

**SISTEMAS DESCENTRALIZADOS INTEGRADOS Y SOSTENIBLES PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL SECTOR  
RURAL DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA**

**CLARA PATRICIA NARVÁEZ RAMÍREZ**

**IVONNE JULIETH SILVA GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2009**

**SISTEMAS DESCENTRALIZADOS INTEGRADOS Y SOSTENIBLES PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL SECTOR  
RURAL DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA**

**CLARA PATRICIA NARVÁEZ RAMÍREZ**

**IVONNE JULIETH SILVA GONZÁLEZ**

**Proyecto de Grado Presentado como requisito Parcial para optar el Título de  
Ingeniero Agrícola**

**Director, Ing. EDUARDO VALENCIA GRANADA**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2009**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Neiva, Octubre de 2009**

## DEDICATORIA

A Dios porque gracias a su poder y su compañía, tuve la suficiente fuerza interior para afrontar y alcanzar esta meta en mi vida. A mi esposo **Francisco Javier**, por su confianza, paciencia y apoyo y por su amor el cual transformó mi vida. A mis padres **Germán** y **Martha** por enseñarme la clave para vencer, para estar siempre serena y tranquila aun en los momentos más duros de la vida. A mis hermanos **Felipe** y **Karina** porque siempre estuvieron, están y estarán junto a mí, en los buenos y malos momentos. A mis abuelitos por ser quienes son, ángeles en la tierra, siempre más que dispuestos a ayudarme. A toda mi familia y mis amigos por su apoyo y fé en mí. Y a mi sobrinita **Manuela** porque llego a este mundo a hacerme la vida aun mas feliz.

***CLARA PATRICIA NARVAEZ RAMIREZ***

A **Jehová** Dios por guiar mi vida para tomar buenas decisiones y ser feliz, a mis padres **Taiden** y **Elizabeth** por su amor y dedicación al educarme para ser la persona que soy, a mis hermanos **Elizabeth** y **Fernando** por su apoyo y sus consejos, a mis **familiares** y **amigos** por creer en mí, y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este trabajo y de mis estudios como Ingeniera Agrícola. A todos muchas gracias.

***IVONNE JULIETH SILVAGONZALEZ***

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al Ingeniero Eduardo Valencia Granada Director de este proyecto, por su asesoría y valiosos aportes.

A los Ingenieros Martín Emilio Orozco Chávarro y Hernando Díaz Llano Jurados de este proyecto, por su valiosa colaboración.

Agradecemos a todos los profesores y compañeros de la Universidad Surcolombiana, por compartir con nosotras sus experiencias y conocimiento, y darnos la oportunidad de aprender de ellos.

Y demás personas que de una u otra forma colaboraron para que este proyecto se llevara a cabo.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. MARCO TEORICO	17
1.1 CONCEPTOS	17
1.2 ANTECEDENTES	19
1.3 UNIDADES DE TRATAMIENTO	23
2. METODOLOGIA	26
2.1 LOCALIZACION	26
2.1.1 Zona del proyecto	26
2.1.2 Generalidades del departamento del Huila	27
2.1.2.1 Ubicación	27
2.1.2.2 Climatología	27
2.1.2.3 Aspectos demográficos	27
2.1.2.4 Aspectos socioeconómicos	28
2.2 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS PROPUESTOS	28
2.3 METODOS	29
2.3.1 TRABAJO DE CAMPO	29
2.3.2 TRABAJO DE OFICINA	29
2.3.2.1 Revisión de literatura	29
2.3.2.2 Conceptos	29
2.3.2.3 Diseño	29

	Pág.
3. RESULTADOS Y DISCUSION	30
3.1 SISTEMAS DESCENTRALIZADOS INTEGRADOS Y SOSTENIBLES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	32
3.2 PROPUESTAS DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS INTEGARDOS Y SOSTENIBLES	32
3.2.1 PROPUESTAS	32
3.2.2 DATOS BÁSICOS PARA LAS TRES PROPUESTAS	32
3.2.2.1 Caracterización de las aguas residuales	32
3.2.2.2 Población	34
3.2.2.3 Caudal de aguas residuales	34
3.2.3 PROPUESTA 1	35
3.2.3.1 DISEÑO CONCEPTUAL	35
3.2.3.1.1 Propuesta de manejo de las aguas residuales	35
3.2.3.1.2 Diagrama de niveles de tratamientos de las unidades del sistema	36
3.2.3.1.3 Diagrama de procesos	36
3.2.3.1.4 Diagrama de subproductos	36
3.2.3.1.5 Remoción teórica del sistema	37
3.2.3.1.6 Eficiencia teórica del sistema	38
3.2.3.2 DISEÑO FISICO	38
3.2.3.2.1 Dimensiones del Humedal	38
3.2.4 PROPUESTA 2	44
3.2.4.1 DISEÑO CONCEPTUAL	44

	Pág.
3.2.4.1.1 Propuesta de manejo de las aguas residuales	45
3.2.4.1.2 Diagrama de niveles de tratamiento de las unidades del sistema	45
3.2.4.1.3 Diagrama de procesos	45
3.2.4.1.4 Diagrama de subproductos	46
3.2.4.1.5 Remoción teórica del sistema	46
3.2.4.1.6 Eficiencia teórica del sistema	47
3.2.4.2 DISEÑO FISICO	47
3.2.4.3 Dimensiones de las albercas biológicas y el filtro	47
3.2.5 PROPUESTA 3	53
3.2.5.1 DISEÑO CONCEPTUAL	53
3.2.5.1.1 Propuesta de manejo de las aguas residuales	53
3.2.5.1.2 Diagrama de niveles de tratamientos de las unidades del sistema	54
3.2.5.1.3 Diagrama de procesos	54
3.2.5.1.4 Diagrama de subproductos	54
3.2.5.1.5 Remoción teórica del sistema	55
3.2.5.1.6 Eficiencia teórica del sistema	56
3.2.5.2 DISEÑO FISICO	56
3.2.5.2.1 Dimensiones del TSAM	56
3.2.5.2.2 Dimensiones del Filtro Anaerobio	60
3.2.6 DISEÑO DE LA TRAMPA DE GRASAS	63
3.2.7 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR	64

	Pág.
3.2.8 CONSTRUCCION	66
3.2.8.1 MATERIALES	66
3.2.8.2 MANO DE OBRA	67
3.2.9 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	67
3.2.10 PRESUPUESTO	68
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	74

## LISTA DE ABREVIATURAS

Af	=	Afluente
Ef	=	Efluente
$Q_{AR}$	=	Caudal de agua residual
L	=	Largo
bl	=	Borde Libre
h	=	Altura
a	=	Ancho
b	=	base
V	=	Volumen
THR	=	Tiempo de Retención Hidráulica
As	=	Área superficial
PTAR	=	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
DBO	=	Demanda Bioquímica de Oxígeno
SS	=	Sólidos Suspendidos
CF	=	Coliformes Fecales
N	=	Nitrógeno
P	=	Fosforo
$A_R$	=	Aguas Residuales
mm	=	Milímetros
L	=	Litros
T.S.A.M	=	Tanque Séptico de Acción Múltiple
UFC	=	Unidades Formadores de Colonias
UASB	=	Reactor Anaerobio de Lecho de Lodos con flujo Ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

<b>LISTA DE TABLAS</b>		<b>Pág.</b>
Tabla 1.	Caracterización de Aguas residuales domesticas.	33
Tabla 2.	Caracterización de las Aguas residuales domesticas de algunas cabeceras municipales del departamento del Huila.	33
Tabla 3.	Caracterización de las Aguas residuales domesticas de algunas cabeceras municipales del departamento del Huila.	33
Tabla 4.	Valores de los parámetros de las aguas residuales domesticas del sector rural del departamento del Huila.	34
Tabla 5.	Remociones teóricas del sistema con Humedal.	37
Tabla 6.	Eficiencias teóricas del sistema con Humedal.	38
Tabla 7.	Características usuales del medio filtrante para los humedales de flujo subsuperficial.	40
Tabla 8.	Dimensionamiento de las Unidades del sistema Integrado con Humedal.	43
Tabla 9.	Remociones teóricas del sistema con Alberca Biológica.	46
Tabla 10.	Eficiencias teóricas del sistema Alberca Biológica.	47
Tabla 11.	Dimensionamiento de las Unidades del sistema Integrado con Alberca Biológica.	52
Tabla 12.	Remociones teóricas del sistema con TSAM.	55
Tabla 13.	Eficiencias teóricas del sistema con TSAM.	56
Tabla 14.	Dimensionamiento de las Unidades del sistema Integrado con TSAM.	62
Tabla 15.	Manual de Operación y Mantenimiento.	68

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de un sistema integrado.	20
Figura 2. Diagrama esquemático de los métodos centrados en la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos.	21
Figura 3. Corte longitudinal de un Humedal de flujo horizontal.	24
Figura 4. Corte longitudinal de una Alberca Biológica.	24
Figura 5. Corte longitudinal de un TSAM.	25
Figura 6. Zona del proyecto en el departamento del Huila.	26
Figura 7. Esquema general de un Sistema Descentralizado Integrado y Sostenible.	30
Figura 8. Sistema descentralizado, integrado y sostenible con Humedal.	35
Figura 9. Diagrama de niveles de tratamiento de las unidades del sistema con Humedal.	36
Figura 10. Diagrama de Procesos del sistema con Humedal.	36
Figura 11. Diagrama de Subproductos del sistema con Humedal.	37
Figura 12. Esquemas vista en planta, corte longitudinal y corte transversal del Humedal.	39
Figura 13. Vista planta, corte longitudinal y corte transversal del Humedal.	42
Figura14. Sistema integrado con Alberca Biológica.	44
Figura15. Diagrama de niveles de tratamiento de las unidades del sistema con Alberca Biológica.	45
Figura16. Diagrama de procesos del sistema con Alberca Biológica.	45
Figura17. Diagrama de subproductos del sistema con Alberca Biológica.	46

