sistema de tratamiento desnatador y filtro. El desnatador circular con $\varnothing = 1.20$ m y el filtro $l = 1.5$ m, $a = 1.0$ m y $h = 2.0$ m. El sistema presentó porcentajes del 68% DBO y 92.4% SS. (Marín y Leiva, 2007)

En la vereda Villa Colombia – Huila, se implementaron dos clases de sistemas de tratamiento de aguas residuales para el beneficio del café. El primero emplea un sistema STMA (Sistema de Tratamiento Modular Anaerobio), el cual consta de dos reactores hidrolíticos acidogénicos (RHA), siendo un tanque de polietileno negro en tronco de cono, capacidad de 2 m^3 y con flujo ascendente; y además de un reactor metanogénico constituido por filtros anaeróbicos de flujo ascendente, el lecho filtrante lo compone material inerte reciclado; este tratamiento presentando eficiencias reales de remoción es el 86% DBO, 85% DQO, 96% SS y 43% G y A. El segundo sistema emplea un desnatador al cual llega el agua de lavado que contiene la mayor carga de mucilago, luego durante de un tiempo se retira la nata; el filtro en la parte superior tiene una malla de anejo fino, lleva tres capas filtrantes cada una de 50 centímetros, piedra en el fondo, luego gravilla y finalmente arena lavada de río. Los resultados de las eficiencias reales de éste segundo tratamiento fueron 90% de DBO, 95% de DQO, 97% de SS y 84% de G y A. Demostrando que ambos sistemas son buenos para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café. (Cortes y Ríos, 2009)

Las aguas residuales del café son el contaminante más agresivo para las fuentes hídricas cercanas a las fincas productoras. Se realizó un diagnóstico de un sistema de tratamiento, ubicado en la finca el Recreo, vereda Paraíso Charguayaco del Municipio de Pitalito; que consta de un desnatador y un filtro. Las medidas del desnatador $\varnothing = 1.15$ m, $h = 1.0$ m y $v = 1.05 \text{ m}^3$, y el filtro anaerobio de flujo descendente $a = 1.80$ m, $l = 1.80$ m, $h = 2.0$ m y $v = 6.48 \text{ m}^3$. Se encontraron porcentajes teóricos de remoción altos, $\text{DBO}_5 = 75\%$, $\text{SS} = 90\%$, $\text{G y A} = 70\%$, convirtiéndose el sistema de tratamiento en una alternativa ambiental para minimizar la contaminación generada por las aguas residuales producto del beneficio del café, de buena aceptación por la comunidad, económico, de fácil operación y mantenimiento. (Marín y Gaitán, 2012)

La vereda Holguín del Municipio de Elías – Huila, tiene una extensión total de 554 hectáreas, 45 fincas cafeteras y un parque cafetero de 46 hectáreas correspondientes a 30 caficultores, con un área promedio en café por caficultor de 1.53 hectáreas. En un diagnóstico, se evaluó el estado de

construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café, compuesto por un desnatador y un filtro de la Finca Santana. Los porcentajes de remoción de muestreos realizados, fueron DBO: 67%, SS: 92%, G y A: 57%, N: 17% y P: 10%, obteniendo resultados aceptables; se sugiere mejorar el filtro. (Oyola y Cedeño, 2012)

2. METODOLOGIA

2.1. Localización

El proyecto va dirigido a la zona rural del Departamento del Huila, específicamente a la de minifundio, también, denominada Economía Campesina. El Huila está localizado en la región sur occidental de Colombia, sobre la cuenca alta del río Magdalena. Limita al Norte con los departamentos del Tolima y Cundinamarca, al Sur con Cauca y Caquetá, al Este con Meta y Caquetá y al Oeste con el departamento del Cauca. (Ver Figura 1)

Por estar sobre el Valle del río Magdalena, presenta una zona baja y alargada que se ensancha progresivamente hacia el norte. El resto del territorio es montañoso y corresponde a las vertientes de las cordilleras Oriental y Central. El clima es cálido y seco en el valle del río Magdalena, mientras en las vertientes de las cordilleras es frío y húmedo.

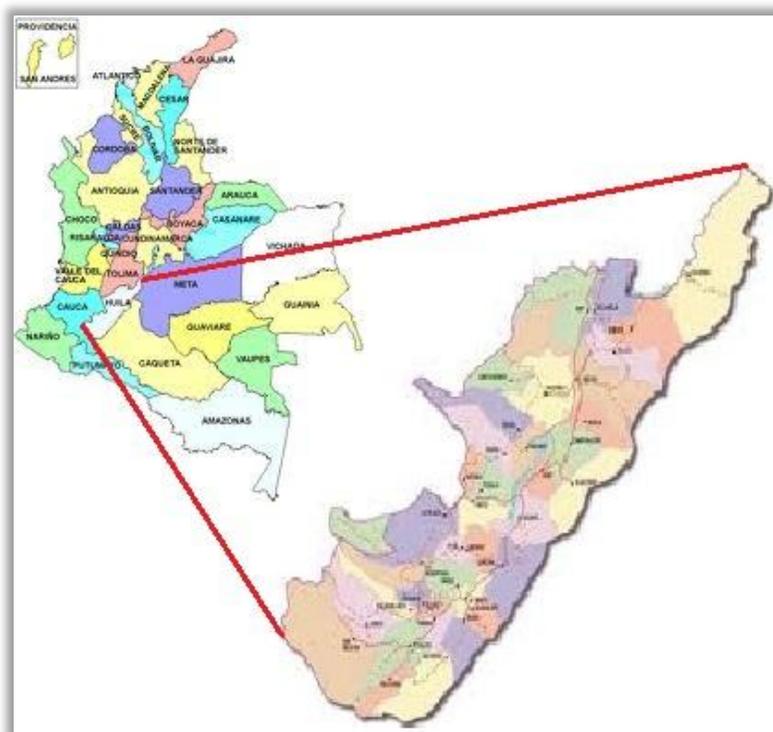


Figura 1. Localización del Proyecto

La economía del Huila está centrada en las actividades agropecuarias y los servicios. En el sector agropecuario, el departamento se concentra en la producción de arroz, maíz, frijol, café y algodón, además de la producción de

ganado bovino, porcino, y la piscicultura. En el sector de servicios se destaca el comercio y el turismo, gracias a su parque arqueológico de San Agustín, entre otros.

2.2. Métodos

FASE UNO. Diagnostico del Tratamiento de las Aguas Residuales en el Sector Rural del Departamento del Huila.

Actividad Uno. Recolección de Información. Se realizaron visitas a la Dirección de Asistencia Técnica Agropecuaria y Medio Ambiente (DATMA) y a Aguas del Huila S.A. ESP, para obtener información sobre sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas construidas y en construcción en el sector rural del Departamento del Huila; además se visitó la oficina FAO – Proyecto Cuenca Río Las Ceibas - Huila para recolectar información sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales porcinos construidos y que actualmente están construyendo conjuntamente con la Fundación HOCOL; y finalmente la Federación Nacional del Cafeteros para recolectar información sobre los sistemas de tratamiento construidos y en construcción para las aguas residuales del beneficio del café.

En el Centro de Documentación del Programa de Ingeniería Agrícola, se revisaron proyectos de grado del Programa de Ingeniería Agrícola y la Especialización en Ingeniería Ambiental de la Universidad Surcolombiana, además de artículos de la revista Ingeniería y Región de la Facultad de Ingeniería, referentes a Sistemas Descentralizados para el tratamiento de aguas residuales.

También se revisaron documentos y artículos de Entidades como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), la Corporación Autónoma Regional del Valle (CVC), el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), la Federación Nacional de Cafeteros, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, y la Gobernación del Huila.

Actividad Dos. Análisis de la Información. La información recolectada se sistematizó y tabuló de tal manera que se pudiera determinar los tipos de

aguas residuales de mayor impacto sobre el medio ambiente y la salud pública en el sector rural del Departamento del Huila y permitiera cuantificar las cargas contaminantes; para el cálculo de las cargas contaminantes de las aguas residuales domésticas, se realizó mediante la siguiente expresión:

$$CC = No. hab * CC_{pc}$$

Para el cálculo de la carga contaminante de DBO de las aguas residuales del café, se utilizó la siguiente expresión:

$$CC = Pr_{CAFE} * CC_{kg}$$

Y para el cálculo de la carga contaminante de SS de las aguas residuales del café, mediante la siguiente expresión:

$$CC = Pr_{CAFE} * Q * C_{SS}$$

Para el cálculo de las cargas contaminantes de las aguas residuales porcinas, se utilizó la siguiente expresión:

$$CC = CC_u * W_{cer} * No. Cerdos$$

Actividad Tres. Sistemas de Tratamientos Construidos en el Departamento del Huila. Se determinaron los tipos de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales más comunes y de mayor impacto, construidos y en construcción en el sector rural, sus Unidades con sus respectivas dimensiones y eficiencias de remoción.

FASE DOS. Propuesta de Unidades para los Sistemas de Tratamiento.

Actividad Uno. Selección de Unidades. Para la selección de las Unidades de Tratamiento que se proponen para los diferentes Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (ARD), Porcinas (ARP) y del Beneficio del Café (ARC), se tuvieron en cuenta criterios como: información documentada sobre la Unidad, sean pequeñas y de bajo costo, para su operación no se requiera de energía adicional, sean de fácil operación y mantenimiento, armonicen con el entorno y sean aceptadas por las comunidades.

Actividad Dos. Parámetros de Diseño. Para el diseño de cada unidad, esta se asimiló a una Unidad con información conocida y se le determinó un parámetro de diseño, con base al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000 y a reportes de la literatura.

Actividad Tres. Normas de Diseño y Construcción. A cada unidad, se le determinaron Normas de Diseño que permitan dimensionarlas y normas de Construcción que permita construirlas; con base a conocimientos previos y a consultas con Expertos.

Actividad Cuatro. Cálculos Básicos. Para el diseño de las Unidades de Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas (ARD), para el caudal (Q), se tuvo en cuenta el número de habitantes (No. hab), la dotación (D) y el coeficiente de retorno (CR); utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{ARD} = No. hab * D * CR$$

Para el diseño de las Unidades de Tratamiento de las aguas residuales del café, se tuvo en cuenta la producción por hectárea de café cereza, el periodo pico más alto, el consumo de agua en el beneficio por unidad de café baba; con la siguiente expresión:

$$Q_b = \frac{Producción Pico}{No. días pico} * \frac{Cantidad de agua}{Unidad de café baba}$$

Para el diseño de las Unidades de Tratamiento de las aguas residuales porcinas, se tuvo en cuenta el número de porcinos, el área de porqueriza que ocupa cada porcino, el número de lavadas de la porqueriza por unidad de tiempo y la cantidad de agua utilizada por cada lavada, mediante siguiente expresión:

$$Q_{ARP} = No. Porcinos * \frac{Área}{porcino} * No. \frac{Lavadas}{día} * Cantidad de agua/lavada$$

Actividad Cinco. Diseño. Con base en el parámetro de diseño, las normas de diseño y construcción, y los cálculos básicos, se dimensionó cada Unidad, y se le elaboraron planos y presupuesto. Adicionalmente se le elaboró los manuales de operación y mantenimiento, y se presentan propuestas de Reuso de los subproductos.

FASE TRES. Propuesta de Sistemas de Tratamiento.

Actividad Uno. Selección de Sistemas. La selección de los Sistemas de Tratamiento para cada agua residual, se realizó mediante la unión de varias de las Unidades de Tratamiento diseñadas, con el fin de aumentar la eficiencia de remoción de contaminantes.

Actividad Dos. Eficiencias Teóricas del Sistema. Después de seleccionar los Sistemas de Tratamiento, se realizó el cálculo de las remociones esperadas para cada Unidad y la Eficiencia Teórica del Sistema, con base al RAS 2000 y a reportes de la literatura. Para el cálculo se utilizaron porcentajes de remoción bajos.

3. RESULTADOS

3.1 ESTADO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

3.1.1 Generalidades del departamento del Huila

El Departamento del Huila según el mapa físico-político de Colombia, elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, tienen 19.900 km² de superficie representando el 1.8% de la superficie total del país. El Huila está localizado al norte con los departamentos de Cundinamarca y el Tolima, al sur con los de Cauca y Caquetá, al oriente con Meta y Caquetá, y al occidente con Cauca y Tolima. (Gobernación del Huila, 2010)

Según el CENSO DANE 2005, la población en la zona rural del Departamento del Huila es de 429.497 habitantes y 639.323 en zona urbana, para un total de 1.068.820 habitantes en los 37 municipios: Acevedo, Aipe, Algeciras, Altamira, Baraya, Campoalegre, Colombia, Elías, El Agrado, Garzón, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Nátaga, Nieva, Oporapa, Paicol, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, Rivera, Saladoblanco, Santa María, San Agustín, Suaza, Tarqui, Tello, Teruel, Tesalia, Timaná, Villavieja y Yaguará. (Gobernación del Huila, 2010)

Su economía se basa principalmente en la producción agrícola y ganadera, la explotación petrolera y el comercio. En el sector agropecuario del departamento en el año 2010, el subsector agrícola aporta un 75.09%, el subsector pecuario un 19.36% y el subsector piscícola un 5.54% a la economía del Huila. (Gobernación del Huila, 2010)

La producción agrícola se ha desarrollado y tecnificado en los últimos años. El área cultivada se divide en área sembrada (AS) y área cosechada (AC). Para cultivos transitorios como algodón, arroz riego, maíz tecnificado, maíz tradicional, frijol tecnificado, frijol tradicional, sorgo y tabaco rubio, se tiene un total de AS: 47.957 ha y AC: 43.042 ha. Para los cultivos semipermanentes y permanentes como cacao, caña panelera, plátano, plátano intercalado y café un total de AS: 171.103 ha y AC: 139.865 ha. Se incluyen cultivos permanentes frutales como el aguacate, badea, banano, curuba, cítricos, cholupa, guayaba, guanábana, granadilla, lulo, mango, maracuyá, mora, papaya, piña, pitahaya, tomate de árbol y uva, con un área total de 15.000 ha. (Gobernación del Huila, 2010)

Actualmente el cultivo de mayor importancia en el departamento es el café, debido a que participa con el 22.30% de la producción total nacional equivalente a 871.500 cargas de café pergamino seco. La producción total de café en el primer semestre de 2010 se estima en 45.956 Ton. El Huila es el principal exportador nacional del café especial o de alta calidad. (Gobernación del Huila, 2010). El número de fincas cafeteras en el Departamento del Huila es de 80000 fincas, ubicadas en la zona rural de 35 municipios, menos en Villavieja y Yaguará. El 80% de las fincas con áreas promedias menor a 3 hectáreas y (Chávarro, 2011) indica que la producción es de 15 cargas de café pergamino seco por hectárea al año, equivalente a 1875 kg/ha/año.

La producción total pecuaria alcanza un volumen de 83.373 Ton, incluyendo la ganadería bovina, porcinos, aves y apicultura. (Gobernación del Huila, 2010) En el Huila se tiene un inventario de 85.323 porcinos, de los cuales 35.654 lechones menores de 6 meses, 25.723 hembras y 23.946 machos, ambos mayores de 6 meses. El municipio que más produce es Neiva con un total 22.166 porcinos. De la población total se tiene 36.902 de población no tecnificada y 48.421 de población tecnificada. (Gobernación del Huila, 2010)

3.1.2 Saneamiento en el sector rural del departamento del Huila.

Con respecto a la cobertura de servicios públicos (Figura 2) el 99% de los habitantes del departamento del Huila del área urbana tiene acueducto y el 78% en el sector rural. Según el Plan de Desarrollo, se estima que 16.000 familias de área rural y 5.139 del sector urbano carecen del servicio de acueducto. Disfruta de agua potable el 95% en el área urbana y el 5% en el sector rural. La cobertura de alcantarillado alcanza de manera global el 78% de las familias; en el caso urbano la cobertura es del 98% y en el sector rural del 45%. (Gobernación del Huila, 2011)

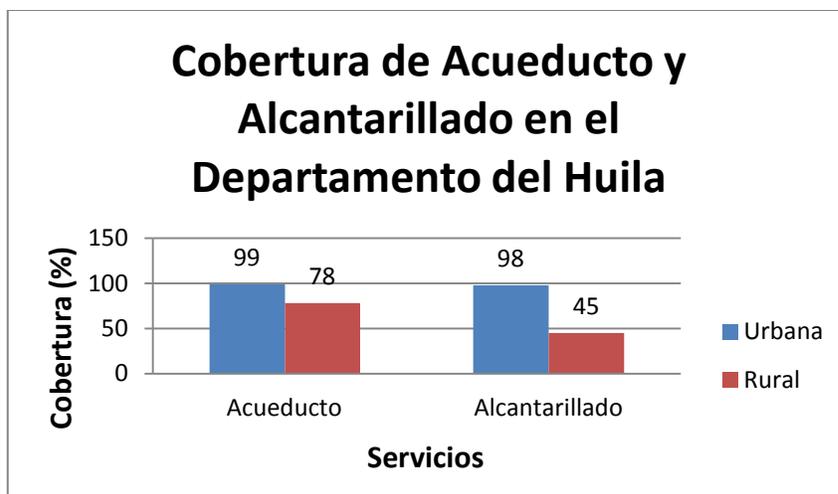


Figura 2. Cobertura de Servicios Públicos en Departamento del Huila

3.1.3 Contaminación por aguas residuales en el sector rural.

En el Departamento del Huila, el problema de contaminación de las fuentes hídricas superficiales cercanas a las veredas, fincas y centros poblados, radica principalmente en las aguas residuales domésticas, aguas miel del café y del lavado de las porquerizas.

Las aguas residuales domésticas son aquellas que salen directamente de una vivienda, se clasifican en aguas grises (Lavamanos, duchas, cocina) y las aguas negras (baterías sanitarias), generando problemas de salud pública y contaminación ambiental. El sistema de tratamiento más común en el Departamento del Huila es el Tanque Séptico de Acción Múltiple (TSAM).

Las aguas residuales del café son aquellas que se generan del beneficio del café, donde utilizan grandes volúmenes de agua limpia, considerándose las aguas residuales que generan mayor impacto en contaminación ambiental. El sistema de tratamiento más común en el Departamento del Huila es el compuesto por un Desnatador y un Filtro.

Las aguas residuales de la producción porcina, son las generadas por el lavado de los cubículos de las porquerizas, ocasionando problemas de contaminación ambiental. El sistema de tratamiento más común en el Departamento del Huila es el Biodigestor.

3.1.3.1 Cargas Contaminantes

Según El Departamento del Planeación del Huila, mediante proyecciones de la población para el periodo 2012, la población rural será de 445,976 habitantes. (Gobernación del Huila) Para la población rural se estiman cargas contaminantes per cápita de $DBO_5 = 38 \text{ g/hab/d}$ y de $SS = 60 \text{ g/hab/d}$. El proceso tradicional del beneficio del café, genera dos subproductos: pulpa y mucílago. Estos al ser puestos en contacto con el agua, causan una contaminación de $DBO_5 = 114 \text{ g/kg}$ de cereza y se utiliza consumos específicos de agua de 50 L/kg de café cereza. (CAM, 2003). En Sólidos Suspendidos se reporta concentración $C = 30000 \text{ mg/L}$ (Villanueva y Moreno, 2010)

Según CIPAV (1998), la contaminación generada por la explotación porcícola es en $DBO = 0.25 \text{ Kg/100 Kg de PV}$ y $SS = 0.75 \text{ Kg/100 Kg de PV}$.

- **CARGA CONTAMINANTE DOMESTICA**

- Carga Contaminante DBO

$$\begin{aligned}CC_{DBO} &= No. hab * CC_{pc} \\CC_{DBO} &= 445,976 hab * 38 \frac{g}{hab} / d \\CC_{DBO} &= \mathbf{16,947 kg/d}\end{aligned}$$

- Carga Contaminante SS

$$\begin{aligned}CC_{SS} &= No. hab * CC_{pc} \\CC_{SS} &= 445,976 hab * 60 \frac{g}{hab} / d \\CC_{SS} &= \mathbf{26,758 kg/d}\end{aligned}$$

- **CARGA CONTAMINANTE DEL CAFÉ**

- Producción del Café del Huila

$$\begin{aligned}Pr_{CAFE} &= No. ha * Pr/ha/año \\Pr_{CAFE} &= 86729 ha * 1875 kg/ha/año \\Pr_{CAFE} &= \mathbf{162\ 616\ 875 kg/año}\end{aligned}$$

- Carga Contaminante DBO

$$CC_{DBO} = Pr_{CAFE} * CC_{kg}$$

$$CC_{DBO} = 162\,616\,875 \frac{kg}{año} * 114 \text{ g/kg café} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ d}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}}$$

$$CC_{DBO} = 50\,790 \text{ kg/d}$$

- Carga Contaminante Unitaria de SS($CC_{kg \text{ café}}$)

$$CC_{kg \text{ café}} = Q * C_{SS}$$

$$CC_{kg \text{ café}} = 50 \frac{L}{kg} * 30000 \frac{mg}{L} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}$$

$$CC_{kg \text{ café}} = 1500 \frac{g \text{ SS}}{kg \text{ café}}$$

- Carga Contaminante SS

$$CC_{SS} = Pr_{CAFE} * CC_{kg}$$

$$CC_{SS} = 162\,616\,875 \frac{kg}{año} * 1500 \text{ g/kg café} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ d}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}}$$

$$CC_{SS} = 668\,288 \text{ kg/d}$$

• CARGA CONTAMINANTE PORCINA

- Carga Contaminante DBO

$$CC_{DBO} = CC_u * W_{cer} * No. \text{Cerdos}$$

$$CC_{DBO} = 0.25 \frac{kg}{100 \text{ kg PV} - d} * 70 \text{ kg} * 85,323 \text{ cerdos}$$

$$CC_{DBO} = 14,931 \text{ kg/d}$$

- Carga Contaminante SS

$$CC_{SS} = CC_u * W_{cer} * No. \text{Cerdos}$$

$$CC_{SS} = 0.75 \frac{kg}{100 \text{ kg PV} - d} * 70 \text{ kg} * 85,323 \text{ cerdos}$$

$$CC_{SS} = 44,749 \text{ kg/d}$$

En la Figura 3, se comparan las cargas contaminantes de DBO y SS de las aguas residuales domésticas, las producidas por el beneficio del café y del

lavado de las porquerizas en el sector rural del Departamento del Huila. Observándose que las aguas residuales de mayor impacto en la contaminación en las fuentes hídricas son las aguas residuales del café, principalmente los SS; seguida por las aguas residuales porcinas. Comparando las cargas contaminantes de DBO, se tiene que las aguas residuales domésticas contaminan más que las aguas residuales porcinas, lo que indica riesgos para la salud pública.