	Pág.
Figura 18. Esquemas vista en planta, corte longitudinal y corte transversal de la Alberca Biológica.	48
Figura 19. Vista planta, corte longitudinal y corte transversal de la Alberca Biológica.	51
Figura 20. Sistema descentralizado integrado y sostenible con Tanque Séptico de Acción Múltiple.	53
Figura 21. Diagrama de niveles de tratamientos de las unidades del sistema con TSAM.	54
Figura 22. Diagrama de procesos del sistema con TSAM.	54
Figura 23. Diagrama de subproductos del sistema con TSAM.	55
Figura 24. Esquemas vista en planta, corte longitudinal y corte transversal del TSAM.	57
Figura 25. Vista planta, corte longitudinal y corte transversal del TSAM.	61
Figura 26. Vista planta y corte longitudinal Trampa de Grasas.	64
Figura 27. Vista planta y corte longitudinal del Sedimentador.	65

## LISTA DE PLANOS

	Pág.
Plano 1. Sistema Descentralizado Integrado y Sostenible con Humedal	
Plano 1.A. Planta Sistema Integrado con Humedal	79
Plano 1.B. Corte Sistema Integrado con Humedal	80
Plano 1.C. Detalle Sistema Integrado con Humedal	81
Plano 2. Sistema Descentralizado Integrado y Sostenible con Alberca Biológica	
Plano 2.A. Planta Sistema Integrado con Alberca Biológica	82
Plano 2.B. Corte Sistema Integrado con Alberca Biológica	83
Plano 3. Sistema Descentralizado Integrado y Sostenible con TSAM	
Plano 3.A. Planta Sistema Integrado con TSAM	84
Plano 3.B. Corte Sistema Integrado con TSAM	85

## **RESUMEN**

En el sector rural del departamento del Huila, las aguas residuales de las diferentes actividades generalmente son vertidas crudas a las fuentes hídricas causando problemas de contaminación y salud pública. Tradicionalmente se han propuesto alcantarillados y sistemas de tratamiento convencionales y centralizados, caracterizados por ser de alto costo. Como otra alternativa de solución, este estudio propone los Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles, que se caracterizan por integrar el Tratamiento con el Reuso y la Producción, además de ser de bajo costo y fácil construcción, operación y mantenimiento. Se presentan tres prototipos de Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas, que contemplan como tratamiento secundario Humedales, Albercas Biológicas y Tanques Sépticos de Acción Múltiple; con eficiencias teóricas de remoción superiores a 80% en DBO, SS, G y A y 50% en N y P; convirtiéndose en una alternativa para la descontaminación de las microcuencas.

Palabras clave: Aguas Residuales, Sistemas Integrados, Sistemas no convencionales.

## **ABSTRACT**

In the rural sector of the department of Huila, the wastewater of different activities are usually discharged raw water sources causing pollution problems and public health. Traditionally have been proposed sewage treatment systems and conventional, centralized, characterized by its high cost. As another alternative solution, this study proposes the Integrated and Sustainable Decentralized Systems, characterized by integrating the Reclamation Treatment and Production, in addition to being low cost and easy construction, operation and maintenance. There are three prototypes of integrated and sustainable decentralized systems for treating domestic wastewater, which provide secondary treatment as Wetlands, Biological Pools and Multiple Action Septic Tanks, with theoretical efficiencies greater than 80% removal of BOD, SS, G and A and 50% in N and P; becoming an alternative for the decontamination of the watersheds.

Keywords: Wastewater, integrated systems, unconventional.

## INTRODUCCION

En Colombia, generalmente los pequeños municipios y el sector rural presentan problemas de contaminación del recurso hídrico, como consecuencia de la baja inversión en proyectos de saneamiento básico. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se han diseñado y construido tanto en el sector urbano como rural se caracterizan por ser centralizados, de alto costo y exigente operación y mantenimiento.

En el sector rural, la cobertura en alcantarillado y tratamiento de aguas residuales es baja. Comparativamente es más costoso construir alcantarillados en el sector rural que en el sector urbano; y construir sistemas centralizados y convencionales para el tratamiento de aguas residuales, además de los costos se dificulta aún más la operación y mantenimiento. Aunque se construyen alcantarillados y sistemas centralizados en la zona rural, no siempre es posible por razones de tipo topográfico y económico. En la zona rural también se construyen sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, siendo el caso más común los tanques sépticos.

Generalmente en el campo, los sistemas centralizados o descentralizados presentan problemas de construcción, y fundamentalmente de operación y mantenimiento, que trae como consecuencia no cumplir los objetivos para los que se diseñan, y continúe contaminando las fuentes que reciben los efluentes.

En las zonas de minifundio del sector rural del departamento del Huila, las actividades humanas y agrícolas hacen uso del recurso agua y generan residuos que son vertidos al ambiente y en especial a las fuentes hídricas, sin ningún tipo de tratamiento, generando problemas de salud y de contaminación.

Como una alternativa a la problemática mencionada, en los últimos años, se han propuesto diferentes tipos de sistemas que tienen de común ser no convencionales y descentralizados. En el presente proyecto se proponen los sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales del sector rural en el departamento del Huila, y tres prototipos de los mismos que contemplan como sistemas secundarios Humedales, Alberca Biológica y Tanque Séptico de Acción Múltiple.

## 1. MARCO CONCEPTUAL

### 1.1 CONCEPTOS

Los sistemas integrados de tratamiento de aguas residuales se definen como una combinación de procesos y prácticas donde el uso óptimo del recurso se alcanza vía el reciclaje de desechos, el cual, se logra mediante la recuperación y reuso de los nutrientes y la energía. Los procesos de conversión para diferentes desechos son dispuestos en un orden tal, que permite una adición mínima de energía externa y de materia prima, buscando lograr una máxima eficiencia en el proceso global. (Caicedo, 2001).

Lo anterior, conlleva a la urgente necesidad de desarrollar investigación en tecnologías de bajo costo y sostenibles, que permitan dar respuesta efectiva a los crecientes problemas de contaminación acuática. Si se parte del concepto de que una sustancia “contaminante” es en realidad un recurso ubicado en un sitio inapropiado, la recuperación y el reuso de los recursos debe convertirse en una característica deseable en los nuevos desarrollos de alternativa de tratamiento de residuos, lo cual, contribuirá a su sostenibilidad y por la tanto a su éxito como medida de control ambiental. (Caicedo, 2001).

Los Sistemas Integrados Sostenibles para el Tratamiento de Aguas residuales son procesos en los cuales se integra TRATAMIENTO – REUSO – PRODUCCION, y los subproductos del tratamiento son nuevamente utilizados por el hombre, minimizando así la contaminación. (Valencia, 1997).

Los sistemas integrados han sido definidos como una combinación de procesos y prácticas donde el empleo óptimo de recursos es alcanzado a través del reciclaje de residuos destinados a la recuperación y el restablecimiento del uso de la energía, los nutrientes y, posiblemente, otros componentes. El concepto de sistemas integrados estimula el establecimiento de un equilibrio óptimo entre la productividad (la agricultura, la acuicultura), la utilización de recursos, reuso y la protección del medio ambiente. (Huub, 2001).

Los sistemas integrados, también denominados de descontaminación productiva, tienen como principal características el que tratan de extraer al máximo la energía, materia orgánica y nutrientes presentes en las aguas residuales mediante diferentes procesos físicos y biológicos. Al extraer estos recursos se logra que en

cada paso, el agua vaya recuperando paulatinamente su calidad. Uno de los pasos finales es el uso de las aguas parcialmente procesadas para el abonamiento de cultivos y/o praderas. (CIPAV, 1998).

Un sistema descentralizado de manejo de las aguas residuales puede definirse como la recolección, tratamiento, y vertimiento o reutilización de las aguas residuales provenientes de hogares, industrias o comunidades existentes cerca del punto de generación de residuos. Los objetivos de sistemas pequeños y sistemas descentralizados de manejo de aguas residuales son: proteger la salud pública, proteger de la degradación o de la contaminación al ambiente receptor, y reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto reutilizándolos. (Tchobanoglous, 1995).

Dado que una red completa de alcantarillado no es posible para muchos habitantes, es claro que el manejo descentralizado de aguas residuales es de gran importancia para el manejo futuro del ambiente. Por tanto, el concepto de manejo descentralizado de aguas residuales merece el mismo grado de atención que hasta ahora estaba reservado para los sistemas convencionales de manejo centralizado de aguas residuales. (Tchobanoglous, 1996).

Las opciones típicas de tratamiento de aguas residuales en sistemas pequeños y descentralizados comprende: a.) la recolección de aguas residuales, por ejemplo los alcantarillados; b.) tratamiento preliminar, tamices, sedimentadores y trampas de grasa; c.) tratamiento primario, tanques sépticos, tanques imhof; d.) tratamiento primario avanzado, tanque séptico con cámara de filtración para efluentes, tanque séptico con reactor de película bacterial adherida y elemento reactor; e.) tratamiento secundario, unidades de tratamiento biológico aerobio, unidades aerobias/ anaerobias, filtro de arena de flujo intermitente, filtro de grava con recirculación, lagunas, humedales artificiales y tratamiento con plantas acuáticas; f.) tratamiento avanzado, por ejemplo humedales artificiales, filtros de lecho empacado, intermitentes y con recirculación, desinfección con cloro, radiación UV, sistemas de tratamiento con reutilización. (Tchobanoglous, 2000).

En general, las definiciones de sostenibilidad incluyen algunos o todos los conceptos relacionados con la sostenibilidad ecológica, económica y social. Sostenibilidad ecológica en el sentido de que el ecosistema en uso mantiene a través del tiempo las características fundamentales, en cuanto a sus componentes e interacciones en forma indefinida. Sostenibilidad económica en el sentido de que el sistema en uso produce una rentabilidad razonable a través del tiempo para

quien lo maneja, lo que hace atractivo continuar con dicho manejo en el tiempo. Sostenibilidad social, en el sentido de que el manejo y la organización son compatibles con los valores culturales y éticos del grupo involucrado y de la sociedad (equidad), lo que lo hace aceptable para esas comunidades u organizaciones y da continuidad al sistema en el tiempo. (Ramírez, 2004).

Según Capra, la sostenibilidad es la consecuencia de un complejo patrón de organización que presenta cinco características básicas: interdependencia, reciclaje, sociedad, flexibilidad y diversidad. Sostenible, por lo tanto, no se refiere solamente a un tipo de interacción humana con el mundo que preserva o conserva el medioambiente para no comprometer los recursos de las generaciones venideras, o que vislumbra únicamente a la manutención prolongada de los procesos económicos, sociales, políticos, institucionales o territoriales, pero se trata de una función compleja, que mezcla de manera particular las cinco variables descriptas. (Dimuro, 2008).

Una tecnología sostenible implica algo más que producir bienes sin contaminar ni destruir el medio ambiente. Significa satisfacer las necesidades de la gente de tal manera que no supere la capacidad de recuperación del planeta y de los ecosistemas locales. El objetivo consiste en limitar el uso de los recursos naturales del mundo dentro de los parámetros establecidos por la capacidad de recuperación de la tierra (Mulder, 2007).

Las tecnologías sostenibles van más allá de las tecnologías ambientales. Mientras que las tecnologías ambientales se ocupan de la producción de bienes y servicios con un mínimo de contaminación, las tecnologías sostenibles apuntan a una meta mayor, que consiste en satisfacer las necesidades de toda la humanidad sin superar la capacidad de recuperación ecológica y sin consolidar ni promover la inequidad (Mulder, 2007).

## **1.2 ANTECEDENTES**

Caicedo, 2001 propone un sistema integrado que combina un reactor UASB con laguna con lenteja de agua y estanques piscícolas, como un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales con producción de biogás, biomasa vegetal, peces y agua para riego. (Ver figura 1).

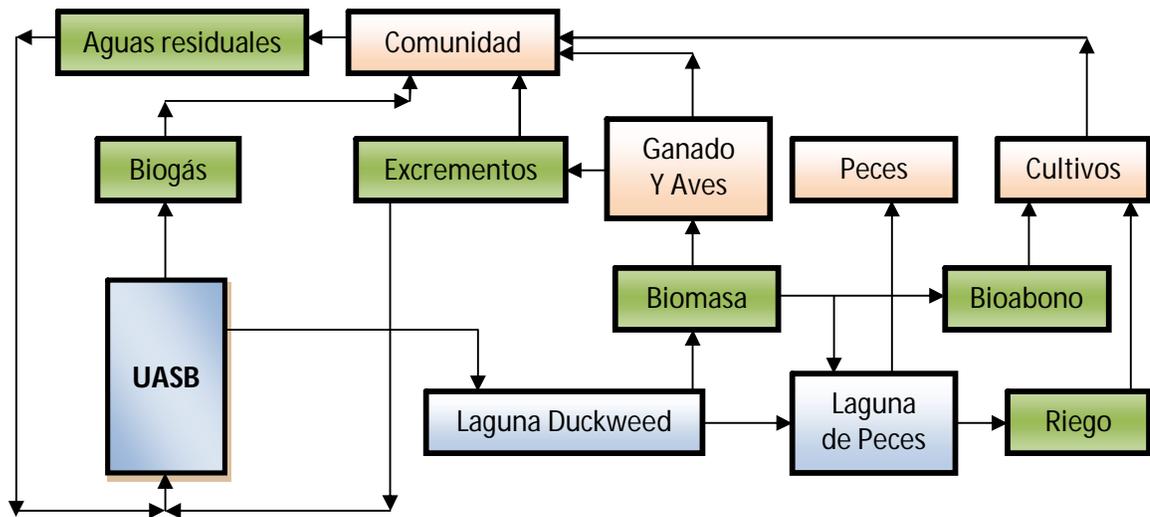


Figura 1. Diagrama de un sistema integrado.

Las plantas acuáticas han sido utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en pantanos naturales y artificiales, donde dichas plantas proliferan considerablemente. En el ámbito internacional, estos sistemas de tratamiento están teniendo considerable atención, dada la posibilidad de la eficiente remoción de los contaminantes del agua y la producción de biomasa re-utilizable en otras actividades económicas, como producción de alimentos para animales o de fertilizantes del suelo. Tal es el caso de las lagunas con lenteja de agua (Lemma), en las cuales, las plantas en asociación con las bacterias degradan la materia orgánica y acumulan minerales y nutrientes presentes en las aguas residuales, para convertirlos en biomasa vegetal rica en proteínas de alta calidad. (Caicedo, 2001).

Mediante la combinación de tratamiento anaerobio con buen post-tratamiento y en ocasiones con un pre-tratamiento los sistemas de tratamiento son una solución ideal para la protección del medio ambiente y la recuperación de recursos es alcanzada. Existen diversas posibilidades para mejorar la producción de alimentos utilizando materiales de desecho. Una ventaja muy atractiva de estos sistemas es que no cabe duda de que pueden ser utilizados a muy pequeña escala, lo que permite el desarrollo sobre el terreno de los sistemas de tratamiento para las pequeñas industrias y las comunidades en el caso de las aguas residuales domésticas. Este enfoque (ver figura 2) dará lugar a ahorros sustanciales en los sistemas de alcantarillado y también aumentara la participación de los distintos

sectores y la preocupación pública, y la reutilización de los desechos se mejorará. (Van, 2001).

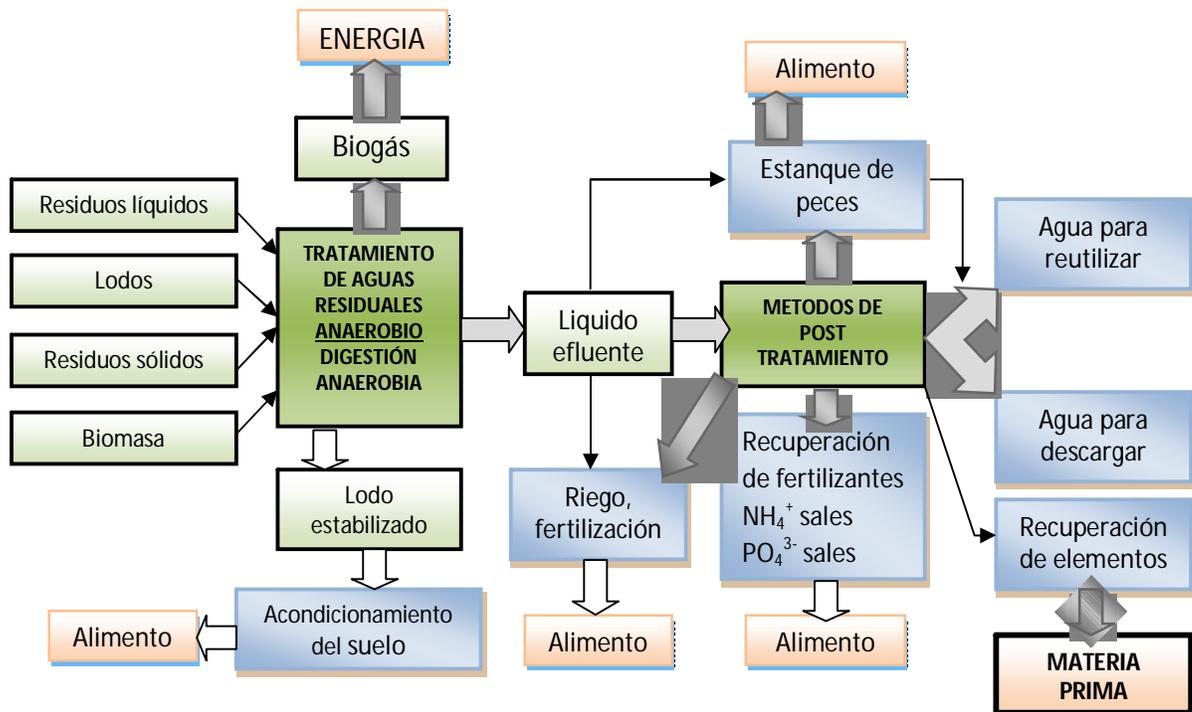


Figura 2. Diagrama esquemático de los métodos centrados en la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, para el tratamiento de las aguas residuales domésticas que se generan en viviendas unifamiliares, urbanizaciones, hoteles, veredas y corregimientos situados en su zona de jurisdicción; ha construido sistemas conformados por tanque séptico, filtro aerobio y decantador – humedal de flujo superficial. Buscando alternativas que sean económicas, fáciles de operar y mantener, y que cumplan con las normas de vertimiento especificadas en la legislación vigente, para masificarlos en la región. Se han obtenido resultados satisfactorios con el sistema conformado por tanque séptico y filtro anaerobio, con remociones superiores al 80% tanto en carga de  $DBO_5$  como en SST, los cuales permiten tratar aguas residuales con una composición y caudal variables, además de ser fáciles de operar y mantener por personas con mínima capacitación. En cuanto al sistema conformado por decantador – humedal de flujo superficial, se han tenido problemas que están siendo remediados y que han permitido ir conociendo una tecnología nueva en nuestro medio la cual es promisoría dada las condiciones favorables para su implementación como son: personal disponible tanto en las universidades de la

región como en la CVC para realizar las investigaciones requeridas, existe área disponible, variedad de plantas a usar, temperatura, luminosidad. (Osorio, 2003).

Actualmente hay un creciente interés por el desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles, para el tratamiento de aguas residuales, que permiten obtener un efluente, a bajo costo con recuperación y uso de subproductos. Entre estas alternativas se encuentran las lagunas de lenteja de agua. (Glas).

Para solucionar el problema de contaminación generado por la explotación porcícola de la Institución Educativa El Tejar (Timaná Huila), se diseñó, para las aguas de lavado un alberca biológica compuesta de dos compartimientos con buchón de agua y filtro de arena, complementados con un canal de plantas acuáticas con buchón y lenteja de agua. Las eficiencias teóricas de remoción de la alberca biológica y el canal, dieron como resultado 83% de DBO y 77% de SS. La importancia del proyecto radica en que puede ser replicado en comunidades rurales campesinas de minifundio, favorece la descontaminación de la microcuencas y los subproductos del sistema pueden ser reutilizados en la producción. (Medina, 2007).

Es importante conocer el estado actual de la contaminación en los sistemas finca de las diferentes zonas agroecológicas para plantear posibles opciones y soluciones a largo plazo. Una de ellas es el tratamiento biológico con organismos acuáticos que aporta no sólo la limpieza de las aguas para el 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–pecuaria y descontaminación se encuentra en un área de 400 m<sup>2</sup>. Sus principales componentes son: Cerdos–Biodigestor – Canales sedimentadores –Canales con plantas acuáticas – Estanque de peces y/o riego – Cultivos – Reservorio de agua lluvias. (CIPAV, 2007).