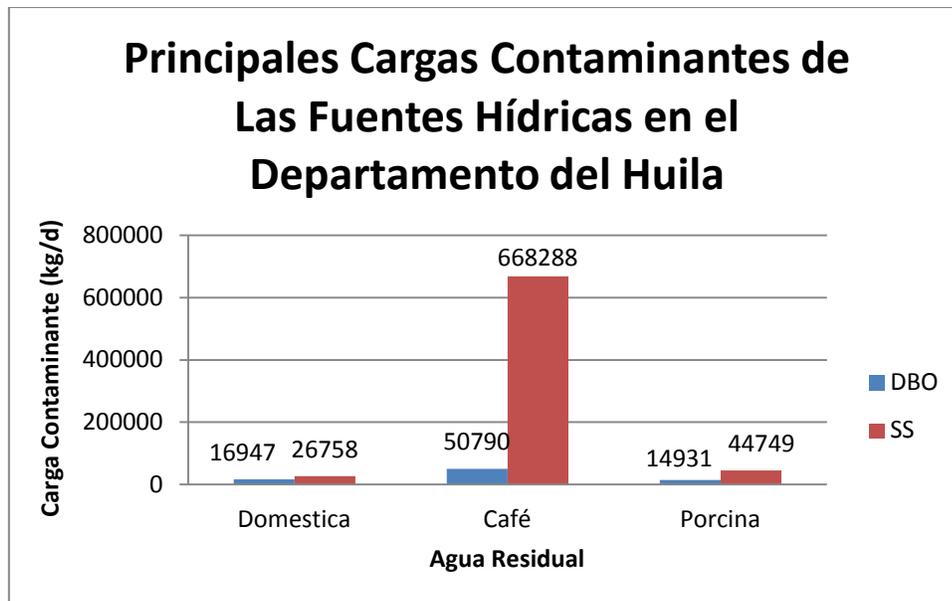


Figura 3. Cargas Contaminantes de las Aguas Residuales con mayor impacto del Departamento del Huila

3.1.4 Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

3.1.4.1 Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

En el sector rural del Departamento del Huila el Sistema de Tratamiento más común para las aguas residuales domésticas son los Tanques Sépticos. Se encuentran construidos tres tipos de tanques sépticos: algunos con tres compartimientos, denominados TSAM (compuestos de una Cámara de Sedimentación, una Cámara de Digestión y un Filtro Anaerobio la mayoría de flujo descendente). Otros Tanques Sépticos de dos compartimientos (compuestos de una Cámara de Sedimentación y un Filtro Anaerobio). Y otros de un solo compartimento (que realiza la función de un sedimentador).

Es común encontrar el caso que diseñado un TSAM, los usuarios al momento de la construcción unen en un solo compartimento las cámaras de sedimentación y digestión; quedando finalmente un Tanque Séptico compuesto por una Cámara de Sedimentación y un Filtro Anaerobio.

Así mismo, la mayoría de los Tanques Sépticos, por falta de capacitación a los Usuarios, no se les hace actividades de Operación y Mantenimiento, dando como resultado que se encuentran operando parcialmente o estén abandonados.

En el tanque tipo I (TSAM), se realiza tratamiento primario en la cámara de sedimentación que consiste en la remoción de SS y grasas, y un tratamiento secundario en la cámara de digestión y el filtro anaerobio. La cámara de digestión remueve principalmente DBO y el filtro anaerobio remueve DBO, SS, N, P y CF. (Ver Figura 4)

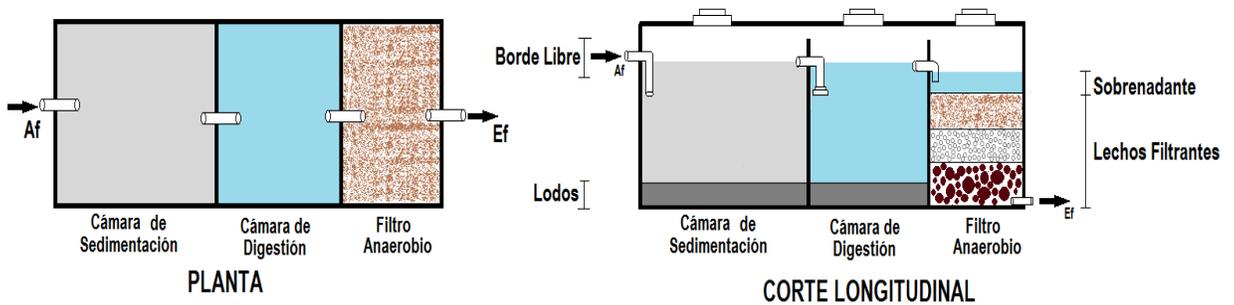


Figura 4. Tanque Tipo I (TSAM)

En el tanque tipo II (Tanque Séptico de dos compartimentos) se realiza tratamiento primario en la cámara de sedimentación y tratamiento secundario en el filtro anaerobio (Ver Figura 5). En el tanque tipo III (Tanque Séptico de un compartimento), se realiza tratamiento primario en la cámara de sedimentación. (Ver Figura 6).

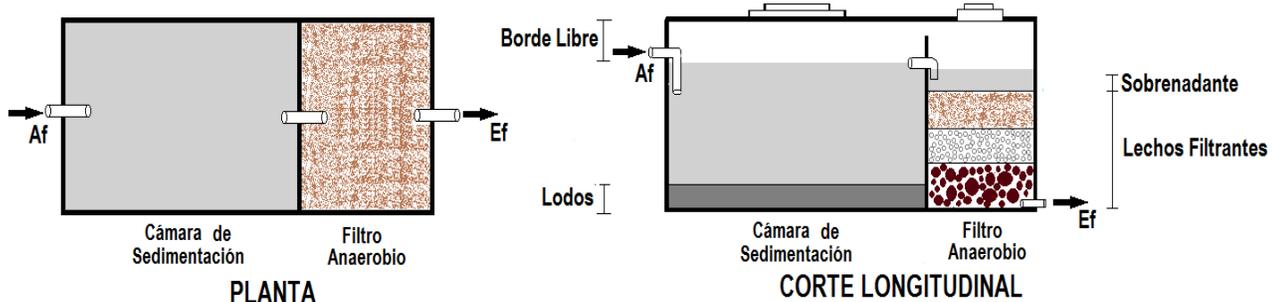


Figura 5. Tanque Séptico Tipo II (con dos compartimentos)

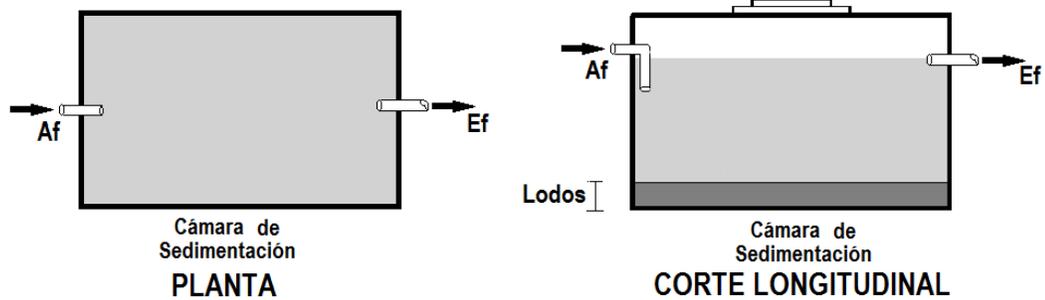


Figura 6. Tanque Séptico Tipo III (un solo compartimiento)

Los Tanques Sépticos construidos en el sector rural del departamento del Huila, son de forma rectangular, de ladrillo tolete pañetado para las paredes y concreto reforzado para las placas de fondo y la tapa; actualmente se están utilizando tapas metálicas.

Para el corregimiento San Luis del Municipio de Neiva se diseñaron tanques sépticos tipo finca de dos compartimientos para una población de 5 habitantes, con dimensiones $l = 1$ m, $a = 0.70$ m y $h = 1.5$ m para la cámara de sedimentación y $l = 0.60$ m, $a = 0.70$ m y $h = 1.5$ m para la cámara de digestión. Pero, al momento de construirlos se dejó un solo compartimiento con dimensiones $l = 2.30$ m, $a = 0.90$ m y $h = 1.5$ m. Las remociones teóricas encontradas son $DBO = 52\%$ y $SS = 76\%$ (Murcia y Rojas. 2012)

3.1.4.2 Tratamiento Aguas Residuales del Café

En el Departamento del Huila se están construyendo dos sistemas de tratamiento para las aguas residuales producto del beneficio del café: uno denominado Desnatador y Filtro y otro el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (STMA). El más común es el Desnatador y Filtro (Ver Figuras 7 y 8); el Desnatador, es un tanque generalmente circular con forma de cono en el fondo, construido en ladrillo tolete pañetado y tapa metálica, realiza el tratamiento preliminar consistente en la remoción de SS y grasas. El Filtro, es anaerobio generalmente de flujo descendente; un tanque rectangular, con paredes en ladrillo pañetado y placa de fondo en concreto reforzado, con lechos filtrantes en piedra, grava y arena; realiza el tratamiento secundario mediante la remoción de DBO. Lo común de estos sistemas es que responden a un diseño y dimensiones estándares, sin tener en cuenta el tamaño de la finca y la cantidad de agua residual a tratar.

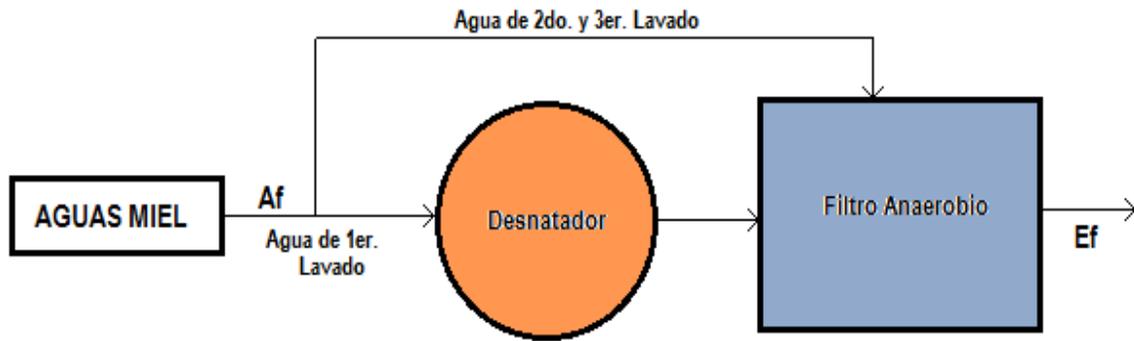


Figura 7. Desnatador y Filtro. Esquema Planta

En la finca el Recreo, vereda Charguayaco ubicada en el municipio de Pitalito, se construyó un Desnatador y Filtro para un área de café de 2 ha. El desnatador tiene dimensiones $\phi = 1.15\text{m}$, $h = 1\text{m}$ y el filtro anaerobio descendente $l = 1.80\text{ m}$, $a = 1.80\text{m}$ y $h = 2\text{m}$. Con eficiencias teóricas de remoción de DBO = 68% y SS = 92.4%. (Marín y Leiva, 2012)

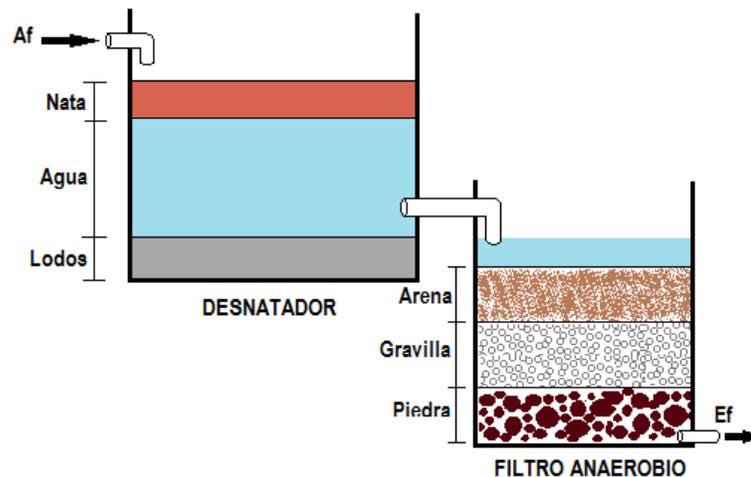


Figura 8. Desnatador y Filtro. Esquema corte longitudinal

El otro sistema construido en menor cantidad, el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (Ver Figura 9 y 10), utiliza tanques prefabricados en polietileno, de 250 L para una capacidad máxima de 72 kg de café cereza por día hasta un tanque de 2000 L para 1710 kg de café cereza por día (Zambrano et al, 2010). El sistema lo compone un tanque hidrolítico acidogénico y un tanque metanogénico con lecho filtrante de botellas plásticas no retornables o guadua, y generalmente una cámara dosificadora.

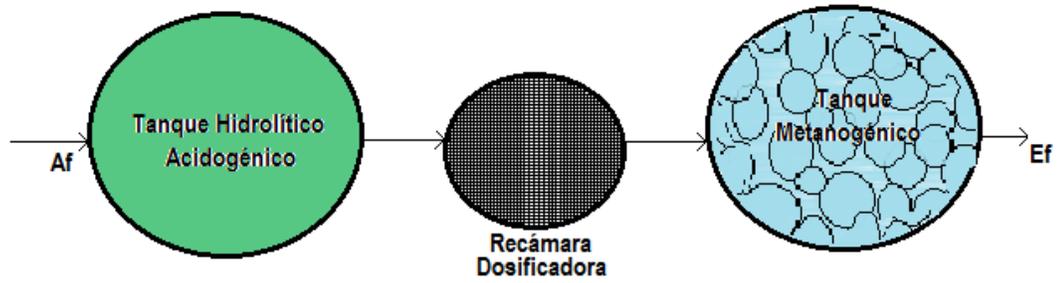


Figura 9. Sistema de Tratamiento Modular Anaerobio. Esquema Planta

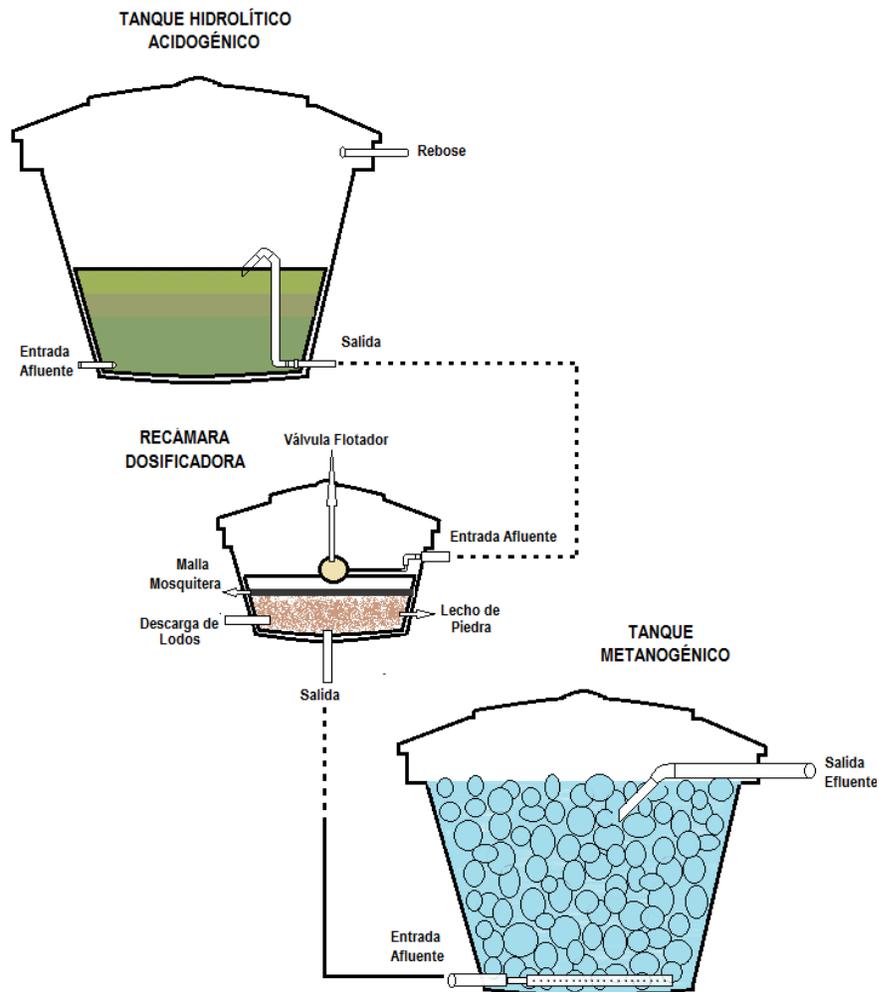


Figura10. Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA. Esquema Corte Longitudinal

3.1.4.3. Tratamiento Aguas Residuales Porcinas

En el Departamento del Huila se están construyendo biodigestores tubulares para el tratamiento de las aguas residuales de las porquerizas (Ver Figura 11 y 12), complementado con una cámara de entrada y otra de salida. Las

cámaras se construyen en concreto o ladrillo pañetado, el biodigestor en geomembrana calibre 23, y tubería PVC para la conducción del afluente y el biogás.

Los subproductos del sistema se están utilizando, el efluente como abono, y el biogás para cocinar o para calentar los lechones.



Figura 11. Biodigestor. Esquema Planta

En las porquerizas de la Finca Siberia, Vereda Peñas Blancas del Municipio de Neiva, se construyó un biodigestor con dimensiones $l = 12\text{m}$ y $\phi = 1.5\text{m}$, las cámaras tienen de área 1 m^2 . Se encontraron remociones teóricas de $\text{DBO} = 50\%$, $\text{SS} = 70\%$, $\text{N} = 10\%$ y $\text{P} = 10\%$. (Medina y Forero, 2012)

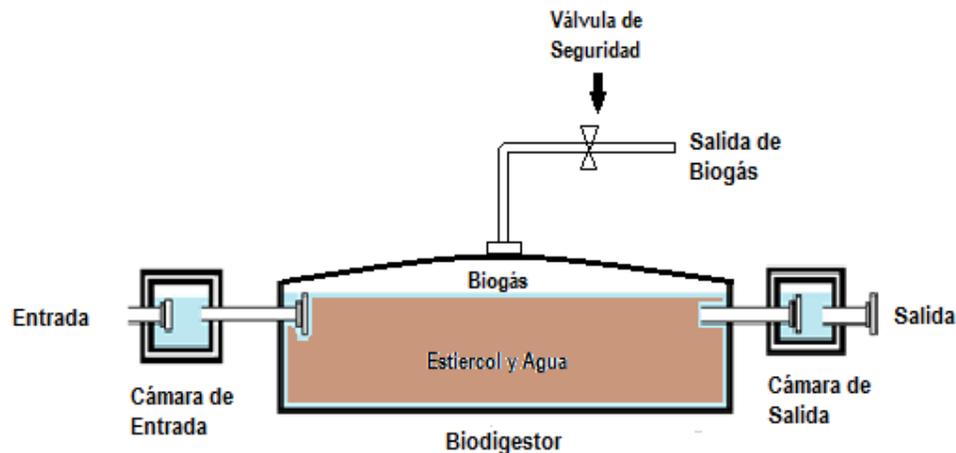


Figura 12. Biodigestor. Esquema corte longitudinal

3.2 PROPUESTA DE UNIDADES DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las unidades que se proponen para mejorar los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, están diseñados para pequeñas explotaciones del

sector agropecuario (Ver Tabla 1). Para el caudal de las ARD se tiene que el 70% del caudal son aguas grises y el 30% aguas negras.

Tabla 1. Capacidad Máxima para el Diseño de las Unidades

Agua Residual	Parámetro de Diseño
Agua Residual Doméstica	10 Habitantes
Agua Residual del Café	2 Hectáreas
Agua Residual Porcina	15 Porcinos

3.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARD

- **Caudal**

- Caudal Consumo

Asumiendo para el sector rural una dotación $D = 250 \text{ L/hab-d}$

$$Q_{con} = D * No.Hab$$

$$Q_{con} = (250 \text{ L/hab} * d) * 10 \text{ hab}$$

$$Q_{con} = 2500 \text{ L/d}$$

- Caudal Agua Residual Doméstica

Asumiendo para el sector rural un coeficiente de retorno $CR = 0.9$

$$Q_{ARD} = Q_{con} * CR$$

$$Q_{ARD} = (2500 \text{ L/d}) * 0.9$$

$$Q_{ARD} = 2250 \text{ L/d}$$

- Aguas Grises

$$AG = Q_{ARD} * 70\%$$

$$AG = (2250 \text{ L/d}) * 0.7$$

$$AG = 1575 \text{ L/d}$$

- Aguas Negras

$$AN = Q_{ARD} * 30\%$$

$$AN = (2250 \text{ L/d}) * 0.3$$

$$AN = 675 \text{ L/d}$$

Tabla 2. Caudales de Aguas Residuales Domésticas

Parámetro	Valor (L/d)
$Q_{AguasNegras}$	675
$Q_{AguasGrisas}$	1575
$Q_{ARDTOTAL}$	2250

En la Tabla 2, se muestra los caudales calculados para las aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta que el caudal total, es la sumatoria de las aguas negras con las aguas grises.

- **Caracterización**

En la Tabla 3, se tiene una caracterización de las aguas residuales domesticas, donde nos indica la concentración de los diferentes parámetros se que contienen en ella.

Tabla 3. Concentración del Agua Residual Doméstica

Parámetro	Unidad	Concentración
Ph		6.5
DBO	mg/L	180
SS	mg/L	200
G y A	mg/L	50
N	mg/L	20
P	mg/L	10
CF	nmp/100ml	10 ⁸
HH	No. Huevos/L	50

Fuente: (Patarrollo, 2006) y (Metcalf & Eddy, 2003)

3.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARP

- **Caudal**

- Área del Porcino

$$A_{Porcino} = No. Porcinos * Area/porcino$$

$$A_{Porcino} = 15 Porcinos * 2 m^2 / porcino$$

$$A_{Porcino} = 30 m^2$$

- Caudal Agua Residual Porcina

Asumiendo un caudal consumo de 4L/m².

$$Q_{ARP} = Q_{con} * A_{Porcino} * No. \frac{Lavadas}{día}$$

$$Q_{ARP} = (4 L/m^2) * 30 m^2 * 2 \frac{lavadas}{d}$$

$$Q_{ARP} = 240 L/d$$

- **Caracterización**

En la Tabla 4, se tiene una caracterización para las aguas residuales porcinas que se presenta en las pequeñas explotaciones del Departamento del Huila.

Tabla 4. Concentración del Agua Residual Porcina

Parámetro	Unidad	Concentración
pH		6.7
DBO	mg/L	3250
SS	mg/L	8750
G y A	mg/L	28.2
N	mg/L	258
P	mg/L	1020
CF	UFC.100/MI	10 ⁷

Fuente: Artunduaga y Gordillo, 2009

3.2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARC

- **Caudal**

La producción de café cereza en el Departamento del Huila es en promedio de 1875 kg/ha/año (Chávarro, 2011) y el consumo de agua promedio en el beneficio es de 5 L/kg de café cereza y 3L/kg de café baba. (Gutiérrez, 2012). Para el cálculo de la producción de café baba (Pr**cb**), se utiliza un factor de 0.6 respecto a la producción de café cereza (Pr**cc**).

- Producción de Café Baba por hectárea

$$Pr_{cb} = \frac{Pr_{cc}}{ha} * 0.6$$

$$Pr_{cb} = 1875 \text{ kg/ha-año} * 0.6$$

$$Pr_{cb} = 1125 \text{ kg/ha-año}$$

- Producción de Café Baba durante la cosecha (Pr_{cbc})

El consumo del agua para el beneficio del café, se calcula para la producción pico de la época de cosecha y con éste valor se calcula el consumo del día pico (Q_{dp}).