En la Estación de Investigación y Transferencia de Tecnología en Ginebra-Valle del Cauca-Colombia, se realizó una investigación, con el objetivo de evaluar el potencial de un humedal de flujo subsuperficial con Papiro, construido a escala piloto, como alternativa de post-tratamiento de aguas residuales domésticas, en términos de la eficiencia de remoción de coliformes fecales. Dentro de las conclusiones de la investigación se destaca que los procesos físico-químicos y biológicos que ocurren al interior del humedal, involucrados en los mecanismos de remoción de nutrientes y patógenos, son altamente influenciados por el pH, la

densidad de las plantas, la carga hidráulica, el tiempo de retención hidráulica (TRH) y las condiciones aerobias y anaerobias del suelo; esto se ve reflejado en las eficiencias obtenidas durante la fase experimental. En general, el porcentaje de nitrógeno retenido en el humedal es muy bajo durante la primera y segunda etapa del estudio. (Otero, 2001).

Los sistemas de biofiltro son ampliamente utilizados a nivel mundial en el tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeñas poblaciones, principalmente por su capacidad de remoción de contaminantes. Los sistemas de biofiltro construidos en Nicaragua, El Salvador, y Honduras confirman su eficiencia. En una planta piloto construida en un barrio de la ciudad de Masaya, Nicaragua, que incluye cuatro biofiltros de flujo horizontal en paralelo (humedal) con un tiempo de retención hidráulica de tres a cinco días, se lograron remociones de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>, DQO) y sólidos suspendidos de más del 90%, N- total 34.5%, Fosforo total 26.6%, coliformes fecales 99.52%. La remoción de coliformes fecales es de dos a tres unidades logarítmicas. (Thurnhofer, 2007).

En una investigación realizada en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de La Vorágine, vereda perteneciente al Corregimiento de Pance del municipio de Santiago de Cali, en Colombia, se estudió el desempeño de un sistema integrado de tratamiento de agua residual doméstica compuesto por tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente y Filtro fitopedológico, para establecer relaciones entre las variables de diseño que se adapten a la realidad local y sirvan de base para encarar racionalmente proyectos futuros. 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 un potencial para el sistema evaluado de manera de ofrecer soluciones al problema de tratamiento de aguas residuales domésticas en los contextos rurales y urbanos marginales en el que se deben seleccionar tecnologías eficientes, confiables y simples en su operación y mantenimiento. (Rivera, 1998).

### **1.3 UNIDADES DE TRATAMIENTO**

Un humedal es un sistema que consiste en un estanque o canal poco profundo, construido por el hombre, para el tratamiento de aguas residuales, en el que se siembran plantas acuáticas; estas plantas ayudan a purificar el agua mediante la absorción de los nutrientes, eliminando una cantidad significativa de contaminantes, mientras sus raíces proporcionan el hábitat para microorganismos.

El tratamiento en el humedal ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente, la cual permite la degradación biológica de contaminantes y materias orgánicas por microorganismos, generando también la sedimentación de los sólidos suspendidos. (Thurnhofer, 2007). La muestra un corte de un humedal (biofiltro de flujo horizontal) con heliconias.

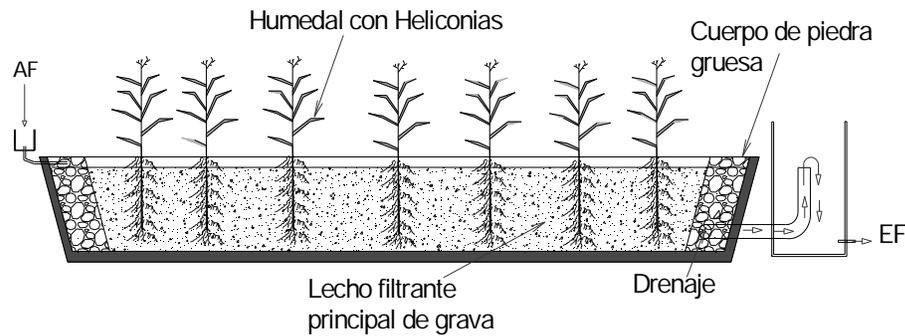


Figura 3. Corte longitudinal de un Humedal de flujo horizontal.

Una alberca biológica es un sistema que consiste en un tanque pequeño para el tratamiento de aguas residuales, donde se siembran plantas flotantes las cuales realizan el tratamiento. Este tanque está dividido en dos compartimientos donde se siembra Jacinto de agua (buchón de agua), las plantas funcionan como medio de filtración y absorción de sólidos, poseen un sistema radicular sobre el cual las bacterias crecen las cuales ayudan a realizar la limpieza a la planta; el sistema está complementado con un filtro compuesto de piedra, grava y arena, en el cual se culmina el tratamiento del efluente proveniente de las albercas con buchón. (Medina, 2007). La figura 4 muestra el corte longitudinal de una alberca biológica sembrada con buchón de agua.

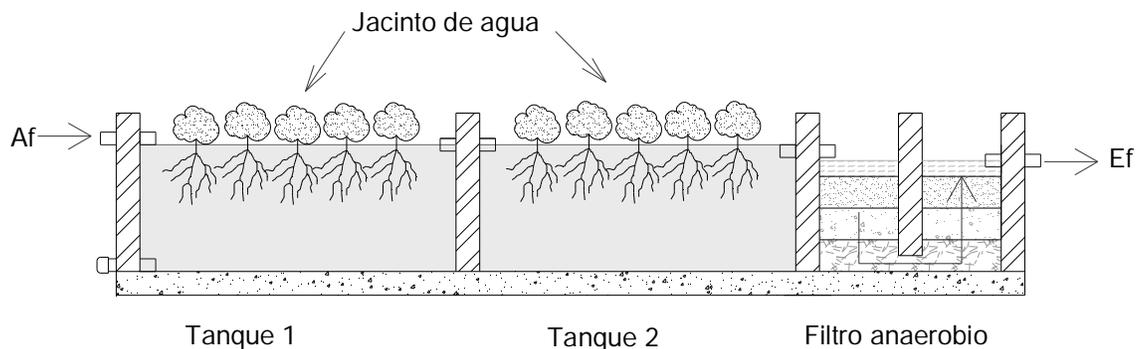


Figura 4. Corte longitudinal de una Alberca Biológica.

Un tanque séptico de acción múltiple es un sistema de tratamiento de aguas residuales, en el cual el tanque séptico se divide en dos compartimentos, complementados con un filtro anaerobio de flujo ascendente. La primera unidad está compuesta por un compartimento 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 biodigestor donde se depositan los sólidos sedimentados de la sección superior y se inicia su correspondiente biodegradación mediante el 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, Olaya, 1997). La figura 5 muestra un corte longitudinal de un TSAM.

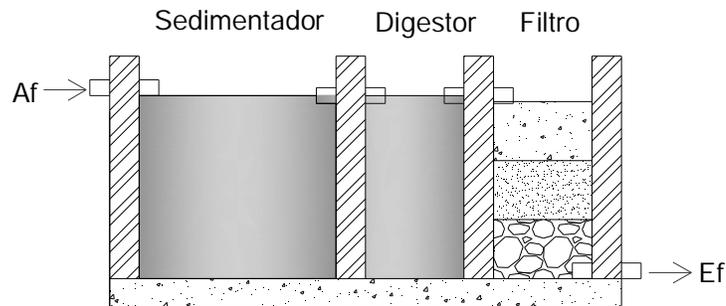


Figura 5. Corte longitudinal de un TSAM.

Las trampas de grasa son tanques pequeños, diseñados y construidos para separar la grasa y aceite de las aguas residuales. El agua residual llega caliente a la trampa de grasas, en donde, por choque térmico disminuye su temperatura. Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (aceites o grasas) flotan debido a que su densidad es menor a la del agua. (Tchobanoglous, 2000).

Un sedimentador es un dispositivo usado para separar, por gravedad, las partículas en suspensión en una masa de agua. La sedimentación es un proceso muy importante, por esto se utiliza como un pretratamiento en los sistemas, ya que las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los procesos de tratamiento, debido a que elevadas turbiedades inhiben los procesos biológicos y se depositan en el medio filtrante causando pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros. En el sedimentador se remueven partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm. (OPS, 2005).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 LOCALIZACIÓN

#### 2.1.1 Zona del Proyecto

Las propuestas están dirigidas a la zona rural del departamento del Huila y específicamente a las de minifundio, para explotaciones agropecuarias menores a 10 hectáreas y de economía campesina, localizadas principalmente en zonas de ladera. La figura 6 muestra un mapa del departamento del Huila, donde se ubica el área del proyecto (Zona de ladera).

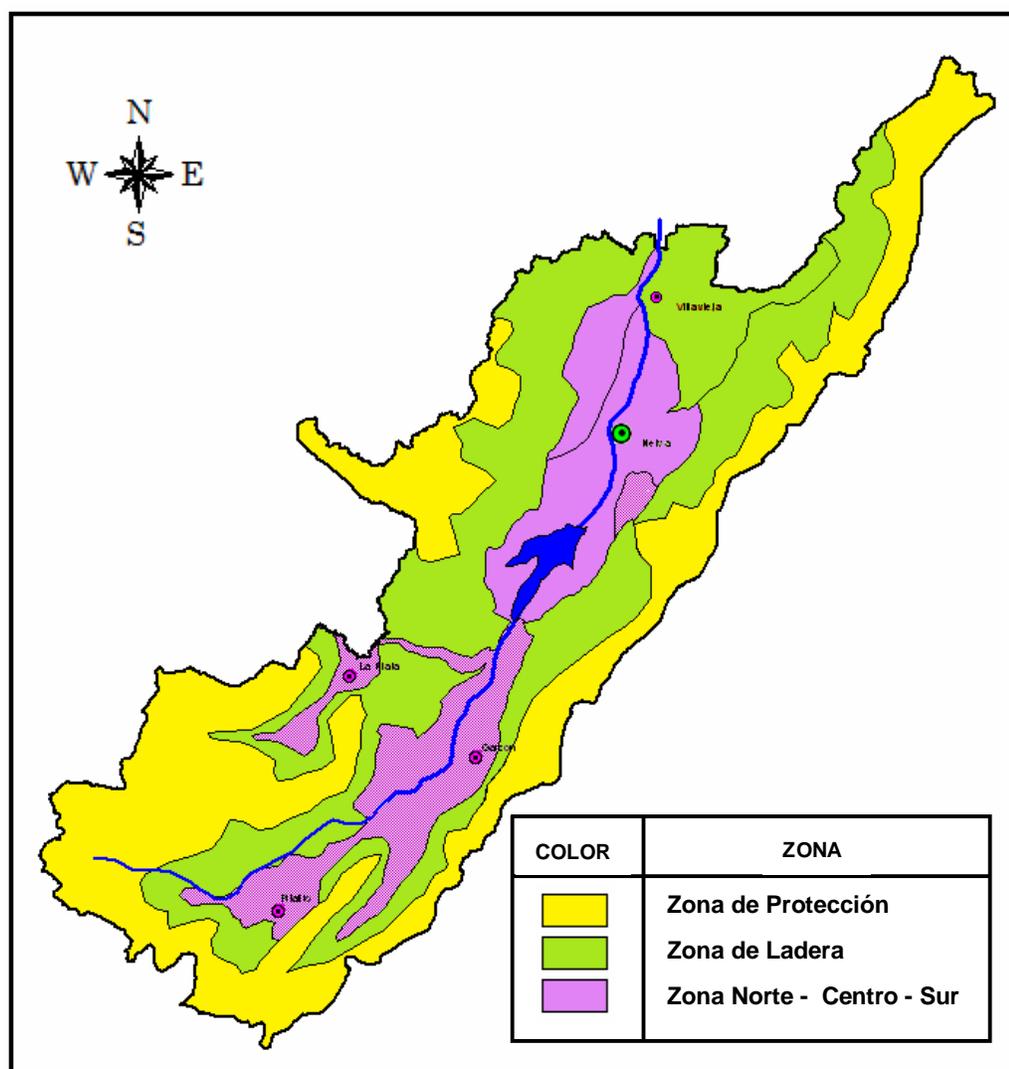


Figura 6. Zona del proyecto en el departamento del Huila.

## **2.1.2 Generalidades del departamento del Huila**

### **2.1.2.1 Ubicación**

El departamento del Huila está situado en la parte sur de la región andina, en el suroeste del país; localizado entre los 01° 33' 08" y 03° 47' 32" de latitud norte y los 74° 28' 34" y 76° 36' 47" de longitud oeste. Limita al norte con el departamento de Tolima, al sur con Cauca, al oriente con Meta, Caquetá y Cundinamarca y al occidente con Cauca y Tolima. El departamento, está conformado por 37 municipios, 4 corregimientos, 120 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados., tiene una extensión de 19.890 km<sup>2</sup> y una población aproximada de 900.000 habitantes. (Martínez, 2007).

### **2.1.2.2 Climatología**

En el departamento del Huila se encuentran todos los climas y una gran variedad de suelos que facilitan la diversidad y extensión de la producción agrícola y ganadera; predomina el clima templado, con una temperatura media de 24°C; como puntos extremos están las cumbres montañosas del Nevado del Huila, donde la temperatura permanece bajo 0°C y las regiones cálidas de los valles de Neiva, Aipe y Villavieja, donde se encuentra el imponente desierto de La Tatacoa, con 35°C. Los períodos de lluvia son en los meses de abril, mayo y de octubre a diciembre; el resto del año se considera como época seca, aun cuando se presentan lluvias esporádicas. Sus tierras se distribuyen en los pisos térmicos cálido (5.537 km<sup>2</sup>), templado (7.731 km<sup>2</sup>), frío (5.307 km<sup>2</sup>) y el piso bioclimático páramo (1.356 km<sup>2</sup>). (Gobernación del Huila, 2009).

### **2.1.2.3 Aspectos demográficos**

El departamento del Huila tiene según el censo de 2005 una población total de 1.011.418 habitantes de los cuales el 59.5% (601.429) están localizados en la cabecera. El restante 40.5% (409.989) en la zona rural, donde habitan en promedio 10 personas por vivienda; el grado de escolaridad general de sus habitantes es apenas de primaria; en general la salubridad es deficiente por problemas de saneamiento básico. (Gobernación del Huila, 2009).

#### **2.1.2.4 Aspectos socioeconómicos**

La economía del departamento del Huila se basa principalmente en la producción agrícola y ganadera, la explotación petrolera y el comercio. La actividad más importante es la agricultura, con cultivos mecanizados de arroz, también producen sorgo, plátano, algodón, frijol, café, cacao, yuca, caña, iraca, tabaco, maíz y frutas. La ganadería es la segunda fuente de ingresos y es de doble propósito, leche y carne. Se explotan algunos yacimientos de carbón, oro, plata y cobre. En algunos municipios se realiza explotación forestal así como también los yacimientos petroleros en diferentes municipios, los cuales han registrado un importante volumen de ingresos para el país y el departamento, siendo una fuente importante de empleo y desarrollo a través de las regalías petroleras. (Gobernación del Huila, 2009).

### **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS PROPUESTOS**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas propuestos, se caracterizan por ser:

- Sistemas para aguas residuales domésticas. Al sistema solo se vierten aguas residuales provenientes de las viviendas y actividades domesticas.
- Sistemas individuales. Son sistemas pequeños de tratamiento de aguas residuales domiciliarias y se construyen para cada vivienda.
- No convencionales. Son sistemas adaptados a las condiciones locales y diferentes a los sistemas tradicionales.
- De fácil construcción. No requiere mano de obra especializada y puede ser realizado por la misma población beneficiaria.
- De fácil operación y mantenimiento. Las actividades de operación y mantenimiento pueden ser realizadas por la misma comunidad.
- De bajo costo. Pueden ser construidos directamente por la comunidad y utilizar materiales propios de la región.
- Amigables con el medio ambiente. Minimizan los impactos de las aguas residuales sobre los factores del ambiente.

## **2.3 MÉTODOS**

### **2.3.1 TRABAJO DE CAMPO**

Se realizaron visitas a sistemas de tratamiento de aguas residuales construidos en zonas de minifundio del departamento del Huila, en los municipios de Neiva, Rivera, Pitalito y Palestina, donde se tomaron datos e información sobre las unidades de los sistemas, población, caudales, reuso y producción con efluentes.

### **2.3.2 TRABAJO DE OFICINA**

#### **2.3.2.1 Revisión de literatura**

Se revisaron textos, documentos, tesis de grado sobre tratamiento de aguas residuales realizadas por la Universidad Surcolombiana; páginas Virtuales, referentes al tratamiento de aguas residuales domesticas a pequeña escala, así como conceptos de aguas residuales, sistemas de tratamiento, y normas y parámetros de diseño.

#### **2.3.2.2 Conceptos**

Se elaboro un concepto sobre un sistema descentralizado integrado y sostenible para tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### **2.3.2.3 Diseño**

Con base en los resultados de las visitas y en la revisión de literatura, se elaboraron tres propuestas de sistemas integrados sostenibles y descentralizados para el tratamiento de aguas residuales domesticas. A cada propuesta se le realizo los diseños conceptual y físico de acuerdo a lo establecido en el RAS 2000 y a normas y parámetro de diseño reportados por la literatura. El diseño conceptual se realizo bajo el concepto de sistema integrado sostenible que contempla tratamiento, reuso y producción.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 SISTEMA DESCENTRALIZADO INTEGRADO Y SOSTENIBLE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es un conjunto de unidades que tienen como función descontaminar o tratar parcialmente el agua que ha sido utilizada por el hombre.

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. Estos sistemas de tratamiento deben diseñarse de tal manera que sean amigables con el ambiente y los contaminantes no sean vertidos a las fuentes, convirtiéndose en materia prima para la producción; además deben ser de bajos costos y de fácil construcción operación y mantenimiento. En la figura 7, se representa el esquema general de un sistema descentralizado integrado y sostenible.

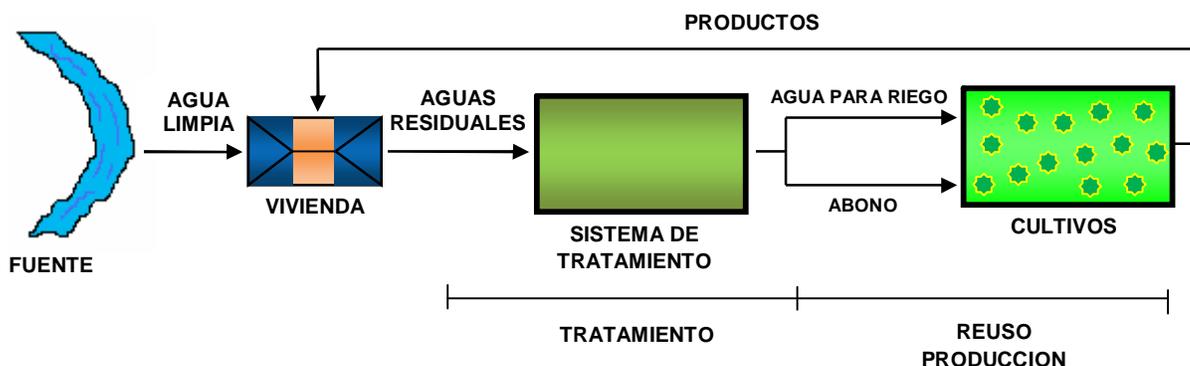


Figura 7. Esquema general de un Sistema Descentralizado Integrado y Sostenible.

Generalmente para conducir las aguas residuales se utilizan los alcantarillados, que se caracterizan por ser de alto costo y más en el sector rural, debido a los grandes movimientos de tierra, instalación de tuberías y distancia entre las viviendas; lo que se agrava con la cultura de la gente, pues es costumbre disponer todo tipo de residuos a los alcantarillados. Con los sistemas descentralizados se

minimiza este problema, al no construir alcantarillados y conducir las aguas directamente al sistema de tratamiento.

Además en las zonas de minifundio y ladera, por razones de tipo topográfico y económico, no es posible la construcción de grandes sistemas de alcantarillados y de tratamiento centralizados de aguas residuales; requiriéndose soluciones eficientes a las condiciones locales, por tanto deben emplearse sistemas descentralizados y no convencionales, que tengan en cuenta la cultura de la gente, que se centren en el uso de los residuos para la producción y en el bienestar de los pobladores.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es integrado cuando asocia un conjunto de partes (Tratamiento - Reuso - Producción) enlazadas entre si y que conducen a un mismo fin, el manejo adecuado de las aguas residuales; minimizando su efecto contaminante y su riesgo sobre la salud. Se considera integrado cuando en el diseño se contempla el Tratamiento de las aguas residuales, el Reuso en la producción agropecuaria de los subproductos del tratamiento y los productos generados son utilizados nuevamente por los pobladores para su beneficio directo o para su comercialización. Cambiando la idea común de que los desechos son un problema convirtiéndolos en un recurso.