La producción de café cereza por año, se divide en el 66% para la época de cosecha y el 33% para el resto del año. La duración de la cosecha, es en promedio 45 días. La máxima producción se espera en los 15 días medios de la época de cosecha el 50% de la producción de la cosecha.

$$Pr_{cbc} = Pr_{cb} * 0.66$$

$$Pr_{cbc} = 1125 \text{ kg/ha-año} * 0.66$$

$$Pr_{cbc} = 743 \text{ kg/ha-año}$$

- Producción de Café Baba durante el día pico. (Pr_{cbdp})

Pr_{cbep} = Producción de Café Baba en la época pico

$$Pr_{cbep} = Pr_{cbc} * 0.5$$

$$Pr_{cbep} = 743 \text{ kg/ha-año} * 0.5$$

$$Pr_{cbep} = 372 \text{ kg/ha}$$

$$Pr_{cbdp} = \frac{Pr_{cbep}}{15 \text{ d}}$$

$$Pr_{cbdp} = \frac{372 \text{ kg/ha}}{15 \text{ d}}$$

$$Pr_{cbdp} = 25 \text{ kg/ha-d}$$

- Caudal del Agua de Beneficio

$$Q_b = Pr_{cbdp} * \frac{L}{\text{kg cb}}$$

$$Q_b = 25 \text{ kg/ha-d} * 3 \text{ L/kg cb}$$

$$Q_b = 75 \text{ L/ha-d}$$

Para el cálculo del caudal del agua residual del café, se asume un área de la finca $A_f = 2 \text{ ha}$, por lo tanto el Q_{ARC} se tiene mediante la siguiente expresión:

$$Q_{ARC} = Q_b * A_f$$

$$Q_{ARC} = 75 \text{ L/ha-d} * 2 \text{ ha}$$

$$Q_{ARC} = 150 \text{ L/d}$$

- **Caracterización**

En la Tabla 5, se puede ver la caracterización que se tiene para las aguas residuales del café en las pequeñas explotaciones del Departamento del Huila.

Tabla 5. Concentración del Agua Residual del Café

Parámetro	Unidad	Concentración
ph	Unidades	3.3
DBO	mg/L	111780
SS	mg/L	22000
G y A	mg/L	29.2
N	mg/L	1278
P	mg/L	92

Fuente: Leiva y Marín, 2006. Para G y A, N y P (Cortes y Rios, 2009)

En la Tabla 6, se tiene los caudales de las aguas residuales domésticas, las del beneficio del café y la de los porcinos, que se presentan en las pequeñas explotaciones del Departamento del Huila.

Tabla 6. Caudal de Aguas Residuales

Parámetro	Valor (L/d)
Q_{ARD}	2250
Q_{ARC}	150
Q_{ARP}	240

3.2.2 UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA LAS ARD

Para las aguas residuales domésticas, se proponen unidades para tres tipo de tratamiento, tratamiento preliminar con trampa de grasas, tratamiento primario con tanque séptico de dos compartimientos, tanque séptico de acción múltiple y Sedimentadores primarios, tratamiento secundario con albercas biológicas, canales con plantas acuáticas, humedales, filtros con plantas acuáticas, escalinata de oxigenación, lagunas con plantas acuáticas, y además se propone como estructura complementaria el lecho de secado de lodos.

3.2.2.1 Tratamiento Preliminar

a. TRAMPA DE GRASAS

- **Descripción.** Es un tanque pequeño de forma prismático rectangular, construido preferiblemente enterrado dejando la tapa sobre la superficie del suelo; con una pantalla colocada transversalmente creando un falso fondo, para retener las grasas y evitar que pasen a la tubería de salida. Su función es remover las grasas y aceites de las aguas grises que provienen de la cocina, lavaderos, lavamanos y duchas.
- **Localización.** En el exterior de la vivienda lo más cercano posible a la cocina. El sitio debe ser de fácil acceso, y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** Esta unidad forma parte del tratamiento preliminar; el proceso es físico, las grasas por cambio de temperatura se solidifican y por tener menor densidad que el agua suben y flotan sobre la superficie del agua, y son retenidas por la pantalla de donde deben ser retiradas; el agua pasa por debajo de la pantalla y por la tubería de salida pasa a la siguiente unidad de tratamiento.
- **Parámetro de diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH entre 3 a 5 minutos.

- **Normas de diseño:**

Forma: prismático rectangular

Relación Largo (l) Ancho (a) de 1.5:1 hasta 2:1.

Profundidad efectiva entre 40 y 60 cm.

Ancho mínimo: 30 cm.

Borde libre: 10 a 20 cm

- **Normas de construcción:**

Placa de fondo. Concreto reforzado

Paredes. En ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante.

Tapa. De un material liviano (madera plástica) con una agarradera, que permita ser fácilmente removida.

Pantalla. De madera plástica y pueda ser retirada con facilidad.

Tuberías de entrada y salida. Sumergidos 12 cm

- **Operación y Mantenimiento**

En las Tabla 7 y 8, se presenta los manuales de operación y mantenimiento de la Trampa de grasas.

Tabla 7. Manual de Operación de la Trampa de Grasas.

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Inspección de existencia de grasas	15 días		Retirar la tapa de la trampa de grasas, esperar 3 a 5 minutos para que salgan malos olores.
Retiro de grasas y aceites	15 días	Guantes, Botas, Tapabocas, Recipiente para retirar grasas, Balde	Retirar las grasas y aceites con un recipiente, depositarlas en el balde, llevarlas a una zanja cubierta con plástico, agregarles cal y enterrarlas
Inspección de existencia de lodos	6 meses		Introducir una vara de l = 1.0 m, si la vara sale sucia más de la mitad de la columna de agua, se debe retirar lodos, si no se vuelve a tapar.
Retiro de Lodos	6 meses	Guantes, Botas, Tapabocas, Recipiente para retirar lodos, Balde	Si es necesario retirar lodos, retirarlos con un recipiente, depositarlas en el balde, ponerlas a secar, agregarles cal, compostarlos y utilizarlos como abono

Tabla 8. Manual de Mantenimiento de la Trampa de Grasas.

Actividad	Periodo	Procedimiento
Inspección del estado de la tapa	15 días	Verificar que la tapa de la trampa de grasa este bien ubicada, para que no se filtre el agua lluvia
Inspección de la estructura	6 meses	Observar que la estructura de la trampa de grasas no presente anomalías como grietas.
Inspección de la pantalla	15 días	Verificar que la pantalla se encuentre en buen estado y bien colocada.
Inspección de la tubería	6 meses	Verificar que la tubería de entrada y salida no se encuentre taponada
Conservar las plantas aromáticas	15 días	Retirar la maleza que se encuentre alrededor de la trampa de grasas

- **Disposición de subproductos.** Las grasas y aceites retiradas, deben ser dispuestas en un relleno sanitario, si no es posible deben ser enterradas. Los lodos retirados del fondo, después de secados, agregarles cal, compostarlos y utilizarlos como abono.

- **Eficiencia.** Con debida operación y mantenimiento, se espera eficiencias de remoción de grasas y aceites G y A = 70%.

DISEÑO

Se asume: TRH = 5 minutos, altura h = 0.50 m, borde libre bl = 0.10 m y relación largo: ancho 1.5:1.

Volumen

$$V = Q_{ARD} * TRH$$

$$V = 2250 \text{ L/d} * 5 \text{ min} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) * \left(\frac{1 \text{ d}}{24 \text{ hr}} \right) * \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right)$$

$$V = 0.0078 \text{ m}^3$$

Área Superficial

$$V = A_s * h \quad \Rightarrow \quad A_s = \frac{V}{h}$$

$$A_s = \frac{0.0078 \text{ m}^3}{0.5 \text{ m}} \quad \Rightarrow \quad A_s = 0.015 \text{ m}^2$$

Ancho (a)

$$A_s = l * a \quad \Rightarrow \quad A_s = 1.5 a * a$$

$$A_s = 1.5 a^2 \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt{\frac{A_s}{1.5}}$$

$$a = 0.1 \text{ m} \quad \text{y} \quad l = 0.15 \text{ m}$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas: a = 0.30 m, l=1.5a y h = 0.50 m, por lo tanto las medidas ajustadas son:

l = 0.45 m, a = 0.30 m y h = 0.50 m. (Ver plano 1)

En la Tabla 9, se presenta el resumen de diseño de la trampa de grasas, dimensión útil hace referencia a las medidas internas, dimensión total hace referencia a las medidas externas y el tiempo de retención hidráulica calculado con las medidas reales y mediante la expresión $TRH = \frac{V_{\text{útil}}}{Q_{ARD}}$.

Tabla 9. Resumen de Diseño de la Trampa de Grasas

Dimensión Útil (m)	Dimensión Total (m)	Volumen Útil (m ³)	Volumen Total (m ³)	TRH real (min)
l = 0.45	l = 0.73			
a = 0.30	a = 0.58	6.75x10 ⁻²	28.36x10 ⁻²	43
h = 0.50	h = 0.67			

- **Presupuesto.** En la Tabla 10, se tiene el presupuesto global de la trampa de grasas.

Tabla 10. Presupuesto de la Trampa de Grasas

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.04	274250	10970
Acero de Refuerzo 3/8	Kg	2	3187	6374
Muro de ladrillo tolete Mortero para Pañete 1:2 Impermeabilizado	m2	1.31	29225	38285
Tee Sanitaria PVC Ø 3"	UND	1	5231	5231
Tubería PVC Sanitaria Ø 3"	MI	0.5	12667	6334
Tapa Madera Plástica	UND	1	58000	58000
Pantalla Madera Plástica	UND	1	46400	46400
TOTAL				\$ 199,104

3.2.2.2 Tratamiento Primario

a. TANQUE SÉPTICO – Dos compartimientos

- **Descripción.** Es un tanque de forma prismático rectangular, dividido en dos partes, generalmente construido enterrado dejando las tapas sobre la superficie del suelo. El primer compartimiento denominado Cámara de Sedimentación tiene como función remover SS y el segundo compartimiento, la Cámara de Digestión remover DBO. Esta unidad realiza tratamiento a las aguas negras que provienen de las baterías sanitarias y el efluente que sale de la trampa de grasas.
- **Localización.** Debe ubicarse lo más retirado posible de la vivienda, a una distancia mayor de 15 m. El sitio debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.

- **Proceso.** La primera unidad denominada **CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN** realiza tratamiento primario, proceso de tipo físico, decantación de sólidos de mayor peso específico que el agua y flotación de sólidos de menor peso específico. La segunda unidad denominada **CÁMARA DE DIGESTIÓN** realiza tratamiento secundario de tipo biológico, en el cual bacterias anaerobias degradan la materia orgánica.
- **Parámetro de Diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. El TRH para la cámara de sedimentación de 2 a 4 horas y para la cámara de digestión de 2 a 6 horas.

- **Normas de Diseño:**

Forma: prisma rectangular

Relación Largo (l) Ancho (a), de todo el Tanque Séptico de 2:1 hasta 4:1

Profundidad efectiva entre 70 y 90 cm.

Ancho mínimo: 70 cm.

Borde libre: 10 a 20 cm.

- **Normas de Construcción:**

Placa de fondo: Concreto reforzado

Paredes: Ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante.

Tapa: De un material liviano (por ejemplo madera plástica) con una agarradera, que permita removerse fácilmente.

Tuberías de entrada y salida y accesorios: 3 pulgadas.

Sumergencia de las tuberías de entrada y salida: 10 a 15 cm.

- **Operación y Mantenimiento**

En las Tabla 11 y 12, se presenta los manuales de operación y mantenimiento del tanque séptico de dos compartimientos

Tabla 11. Manual de Operación del Tanque Séptico-Dos Compartimientos.

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Inspección de lodos en la cámara de sedimentación	6 meses	Guantes Tapa bocas	Retirar la tapa y esperar de 3 a 5 minutos para que salgan gases. Introducir una vara de l = 1.50 m, si la vara sale sucia más de la mitad de la columna de agua, se debe retirar lodos, si no se vuelve a tapar.
Retiro de lodo de cámara de sedimentación	6 meses	Guantes, Botas, Tapabocas, Recipiente para retirar lodo, Balde	Si es necesario retirar lodos, retirar las ¾ partes, con un recipiente, depositarlas en el balde, ponerlas a secar, agregarles cal, compostarlas y utilizarlas como abono.
Inspección de lodos en la cámara de digestión	2 años	Guantes Tapa bocas	Retirar la tapa, esperar 3 a 5 minutos para que salgan gases. Introducir una vara de L = 1.50 m, si la vara sale sucia más de la cuarta parte de la columna de agua, se debe retirar lodos, en caso contrario se vuelve a tapar.
Retiro de lodo de cámara de digestión	2 años	Guantes, Botas, Tapabocas, Recipiente para retirar lodo, Balde	Si es necesario retirar lodos, retirar las ¾ partes con un recipiente.

Tabla 12. Manual de Mantenimiento del Tanque Séptico-Dos Compartimientos.

Actividad	Periodo	Procedimiento
Inspección del estado de la tapa	6 meses	Verificar que las tapas del tanque séptico este bien ubicadas y limpias de basuras.
Inspección de la estructura	6 meses	Observar que la estructura de los compartimientos del tanque séptico no presente anomalías como grietas u otros.
Inspección de los canales perimetrales	3 meses	Verificar que los canales estén limpios.
Inspección de la tubería	6 meses	Verificar que la tubería de entrada y salida no se encuentre taponada
Conservar las plantas aromáticas	3 meses	Retirar la maleza que se encuentre alrededor del tanque.

- **Disposición de Subproductos.** Los lodos deben ser depositados en un sitio fuera del tanque, acondicionado para tal fin, dejarlos secar al sol, agregarles cal, compostarlos y reutilizarlos como abono en agricultura.
- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción de DBO = 50%, SS = 70% y CF = 90%.

DISEÑO

Para el diseño de la cámara de sedimentación y la cámara de digestión, se asume: TRH = 3 horas para construirlas iguales. Así mismo se asume altura de $h = 0.80$ m para las dos cámaras, borde libre $bl = 0.10$ m, relación largo: ancho de 2:1 para el tanque séptico y de 1:1 para cada cámara.

- Cámara de Sedimentación y Cámara de Digestión

Volumen

$$V = Q_{ARD} * TRH$$

$$V = \left(2250 \frac{L}{d}\right) * 3 h * \left(\frac{1 d}{24 hr}\right) * \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right)$$

$$V = 0.28 m^3$$

Área Superficial

$$V = As * h \quad \Rightarrow \quad As = \frac{V}{h}$$

$$As = \frac{0.28 m^3}{0.8 m} \quad \Rightarrow \quad As = 0.35 m^2$$

Ancho (a)

$$As = l * a \quad \Rightarrow \quad As = a * a$$

$$As = a^2 \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt{As}$$

$$a = 0.60 m \quad y \quad l = 0.60 m$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas:

a = 0.70 m, l = 0.70 m y h = 0.8 m para ambas cámaras (Ver plano 2)

En la Tabla 13, se presenta el resumen de diseño del tanque séptico de dos compartimientos.

Tabla 13. Resumen del Tanque Séptico-Dos Compartimientos

Dimensión Útil (m)	Dimensión Total (m)	Volumen Útil (m3)	Volumen Total (m3)	TRH real (hr)
l = 1.40	l = 1.96			
a = 0.70	a = 1.04	0.78	2.24	8
h = 0.80	h = 1.10			

- **Presupuesto.** En la Tabla 14, se tiene el presupuesto global del tanque séptico de dos compartimientos.

Tabla 14. Presupuesto del Tanque Séptico-Dos Compartimientos

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.16	274250	43880
Acero Refuerzo 3/8	Kg	24	3187	76488
Muro de ladrillo tolete	m2	6.8	29225	198730
Mortero para Pañete 1:2 Impermeabilizado	m2	6.8	21000	142800
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	1	4733	4733
Tubería Sanitaria Ø 3"	MI	1.5	12667	19000
Tapa Madera Plástica	UND	2	160080	320160
TOTAL				\$ 805,791

b. TANQUE SÉPTICO DE ACCIÓN MÚLTIPLE

- **Descripción.** Es un tanque de tres compartimientos de forma prismático rectangular, generalmente construido enterrado dejando las tapas sobre la superficie del suelo. Su estructura es un tanque séptico de dos compartimientos complementado con un filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA. El filtro tiene como función remover DBO, SS y CF; el lecho filtrante está conformado por trozos de polietileno.
- **Localización.** Debe ubicarse lo más retirado posible de la vivienda, a una distancia mayor a 15 m. El sitio debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** El proceso de las dos primeras unidades fueron descritas en el tanque séptico de dos compartimientos. La tercera unidad denominada **FAFA** realiza un tratamiento secundario, las bacterias se adhieren al lecho filtrante y consumen materia orgánica.
- **Parámetro de Diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. El TRH para el FAFA de 2 a 6 horas.
- **Normas de Diseño del FAFA:**

Forma: prismático rectangular

Ancho (a) = Ancho (a) del Tanque séptico de dos compartimientos.

Altura (hf) = Altura (h) del Tanque séptico de dos compartimientos.

Altura lecho filtrante = hf – ht – hs

hf = altura filtro

ht = altura tubería

hs = altura sobrenadante

- **Normas de Construcción:**

Placa de fondo: Concreto reforzado

Paredes: Ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante.

Tapa: Una tapa por compartimiento, de un material liviano (por ejemplo madera plástica) con una agarradera, que permita removerse fácilmente.

Tuberías de entrada y salida y accesorios: 3 pulgadas.

Flujo Ascendente, mediante flauta de PVC de 2 pulgadas perforada por encima y por los lados, el diámetro de las perforaciones deben ser de 4 a 5 mm.

- **Operación y Mantenimiento**

En las Tabla 15 y 16, se presenta los manuales de operación y mantenimiento del filtro anaerobio de flujo ascendente del tanque séptico de acción múltiple, para la cámara de sedimentación y cámara de digestión, revisar el manual de operación y mantenimiento del tanque séptico de dos compartimientos en las Tablas 11 y 12.

Tabla 15. Manual de Operación del Filtro Anaerobio del TSAM

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Inspección del filtro anaerobio	2 años	Guantes Tapa bocas	Retirar la tapa, esperar 3 a 5 minutos para que salgan gases. Revisar si el filtro esta colmatado, observando si se dificulta el flujo, retirar los lechos, en caso contrario volver a tapar.
Retiro y lavado del lecho filtrante		Guantes, Botas, Tapabocas, Pala.	Si se requiere, retirar los lechos filtrantes fuera del tanque, lavarlos y dejarlo secar.
Armar nuevamente los lechos		Guantes, Botas, Tapabocas, Pala.	Colocar nuevamente los lechos filtrantes en el tanque, conservando el orden.

Tabla 16. Manual de Mantenimiento del Filtro Anaerobio del TSAM

Actividad	Periodo	Procedimiento
Estado General del Filtro	6 meses	Limpieza de la tapa del filtro y sus Alrededores.

- **Disposición de Subproductos.** Los lodos deben ser depositados en un sitio, secarlos al sol, agregarles cal, compostarlos y reusarlos como abono en agricultura.

- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento del TSAM, una eficiencia de remoción de DBO = 65%, SS = 80% y CF = 99%.

DISEÑO DEL FAFA

Se asume TRH = 3 horas, altura de h_f = 0.80 m, borde libre bl = 0.10 m.

Altura del Lecho Filtrantes

$$h_{lf} = 0.8 \text{ m} - 0.05 \text{ m} - 0.10 \text{ m}$$

$$h_{lf} = 0.65 \text{ m}$$

Volumen del Filtro

$$V = Q_{ARD} * TRH$$

$$V = \left(2250 \frac{L}{d}\right) * 3 \text{ hr} * \left(\frac{1 \text{ d}}{24 \text{ hr}}\right) * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}\right)$$

$$V = 0.28 \text{ m}^3$$

Longitud (l)

$$V = l * a * h_{lf} \quad \Rightarrow \quad l = \frac{V}{a * h_{lf}}$$

$$l = \frac{0.28 \text{ m}^3}{0.70 \text{ m} * 0.65 \text{ m}}$$

$$l = 0.61 \text{ m}$$

Por construcción se adoptan las siguientes medidas:

a = 0.70 m, l = 0.70 m y h = 0.80 m para el FAFA. (Ver plano 3)

Para el diseño de la cámara de sedimentación y la cámara de digestión ver literal (a) del capítulo 3.2.2.2

En la Tabla 17, se presenta el resumen de diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 17. Resumen del FAFA

Dimensión Útil (m)	Dimensión Total (m)	Volumen Útil (m3)	Volumen Total (m3)	TRH real (hr)
l = 0.70	l = 0.87			
a = 0.70	a = 1.04	0.32	1.0	3.4
h = 0.65	h = 1.10			

- **Presupuesto.** En la Tabla 18, se tiene el presupuesto global del filtro anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 18. Presupuesto del FAFA

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.07	274250	19198
Acero Refuerzo 3/8	Kg	10.6	3187	33782
Muro de ladrillo tolete	m2	3	29225	87675
Mortero para Pañete 1:2				
Impermeabilizante	m2	3	21000	63000
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	1	4733	4733
Codo 90° PVC Ø 2"	UND	1	2043	2043
Tubería Sanitaria Ø 3"	MI	0.6	12667	7600
Tubería Sanitaria Ø 2"	MI	4.2	7703	32353
Buje Reductor de Ø 3" a 2"	UND	1	3470	3470
Tee Sanitaria Ø 2"	UND	5	4169	20845
Tapón Sanitario Ø 2"	UND	1	756	756
Tapa Madera Plástica	m2	3	160080	480240
TOTAL				\$ 755,695

c. SEDIMENTADORES PRIMARIOS

C1. Sedimentador Convencional

- **Descripción.** Es un tanque de forma prismático rectangular, generalmente construido enterrado dejando la tapa sobre la superficie del suelo. Su función es remover SS de las aguas negras que se generan en las viviendas y del efluente que sale de la trampa de grasas.
- **Localización.** Debe ubicarse lo más retirado posible de la vivienda, a una distancia mayor a 15 m. El lugar debe ser de fácil acceso, y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento primario, el proceso es de tipo físico, mediante decantación de sólidos de mayor peso específico que el agua y flotación de sólidos de menor peso específico.
- **Parámetro de diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. El TRH para sedimentador primario es de 2 a 4 horas
- **Normas de diseño:**

Forma: prismático rectangular

Relación Largo (l) Ancho (a) de 2:1 hasta 2.5:1

Profundidad efectiva entre 70 y 90 cm
Ancho mínimo: 40 cm
Borde libre: 10 a 20 cm

- **Normas de construcción:**

Placa de fondo. Concreto reforzado
Paredes. En ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante.
Tapa. De un material liviano (por ejemplo madera plástica) con agarradera, que permita ser fácilmente removida.
Tuberías de entrada y salida. Sumergidas 13 cm

- **Operación y Mantenimiento**

Para el manual de operación y mantenimiento del sedimentador convencional, ver las Tablas 11 y 12 en lo referente a la Cámara de Sedimentación.

- **Disposición de Subproductos.** Los lodos deben ser depositados en un sitio fuera del sedimentador, acondicionado para tal fin, dejarlos secar al sol, agregarles cal, compostarlos y reutilizarlos como abono en agricultura.
- **Eficiencia.** Se espera con una debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción de SS = 70%.

DISEÑO

Se asume: TRH = 2 horas, altura h = 0.70 m, borde libre bl = 0.10 m y relación largo: ancho de 2:1.