Por ser un sistema sostenible desde el punto de vista técnico, tiene la capacidad de tratar naturalmente las aguas residuales, sin requerimientos adicionales de energía porque opera por gravedad; en caso de altas pendientes las unidades se pueden construir de forma escalonada y si se requiere aumentar la eficiencia se puede complementar con otras unidades. Desde el punto de vista económico los sistemas serán sostenibles si los costos de construcción, operación y mantenimiento son bajos, las unidades pueden ser construidas y operadas por las mismas comunidades y los subproductos del sistema generan recursos que permiten recuperar la inversión. Es sostenible ambientalmente si garantiza la calidad del recurso hídrico para futuras generaciones, al no arrojarse efluentes contaminados a las fuentes. Son sostenibles socialmente si las comunidades los aceptan y se apropian de ellos, convirtiéndose en sistemas sostenibles en el tiempo.

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles están conformados por una o varias unidades de sistemas no convencionales, siendo los más comunes en nuestro medio: los tanques sépticos, los humedales, los biodigestores, las albercas biológicas, los canales con plantas acuáticas y los filtros anaerobios.

## **3.2 PROPUESTAS DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS INTEGRADOS Y SOSTENIBLES**

### **3.2.1 PROPUESTAS**

Como unidad principal del tratamiento de las aguas residuales provenientes de las viviendas en zona rural del Departamento del Huila se proponen tres alternativas:

- Alternativa 1: Contempla para el tratamiento un Humedal sembrado con heliconias, el efluente del humedal es usado para riego de un guadal u otro cultivo y la producción va a la vivienda para su comercialización.
- Alternativa 2: Se propone para el tratamiento Alberca Biológica, compuesta por dos tanques sembrados con plantas acuáticas: Jacinto de agua *Eichhornia Crassipes*, y un filtro anaerobio, Los Jacintos cosechados serán compostados para ser utilizado en un guadal u otro cultivo y el efluente del filtro se utilizara para riego. La producción retorna a la vivienda para ser comercializada.
- Alternativa 3: Para el tratamiento se plantea un Tanque Séptico de Acción Múltiple, conformado por un sedimentador, un digestor y un filtro anaerobio. Los lodos extraídos del sedimentador van a compostaje para ser utilizados como abono en el guadal u otro cultivo; y el efluente como agua para riego. La producción va a la vivienda para ser comercializada.

### **3.2.2 DATOS BASICOS PARA LAS TRES PROPUESTAS**

#### **3.2.2.1 Caracterización de las aguas residuales**

Para caracterizar las aguas residuales, se tomo información de la literatura (ver tabla 1) y resultados de estudios realizados a algunos municipios del Huila (ver tablas 2, 3). Los valores finalmente seleccionados para este estudio se muestran en la tabla 4, semejándose a una agua residual media de acuerdo a Metcalf & Eddy.

Tabla 1. Caracterización de Aguas residuales domésticas.

PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACIÓN		
		DEBIL	MEDIA	FUERTE
DBO <sub>5</sub>	mg/L	110	220	400
DQO	mg/L	250	500	1000
SS	mg/L	100	220	350
ST	mg/L	350	720	1200
Grasas	mg/L	50	100	150
N	mg/L	20	40	85
P	mg/L	4	8	15
CT	Nº/100 ml	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

Tabla 2. Caracterización de las Aguas residuales domésticas de algunas cabeceras municipales del departamento del Huila.

MUNICIPIO	Q	T	OD	DBO <sub>5</sub>	DQO	SS	ST	N	P	G-A	CF
	L/s	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100ml NMP/100ml
Algeciras	14,8	25.9	1,07	109	198,7	108	294	3,5	1,29	-	1,6E+13
Baraya	19,88	26	0,67	112	165	245	-	0,021	0,063	208	8500
Campoalegre	16,8	21	3	284	460,2	272	-	44,5	5,78	-	16x10 <sup>8</sup>
Colombia	4,82	23.5	0,8	223,5	337,5	85	-	-	5,7	-	-
Hobo	25	23.5	1,03	200	327	278	164	0,22	2,19	-	-
Iquira	6,32	25.3	1,0	110	207	310	-	116	194	-	22,5
Neiva	617	28	-	192	350	145	471	16,4	6,3	3,2	24x10 <sup>4</sup>
Palermo	5,3	-	-	147	358	84	-	-	0,76	-	-
Rivera	39,51	24	1,15	80	157	107	-	0,33	9,2	27,65	-
Santa maría	13,38	20	2,9	158	322	188	-	20,5	1,59	-	14x10 <sup>8</sup>
Tello	15,7	-	0,3	231	488	185	-	1,2	1,6	-	-
Teruel	21,54	-	-	105,31	255,25	93,25	-	-	-	-	-
Villavieja	4,17	-	-	245	-	180	-	-	-	-	-
Yaguará	13	-	-	380	629	4,16	-	-	-	18,2	-

Fuente: Planes de Saneamiento y manejo de vertimientos. 2009.

Tabla 3. Caracterización de las Aguas residuales domésticas de algunas cabeceras municipales del departamento del Huila.

PARAMETRO	UNIDADES	PITAL	ISNOS
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	216
DQO	mg/L	344	464
SS	mg/L	233	203
ST	mg/L	337	347
P	mg/L	6.43	1.56

Fuente: Laboratorio de Aguas, Universidad Surcolombiana, 2009

Tabla 4. Valores de los parámetros de las aguas residuales domésticas del sector rural del departamento del Huila.

PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACIÓN
DBO	mg/L	200
SS	mg/L	250
Grasas	mg/L	100
N	mg/L	40
P	mg/L	8
CF	UFC/100 ml	10 <sup>8</sup>

Fuente: Narváez, Silva. 2009.

### 3.2.2.2 Población

Se utilizó como dato para la población en el sector rural del departamento del Huila 10 habitantes por vivienda.

### 3.2.2.3 Caudal de aguas residuales ( $Q_{AR}$ )

En el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q_{AR} = D * CR * P$$

D: Dotación

CR: Coeficiente de retorno

P: Población

- Dotación (D): Tomando como base el RAS 2000 título B, tabla B2.2 y teniendo en cuenta que en el sector rural los consumos de aguas son mayores al sector urbano se adoptó:

$$D = 200 \text{ L/Hab-día}$$

- Coeficiente de retorno (CR): Según el RAS 2000 título D, tabla D3.1 se adoptó:

$$CR = 0.8$$

$$Q_{AR} = 200 \text{ L/hab-día} * 0.8 * 10 \text{ hab} = 1600 \text{ L/día}$$

$Q_{AR} = 1.6 \text{ m}^3/\text{día}$
---------------------------------------

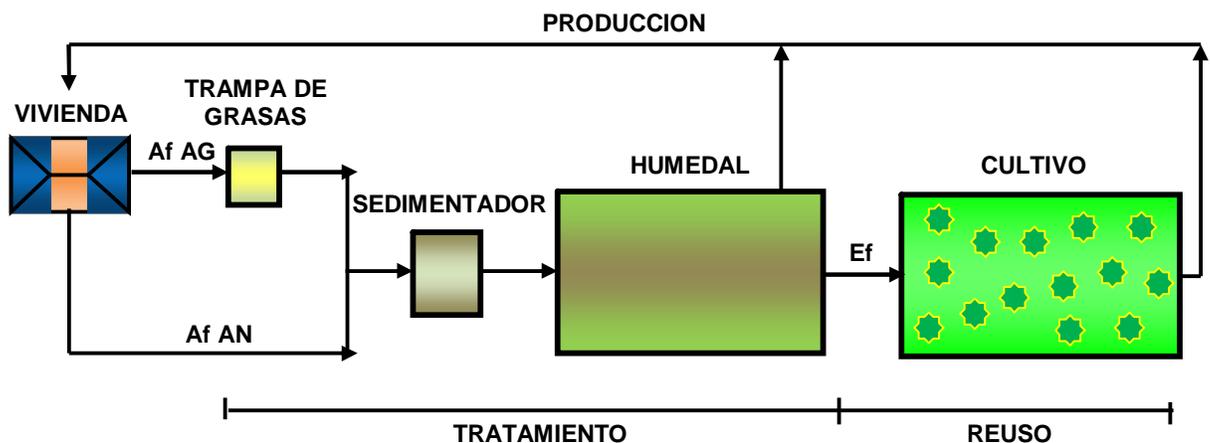
### 3.2.3 PROPUESTA 1

#### SISTEMA INTEGRADO CON HUMEDALES

##### 3.2.3.1 DISEÑO CONCEPTUAL

###### 3.2.3.1.1 Propuesta de manejo de las aguas residuales

La figura 8, muestra el esquema general, donde las aguas grises (lavaplatos, lavadero, lavamanos y ducha) provenientes de la vivienda pasan por una trampa de grasas cuyo objetivo principal es atrapar grasas, aceites y parte de los detergentes. El efluente de esta trampa de grasas, con el afluente de aguas negras (baterías sanitarias) de la vivienda se une y pasa por un sedimentador, cuyo objetivo es remover los sólidos suspendidos y material flotante. El efluente del sedimentador pasa a un humedal sembrado con heliconias u otro cultivo, cuyo objetivo es remover materia orgánica y nutrientes. Esta fase se considera en el sistema como tratamiento. El efluente del humedal es usado en riego de un guadual u otro cultivo, fase que se considera en el sistema como reuso. Las guaduas y las heliconias van de nuevo a la vivienda para ser comercializadas, considerando esta fase en el sistema como producción.



Fuente: Narváez, Silva. 2009

Figura 8. Sistema descentralizado, Integrado y sostenible con Humedal.

### 3.2.3.1.2 Diagrama de niveles de tratamientos de las unidades del sistema

La figura 9, muestra el esquema de los tratamientos que se espera se realicen en el sistema, un tratamiento preliminar (trampa de grasas), un tratamiento primario (sedimentador) y un tratamiento secundario (humedal).

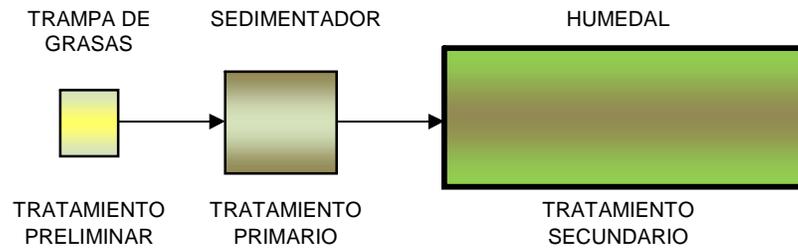


Figura 9. Diagrama de niveles de tratamiento del sistema con humedal.