Volumen

$$V = Q_{ARD} * TRH$$
$$V = \left(2250 \frac{L}{d}\right) * 2 \text{ hr} * \left(\frac{1 \text{ d}}{24 \text{ hr}}\right) * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}\right)$$
$$V = 0.18 \text{ m}^3$$

Área Superficial

$$V = As * h \quad \Rightarrow \quad As = \frac{V}{h}$$
$$As = \frac{0.18 \text{ m}^3}{0.7 \text{ m}} \quad \Rightarrow \quad As = 0.25 \text{ m}^2$$

Ancho (a)

$$As = l * a \quad \Rightarrow \quad As = 2 a * a$$

$$As = 2 a^2 \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt{\frac{As}{2}}$$

$$a = 0.35 \text{ m} \quad y \quad l = 0.70 \text{ m}$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas:
a = 0.50 m, l = 0.70 m y h = 0.70 m (Ver plano 4)

En la Tabla 19, se presenta el resumen de diseño del sedimentador convencional

Tabla 19. Resumen del Sedimentador Convencional

Dimensión Útil (m)	Dimensión Total (m)	Volumen Útil (m3)	Volumen Total (m3)	TRH real (hr)
l = 0.70	l = 0.98			
a = 0.50	a = 0.79	0.25	0.67	2.6
h = 0.70	h = 0.87			

- **Presupuesto.** En la Tabla 20, se tiene el presupuesto global del sedimentador convencional

Tabla 20. Presupuesto del Sedimentador Convencional

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.05	274250	13713
Acero de Refuerzo 3/8	Kg	0.5	3187	1594
Muro de ladrillo tolete	m2	3	29225	87675
Mortero para Pañete 1:2 Impermeabilizado	m2	3	21000	63000
Tubería Sanitaria Ø3"	MI	0.6	12667	7600
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	1	4733	4733
Tapa Madera Plástica	UND	1	127600	127600
TOTAL				\$ 305,915

C2. Sedimentador con Lecho Filtrante y Lenteja de Agua

- **Descripción.** La estructura de esta unidad es similar a la del sedimentador convencional, adicionándole un lecho filtrante de trozos de polietileno y sembrando Lenteja de Agua (*Lemna Minor*),. Su función es remover SS de las aguas negras que se generan en las viviendas y del

efluente que sale de la trampa de grasas. Además por tener Lenteja de Agua remueve N y P. (Ver plano 5)

- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento primario, el proceso es de tipo físico mediante decantación de sólidos de mayor peso específico que el agua y flotación de sólidos de menor peso específico. El lecho filtrante realiza un proceso físico, los sólidos y las bacterias se adhieren al lecho filtrante consumiendo materia orgánica. La lenteja de agua realiza procesos físicos y biológicos, en el cual sus raíces filtran el agua, absorben nutrientes e ingresan oxígeno al sistema.
- **Operación y Mantenimiento**

En las Tablas 21 y 22, se muestran los manuales de operación y mantenimiento del sedimentador con lecho filtrante y lenteja de agua.

Tabla 21. Manual de Operación del Sedimentador con Lecho Filtrante y Lenteja de Agua

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Retiro Lenteja de Agua	8 días	Guantes, Tapabocas, recipiente para retirar las plantas.	Se debe retirar la mitad de la lenteja de agua y depositarla en un recipiente.
Retiro de Lodos	6 meses	Guantes, Botas, Tapabocas, Recipiente para retirar lodo, Balde	Se debe abrir la válvula de lodos y retirar una parte de estos. Tener en cuenta no desarmar el lecho filtrante y la lenteja de agua.
Lavado del Lecho Filtrante	Anual	Guantes, Botas, Tapabocas, Pala.	Se debe retirar la lenteja de agua; retirar el lecho filtrante, lavarlo, dejarlo secar y armar nuevamente el lecho filtrante y la lenteja de agua.

Tabla 22. Manual de Mantenimiento del Sedimentador con Lecho Filtrante y Lenteja de Agua

Actividad	Periodo	Procedimiento
Limpieza de la Lenteja de Agua	Mensual	Inspeccionar que la lenteja de agua no se encuentre con basura, mantenerla limpia.
Limpieza de la estructura	Mensual	Mantener limpia la estructura del sedimentador y observar que no presente grietas
Conservar las Plantas Aromáticas	Mensual	Retirar la maleza que se encuentra alrededor del sedimentador

- **Disposición de Subproductos.** Los lodos deben ser depositados en un sitio fuera del sedimentador, acondicionado para tal fin, dejarlos secar al sol, agregarles cal, compostarlos y reutilizarlos como abono en agricultura. La lenteja de agua se puede utilizar como alimento para cerdos y aves, o compostarla y utilizarla como abono.
- **Eficiencia.** Se espera con una debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción de SS = 80%, DBO = 10%, N = 5%, P = 5% Y CF = 90%.

3.2.2.3 Tratamiento Secundario

a. ALBERCAS BIOLÓGICAS

- **Descripción.** Es un tanque de forma prismático rectangular con dos compartimientos, enterrado o semienterrado y sin tapa. El primer compartimiento es una Cámara de Sedimentación que tiene como función remover SS y el segundo compartimiento, la Cámara de Digestión tiene como función remover DBO. Además por tener la planta acuática Buchón de Agua (*eichornia crassipes*) remueve N y P.
- **Localización.** Debe ubicarse lo más retirado posible de la vivienda, a una distancia mayor a 15 m. El lugar debe ser de fácil acceso, y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** La primera unidad denominada **CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN** realiza tratamiento primario, proceso de tipo físico, decantación de sólidos de mayor peso específico que el agua y flotación de sólidos de menor peso específico. La segunda unidad denominada **CÁMARA DE DIGESTIÓN**, realiza un tratamiento secundario de tipo biológico, en el cual bacterias anaerobias consumen materia orgánica. Los dos compartimientos realizan tratamiento con plantas acuáticas, por lo tanto, realizan procesos físicos y biológicos, en el cual sus raíces filtran el agua, absorben nutrientes e ingresan oxígeno al sistema.
- **Parámetros de diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. El TRH para la cámara de sedimentación de 2 a 4 horas y para cámara de digestión de 2 a 6 horas.

- **Normas de diseño:**

Forma: prismática rectangular

Relación Largo (l) Ancho (a) en las albercas biológicas de 2:1 hasta 4:1

Profundidad efectiva entre 1 y 1.20 m.

Ancho mínimo: 70 cm.

Borde libre: 10 a 20 cm.

- **Normas de Construcción:**

Placa de fondo: Concreto reforzado

Paredes: Ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante.

Tuberías de entrada y salida: Sumergidas 13 cm.

Planta Acuática. Buchón de Agua

- **Operación y Mantenimiento**

En las Tabla 23, se presenta el manual de operación de albercas biológicas, para el manual de mantenimiento, revisar la Tabla 12.

Tabla 23. Manual de Operación de Albercas Biológicas

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Inspección del buchón de agua	3 meses	Guantes Tapa bocas	Revisar la cobertura del buchón de agua. Si existe proliferación retirar una parte.
Retiro del buchón de agua	3 meses	Guantes, Botas, Tapabocas, Balde	Retirar manualmente los buchones más adultos.

- **Disposición de subproductos.** Los lodos de la cámara de sedimentación, deben ser retirados y depositados en un sitio fuera de la alberca biológica, acondicionado para tal fin, dejarlos secar al sol, agregarles cal, compostarlos y reutilizarlos como abono en agricultura. Las hojas del buchón pueden servir como alimento para ganado y las raíces se deben compostar, o también se puede compostar toda la planta.

- **Eficiencia.** Se espera con una debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción del DBO = 60%, SS = 60%, N = 10% y P = 10%.

DISEÑO

Para el diseño de la cámara de sedimentación y la cámara de digestión, se asume: TRH = 3 horas para construir las iguales. Así mismo se asume altura de $h = 1.0$ m para las dos cámaras, ancho $a = 0.70$ m, borde libre $bl = 0.10$ m, relación largo: ancho de 2:1 para toda la alberca biológica y de 1:1 para cada cámara. Debido a que la estructura de las albercas biológicas es similar a la del TSAM, para el diseño ver literal (a) del capítulo 3.2.2.2. (Ver plano 6)

En la Tabla 24, se presenta el resumen de diseño de albercas biológicas

Tabla 24. Resumen de Albercas Biológicas

Dimensión Útil (m)	Dimensión Total (m)	Volumen Útil (m ³)	Volumen Total (m ³)	TRH real (hr)
l = 1.40	l = 1.96			
a = 0.70	a = 1.04	0.98	2.61	10.5
h = 1.00	h = 1.28			

- **Presupuesto.** La Tabla 25, presenta el presupuesto global de las albercas biológicas.

Tabla 25. Presupuesto de Albercas Biológicas

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m ³	0.16	274250	43880
Acero de Refuerzo 3/8 "	Kg	24	3187	76272
Muro de ladrillo tolete	m ²	6.5	29225	189963
Muro para Pañete 1:2 Impermeabilizado	M ²	6.5	21000	136500
Tubería Sanitaria Ø3"	ml	0.9	12667	11400
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	2	4733	9466
TOTAL				\$ 467,481

b. HUMEDAL

- **Descripción.** Es una excavación en el suelo, de forma de prisma trapezoidal; la superficie y el fondo son de forma rectangular con tendencia a un cuadrado. En su borde o perímetro se construye un dique sobre el nivel del suelo, para impedir el ingreso de aguas lluvias, en la corona del dique se siembra plantas aromáticas. Las paredes y el fondo de la excavación van cubiertas de geomembrana para impedir la

infiltración de aguas residuales en el suelo. La excavación contiene un lecho filtrante de trozos de polietileno, sobre el cual se siembra Papiro (*Cyperus papyrus*). La dirección de flujo es horizontal.

- **Localización.** Debe ubicarse lo más retirado posible de la vivienda, a una distancia mayor a 15 m. El lugar debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento secundario, procesos de tipo físico y biológico; el lecho filtrante realiza un proceso físico, los sólidos y las bacterias se adhieren al lecho consumiendo materia orgánica. El papiro realiza procesos físicos y biológicos, en el cual sus raíces filtran el agua, absorben nutrientes e ingresan oxígeno al sistema.
- **Parámetros de diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH mayor a 3 días

- **Normas de diseño:**

Forma: prisma trapezoidal

Relación Largo (l) Ancho (a) entre 1:1 a 2:1

Profundidad mínima: 60 cm.

Borde libre: 10 a 20 cm.

Pendiente sentido del flujo: 1 a 2%

- **Normas de Construcción:**

Paredes y Fondo: revestidas con geomembrana

Lecho Filtrante: Trozos de Polietileno

Dique perimetral: en tierra

Talud: Depende del tipo de suelo

- **Operación y Mantenimiento**

En las Tabla 26 y 27, se muestran los manuales de operación y mantenimiento del humedal.

Tabla 26. Manual de Operación del Humedal

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Inspección de Papiro	3 meses	Guantes, Tapabocas	Revisar la cobertura del Papiro. Si existe proliferación retirar una parte.
Lavado del Lecho Filtrante	2 años	Guantes, Botas, Tapabocas, Pala.	Se abre la válvula de lodos, se pone a circular agua limpia, cuando el efluente salga claro, se cierra la válvula. El lecho no debe quedar totalmente limpio.

Tabla 27. Manual de Mantenimiento del Humedal

Actividad	Periodo	Procedimiento
Inspección de geomembrana	Anual	Revisar que la geomembrana no tenga fisuras, de lo contrario repararlas.
Conservación del Dique	6 meses	Se debe conservar los taludes, retirar malezas del dique y realizar las actividades culturales para conservar las plantas aromáticas.

- **Disposición de subproductos.** Los papiros deben ser cosechados y vendidos como plantas ornamentales o para artesanías.
- **Eficiencia.** Se espera con una debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción del DBO = 60%, N = 30% y P = 20%.

DISEÑO

Se asume: TRH = 3 días, altura h = 0.70 m, borde libre bl = 0.20 m y relación largo: ancho 2:1.

Volumen

$$V = Q_{ARD} * TRH$$

$$V = 2250 \text{ L/d} * 3 \text{ d} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right)$$

$$V = 6.75 \text{ m}^3$$

Área Superficial

$$V = As * h \quad \Rightarrow \quad As = \frac{V}{h}$$

$$As = \frac{6.75 \text{ m}^3}{0.70 \text{ m}} \quad As = 9.64 \text{ m}^2$$

Por construcción Se ajusta **As = 10 m²**.

Longitud (l) y Ancho (a)

Se adopta $l = 4 \text{ m}$ y $a = 2.5 \text{ m}$. Para una relación $l : a$ de 1.6:1; como la sección es trapezoidal se deben ajustar las medidas. Se asume un talud 1:1, las medidas corregidas se muestran en la Figura 13. (Ver plano 7)

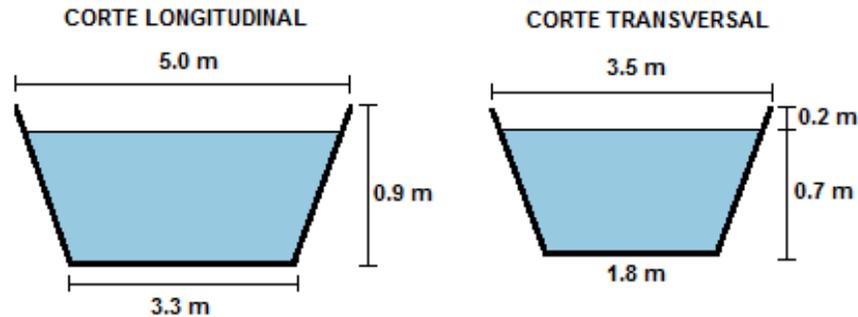


Figura 13. Corte Longitudinal y Transversal del Humedal

En la Tabla 28, se presenta el resumen de diseño del humedal

Tabla 28. Resumen del Humedal

Sección Longitudinal (m)	Sección Transversal (m)	Altura del Lecho (m)	Altura del Agua (m)	Borde Libre (m)
B = 5.0	B = 3.5			
b = 3.3	b = 1.8	0.70	0.60	0.20
h = 0.9	h = 0.9			

- **Presupuesto.** En la Tabla 29, se tiene el presupuesto global del humedal

Tabla 29. Presupuesto del Humedal

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Excavación	m3	13	25513	331669
Geomembrana	m2	80	6793	543440
Tubería Sanitaria Ø3"	ml	1	12667	12667
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	1	4733	4733
TOTAL				\$ 892,509

c. FILTRO CON PLANTAS ACUÁTICAS

- **Descripción.** Es un filtro anaerobio de flujo ascendente, de forma prismático rectangular, que contiene un lecho filtrante de trozos de polietileno, sobre el cual se siembra Buchón de Agua. Su función es remover DBO y por acción de la planta acuática remueve N y P.

- **Localización.** Debe ubicarse lo más retirado posible de la vivienda, a una distancia mayor a 15 m. El lugar debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento secundario, degradación de la materia orgánica por procesos biológicos en el agua residual; en el lecho filtrante se realiza un proceso físico, los sólidos y las bacterias se adhieren al lecho consumiendo materia orgánica. El buchón de agua realiza procesos físicos y biológicos, en el cual sus raíces filtran el agua, absorben nutrientes e ingresan oxígeno al sistema.
- **Parámetro de Diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH mayor a 4 horas.

- **Normas de Diseño:**

Forma: prismático rectangular

Relación Largo (l) Ancho (a) de 1:1 hasta 2:1

Profundidad efectiva entre 1.0 y 1.20 m.

Ancho mínimo: 70 cm.

Borde libre: 10 a 20 cm.

Sobrenadante mínimo: 10 cm

Altura lecho filtrante = $h_f - h_t - h_s$

h_f = altura filtro

h_t = altura tubería

h_s = altura sobrenadante

- **Normas de Construcción:**

Placa de fondo: Concreto reforzado

Paredes: Ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante.

Tuberías de entrada y salida y accesorios: 3 pulgadas.

Flujo Ascendente, mediante flauta de PVC de 2 pulgadas perforada por encima y por los lados, el diámetro de las perforaciones deben ser de 4 a 5 mm.

- **Operación y Mantenimiento.** Para el manual de operación revisar las Tablas 15 y 23, y para el manual de mantenimiento revisar la Tabla 12.

- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción de DBO = 50%, N = 10% y P = 10%.

DISEÑO

Se asume: TRH = 4 horas, altura h = 1.0 m, borde libre bl = 0.15 m, relación largo: ancho de 2:1.

Volumen

$$V = Q_{ARD} * TRH$$

$$V = \left(2250 \frac{L}{d}\right) * 4 h * \left(\frac{1 d}{24 h}\right) * \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right)$$

$$V = 0.37 m^3$$

Área Superficial

$$V = A * h \quad \Rightarrow \quad A = \frac{V}{h}$$

$$A = \frac{0.37 m^3}{1.0 m} \quad \Rightarrow \quad A = 0.37 m^2$$

Ancho (a)

$$A = L * a \quad \Rightarrow \quad A = 2 a * a$$

$$A = 2 a^2 \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$a = 0.43 m \quad y \quad L = 0.86 m$$

Por construcción se tienen las siguientes medidas:

l = 0.90 m, a = 0.70 m y h = 1.0 m. (Ver plano 8)

En la Tabla 30, se presenta el resumen de diseño del filtro con plantas acuáticas

Tabla 30. Resumen del Filtro con Plantas Acuáticas

Dimensión Útil (m)	Dimensión Total (m)	Volumen Útil (m3)	Volumen Total (m3)	TRH real (hr)	Relación L:a
l = 0.90	l = 1.18				
a = 0.70	a = 0.98	0.63	1.48	7	1.3:1
h = 1.00	h = 1.28				

- **Presupuesto.** En la Tabla 31, se presenta el presupuesto global del Filtro con Plantas Acuáticas

Tabla 31. Presupuesto del Filtro con Plantas Acuáticas

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.03	274250	8228
Acero de Refuerzo 3/8	Kg	23	3187	73301
Muro de ladrillo tolete	m2	5	29225	146125
Mortero para Pañete Impermeabilizado	m2	5	21000	105000
Tubería Sanitaria Ø 3"	MI	0.5	12667	6334
Tubería Sanitaria Ø 2"	MI	5.1	7703	39285
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	1	4733	4733
Codo 90° PVC Ø 2"	UND	1	2043	2043
Buje Reductor Ø 3" a 2"	UND	1	3470	3470
Tee Sanitaria Ø 2"	UND	6	4169	25014
Tapón Sanitario Ø 2"	UND	1	756	756
TOTAL				\$ 414,289

d. CANAL CON PLANTAS ACUÁTICAS

- **Descripción.** Es un canal de sección rectangular o semicircular impermeabilizada con arcilla, geomembrana o concreto; construido en línea recta o forma de zigzag; por acción del agua residual remueve DBO y por acción de las plantas acuáticas remueve DBO, N y P. Sobre el agua se siembra lenteja de agua u otra planta de raíces cortas.
- **Localización.** Debe ubicarse lo más retirado posible de la vivienda, a una distancia mayor a 15 m. El lugar debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento secundario, degradación de la materia orgánica por procesos biológicos en el agua residual, y por procesos biológicos y físicos (filtración) en las plantas acuáticas; además absorción de nutrientes por medio de las raíces.
- **Parámetros de diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH entre 1 a 3 días.

- Normas de diseño:

Forma: línea recta o zigzag
 Sección: Rectangular o semicircular
 Profundidad mínima: 30 cm.
 Ancho mínimo: 40 cm.
 Borde libre: 10 a 20 cm.

- **Normas de Construcción:**

Sección del Canal. Revestido
 Planta Acuática. Lenteja de Agua u otra planta de raíces cortas.

- **Operación y Mantenimiento**

Para el manual de operación del canal con plantas acuáticas, revisar la Tabla 21. El manual de mantenimiento se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32. Manual de Mantenimiento del Canal con Plantas Acuáticas

Actividad	Periodo	Procedimiento
Inspección de geomembrana	Anual	Revisar que la geomembrana no tenga fisuras, si las tiene repararlas.
Limpieza de canales	6 meses	Retirar maleza y residuos sólidos, conservar la sección del canal.

- **Disposición de subproductos.** Si la planta acuática es lenteja de agua, se puede utilizar como alimento para cerdos y aves, en caso contrario se puede compostar y reusarlo como abono en agricultura. Si la planta acuática no es lenteja de agua y si no tiene otro uso, se puede compostar y reusarla como abono.
- **Eficiencia.** Se espera con una debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción del DBO = 40%, N = 20% y P = 20%.

DISEÑO

Se asume: TRH = 1 día, altura h = 0.30 m y borde libre bl = 0.10 m.

Volumen del Canal

$$V = Q_{ARD} * TRH$$

$$V = 2250 \text{ L/d} * 1 \text{ d} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right)$$

$$V = 2.25 \text{ m}^3$$

Área Superficial

$$As = a * h \Rightarrow As = 0.40 \text{ m} * 0.30 \text{ m}$$

$$As = 0.12 \text{ m}^2$$

Longitud (l)

$$V = A_s * l \quad \Rightarrow \quad l = \frac{V}{A_s}$$
$$l = \frac{2.25 \text{ m}^3}{0.12 \text{ m}^2} \quad \Rightarrow \quad l = 19 \text{ m}$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas:

a = 0.40 m, l = 19 m y h = 0.30 m. (Ver plano 9)

En la Tabla 33, se presenta el resumen de diseño del canal con plantas acuáticas.

Tabla 33. Resumen del Canal con Plantas Acuáticas

LONGITUD	SECCIÓN	BASE	TIRANTE	TRH real (d)
20 m	Rectangular	0.40 m	0.30 m	1.1

- **Presupuesto.** En la Tabla 34, se tiene el presupuesto global del canal con plantas acuáticas

Tabla 34. Presupuesto del Canal con Plantas Acuáticas

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	Vr. UNITARIO	Vr. PARCIAL
Excavación	m3	2.28	25513	58170
Geomembrana	m2	26.6	6793	180694
Tubería Sanitaria Ø 3"	ml	1.2	12667	15200
TOTAL				\$ 254,064

e. ESCALINATA DE OXIGENACIÓN

- **Descripción.** Es una estructura en forma de escalera, que se construye con el objetivo de disipar la energía del agua residual, para evitar erosión del suelo, a su vez por el golpe del agua residual sobre la huella, se oxigena y remueve DBO. Se construye en concreto reforzado y en la huella se incrustan piedras. (Ver plano 10)
- **Localización.** Debe ubicarse antes de la descarga en suelos de pendiente.
- **Normas de Diseño:**

Longitud: Determinada por la forma del terreno
Huella: 20 a 30 cm
Contrahuella: 12 a 20 cm

- **Normas de Construcción:**

Escalones: Concreto reforzado

- **Eficiencia.** Se espera remoción de DBO = 5%

3.2.2.4 Estructura Complementaria

a. LECHO SECADO DE LODOS

- **Descripción.** Es una estructura provisional, se construye cada vez que se requiera secar lodos. Se construye una zanja, cubierta con un plástico donde se depositan los lodos para que se sequen bajo la acción del sol. (Ver plano 11)
- **Localización.** Debe ubicarse cerca a la estructura que lo requiera.
- **Proceso.** Es un proceso de secado por acción del sol. La parte sólida agregarle cal, compostarla y utilizarlo como abono.

3.2.3 PROPUESTAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA LAS ARD

Los Sistemas propuestos, tienen como características: ser novedosos, diseño con el concepto de sistemas descentralizados, integrados y sostenibles: estructuras pequeñas, de bajo costo, fácil operación y mantenimiento, amigable con el medio ambiente y aceptados por las comunidades. Los sistemas están conformados por una o varias de las unidades diseñadas anteriormente.

3.2.3.1 Propuesta I

- **Sistema:** Tanque Séptico de Acción Múltiple – Canal con Lenteja de Agua

Compuesto por las siguientes unidades: Trampa de Grasas, Tanque Séptico de Acción Múltiple, Canal con Lenteja de Agua, Escalinata de Oxigenación y Lecho de Secado de Lodos.

- **Esquema General**

En la Figura 14, se muestra el esquema del Sistema: tanque séptico de acción múltiple – canal con plantas acuáticas. Las aguas grises entran a la trampa de grasas. Las aguas negras y el afluente que sale de la trampa de grasas, entran al TSAM y luego pasan al canal con plantas acuáticas. Para la disposición del efluente se presentan dos alternativas: riego en verano o conducirlo a la escalinata de oxigenación y ser vertido a la quebrada en invierno. Los lodos que se generan en la cámara de sedimentación, deben ser dispuestos en el lecho de secado de lodos.

- **Remociones Teóricas del Sistema**

En la Tabla 35, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 36, se muestran las eficiencias teóricas del sistema. En la Tabla 37, se muestra la caracterización del efluente esperado del sistema.

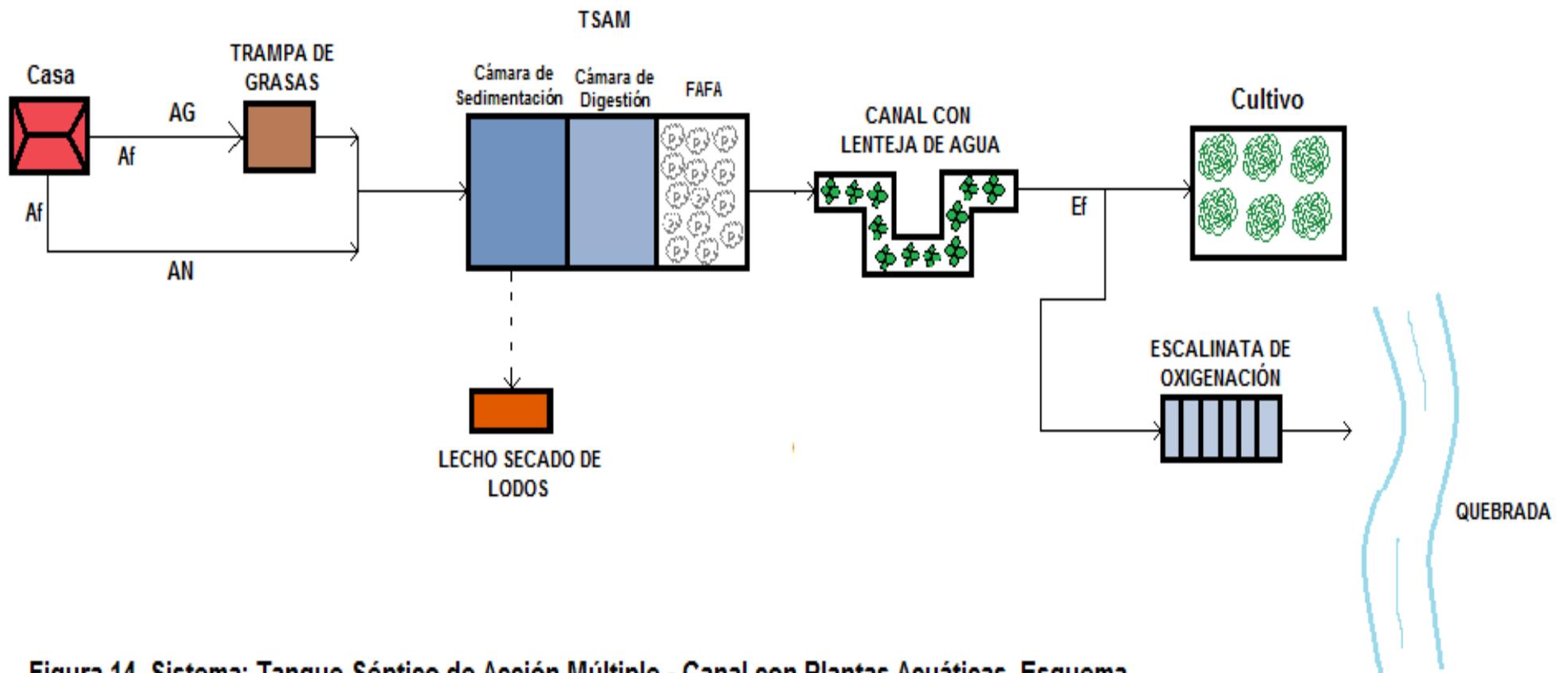


Figura 14. Sistema: Tanque Séptico de Acción Múltiple - Canal con Plantas Acuáticas. Esquema

Tabla 35. Remociones Esperadas del Sistema: TSAM – Canal con Plantas Acuáticas

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P			CF			HH		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Trampa Grasas	180	0	180	200	0	200	50	65	18	20	0	20	10	0	10	10 ⁸	0	10 ⁸	50	0	50
Cámara Sedimentación	180	15	153	200	40	120	18	5	17	20	0	20	10	0	10	10 ⁸	0	10 ⁸	50	5	48
Cámara Digestión	153	25	115	120	20	96	17	0	17	20	2	19.6	10	2	9.8	10 ⁸	90	10 ⁷	48	5	46
FAFA	115	20	92	96	10	86	17	5	16	19.6	5	18.6	9.8	5	9.3	10 ⁷	99	10 ⁵	46	5	44
Canal Lenteja de Agua	92	35	60	86	0	86	16	0	16	18.6	15	15.8	9.3	15	8	10 ⁵	90	10 ⁴	44	5	42
Escalinata Oxigenación	60	5	57	86	0	86	16	0	16	15.8	0	15.8	8	0	8	10 ⁴	0	10 ⁴	42	0	42

**Tabla 36. Eficiencias Teóricas del Sistema:
TSAM– Canal con Plantas Acuáticas**

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	180	57	68
SS (mg/L)	200	86	57
Grasas (mg/L)	50	16	68
N (mg/L)	20	15.8	21
P (mg/L)	10	8	20
CF (UFC/100 ml)	10 ⁸	10 ⁴	99.99
HH (Nº huevos/L)	50	42	16

Tabla 37. Caracterización del Efluente del Sistema: TSAM – Canal con Plantas Acuáticas

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	57
SS (mg/L)	86
Grasas (mg/L)	16
N (mg/L)	15.8
P (mg/L)	8
CF (UFC/100 ml)	10 ⁴
HH (Nº huevos/L)	42

3.2.3.2 Propuesta II

- Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas

Compuesto por las siguientes unidades: Trampa de grasas, Sedimentador con Lecho Filtrante y Lenteja de Agua, Albercas Biológicas, Escalinata de Oxigenación y Lecho Secado de Lodos.

- Esquema General

En la Figura 15, se muestra el esquema del Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas. Las aguas grises entran a la trampa de grasas. Las aguas negras y el afluente que sale de la trampa de grasa, entran al Sedimentador con lecho filtrante y con lenteja de agua, y luego entra a las albercas biológicas con buchón de agua.

- Remociones Teóricas del Sistema

En la Tabla 38, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 39, se muestran las eficiencias teóricas del sistema. En la Tabla 40, se muestra la caracterización del efluente esperado del sistema.

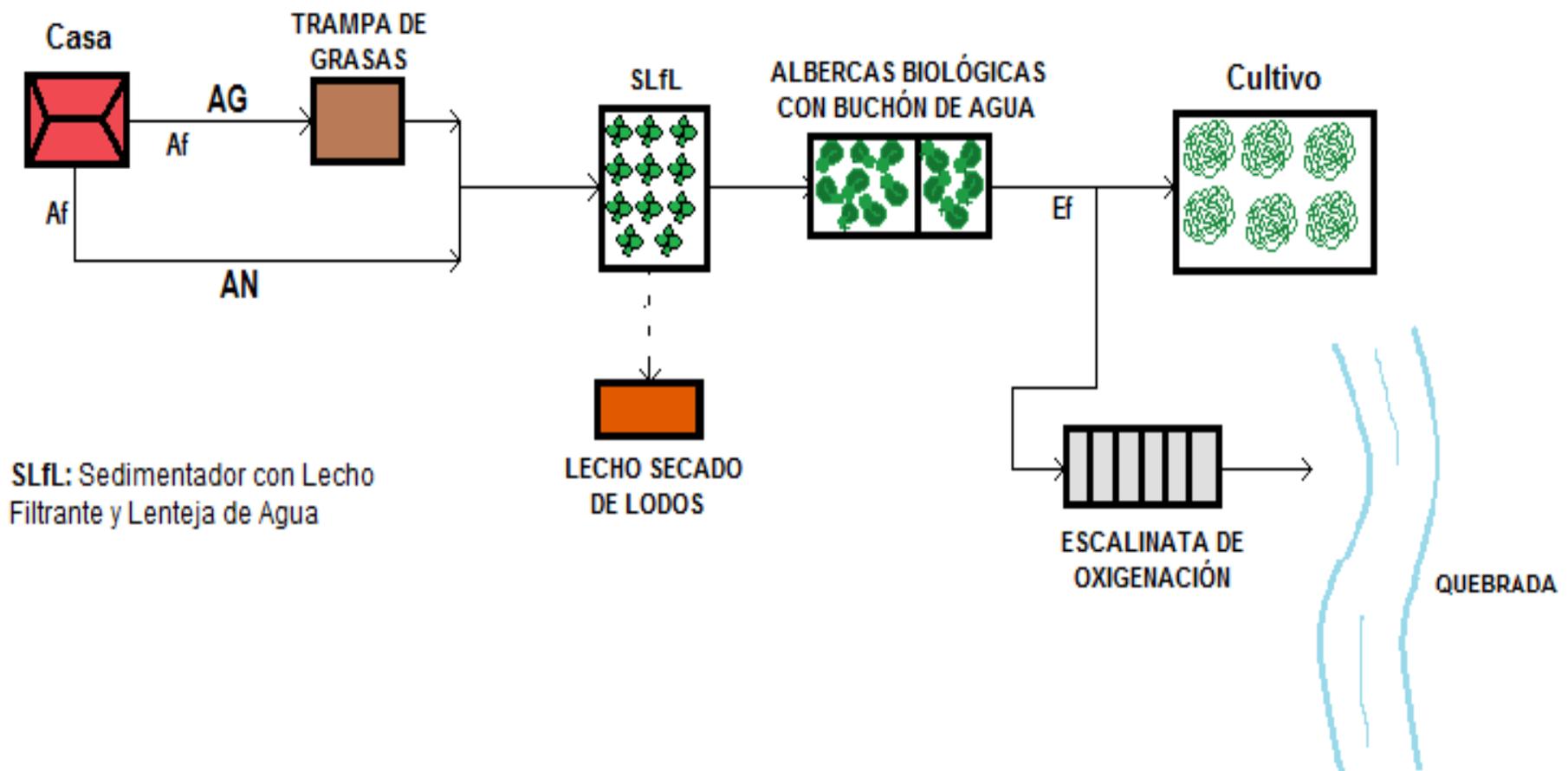


Figura 15. Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas - Albercas Biológicas. Esquema

Tabla 38. Remociones Esperadas del Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P			CF			HH		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Trampa Grasas	180	0	180	200	0	200	50	65	18	20	0	20	10	0	10	10 ⁸	0	10 ⁸	50	0	50
Sedimentador LfL	180	8	166	200	75	50	18	0	18	20	5	19	10	5	9.5	10 ⁸	90	10 ⁷	50	5	48
Alberca 1	166	15	141	50	35	33	18	5	17	19	5	18	9.5	5	9	10 ⁷	0	10 ⁷	48	5	46
Alberca 2	141	35	92	33	15	28	17	5	16	18	5	17	9	5	8.5	10 ⁷	90	10 ⁶	46	5	44
Escalinata Oxigenación	92	5	87	28	0	28	16	0	16	17	0	17	8.5	0	8.5	10 ⁶	0	10 ⁶	44	0	44

Tabla 39. Eficiencias Teóricas del Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	180	87	52
SS (mg/L)	200	28	86
Grasas (mg/L)	50	16	68
N (mg/L)	20	17	15
P (mg/L)	10	8.5	15
CF (UFC/100 ml)	10 ⁸	10 ⁶	99
HH (Nº huevos/L)	50	44	12

Tabla 40. Caracterización del Efluente del Sistema: Sedimentador con Lecho Filtrante y Plantas Acuáticas – Albercas Biológicas

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	87
SS (mg/L)	28
Grasas (mg/L)	16
N (mg/L)	17
P (mg/L)	8.5
CF (UFC/100 ml)	10 ⁶
HH (Nº huevos/L)	44

3.2.3.3 Propuesta III

- Sistema: Tanque Séptico Dos Compartimientos - Humedal

Compuesto por las siguientes unidades: Trampa de Grasas, Tanque Séptico de dos Compartimientos, Humedal, Escalinata de Oxigenación y Lecho Secado de Lodos.

- Esquema General

En la Figura 16, se muestra el esquema del Sistema: Tanque Séptico Dos compartimientos - Humedal. Las aguas grises entran a la trampa de grasas. Las aguas negras y el afluente que sale de la trampa de grasa, entran al tanque séptico de dos compartimientos y luego entra al humedal con Papiro.

- Remociones Teóricas del Sistema

En la Tabla 41, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 42, se muestran las eficiencias teóricas del sistema. En la Tabla 43, se muestra la caracterización del efluente esperado del sistema.

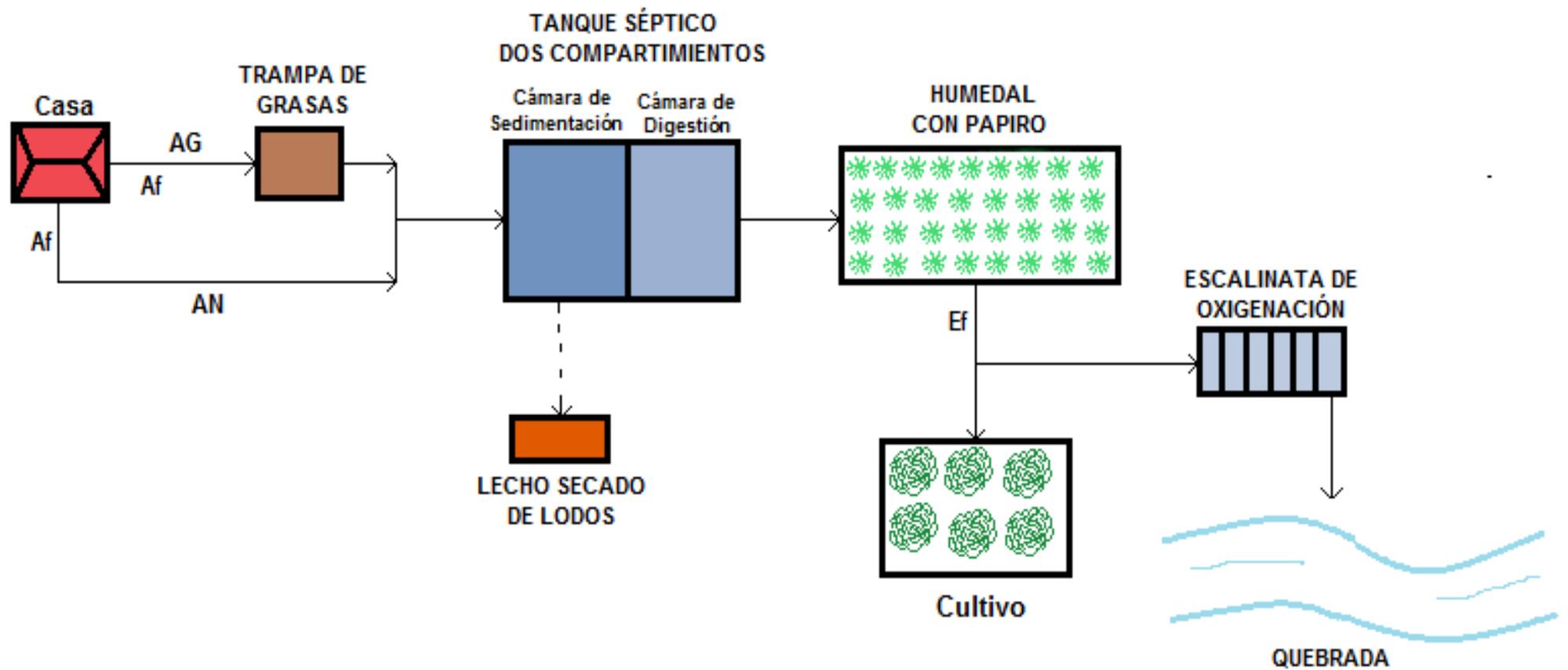


Figura 16. Sistema: Tanque Séptico Dos Compartimientos - Humedal. Esquema

Tabla 41. Remociones Esperadas del Sistema: Tanque Séptico Dos Compartimientos - Humedal

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P			CF			HH		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Trampa Grasas	180	0	180	200	0	200	50	65	18	20	0	20	10	0	10	10 ⁸	0	10 ⁸	50	0	50
Cámara Sedimentación	180	15	153	200	40	120	18	5	17	20	0	20	10	0	10	10 ⁸	0	10 ⁸	50	5	48
Cámara Digestión	153	25	115	120	20	96	17	0	17	20	2	19.6	10	2	9.8	10 ⁸	90	10 ⁷	48	5	46
Humedal	115	55	52	96	0	96	17	0	17	19.6	25	15	9.8	15	7.5	10 ⁷	90	10 ⁶	46	5	44
Escalinata Oxigenación	52	5	49	96	0	96	17	0	17	15	0	15	7.5	0	7.5	10 ⁶	0	10 ⁶	44	0	44

**Tabla 42. Eficiencias Teóricas del Sistema:
Tanque Séptico Dos Compartimientos - Humedal**

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	180	49	73
SS (mg/L)	200	96	52
Grasas (mg/L)	50	17	66
N (mg/L)	20	15	25
P (mg/L)	10	7.5	25
CF (UFC/100 ml)	10 ⁸	10 ⁶	99
HH (Nº huevos/L)	50	44	12

**Tabla 43. Caracterización del Efluente
del Sistema: Tanque Séptico Dos
Compartimientos - Humedal**

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	49
SS (mg/L)	96
Grasas (mg/L)	17
N (mg/L)	15
P (mg/L)	7.5
CF (UFC/100 ml)	10 ⁶
HH (Nº huevos/L)	44

3.2.3.4 Propuesta IV

- Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas

Compuesto por las siguientes unidades: Trampa de Grasas, Sedimentador Primario, Filtro con Buchón de Agua, Canal con Lenteja de Agua, Escalinata de Oxigenación y Lecho Secado de Lodos.

- Esquema General

En la Figura 17, se muestra el esquema del Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas. Las aguas grises entran a la trampa de grasas. Las aguas negras y el afluente que sale de la trampa de grasa, entran al filtro con lecho filtrante y buchón de agua, y luego entra al canal con lenteja de agua.

- Remociones Teóricas del Sistema

En la Tabla 44, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 45, se muestran las eficiencias teóricas del sistema. En la Tabla 46, se muestra la caracterización del efluente esperado del sistema.

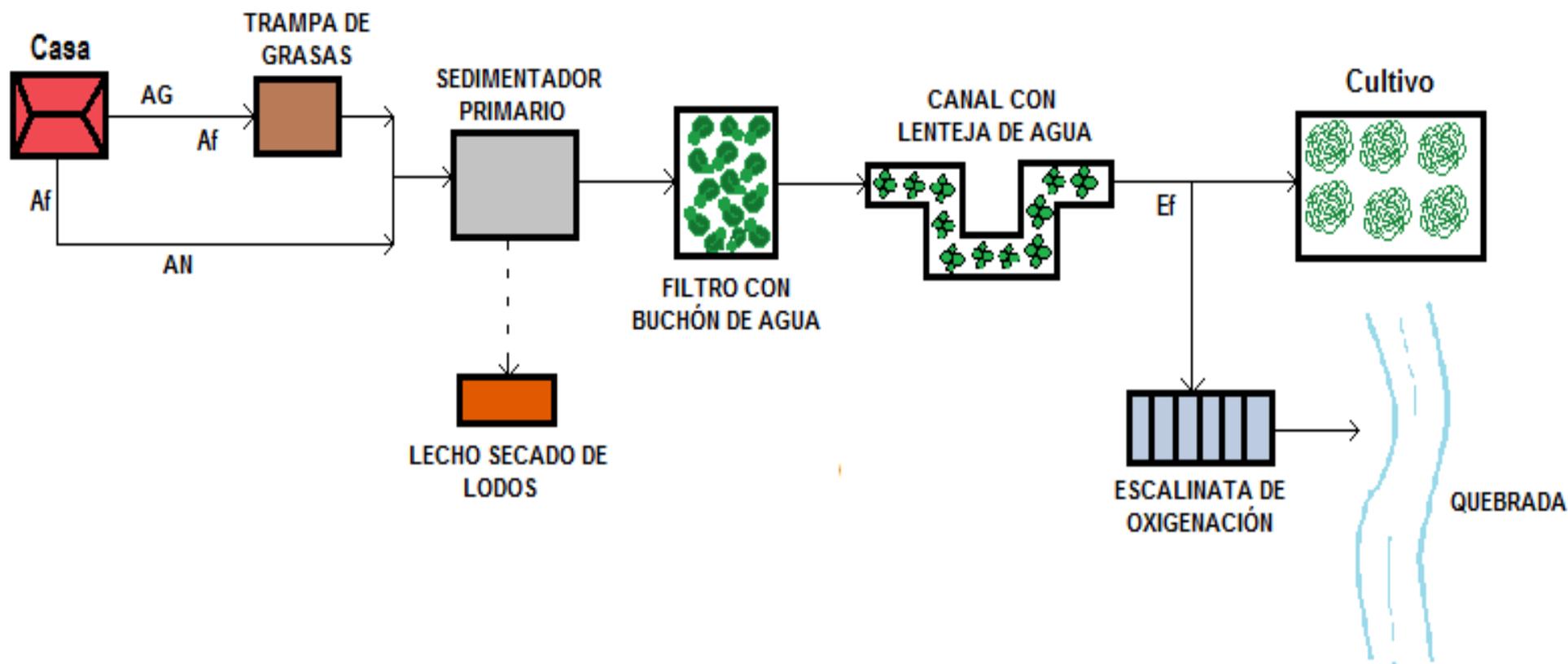


Figura 17. Sistema. Filtro con Plantas Acuáticas - Canal con Plantas Acuáticas. Esquema

Tabla 44. Remociones Esperadas del Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P			CF			HH		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Trampa Grasas	180	0	180	200	0	200	50	65	18	20	0	20	10	0	10	10 ⁸	0	10 ⁸	50	0	50
Sedimentador Primario	180	0	180	200	65	70	18	5	17	20	0	20	10	0	10	10 ⁸	0	10 ⁸	50	5	48
Filtro Buchón de Agua	180	45	99	70	10	63	17	0	17	20	8	18	10	8	9	10 ⁸	90	10 ⁷	48	5	46
Canal Lenteja de Agua	99	35	64	63	0	63	17	0	17	18	15	15	9	15	8	10 ⁷	90	10 ⁶	46	5	44
Escalinata Oxigenación	64	5	61	63	0	63	17	0	17	15	0	15	8	0	8	10 ⁶	0	10 ⁶	44	0	44

Tabla 45. Eficiencias Teóricas del Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	180	61	66
SS (mg/L)	200	63	69
Grasas (mg/L)	50	17	66
N (mg/L)	20	15	25
P (mg/L)	10	8	20
CF (UFC/100 ml)	10 ⁸	10 ⁶	99
HH (Nº huevos/L)	50	44	12

Tabla 46. Caracterización del Efluente del Sistema: Filtro con Plantas Acuáticas – Canal con Plantas Acuáticas

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	61
SS (mg/L)	63
Grasas (mg/L)	17
N (mg/L)	15
P (mg/L)	8
CF (UFC/100 ml)	10 ⁶
HH (Nº huevos/L)	44

3.2.4 UNIDADES Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA LAS ARP

La Unidad principal para el tratamiento de las aguas residuales porcinas, es el biodigestor. El estudio contempla dos sistemas: la primera recuperando concentrado y la segunda sin recuperar concentrado.