### 3.2.3.1.3 Diagrama de procesos

La figura 10, muestra el esquema de los procesos que se esperan en el sistema. En forma descendente se encuentran las unidades, el proceso principal, el contaminante principal removido y los contaminantes secundarios.

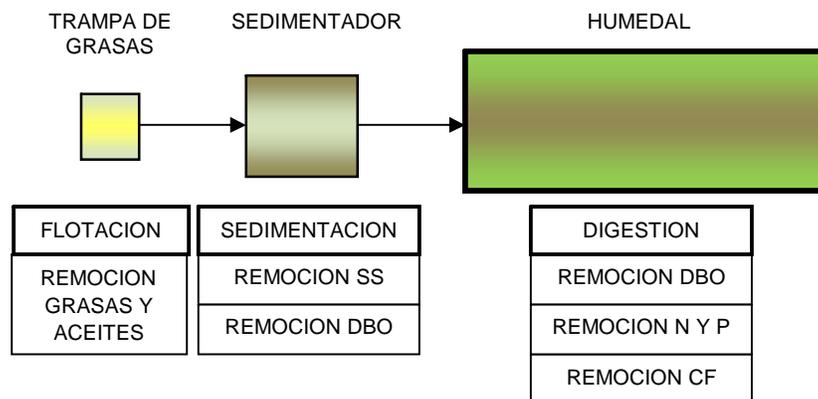


Figura 10. Diagrama de Procesos del sistema con Humedal.

### 3.2.3.1.4 Diagrama de subproductos

La figura 11, muestra el esquema de disposición de los subproductos del sistema, de forma descendente se muestran las unidades, el subproducto que se deriva y finalmente su disposición.

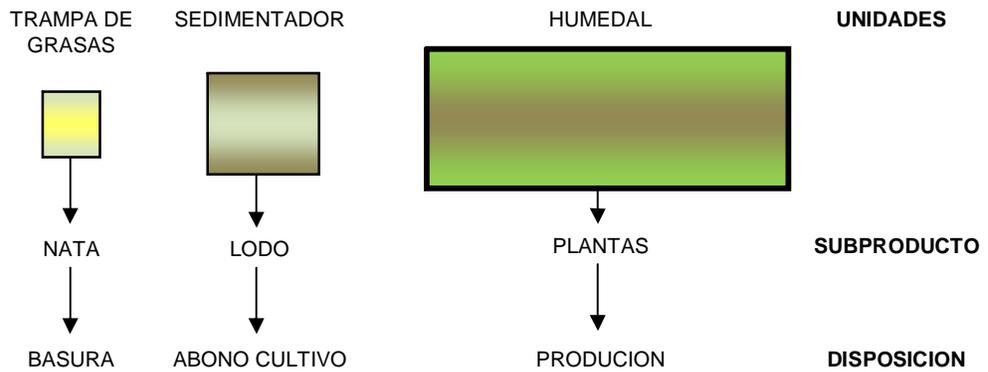


Figura 11. Diagrama de Subproductos del sistema con Humedal.

### 3.2.3.1.5 Remociones teóricas de las unidades del sistema

La tabla 5, muestra por contaminantes, las remociones teóricas en cada una de las unidades del sistema.

Tabla 5. Remociones teóricas del sistema con Humedal.

PARAMETRO		TRAMPA DE GRASAS	SEDIMENTADOR	HUMEDAL
DBO mg/L	AF	200	200	170
	%	0	15	80
	EF	200	170	34
SS (mg/L)	AF	250	250	50
	%	0	80	60
	EF	250	50	20
GRASAS (mg/L)	AF	100	10	4
	%	90	60	0
	EF	10	4	4
N (mg/L)	AF	40	40	32
	%	0	20	50
	EF	40	32	16
P (mg/L)	AF	8	8	7,2
	%	0	10	40
	EF	8	7,2	4,3
CF UFC/100ml	AF	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>
	%	0	90	99
	EF	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup>

FUENTE: Narváez, Silva. 2009

### 3.2.3.1.6 Eficiencia teórica del sistema

Se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Concentración } Af - \text{Concentración } Ef}{\text{Concentración } Af} * 100$$

La tabla 6, muestra las eficiencias esperadas para el sistema de tratamiento.

Tabla 6. Eficiencias teóricas del sistema con Humedal.

PARAMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCION
DBO (mg/L)	200	34	83
SS (mg/L)	250	20	92
GRASAS (mg/L)	100	4	96
N (mg/L)	40	16	60
P (mg/L)	8	4,3	46
CF NMP/100ml	10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup>	99,9

FUENTE: Narváez, Silva. 2009.

### 3.2.3.2 DISEÑO FISICO

El Humedal se diseñó teniendo en cuenta los criterios propuestos en el “Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración”, para un humedal de flujo subsuperficial (Yocum).

#### 3.2.3.2.1 Dimensiones del Humedal

El humedal se diseñó con una sección transversal trapezoidal, de tal manera que permita su construcción en tierra. Criterios:

Relación largo ancho L: a 2: 1

Altura del agua en el humedal h = 0.8m

La figura 12 muestra los esquemas de la vista en planta, corte longitudinal y corte transversal del humedal.

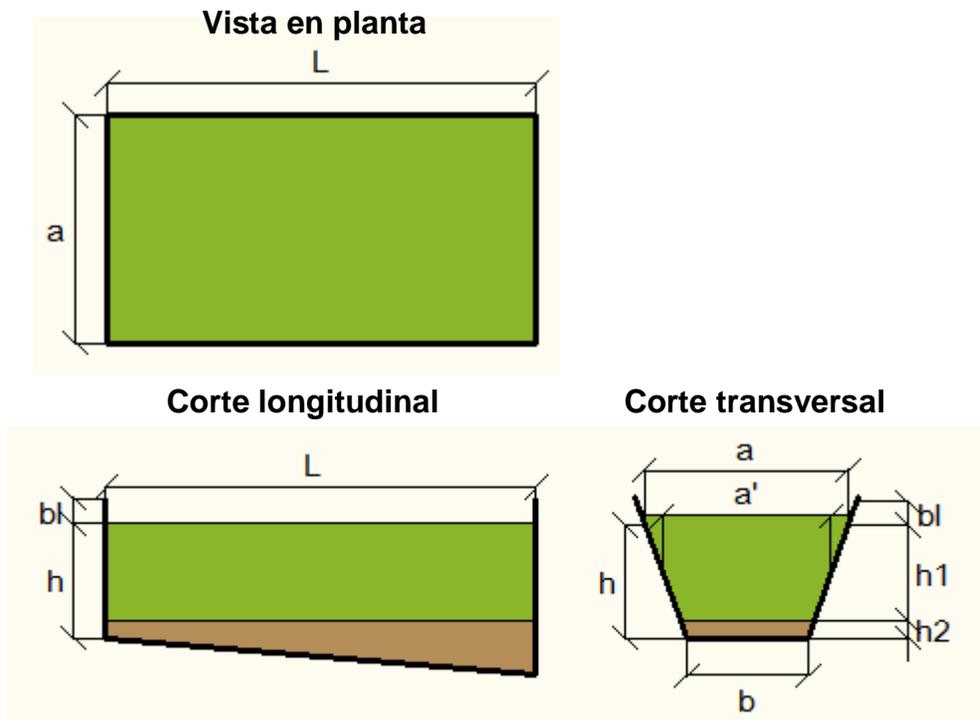


Figura 12. Esquemas vista en planta, corte longitudinal y corte transversal del Humedal.

- Cálculos del área superficial del humedal ( $L$ ,  $a$ )

Se diseñó de acuerdo a la reducción de DBO esperada.

$K_t$	=	Constante de velocidad de reacción (día-1)
$k_{20}$	=	Constante a 20°C
$T$	=	Temperatura ambiente (°C)
$t$	=	Tiempo de retención (día)
$C$	=	Concentración DBO buscada a la salida (mg/L)
$C_o$	=	Concentración de DBO a la entrada (mg/L)
$L_{org}$	=	Tasa de carga orgánica (g DBO/m <sup>2</sup> -día)
$d_w$	=	Profundidad del sustrato (m)
$\square$	=	Porosidad efectiva del sustrato
$A_s$	=	Área superficial (m <sup>2</sup> )
$Q_{AR}$	=	Caudal de aguas residuales (m <sup>3</sup> /día)
$a$	=	Ancho (m)
$b$	=	Base del humedal (m)
$R_A$	=	Proporción longitud / Ancho
$L$	=	Longitud (m)

Cálculo de la constante de velocidad de reacción ( $K_t$ )

$$Kt = K_{20}(1.06^{(T-20)})$$

T = 18°C (Temperatura media de la zona de economía campesina)

$K_{20}$  = 0.805

$$Kt = 0.805(1.06^{(18-20)})$$

**$Kt = 0.72$**

Cálculo del tiempo de retención (t)

$$t = \frac{-\ln(C/C_o)}{Kt}$$

C = 34 mg/L

$C_o$  = 170 mg/L

$$t = \frac{-\ln(34/170)}{0.72}$$

**t = 2.2 días**

Verificación de la tasa de carga orgánica ( $L_{org}$ )

$$L_{org} = \frac{(C)(d_w)(\eta)}{t}$$

$d_w$  = 0.8m

□ = 0.4 (ver tabla 7). Se seleccionó grava media.

Tabla 7. Características usuales del medio filtrante para los humedales de flujo subsuperficial.

Sustrato	Tamaño efectivo $d_{10}^*$ mm	Porosidad efectiva ( $\eta$ )
Arena media	1	0.3
Arena gruesa	2	0.32
Arena con grava	8	0.35
Grava media	32	0.4
Grava gruesa	128	0.45

Fuente: (Crites & Tchobanoglous 2000).

$$L_{org} = \frac{(170)(0.8)(0.4)}{2.2}$$

$$L_{org} = 24.72 \text{gDBO/m}^2\text{-día}$$

Utilizando como lecho filtrante principal grava media, se espera en el humedal una carga orgánica de 24.72 gDBO/m<sup>2</sup>-día.