3.2.4.1 Unidades de Tratamiento

a. TANQUE MEZCLADOR

- **Descripción.** Es un tanque pequeño de forma prismático rectangular, construido con tapa; provisto de un mecanismo simple para mezclar las AR. Funciona de forma batch o por tandas (en el tanque se almacenan las aguas de cada lavada se mezclan y se envían al biodigestor), por lo tanto las AR ingresan por la parte superior del tanque y salen por la parte inferior Su función es homogenizar el afluente que se genera en el lavado de las porquerizas antes de entrar al biodigestor.

- **Localización.** Debe ubicarse cerca al drenaje de las aguas residuales del lavado de las porquerizas. El lugar debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.

- **Parámetro de diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH entre 3 a 5 minutos.

- **Normas de diseño:**

Forma: prismático rectangular o cuadrado

Relación Largo (l) Ancho (a) de 1.5:1 hasta 2:1. (Para rectangular)

Profundidad efectiva entre 50 y 60 cm.

Ancho mínimo: 40 cm.

Borde libre: 10 a 20 cm

- **Normas de construcción:**

Placa de fondo. Concreto reforzado

Paredes. En ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante o en concreto

Tapa. De un material liviano (madera plástica) con una agarradera, que permita ser fácilmente removida.

Tuberías de entrada: por la parte superior, sumergencia 10 cm

Tubería de salida: por la parte inferior

Tuberías y accesorios: PVC de $\varnothing = 3$ pulgadas

Mecanismo mezclador: Metálico con forma de círculo, soldado a una varilla de hierro que termina en forma de L; fijado mediante un soporte en la parte superior del tanque.

- Operación y Mantenimiento.

En la Tabla 47 se presenta el Manual de Operación del Tanque Mezclador y en la Tabla 48 el Manual de Mantenimiento.

Tabla 47. Manual de Operación del Tanque Mezclador

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Llenado del Tanque	Después de cada lavada	Guantes, Tapabocas, Botas	Mantener cerrada la válvula que comunica al Tanque Mezclador con el Biodigestor. Permitir que las aguas de lavado se almacenen en el Tanque.
Agitar el AR	Después de llenado	Guantes, Botas, Tapabocas.	Mediante el mecanismo mezclador, agitar las AR durante unos 2 a 3 minutos hasta lograr una mezcla homogénea.
Evacuar las AR	Terminado de agitar las AR	Guantes, Botas, Tapabocas.	Una vez lograda la mezcla homogénea en el Tanque mezclador, abrir la válvula que comunica con el Biodigestor. Evacuada totalmente el AR, cerrar la válvula.

Tabla 48. Manual de Mantenimiento del Tanque Mezclador

Actividad	Periodo	Procedimiento
Inspección de la Tapa	Diario	Revisar que la tapa esté en buen estado y bien colocada.
Inspección general del Tanque	Semestral	Revisar que la estructura se conserve. En caso de presentar averías repararlas
Ajustes y pintura del mecanismo agitador	Anual	Revisar el normal funcionamiento del agitador. Reparar en caso de ser necesario, engrasar las uniones y pintar todo el mecanismo con pintura anticorrosiva.

DISEÑO

Se asume: TRH = 3 minutos, h = 0.50 m, bl = 0.10 m, rectangular de relación l: a 1.5:1.

Volumen

$$V = Q_{ARLavada} * TRH$$

$$V = 120 \text{ L/lavada} * 3 \text{ min} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) * \left(\frac{1 \text{ d}}{24 \text{ hr}} \right) * \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right)$$

$$V = 0.00025 \text{ m}^3$$

Área Superficial

$$V = A_s * h \Rightarrow A_s = \frac{V}{h}$$

$$A_s = \frac{0.00025 \text{ m}^3}{0.50 \text{ m}} \Rightarrow A_s = 0.0005 \text{ m}^2$$

Ancho (a)

$$A_s = l * a \Rightarrow A_s = 1.5 a * a$$

$$A_s = 1.5 a^2 \Rightarrow a = \sqrt{\frac{A_s}{1.5}}$$

$$a = 0.02 \text{ m} \quad y \quad l = 0.03 \text{ m}$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas: a = 0.40 m, l=1.5a y h = 0.50 m, por lo tanto las medidas ajustadas son:

l = 0.60 m, a = 0.40 m y h = 0.50 m. (Ver plano 12)

En la Tabla 49, se presenta el resumen de diseño del tanque mezclador.

Tabla 49. Resumen de Diseño del Tanque Mezclador

Dimensión Útil (m)	Dimensión Total (m)	Volumen Útil (m3)	Volumen Total (m3)	TRH real (hr)
l = 0.60	l = 0.88			
a = 0.40	a = 0.68	0.12	0.40	12
h = 0.50	h = 0.67			

- **Presupuesto.** En la Tabla 50, se tiene el presupuesto global del tanque mezclador.

Tabla 50. Presupuesto del Tanque Mezclador

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.04	274250	10970
Acero de Refuerzo 3/8	Kg	6.2	3187	19759
Muro Ladrillo Tolete	m2	1.2	29225	35070
Mortero para Pañete Impermeabilizado	m2	1.2	21000	25200
Tubería Sanitaria Ø 3"	MI	0.6	12667	7600
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	1	4733	4733
Tapa Madera Plástica	m2	1	83520	83520
TOTAL				\$ 186852

b. SEDIMENTADOR PARA CONCENTRADO

- **Descripción.** Es un tanque de forma de prisma con sección rectangular o de cuadrado y de poca altura, construido sin tapa. Funciona de forma batch o por tandas (en el tanque se almacenan las AR de cada lavada para permitir la sedimentación del concentrado), por lo tanto las AR ingresan por la parte superior del tanque y tienen dos salidas una en el fondo para el concentrado y otra a 10 cm por encima del fondo para el paso del sobrenadante hacia al biodigestor. Tiene como función recuperar parte del concentrado que contienen las ARP, removiendo SS.
- **Localización.** Debe ubicarse cerca al drenaje de las aguas residuales del lavado de las porquerizas. El lugar debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento primario, el proceso es de tipo físico, mediante la decantación del concentrado y flotación de sólidos de menor peso específico que el agua. El AR sobrenadante pasa al biodigestor y el concentrado sedimentado pasa a un secador parabólico.
- **Parámetro de Diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH entre 2 y 3 horas.
- **Normas de Diseño**

Forma: Cuadrado o rectangular

Altura efectiva: 30 cm (para tanques pequeños)

Borde libre: 10 a 20 cm.

Relación L:a de 1.5:1 a 2:1 (para rectangulares)

Ancho mínimo: 40 cm.

Ingreso de las AR: por la parte superior del tanque

Altura salida del concentrado. Fondo del tanque, ubicada en el extremo opuesto de la entrada.

Altura salida del AR: 10 cm por encima del fondo, ubicada en el extremo opuesto de la entrada.

- **Normas de Construcción.**

Placa de fondo. Concreto reforzado

Paredes. En ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante o en concreto.

Tubería de entrada: $\varnothing = 3$ pulgadas y por la parte superior
 Tubería de salida concentrado: $\varnothing = 3$ pulgadas y por el fondo
 Tubería de salida AR: $\varnothing = 3$ pulgadas y $h = 10$ cm del fondo

- **Operación y Mantenimiento.**

En la Tabla 51, se tiene el manual de operación del sedimentador para concentrado, para mantenimiento revisar la Tabla 12, actividad de la cámara de sedimentación.

Tabla 51. Manual de Operación del Sedimentador para Concentrado

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Llenado del Sedimentador	Después de cada lavada	Guantes, tapabocas, botas	Mantener cerradas las válvulas que permiten la salida del concentrado y del sobrenadante. Permitir que las AR de la lavada pasen al Sedimentador
Decantación	Después del llenado		Permitir que el AR permanezca en reposo el TRH
Retiro del AR sobrenadante	Después de la decantación	Guantes, tapabocas, botas	Abrir la válvula que comunica al Sedimentador con el Biodigestor. Una vez evacuada toda el AR, cerrar la válvula
Retiro del concentrado	Después del retiro del sobrenadante	Guantes, tapabocas, botas	Abrir la válvula que comunica el Sedimentador con el Secador Parabólico. Una vez evacuado todo el concentrado cerrar la válvula.

- **Disposición de Subproductos.** El concentrado recuperado, se dispone en el secador parabólico; una vez seco se utiliza para alimentación de ganado vacuno. El AR pasa al Biodigestor.
- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento, recuperar el 60% del concentrado y eficiencia en remoción de SS = 50%.

DISEÑO

Se asume: TRH = 2 horas, altura $h = 0.30$ m, borde libre $bl = 0.10$ m y relación largo: ancho de 1.5:1.

Volumen

$$V = Q_{ARLavada} * TRH$$

$$V = (120 L/d) * 2 hr * \left(\frac{1 d}{24 hr}\right) * \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right)$$

$$V = 0.01 m^3$$

Área Superficial

$$V = As * h \quad \Rightarrow \quad As = \frac{V}{h}$$

$$As = \frac{0.01 \text{ m}^3}{0.30 \text{ m}} \quad \Rightarrow \quad As = 0.03 \text{ m}^2$$

Ancho (a)

$$As = l * a \quad \Rightarrow \quad As = 1.5 a * a$$

$$As = 1.5 a^2 \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt{\frac{As}{1.5}}$$

$$a = 0.14 \text{ m} \quad y \quad l = 0.28 \text{ m}$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas:
a = 0.40 m, l = 0.60 m y htotal = 0.40 m (Ver plano 13)

c. BIODIGESTOR

- **Descripción.** De tipo Taiwan o chorizo, tiene la forma de un cilindro colocado horizontalmente, con un orificio en la parte central y superior para la conducción del biogás. Su función es remover DBO y SS. Para mantener los niveles dentro del biodigestor y sellarlo herméticamente se construyen dos cajillas, una a la entrada y otra a la salida, de forma prismática rectangular. Del volumen del biodigestor, la parte inferior del 60 a 70 % se utiliza para almacenar las AR y el volumen restante 30 a 40 % para almacenar el biogás.
- **Localización.** Debe ubicarse cerca a las porquerizas, después del Tanque Mezclador o al Sedimentador de Concentrado y a la cajilla de entrada. El lugar debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar malos olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento secundario. El proceso es de tipo biológico; las bacterias presentes en las aguas residuales consumen materia orgánica y por ser el proceso anaerobio se produce biogás y por ser hermético el biodigestor, el biogás se puede almacenar, para posteriormente ser utilizado.
- **Parámetro de Diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH entre 20 y 30 días; a mayor temperatura menor TRH

- Normas de Diseño

Forma biodigestor: tubular horizontal

Diámetro mínimo: 1 m

Longitud mínima: 3 m

- Normas de Construcción

Biodigestor: Geomembrana calibre 23miles

Excavación para el biodigestor: De forma trapezoidal, con una altura del 70% del diámetro.

Placa de fondo Cajillas. Concreto con refuerzo nominal

Paredes de Cajillas. En ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante.

Tapas de las cajillas: De un material liviano (madera plástica) con una agarradera, que permita ser fácilmente removida.

Tuberías de entrada y salida y accesorios del Biodigestor: 3 pulgadas.

Tubería de conducción del Biogás: 2 pulgadas

- Operación y Mantenimiento

En las Tablas 52 y 53, se muestran los manuales de operación y mantenimiento del biodigestor.

Tabla 52. Manual de Operación del Biodigestor

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Inspección del llenado del biodigestor		Guantes, tapabocas, botas	Se debe llenar con agua limpia suficiente para tapar los tubos de entrada y salida (sello hidráulico), luego se realiza la carga de materia orgánica, que debe ser la quinta parte del agua inicial.
Inspección de la descarga al biodigestor		Guantes, Botas, Tapabocas.	Cada vez que se realice el lavado de las porquerizas, se debe hacer descarga del agua residual al biodigestor. Al finalizar la descarga se deben cerrar las tuberías de entrada y salida.
Agitación del Biodigestor	semanal	Guantes, botas, tapabocas	Agitar el biodigestor durante 2 minutos, logrando que el contenido se mezcle. Se debe realizar antes o durante el llenado.
Inspección de Cajillas	3 meses	Guantes, Tapabocas. Pala	Revisar que las cajillas no se encuentren llenas de lodos, de lo contrario retirar lodos.
Inspección de Lodos	3 años	Guantes, tapabocas, botas	Retirar los lodos que se encuentran en el fondo del biodigestor, con una manguera a presión o prestando el servicio para esto.

Tabla 53. Manual de Mantenimiento del Biodigestor

Actividad	Periodo	Procedimiento
Inspección de cajilla de entrada	Mensual	Revisar que la caja no contenga basura (piedras, palos y tierra) antes de entrar al biodigestor
Inspección de geomembrana	Anual	Revisar que la geomembrana no tenga fisuras, de lo contrario repararlas o cambiarla.
Inspección de Tubería	3 meses	Revisar que las conexiones y tubería no presente fugas ni taponamiento. La conducción del biogás, revisarla que no contenga agua.
Conservar plantas aromáticas	3 meses	Mantener los alrededores limpios, sin basura.

- **Disposición de Subproductos.** El biogás se puede utilizar como combustible para la cocina de la vivienda o para calefacción de los lechones en la porqueriza. El efluente debe pasar a la Unidad de postratamiento y luego utilizado para riego. Los lodos del biodigestor, deben ser retirados, dejarlos secar al sol, agregarles cal, compostarlos y reutilizarlos como abono en agricultura.
- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento, eficiencias de remoción de DBO = 70%, SS = 60% y CF = 99%

DISEÑO

Se asume un TRH = 25 días, diámetro $\phi = 1.00$ m, volumen para las AR = 70% del volumen total, volumen para el biogás 0 30 %, CR = 0.84

Caudal

$$Q_{BIOD} = Q_{ARP} * 0.84$$

$$Q_{BIOD} = 240 \text{ L/d} * 0.84$$

$$Q_{BIOD} = 202 \text{ L/d}$$

Volumen para las AR

$$V_{liquido} = Q_{BIOD} * TRH$$

$$V_{liquido} = 202 \text{ L/d} * 25 \text{ días} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right)$$

$$V_{liquido} = 5.1 \text{ m}^3$$

El volumen líquido es el 70% del volumen total que ocupa el biodigestor. (Artunduaga y Gordillo, 2010).

$$V_{Total} = \frac{V_{Liquido}}{0.70}$$

$$V_{Total} = \frac{5.1m^3}{0.70}$$

$$V_{Total} = 7.3 m^3$$

Volumen del Gas

El porcentaje del volumen del gas es el 30% del volumen total del biodigestor.

$$V_{GAS} = V_{Total} * 0.30$$

$$V_{GAS} = 7.3 m^3 * 0.30$$

$$V_{GAS} = 2.2 m^3$$

Longitud

$$V_{Total} = l * \pi * r^2$$

$$l = \frac{V_{Total}}{\pi * r^2}$$

$$l = \frac{7.3m^3}{\pi * (1 m)^2}$$

$$l = 2.32 m$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas:
l = 3 m y ϕ = 1.0 m (Ver plano 14)

En la Tabla 54, se presenta el resumen del diseño del biodigestor

Tabla 54. Resumen de Diseño del Biodigestor

Longitud (m)	Diámetro (m)	Volumen Líquido (m3)	Volumen Gas (m3)
l = 3.0	ϕ = 1.0	6.6	2.8

- **Presupuesto.** En la Tabla 55, se tiene el presupuesto global del biodigestor

Tabla 55. Presupuesto del Biodigestor

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Excavación	m3	3.1	25513	79090
Geomembrana Calibre 23mil	m2	9.4	6793	63854
Tubería Sanitaria Ø 3"	ml	0.9	12667	11400
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	2	4733	9466
TOTAL				\$ 163,810

3.2.4.2 Propuesta de Sistemas de Tratamiento

3.2.4.2.1 Propuesta I

- Sistema: Recuperando Concentrado

Compuesto por las siguientes unidades: Sedimentador para Concentrado, Biodigestor, Canal con Lenteja de Agua, Secador Parabólico y lecho secado de lodos.

- Esquema General

En la Figura 18, se muestra el esquema del Sistema: Recuperando Concentrado. Las aguas residuales que se generan en el lavado de las porquerizas, llegan a un sedimentador para concentrado, luego pasan al biodigestor y finalmente el afluyente entra a un canal con lenteja de agua. Para la disposición del efluente se presentan dos alternativas: riego en verano o ser vertido a la quebrada en invierno. El concentrado recuperado en el sedimentador para concentrado, se dispone en el secador parabólico. Los lodos que se retiran del biodigestor, se disponen en el lecho de secado de lodos.

- Remociones Teóricas del Sistema

En la Tabla 56, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 57, se muestran las eficiencias teóricas del sistema. En la Tabla 58, se muestran la caracterización del efluente esperado del sistema.

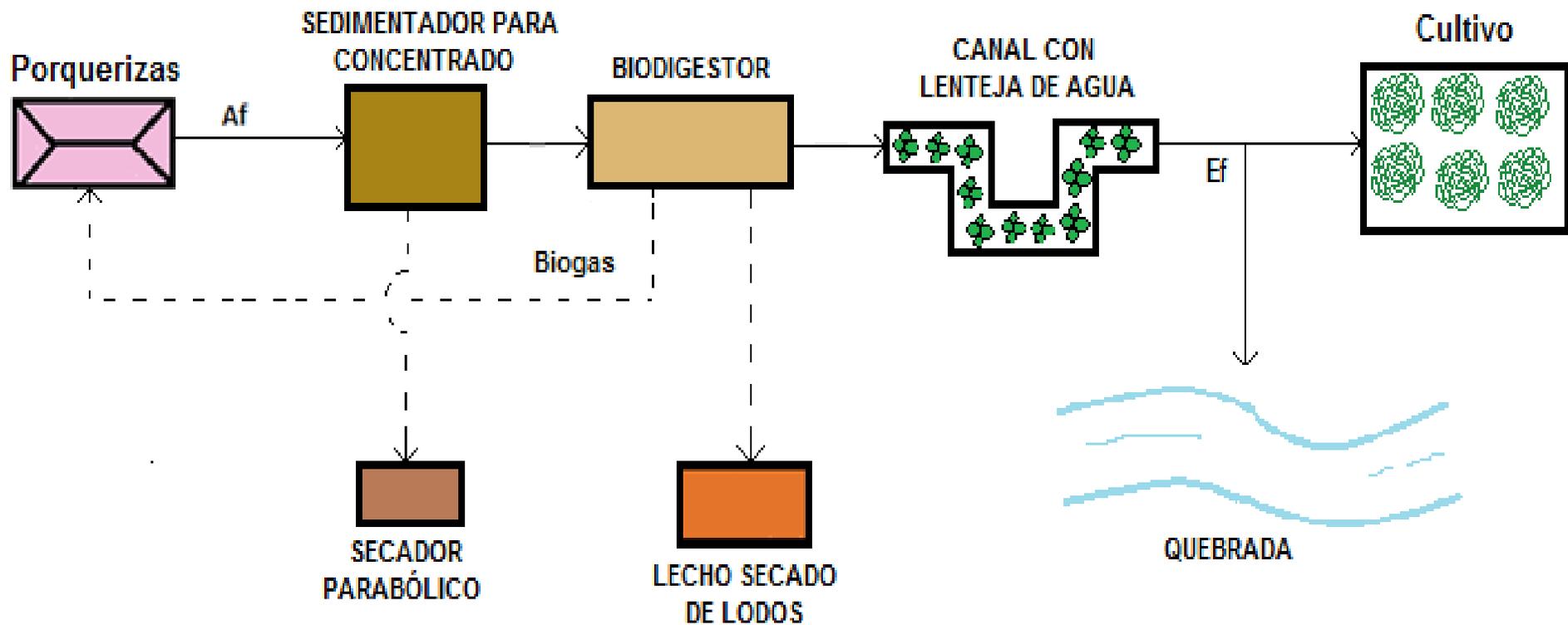


Figura 18. Sistema: Recuperando Concentrado. Esquema

Tabla 56. Remociones Esperadas del Sistema: Recuperando Concentrado

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P			CF		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Sedimentador para Concentrado	3250	20	2600	8750	65	3063	28.2	50	14	258	0	258	1020	0	1020	10 ⁷	0	10 ⁷
Biodigestor	2600	65	910	3063	55	1378	14	0	14	258	5	245	1020	5	969	10 ⁷	90	10 ⁶
Canal con Lenteja de Agua	910	35	592	1378	0	1378	14	0	14	245	15	208	969	15	824	10 ⁶	90	10 ⁵

**Tabla 57. Eficiencias Teóricas del Sistema:
Recuperando Concentrado**

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	3250	592	82
SS (mg/L)	8750	1378	84
G y A (mg/L)	28.2	14	50
N (mg/L)	258	208	19
P (mg/L)	1020	824	19
CF (UFC/100 ml)	10 ⁷	10 ⁵	99

**Tabla 58. Caracterización del Efluente
del Sistema: Recuperando Concentrado**

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	592
SS (mg/L)	1378
G y A (mg/L)	14
N (mg/L)	208
P (mg/L)	824
CF (UFC/100 ml)	10 ⁵

3.2.4.2.2 Propuesta II

- Sistema: Sin recuperar concentrado

Compuesto por las siguientes unidades: Tanque Mezclador, Biodigestor, Albercas Biológicas y Lecho de Secado de Lodos.

- Esquema General

En la Figura 19, se muestra el esquema del Sistema: Sin recuperar Concentrado. Las aguas que se generan en el lavado de las porquerizas, llegan a un tanque mezclador, luego pasa al biodigestor y finalmente el afluente pasa a las albercas biológicas con Buchón de Agua.

- Remociones Teóricas del Sistema

En la Tabla 59, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 60, se muestran las eficiencias teóricas de sistema. En la Tabla 61, se muestra la caracterización del efluente esperado del sistema.

Abono

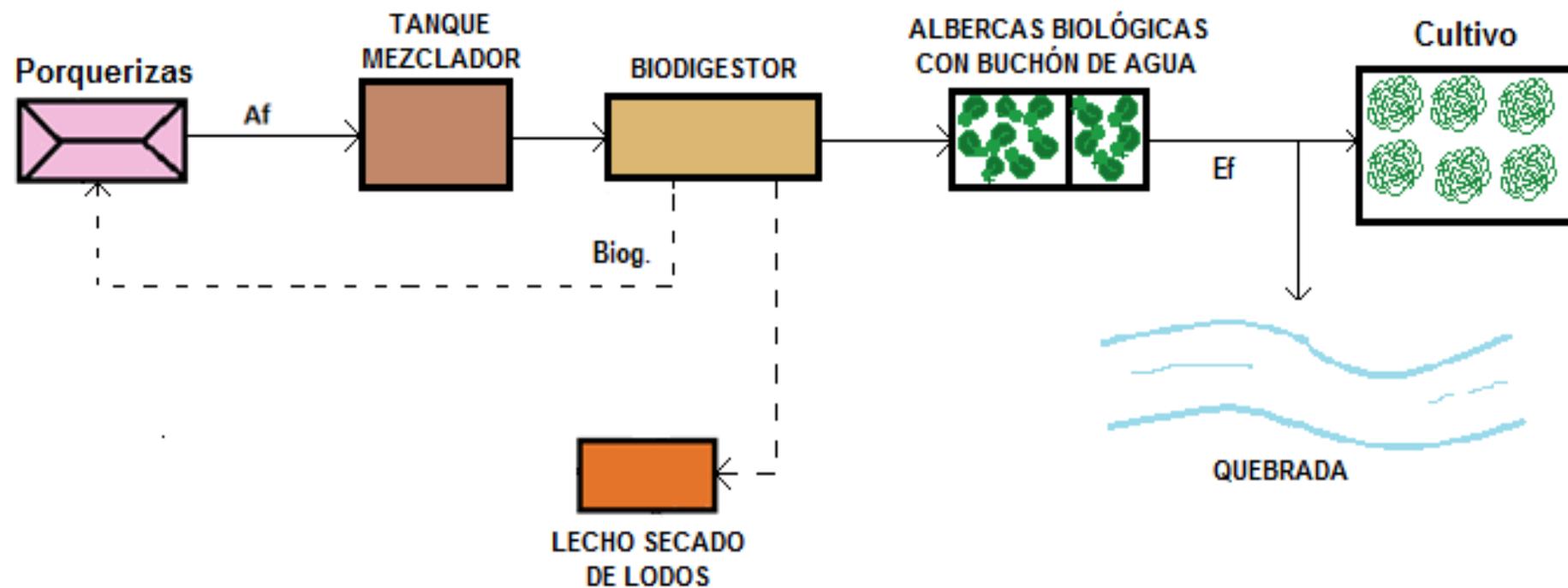


Figura 19. Sistema: Sin Recuperar Concentrado. Esquema

Tabla 59. Remociones Esperadas del Sistema: Sin Recuperar Concentrado

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P			CF		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Tanque Mezclador	3250	0	3250	8750	0	8750	28.2	10	25	258	0	258	1020	0	1020	10 ⁷	0	10 ⁷
Biodigestor	3250	65	1138	8750	55	3938	25	5	24	258	5	245	1020	5	969	10 ⁷	90	10 ⁶
Alberca 1	1138	15	967	3938	35	2560	24	0	24	245	5	233	969	5	921	10 ⁶	0	10 ⁶
Alberca 2	967	35	629	2560	15	2176	24	0	24	233	5	221	921	5	875	10 ⁶	90	10 ⁵

**Tabla 60. Eficiencias Teóricas del Sistema:
Sin Recuperar Concentrado**

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	3250	629	81
SS (mg/L)	8750	2176	75
G y A (mg/L)	28.2	24	15
N (mg/L)	258	221	14
P (mg/L)	1020	875	14
CF (UFC/100 ml)	10 ⁷	10 ⁵	99

**Tabla 61. Caracterización del Efluente
del Sistema: Sin Recuperar Concentrado**

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	629
SS (mg/L)	2176
G y A (mg/L)	24
N (mg/L)	221
P (mg/L)	875
CF (UFC/100 ml)	10 ⁵

3.2.5 UNIDADES Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA LAS ARC

3.2.5.1 Unidades de Tratamiento

a. DESNATADOR O SEDIMENTADOR

- **Descripción.** Es un tanque de forma cilíndrica, que en la parte inferior termina en un tronco de cono; debe ser provisto de una tapa construida de un material liviano (por ejemplo: madera plástica). Al tanque llegan las aguas provenientes de los tanques tina, después de los diferentes lavados realizados durante el beneficio del café; en el tronco de cono se almacenan los sólidos suspendidos, de donde deben ser retirados y dispuestos en la fosa para la pulpa. Su función es remover SS, G y A.
- **Localización.** Debe ubicarse cerca a los tanques tina, pero por fuera del beneficiadero, donde los afluentes puedan llegar por gravedad. El lugar debe ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento primario. El flujo es de tipo batch o por tandas (el agua permanece almacenada el TRH, no es continuo). El proceso es de tipo físico, decantación de sólidos de mayor peso específico que el agua y flotación de sólidos de menor peso específico; las grasas se solidifican y por tener menor densidad que el agua suben y flotan sobre la superficie del agua.
- **Parámetro de Diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH entre 24 y 48 horas
- **Normas de Diseño**

Forma: circular y tronco de cono en el fondo

Diámetro mínimo: 1 m

Profundidad mínima: 70 cm

Borde Libre: 10 a 20 cm

- **Normas de Construcción**

Fondo. Concreto Reforzado

Paredes. En ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante o concreto reforzado.

Tapa. De un material liviano (madera plástica) con una agarradera, que permita ser fácilmente removida.

Tuberías de entrada y salida y accesorios: 3 pulgadas.

Sumergencia de tubería: 13 cm

- Operación y Mantenimiento

En las Tablas 62 y 63, se muestran los Manuales de Operación y Mantenimiento para el Desnatador o Sedimentador.

Tabla 62. Manual de Operación del Desnatador o Sedimentador

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Deposito de las aguas del primer lavado	Cuando se termine el primer lavado		Tener cerradas todas las válvulas de salida del desnatador. Abrir la válvula que conduce las AR de los tanques tina al desnatador. Una vez evacuadas todas las AR de los tanques tina, cerrar la válvula que comunica los tanques tina con el desnatador.
Deposito de las aguas del segundo lavado	Cuando se termine el segundo lavado		Mantener cerradas todas las válvulas de salida del desnatador. Abrir la válvula que conduce las AR de los tanques tina al desnatador. Una vez evacuadas todas las AR de los tanques tina, cerrar la válvula que comunica los tanques tina con el desnatador.
Deposito de las aguas del tercer lavado	Cuando se termine el tercer lavado		Mantener cerradas todas las válvulas de salida del desnatador. Abrir la válvula que conduce las AR de los tanques tina al desnatador. Una vez evacuadas todas las AR de los tanques tina, cerrar la válvula que comunica los tanques tina con el desnatador.
Retiro de sólidos flotantes y grasas	24 horas después del llenado	Guantes, tapabocas, botas, recipiente para retiro de grasas, balde	El tanque debe estar destapado, manualmente con el recipiente se retiran los sólidos y grasas flotantes, se depositan en el balde y se disponen en la fosa para pulpa.
Retiro del agua residual	Después del retiro de los flotantes		Se abre la válvula que permite el flujo hacia el filtro, hasta que se desocupe totalmente la parte cilíndrica del tanque. Se cierra la válvula.
Retiro de Lodos	Después del retiro del agua residual		Se abre la válvula colocada en la parte inferior del tronco de cono y que comunica con la fosa de pulpa, hasta que sean evacuados todos los lodos. Se cierra la válvula.
Lavado del desnatador	Terminado el período de beneficio		Se pone a circular agua limpia desde los tanques tina para limpiar tuberías y el desnatador.

Tabla 63. Manual de Mantenimiento del Desnatador o Sedimentador

Actividad	Periodo	Procedimiento
Inspección de la tapa	Terminado el período de beneficio	Revisar que la tapa se encuentre bien colocada y en buen estado
Inspección de la estructura	Terminado el período de beneficio	Revisar que la estructura no presente grietas o daños. Mantener los alrededores limpios, sin basura.
Inspección de Tubería	Terminado el período de beneficio	Revisar que las conexiones y tubería no presente fugas ni taponamiento.
Conservación de las plantas aromáticas	Terminado el período de beneficio	Retirar malezas. Hacer raleo.

- **Disposición de Subproductos.** Los sólidos y las grasas deben ser depositados en la fosa para pulpa, compostarlos conjuntamente con la pulpa y utilizarlos como abono.
- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento, remociones SS = 50% y G y A = 50%.

DISEÑO

Como el desnatador llegan las aguas de los tres (3) lavados que se realizan durante el beneficio. El caudal es que llega al desnatador es

$$Q_{ARC} = 3 * Q_{ARC}/lavada$$

$$Q_{ARC} = 3 * 150 L/d$$

$$Q_{ARC} = 450 L/d$$

Se asume TRH = 24 horas, altura h = 0.70 m y borde libre bl = 0.15 m.

Volumen

$$V = Q_{ARC} * TRH$$

$$V = (450 L/d) * 24 hr * \left(\frac{1 d}{24 hr}\right) * \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right)$$

$$V = 0.45 m^3$$

Diámetro del Cilindro

$$V = A * h \quad \Rightarrow \quad V = \pi * r^2 * h$$

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}} \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{0.45 m^3}{\pi * (0.70 m)}}$$

$$r = 0.45 \text{ m} \Rightarrow \varnothing = 2 r$$

$$\varnothing = 0.9 \text{ m}$$

Asumiendo que los lodos que se sedimentan ocupan un volumen igual al 15% del volumen de las aguas residuales y realizados los cálculos, la altura del tronco de cono sería:

$$h = 0.3 \text{ m}$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas:

$\varnothing = 1.0 \text{ m}$, h del cilindro = 0.80 m , h del tronco de cono = 0.3 m , h total = 1.1 m (Ver plano 15)

En la Tabla 64, se presenta el presupuesto del desnatador o sedimentador.

Tabla 64. Presupuesto del Desnatador o Sedimentador

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.27	274250	74048
Muro ladrillo tolete	m2	0.18	29225	5261
Mortero para Pañete Impermeabilizado	m2	0.18	21000	3780
Tubería Sanitaria \varnothing 3"	MI	1.3	12667	16467
Codo 90° PVC \varnothing 2"	UND	1	4733	4733
Tapa Madera Plástica	UND	1	350000	350000
TOTAL				\$ 454,289

b. FILTRO DE FLUJO VERTICAL Y ASCENDENTE

- **Descripción.** Es un tanque de forma cilíndrica, provisto de una tapa construida de un material liviano (por ejemplo: madera plástica); a donde llegan las aguas provenientes del desnatador. En el fondo va colocada una tubería en forma de flauta para distribuir uniformemente el flujo. El lecho filtrante son trozos pequeños de polietileno de diferentes formas y colocados desordenadamente, hasta una altura de 5 cm antes de la tubería de descarga; dejando una porosidad superior al 70%. Su función es remover DBO y SS.
- **Localización.** Debe ubicarse lo más cercano posible al desnatador o sedimentador, pero de tal manera que permita el flujo por gravedad y cerca al lugar de reuso del efluente. El lugar deber ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar olores.

- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento secundario y el flujo es ascendente. El proceso es de tipo biológico en el agua residual que fluye entre los poros dejados por el material filtrante y un proceso combinado de tipo físico adhesión de las bacterias y sólidos suspendidos al lecho filtrante y biológico por parte de las bacterias al consumir materia orgánica. El flujo es continuo hasta cuando se desocupa el desnatador.
- **Parámetro de Diseño.** Tiempo de Retención Hidráulico TRH. Con TRH entre 2 y 4 horas.

- **Normas de Diseño**

Forma: cilíndrica
 Diámetro mínimo: 70 cm
 Profundidad mínima: 70 cm
 Borde Libre: 10 a 20 cm
 Sobrenadante: 5 a 10 cm
 Altura lecho filtrante = $h_f - h_t - h_s - h_{bl}$
 h_f = altura filtro
 h_t = altura tubería en la flauta
 h_s = altura sobrenadante
 h_{bl} = altura del borde libre

- **Normas de Construcción:**

Placa de fondo: Concreto reforzado
 Paredes: Ladrillo pañetado por dentro con impermeabilizante o concreto reforzado
 Tapa: De un material liviano (por ejemplo madera plástica) con una agarradera, que permita removerse fácilmente.
 Tuberías de entrada y salida y accesorios: 3 pulgadas.
 Flauta de PVC de 2 pulgadas perforada por encima y por los lados, el diámetro de las perforaciones entre 4 a 5 mm.

- **Operación y Mantenimiento**

En la Tabla 65 se presenta el Manual de Operación para el Filtro de Flujo Vertical y Ascendente. Para el Mantenimiento ver Tabla 63.

Tabla 65. Manual de Operación del Filtro de Flujo Vertical y Ascendente

Actividad	Periodo	Materiales	Procedimiento
Inicio de la labor	24 horas después del llenado del desnatador		Se retira la tapa del filtro. Se abre la válvula que comunica el desnatador con el filtro.
Terminación de la labor	Una vez desocupado el desnatador		Se cierra la válvula, se tapa el filtro.
Lavado del filtro	Terminado el periodo de beneficio.		Se llena el desnatador de agua limpia. Se pone a circular el agua hacia el filtro para limpiar tuberías y los lechos filtrantes.

- **Disposición de Subproductos.** El efluente debe pasar a la Unidad de Postratamiento, para luego ser reutilizado para riego.
- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción de DBO = 60% y SS = 30%.

DISEÑO

Se asume TRH = 3 horas, $\phi = 0.7$ m, $h_f = 0.85$ m, (altura lámina de agua) $h_{la} = 0.07$ m, borde libre $bl = 0.15$ m, $h_s = 0.05$ m y h flauta = 0.05.

Altura del Lecho Filtrante

$$h_{lf} = 0.7 \text{ m} - 0.05 \text{ m} - 0.05 \text{ m}$$

$$h_{lf} = 0.6 \text{ m}$$

Volumen del Filtro

$$V = Q_{ARC} * TRH$$

$$V = \left(450 \frac{L}{d}\right) * 3 \text{ hr} * \left(\frac{1 \text{ d}}{24 \text{ hr}}\right) * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}\right)$$

$$V = 0.056 \text{ m}^3$$

Radio (r)

$$V = \pi * r^2 * h_{la} \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h_{la}}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0.056 \text{ m}^3}{\pi * 0.7 \text{ m}}}$$

$$r = 0.16 \text{ m}$$

Por construcción se adoptan las siguientes medidas:

$r = 0.70 \text{ m}$ y $h = 0.85 \text{ m}$ (Ver plano 16)

- **Presupuesto.** En la Tabla 66, se presenta el presupuesto del Filtro Vertical y Ascendente.

Tabla 66. Presupuesto del Filtro Vertical y Ascendente

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.11	274250	30168
Muro de ladrillo tolete	m2	4	29225	116900
Mortero para Pañete 1:2 Impermeabilizado	m2	4	21000	84000
Tubería Sanitaria Ø 3"	ml	1.3	12667	16467
Tubería Sanitaria Ø 2"	ml	11.2	7703	86274
Codo 90° PVC Ø 3"	UND	1	4733	4733
Codo 90° PVC Ø 2"	UND	1	2043	2043
Buje Reductor Ø 3" a 2"	UND	1	3470	3470
Tee Ø 2"	UND	8	4169	33352
Tapón Sanitario	UND	1	756	756
Tapas Madera Plástica	UND	1	350000	350000
TOTAL				\$ 728,163

c. FILTRO DE FLUJO HORIZONTAL Y A PISTON (FFHP)

- **Descripción.** Es un tanque de poca profundidad, dividido internamente por pantallas colocadas transversalmente (en sentido contrario al flujo), las cuales alternadamente llevan en sus extremos agujeros. Los compartimentos conformados van llenos de un material filtrante. El AR debe ingresar y salir por uno de los extremos del tanque. Su función es remover DBO y SS.
- **Localización.** Debe ubicarse lo más cercano posible al desnatador o sedimentador, pero de tal manera que permita el flujo por gravedad y cerca al lugar de reuso del efluente. El lugar deber ser de fácil acceso y rodeado de plantas aromáticas para mitigar olores.
- **Proceso.** Esta unidad realiza tratamiento secundario y el flujo es horizontal. El proceso es de tipo biológico en el agua residual que fluye

entre los poros dejados por el material filtrante y un proceso combinado de tipo físico adhesión de las bacterias y sólidos suspendidos al lecho filtrante y biológico por parte de las bacterias al consumir materia orgánica. El flujo es continuo hasta cuando se desocupa el desnatador.

- **Parámetros de diseño.** Tiempo de Retención Hidráulica TRH. Con TRH entre 2 y 4 horas.

- **Normas de diseño:**

Vista de planta: Rectangular

Sección: Rectangular

Compartimentos: En línea recta y uno contiguo al otro.

Profundidad mínima: 30 cm.

Ancho mínimo: 30 cm.

Borde libre: 10 a 20 cm.

Longitud mínima total de compartimentos: 3 m

Perforaciones: Alternadas entre pantallas, en el 10% final de la pantalla.

De 1 a 2 cm de diámetro colocadas en toda el área correspondiente.

Material lecho filtrante: trozos de polietileno cortados de formas irregulares, colocados en forma desordenada pero dejando una porosidad mayor al 70%.

- **Normas de Construcción:**

Placa de fondo: Concreto reforzado con impermeabilizante

Paredes: Ladrillo pañetado por dentro y con impermeabilizante o concreto reforzado.

Diámetro de tubería de entrada y salida: 3 pulgadas

- **Operación y Mantenimiento**

Para el Manual de Operación ver Tabla 65 y para el Manual de Mantenimiento, revisar la Tabla 63.

- **Disposición de subproductos.** El efluente debe pasar por la Unidad de Postratamiento y luego reusado para riego.
- **Eficiencia.** Se espera con debida operación y mantenimiento, una eficiencia de remoción de DBO = 60% y SS = 30%.

DISEÑO

Se asume: TRH = 3 horas, sección transversal de los compartimientos = 0.30 * 0.30 m y borde libre bl = 0.10 m.

Volumen

$$V = Q_{ARC} * TRH$$

$$V = 450 \text{ L/d} * 3 \text{ hr} * \left(\frac{1 \text{ d}}{24 \text{ hr}}\right) * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}\right)$$

$$V = 0.056 \text{ m}^3$$

Área Sección

$$As = a * h \quad \Rightarrow \quad As = 0.3 \text{ m} * 0.30 \text{ m}$$

$$As = 0.09 \text{ m}^2$$

Longitud (l)

$$V = As * l \quad \Rightarrow \quad l = \frac{V}{As}$$
$$l = \frac{0.056 \text{ m}^3}{0.09 \text{ m}^2} \quad \Rightarrow \quad l = 0.62 \text{ m}$$

Por normas de construcción se adoptan las siguientes medidas:

Sección compartimientos **a = 0.30 m**, **h = 0.40 m**. Tanque: **a = 1 m**, **l = 1.2 m**, para 4 compartimientos (Ver plano 17)

En la Tabla 67, se presenta el resumen de diseño del filtro horizontal

Tabla 67. Resumen del Filtro Horizontal

Longitud	Sección	Base	Tirante	TRH real (d)
3 m	Rectangular	0.30 m	0.30 m	Calcularlo

- **Presupuesto.** En la Tabla 68, se presenta el presupuesto global del filtro horizontal

Tabla 68. Presupuesto del Filtro Horizontal

Descripción	UND	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Concreto 2500 PSI	m3	0.06	274250	16450
Acero de Refuerzo 3/8	kg	9	3187	28683
Muro de ladrillo tolete	m2	1.6	29225	46760
Mortero para Pañete 1:2				
Impermeabilizado	m2	1.6	21000	33600
Tubería Sanitaria Ø 3"	ml	0.7	12667	8867
Pantalla Madera Plástica	UND	3	46400	139200
TOTAL				\$ 273,560

3.2.5.2 Propuesta de Sistemas de Tratamiento

Los Sistemas de Tratamiento propuestos contemplan una Unidad de Tratamiento Primario (Desnatador o Sedimentador) y dos Unidades de Tratamiento Secundario (Unidad de tratamiento: Filtro y Unidad de Postratamiento: Unidad con Plantas Acuáticas), el reuso de la pulpa y sólidos suspendidos después de compostados como abono para el cultivo del café y del efluente para riego también del cultivo del café.

3.2.5.2.1 Propuesta I

- Sistema. Filtro Circular – Canal con Plantas Acuáticas

Compuesto por las siguientes unidades: Desnatador, Filtro de Flujo Vertical y Ascendente, Canal con Lenteja de Agua y Fosa para Pulpa.

- Esquema General

En la Figura 20, se muestra el esquema del Sistema: Filtro Circular – Canal con Plantas Acuáticas. Las aguas que se generan en el beneficio del café, el desnatador o sedimentador, luego pasan a un filtro de Flujo Vertical y Ascendente y finalmente el afluente entra al canal con Lenteja de Agua. Los lodos que se retiran del desnatador se deben llevar a la Fosa para Pulpa.

- Remociones Teóricas del Sistema

En la Tabla 69, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 70, se muestran las eficiencias teóricas del sistema. En la Tabla 71, se muestran la caracterización del efluente esperado del sistema.

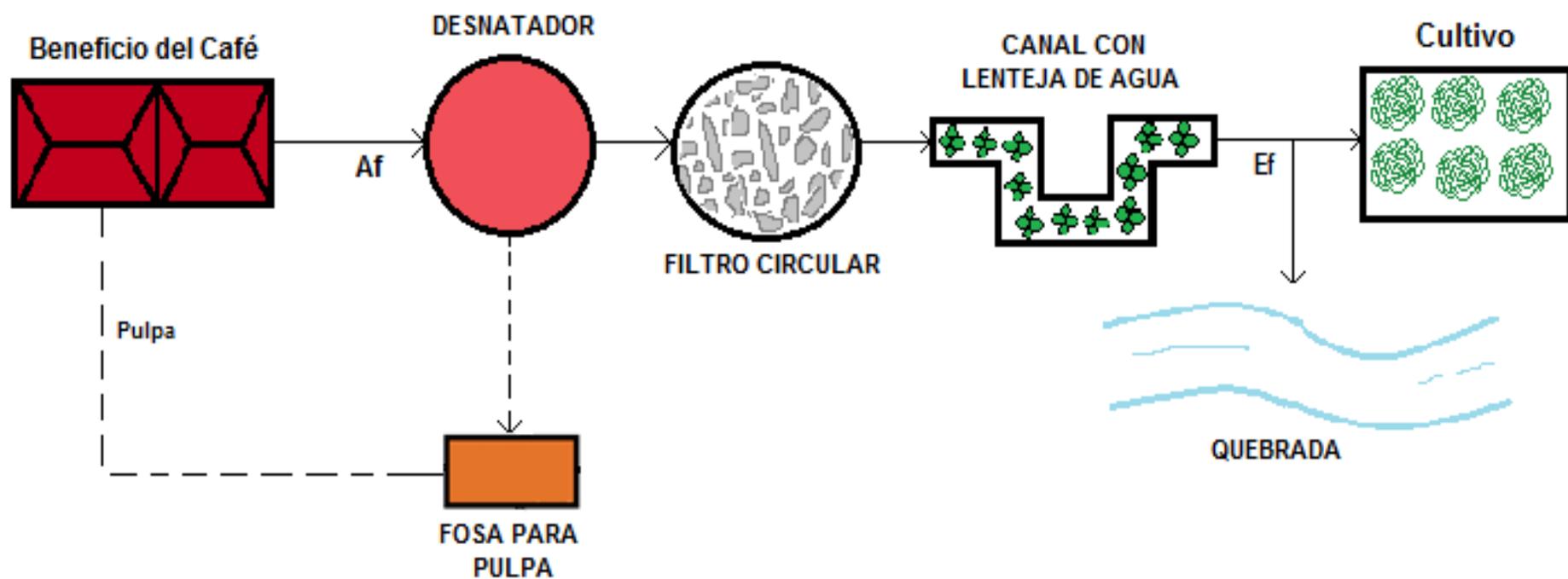


Figura 20. Sistema: Filtro Circular - Canal con Plantas Acuáticas. Esquema

Tabla 69. Remociones Esperadas del Sistema: Filtro Circular – Canal con Plantas Acuáticas

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Desnatador 1	111780	20	89424	22000	60	8800	29.2	40	17.5	1278	5	1214	92	0	92
Filtro Vertical	89424	55	40241	8800	25	6600	17.5	10	15.8	1214	10	1093	92	10	83
Canal Lenteja de Agua	40241	35	26157	6600	0	6600	15.8	0	15.8	1093	15	929	83	15	71

**Tabla 70. Eficiencias Teóricas del Sistema:
Filtro Circular – Canal con Plantas Acuáticas**

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	111780	26157	77
SS (mg/L)	22000	6600	70
G y A (mg/L)	29.2	15.8	46
N (mg/L)	1278	929	27
P (mg/L)	92	71	23

**Tabla 71. Caracterización del Efluente del
Sistema: Filtro Circular – Canal con
Plantas Acuáticas**

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	26157
SS (mg/L)	6600
G y A (mg/L)	15.8
N (mg/L)	929
P (mg/L)	71

3.2.5.2.2 Propuesta II

- Sistema. Filtro Horizontal - Humedal

Compuesto por las siguientes unidades: Desnatador, Filtro de Flujo Horizontal y a Pistón, Humedal con Papiro y Fosa para Pulpa.

- Esquema General

En la Figura 21, se muestra el esquema del Sistema: Filtro Horizontal – Humedal. Las aguas que se generan en el beneficio del café, pasan por el desnatador, luego pasan a un filtro horizontal y finalmente el afluente entra al humedal con papiro. Los lodos que se retiran del desnatador se deben llevar a la Fosa para Pulpa.

- Remociones Teóricas del Sistema

En la Tabla 72, se muestran los cálculos de las remociones teóricas esperadas en las Unidades del sistema de tratamiento. En la Tabla 73, se muestran las eficiencias teóricas del sistema. En la Tabla 74, se muestra la caracterización del efluente esperado del sistema.

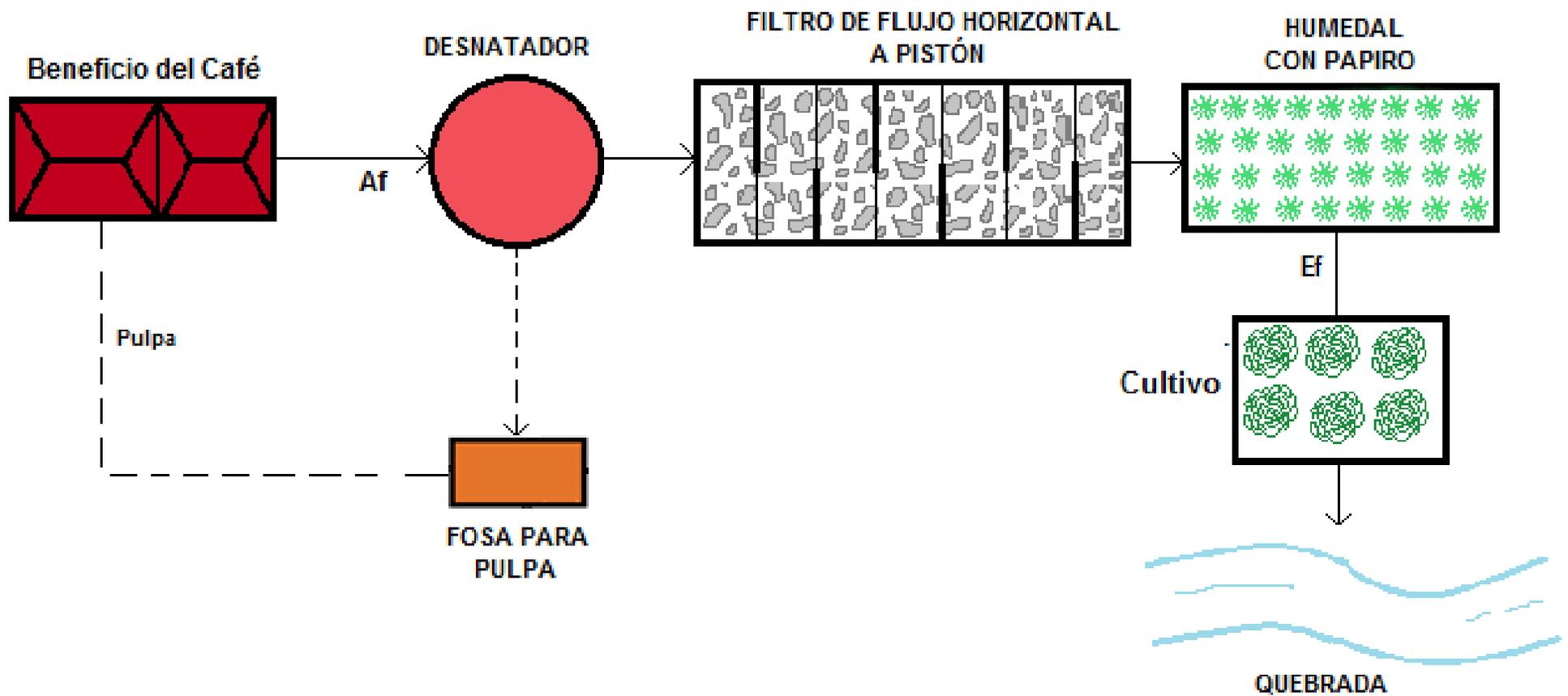


Figura 21. Sistema : Filtro Horizontal - Humedal

Tabla 72. Remociones Esperadas del Sistema: Filtro Horizontal - Humedal

PARAMETRO	DBO			SS			G y A			N			P		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Desnatador 1	111780	20	89424	22000	60	8800	29.2	40	17.5	1278	5	1214	92	0	92
Filtro Horizontal	89424	55	40241	8800	25	6600	17.5	10	15.8	1214	10	1093	92	10	83
Humedal	40241	55	18108	6600	0	6600	15.8	0	15.8	1093	25	820	83	15	71

**Tabla 73. Eficiencias Teóricas del Sistema:
Filtro Horizontal - Humedal**

PARÁMETRO	Af	Ef	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	111780	18108	84
SS (mg/L)	22000	6600	70
G y A (mg/L)	29.2	15.8	46
N (mg/L)	1278	820	36
P (mg/L)	92	71	23

**Tabla 74. Caracterización del Efluente
del Sistema: Filtro Horizontal - Humedal**

PARÁMETRO	Ef
DBO (mg/L)	18108
SS (mg/L)	6600
G y A (mg/L)	15.8
N (mg/L)	820
P (mg/L)	71

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el sector rural del departamento del Huila, las aguas residuales que mayor impacto producen sobre las fuentes de agua, son las domésticas, las del beneficio del café y las de la producción porcina; la cobertura del tratamiento es baja y los sistemas construidos tanto centralizados como descentralizados no operan o lo hacen parcialmente por la falta de una debida operación y mantenimiento.

Actualmente los sistemas descentralizados más comúnmente construidos en el sector rural del departamento del Huila, son los Tanques Sépticos para las aguas residuales domésticas, el Desnatador y Filtro para las del beneficio del café y los Biodigestores para las de la producción porcina; generalmente construidos de forma empírica o con modificaciones a sus diseños originales, con deficiencias de operación y mantenimiento y descargan sus efluentes a las fuentes de agua; además no han sido evaluados.

Las Unidades de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales para el sector rural, deben ser debidamente diseñadas y construidas, acordes al caudal y características de afluente. Los Sistemas, deben contemplar Unidades de Tratamiento Primario y Secundario, el número de las mismas están determinadas por la calidad del efluente esperado para el Reuso seleccionado.

Las Unidades de Tratamiento propuestas son de bajo costo, pueden construirse con materiales de la región o de fácil consecución, son de fácil operación y mantenimiento y novedosos como las de plantas acuáticas; su eficiencia se puede mejorar combinando materiales como en los Sedimentadores con Lechos Filtrantes y Plantas Acuáticas. Los Sistemas deben concebirse de tal manera que armonicen con el entorno.

Las comunidades campesinas deben participar durante todo el proceso, desde el diseño, en la construcción y en la operación del sistema; requiriéndose programas de capacitación y acompañamiento. La operación y mantenimiento de los Sistemas debe ser responsabilidad de cada campesino.

Para lograr los objetivos ambientales y de protección de la salud de los Sistemas de Tratamiento se propone que se construyan de acuerdo a lo

diseñado y para lograr mantener las eficiencias realizar debidamente las labores de operación y mantenimiento.

Se recomienda que este estudio sea el inicio de una Línea de Investigación en Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el tratamiento de aguas residuales del sector rural, que además de proponer novedosas Unidades y Sistemas, afine las metodologías de diseño y realice una evaluación de las eficiencias de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

ARTUNDUAGA, William y GORDILLO, Luz. Recuperación parcial del concentrado de la porquinaza, una alternativa ambiental y económica. Neiva, 2009. Tesis (Pregrado Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

ASTEC, 2005. Proyecto. Documento del Seminario sobre Biofiltros efectuado en Managua, Nicaragua. WSP (wáter and sanitation program)

BOTACHE, Carmen., et al. Diseño, Construcción y Evaluación de un Biodigestor en el Municipio de La Plata – Huila, como sistema de tratamiento de aguas residuales en pequeñas explotaciones agropecuarias. Neiva, 2001. Tesis (Especialización en Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

CAMACHO, Álvaro. Tecnologías no convencionales para el saneamiento básico. En : Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Taller Nacional del Agua. Bolivia : Programa CONCERTACIÓN, Centro AGUA – UMSS), 2009. Capítulo 7, 31 P.

http://books.google.com.co/books?id=2laEX9GK3QgC&printsec=frontcover&dq=Tecnolog%C3%ADas+no+convencionales+para+el+saneamiento+b%C3%A1sico.+Taller+Nacional+del+Agua,+Cochabamba&source=bl&ots=hMxjg2eEv0&sig=MWwjg5guRqW1WQY_N2BY0DUKq6Q&hl=es&sa=X&ei=ktQaUJyqFa6M0QGu_oHQAq&ved=0CC4Q6AEwAA#v=onepage&q=Tecnolog%C3%ADas%20no%20convencionales%20para%20el%20saneamiento%20b%C3%A1sico.%20Taller%20Nacional%20del%20Agua%2C%20Cochabamba&f=false>

CAMPO, Dinora y MURCIA, Carlos. Evaluación del tanque séptico como sistema descentralizado para el tratamiento de aguas residuales domesticas del área administrativa El Monal, inspección San Francisco, predio El Rayo, Neiva – Huila. Neiva, 2012, 42 p. Tesis (Especialización Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Programa de Ingeniería Agrícola.

CANADA, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Lucha contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos (Estudio FAO Riego y Drenaje – 55). [Base de datos en línea]. 1997. [consultado 6 feb. 2012] Disponible en

<http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s00.htm#Contents>>

CALDERA, Yaxcelys., et al. Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Industria Avícola. Maracaibo, Venezuela : Universidad del Zulia, 2010.

<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-22592010000400011&script=sci_arttext>

CIPAV, 2007. Descontaminación productiva del agua. Grupo acuicultura. Cali

_____, 1998. Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina Aspectos Legales, Técnicos y Económicos.

COLOMBIA, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Buenas prácticas agrícolas [BPA] y Buenas prácticas de manufactura [BPM] en la producción de caña y panela. [Base de datos en línea]. Corpoica, 2008. [consultado 7 feb. 2012] Disponible en

<<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1525s/a1525s07.pdf>>

COLOMBIA, Gobernación del Huila. Información General del Departamento del Huila. [en línea]. sl, 2010. [consultado 11 jun. 2012]. Disponible en <http://www.huila.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=6989&Itemid=13>

_____ Anuario Estadístico Agropecuario. Colombia : Huila, 2010. 19; 138; 284 p.

_____ Informe de Gestión de la Agricultura. Colombia : Huila, 2010. 3; 9; 14 p.

_____ Sistema de Información Regional del Departamento del Huila. Mapa de Oportunidades. Colombia : Huila, 2011. 47 p

_____ Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. Diagnóstico Ambiental del Departamento del Huila. Colombia : Huila, 2003. 31 – 32 p.

CORTES LASSO, María Alejandra; RIOS OROZCO Astrid Tatiana. Evaluación preliminar de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café de la vereda Villa Colombia. La Plata – Huila, 2009. Tesis (Pregrado Ingeniería Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

CHAVARRO BARRETO, Gonzalo. Líder Departamental de Extensión. Proyecto Apoyo a la Reconversión Productiva de la Caficultura del Departamento del Huila. Comité Departamental de Cafeteros del Huila. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Neiva, 2011.

DELGADILLO, Oscar., et al. Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales. Serie Técnica. Bolivia : Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), 2010. 7 p.

http://books.google.com.co/books?id=1kO2J5aDljQC&printsec=frontcover&dq=depuraci%C3%B3n+de+aguas+residuales+por+medio+de+humedales+artificiales&hl=es&ei=IzbETsbxF8rx0gHivPWeDw&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=1&ved=0CC0Q6wEwAA#v=onepage&q&f=false

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Revista de silvicultura e industrias forestales. Unasylva – No. 185 – Influencias de los bosques. [Base de datos en línea]. Vol 47. sl : 1996. [consultado 6 feb. 2012]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/w0312s/w0312s00.htm#Contents>

FERRO, Liliana. Diseño de Albercas Biológicas y Filtros Biológicos como Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Institución Educativa Guacirco. Neiva, 2008. Tesis (Pregrado Ingeniería Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

GUTIERREZ, Nelson. Consulta Personal. Universidad Surcolombiana. Neiva, 2012

LEIVA BENAVIDES, Dory del pilar., MARIN PULIDO, María del Carmen. Beneficiadero tipo bajo el enfoque de producción más limpia en el proyecto San Rafael en los municipios de Gigante y La Plata. Trabajo de grado Modalidad Pasantía Supervisada, 2006.

LONDOÑO, Beatriz; RODRIGUEZ, Gloria y HERRERA, Giovanni. Perspectivas del Derecho Ambiental en Colombia. Bogotá : Universidad del Rosario, 2006. 467 p.

http://books.google.com.co/books?id=XuDjoSDxo5UC&printsec=frontcover&dq=Perspectivas+del+derecho+ambiental&hl=es&ei=VGhTvD5FYmCgAe0sbU-&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

MADERA, C., et al. Sistemas Combinados de Tratamiento de Aguas Residuales basados en Tanque Séptico - Filtro Anaerobio - Humedales: Una Alternativa sostenible en pequeñas comunidades de Países Tropicales. Cali : Instituto CINARA, 2003. <
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/humed.pdf>>

MARÍN, María del Carmen y LEIVA, Dory del Pilar. Infraestructura bajo el enfoque de una producción más limpia en el subsector cafetero, Huila. Coffe Company Huila Ltda.

MARÍN, María del Carmen y GAITÁN, Héctor. Evaluación del desnatador y filtro como sistema descentralizado en el tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio del café en la finca El Recreo vereda Paraíso Charguayaco en el Municipio de Pitalito – Huila. Neiva, 2012, 37 p. Tesis (Especialización Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Programa de Ingeniería Agrícola.

MARTI HERRERO, Jaime. Biodigestores Familiares : Guía de diseño y manual de instalación. Bolivia : GTZ-Energía, 2008. 15 p.
http://books.google.com.co/books?id=TsbrdcmKGKoC&printsec=frontcover&dq=biodigestores+familiares&hl=es&ei=f0PEToTTF6fe0QGe85GMDw&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=1&ved=0CDAQ6wEwAA#v=onepage&q&f=false

MEDINA HINCAPIE, Paola Andrea. Manejo de los Residuos de la Explotación Porcina de la Institución Educativa El Tejar. Neiva, 2007. Tesis (Pregrado Ingeniería Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

MEDINA, Maritza y FORERO, Ana. Evaluación del biodigestor como sistema descentralizado de tratamiento de las aguas residuales porcinas de la Finca La Siberia, vereda Peñas Blancas en el Municipio de Neiva. Neiva, 2012, 34 p. Tesis (Especialización Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento y Reutilización. España S.A, 2003, 243 p. Mc Graw Hill, 4ª Edición.

MORA ALVARADO, Darner. Agua. Costa Rica : Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), 2009. 169 p.

http://books.google.com.co/books?id=eafu8E2PtQAC&printsec=frontcover&dq=agua&hl=es&ei=TDrETqBHhumBB5ro3fcO&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=9&ved=0CFEQ6wEwCDgK#v=onepage&q&f=false

MORENO MERINO, Luis. La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno. Madrid : Instituto Geológico y Minería de España, 2003. 23 p.

<<http://books.google.com.co/books?id=MBESfg8LP3gC&pg=PA23&lpg=PA23&dq=tratamiento+de+aguas+residuales+con+canales+con+plantas+acu%C3%A1ticas&source=bl&ots=wEkfXY0GL9&sig=olr-ZUOOZ8UBSlruE6y6Q-kMrVQ&hl=es&sa=X&ei=w6R1UM-9OoOm9ATFjYHgCA&ved=0CFMQ6AEwBg#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20con%20canales%20con%20plantas%20acu%C3%A1ticas&f=false>>

MURCIA, Oscar y ROJAS, Camilo. Evaluación del tanque séptico como sistema descentralizado para el tratamiento de aguas residuales domesticas en el corregimiento de San Luis, zona rural del Municipio de Neiva – Huila. Neiva, 2012, 36 p. Tesis (Especialización Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

NARVÁEZ, Clara y SILVA, Ivonne. Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas en el Sector Rural del Departamento del Huila. Neiva, 2009. Tesis (Pregrado Ingeniería Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

OMS, Organización Mundial de la Salud. Directrices para la Calidad del Agua Potable. Cuarta Edición. Malta : Gutenberg, 2011. 231 p.

http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf

OMS, Organización Mundial de la Salud. Para Salud ambiental se necesita agua potable y saneamiento. En : Información de prensa. [en línea]. Vol 1, 2002. [consultado 7 feb. 2012] Disponible en

<<http://www.paho.org/spanish/dpi/100/100feature23.htm>>

OMS, Organización Mundial de la Salud. Las Playas y las aguas de recreo podrían ser mucho más seguras. En : El nuevo plan de la OMS para prevenir riesgos podría evitar ahogamientos y traumatismos. [en línea]. Vol 1, 2003. [consultado 7 feb. 2012] Disponible en

<<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2003/pr75/es/>>

OMS, Organización Mundial de la Salud. La Organización Mundial de la Salud publica el primer atlas sobre salud infantil y medio ambiente. En : Medio ambiente: dónde están los riesgos, dónde se encuentran seguros los niños. [en línea]. 2004. [consultado 7 feb. 2012] Disponible en < <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2004/pr43/es/>>

OROZCO, Álvaro. Bioingeniería de Aguas Residuales : Teoría y Diseño. Bogotá : Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL). *sn*, 2005. 2-4 p.

http://books.google.com.co/books?id=t5w5EZf1VhMC&printsec=frontcover&dq=bioingenieria+de+las+aguas+residuales&hl=es&ei=6ll_Tt_XMoOcgQfai70o&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CDIQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

OSORIO, P. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas empleados por la CVC en el sector rural del departamento del Valle del Cauca. Cali : Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2003. < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/sist.pdf>>

OTÁLORA RODRIGUEZ, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandul. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. 2011. < <http://www.bdigital.unal.edu.co/5044/1/292544.2011.pdf>>

OYOLA, Freddy y CEDEÑO, Elcy. Evaluación del desnatador y filtro como sistema descentralizado de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café en la Finca Santana de la vereda Holguin Municipio Elias – Huila. Neiva, 2012, 39 p. Tesis (Especialización Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

PAS – LAC, 2007. Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe. Memoria del Simposio Internacional. Tecnologías de alternativas para la provisión de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades. Perú.

PATARROLLO, Eduardo. Caracterización de los Vertimientos de Aguas Residuales del Municipio de Pitalito. Neiva, 2006. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Aguas.

PINZON, Pablo y VELEZ, Efren. Evaluación preliminar de una alberca biológica como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. Neiva, 2008, 17 p. Tesis (Especialización Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

RAS, 2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sección II, Título E. Tratamiento de aguas residuales. República de Colombia. Ministerio de desarrollo económico. Dirección de agua potable y saneamiento básico. Bogotá D.C, Colombia

REYNOLDS A, Kelly. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica : Identificación del problema. Tucson, Arizona : Agua Latinoamérica, 2002.
< <http://www.aqualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>>

RIVERA, G., C. Bibliografía Agua Residual, Centro de Documentación. Evaluación del Tratamiento de Agua Residual Domestica en un Sistema Integrado un Caso con Tanque Séptico, Filtro Anaerobio y Filtro Fitopedológico. Cali : CINARA, 1998.

ROJAS, Robert y CASAS, Joaquín. Evaluación de un biodigestor como sistema de tratamiento de las aguas residuales resultantes de la producción porcícola en la finca Taijú vereda Casarrosines Municipio de La Plata – Huila. Neiva, 2012, 36 p. Tesis (Especialización Ingeniería Ambiental). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola.

ROSILLO, Antonio. Proyecto Regional : Sistema Integrado de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas de Maracaibo, Venezuela. Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002. 23 – 25 p.
<<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/viabilidad/casos/maracaibo.pdf>>

SEOÁNEZ CALVO, Mariano. Ingeniero de Montes. Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo : Ingeniería del Medio Ambiente. Madrid, España : Ediciones Mundi-Prensa, 2004. 37 p.
http://books.google.com.co/books?id=epi_sNsEOQEC&printsec=frontcover&dq=Depuraci%C3%B3n+de+las+aguas+residuales+por+tecnolog%C3%ADas+ecol%C3%B3gicas+y+de+bajo+costo&hl=es&ei=515_TuS7Lor10gG08ZHoDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

TYLER G, Miller. Ciencia Ambiental : Preservemos la Tierra. Quinta Edición. México, D.F : Ciencias e Ingenierías, 2002. 365 p.

<http://books.google.com.co/books?id=QINLxv0uPAwC&pg=PA365&dq=sistemas+de+tratamiento+de+aguas+residuales+en+el+mundo&hl=es&sa=X&ei=ahNoT4vxF4Satwfr_u3hCA&ved=0CFsQ6AEwBg#v=onepage&q=sistemas%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20en%20el%20mundo&f=false>

_____. Ciencia Ambiental : Desarrollo Sostenible un Enfoque Integral. Octava Edición. Mexico, D.F : Thomson, 2007. 198 p

< http://books.google.com.co/books?id=duJ-Xjch2FcC&printsec=frontcover&dq=Desarrollo+sostenible+un+enfoque+ambiental&hl=es&ei=rLaYTvz9F8Tt0gHDrezMBA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>

UNWATER, 2010. Día Mundial del Agua 2010. UNEP, Coordinación del Día Mundial del Agua. FAOWATER, Identidad Visual y Campaña de Comunicación del Día Mundial del Agua.

<http://www.unwater.org/wwd10/downloads/WWD2010_LOWRES_BROCHURE_ES.pdf>

VALENCIA GRANADA, Eduardo., et al. Generalidades sobre Saneamiento rural. Neiva - Huila : Universidad Surcolombiana, 1997.

VILLANUEVA, Ana María y MORENO, Edison. Diseño de un sistema descentralizado integrado y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, del café y porquerizas. Programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana, Neiva. 2010

WSP, 2007. Water and Sanitation Program. Biofiltro, una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Honduras

ZAMBRANO FRANCO, Diego., et al. Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles. Chinchiná - Caldas : Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2010.