Cálculo del área Superficial (As)

$$A_s = \frac{(Q_{AR})(t)}{(\eta)(dw)}$$

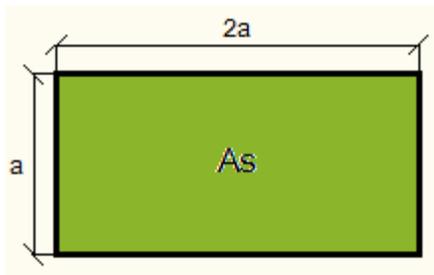
$$A_s = \frac{(1.6 \text{m}^3 / \text{día})(2.2 \text{días})}{(0.4)(0.8 \text{m})}$$

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

Relación largo ancho

$$L : a = 2 : 1$$

Cálculo de ancho (a')



$$A_s = 2a * a \quad A_s = 2a^2 \quad a' = \sqrt{\frac{A_s}{2}}$$

$$a' = \sqrt{\frac{11.2}{2}}$$

$$a' = 2.34 \text{m}$$

Para efectos de construcción:

$$a' = 2.5 \text{m}$$

Cálculo de la longitud (L)

$$L = a * 2$$

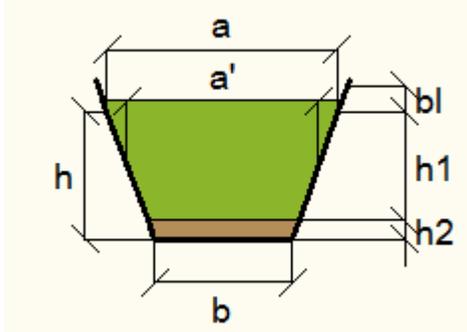
$$L = 4.68 \text{m}$$

$$L = 2.34 * 2$$

Para efectos de construcción:

$$L = 5.0 \text{m}$$

Cálculo de la sección transversal



- a' = 2.5m (Ya calculado)
- h = 0.8m (Supuesto)
- bl = 0.1m (Supuesto)

Para un suelo arcilloso, se adopta una pendiente de 1H:2V ( $\alpha=63^\circ$ ), dando como resultado:

**a = 2.9m**

**b = 2.1m**

La figura 13 muestra los esquemas de la vista en planta, corte longitudinal y corte transversal del humedal para efectos de construcción. (Ver plano 1).

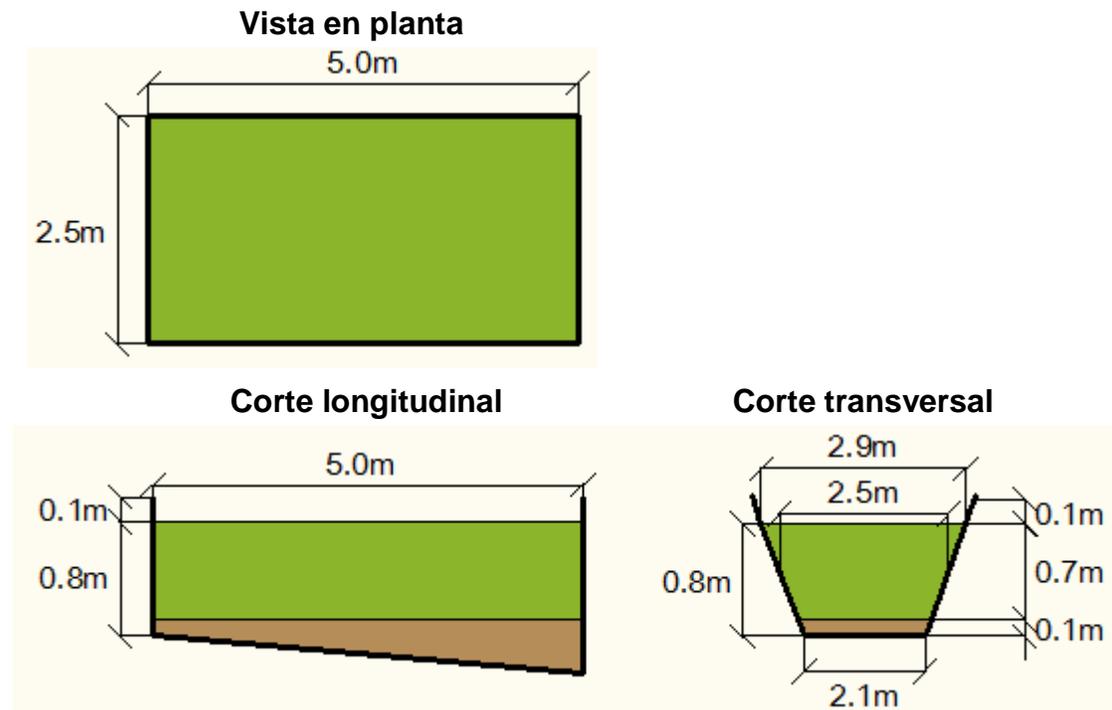


Figura 13. Vista planta, corte longitudinal y corte transversal del Humedal.

La tabla 8 presenta las dimensiones de las unidades del sistema de tratamiento.

Tabla 8. Dimensiones de las Unidades del sistema con Humedales.

<b>UNIDAD</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>MEDIDA (m)</b>
Trampas de grasas <sup>1</sup>	Longitud (L)	0.60
	Ancho (a)	0.60
	Altura (h)	0.60
Sedimentador <sup>2</sup>	Longitud (L)	0.80
	Ancho (a)	0.40
	Altura (h)	0.80
Humedal	Longitud (L)	5.0
	Base mayor (a)	2.9
	Base menor (b)	2.1
	Altura (h)	0.8
	Borde libre (bl)	0.1

Fuente: Narváez, Silva. 2009.

---

<sup>1</sup> Ver cálculos en la Pág. 63

<sup>2</sup> Ver cálculos en la Pág. 64

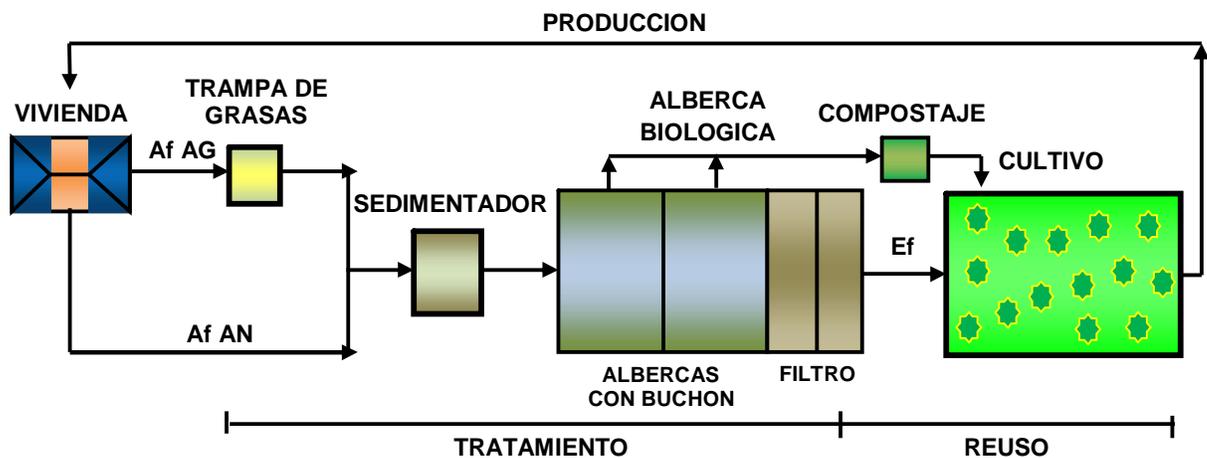
### 3.2.4 PROPUESTA 2

#### SISTEMA INTEGRADO CON ALBERCAS BIOLÓGICAS

##### 3.2.4.1 DISEÑO CONCEPTUAL

###### 3.2.4.1.1 Propuesta de manejo de las aguas residuales

La figura 14, muestra el esquema general, donde las aguas grises (lavaplatos, lavadero, lavamanos y ducha), provenientes de la vivienda pasan por una trampa de grasas cuyo objetivo principal es atrapar grasas, aceites y parte de los detergentes; el efluente de la trampa de grasas, con el afluente de aguas negras (baterías sanitarias) de la vivienda se une y pasa por un sedimentador, cuyo objetivo es remover los sólidos suspendidos y material flotante; el efluente del sedimentador pasa a la alberca biológica, compuestas por dos tanques con plantas acuáticas de Jacinto de agua *Eichhornia Crassipes*, donde se remueven nutrientes y materia orgánica, y un filtro de arena de flujo descendente - ascendente, el cual remueve materia orgánica; esta fase se considera en el sistema como tratamiento. La cosecha del Buchón de las albercas va a compostaje para ser utilizado en el guadua u otro cultivo; y el efluente del filtro se utiliza en riego, fase que se considera reuso. La guadua va de nuevo a la vivienda para ser comercializada, considerando esta fase como producción.



Fuente: Narváez, Silva. 2009

Figura14. Sistema descentralizado, integrado y sostenible con Alberca Biológica.

### 3.2.4.1.2 Diagrama de niveles de tratamiento de las unidades del sistema

La figura 15, muestra el esquema de los tratamientos que se esperan se realicen en el sistema, un tratamiento preliminar (trampa de grasas), un tratamiento primario (sedimentador) y un tratamiento secundario (Alberca Biológica).

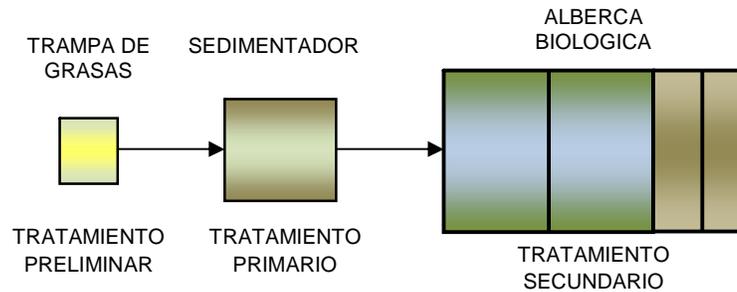


Figura 15. Diagrama de niveles de tratamiento de las unidades del sistema con Alberca Biológica.

### 3.2.4.1.3 Diagrama de procesos

La figura 16, muestra el esquema de los procesos que se esperan del sistema. En forma descendente se encuentran las unidades, el proceso principal, el contaminante principal removido y los contaminantes secundarios.

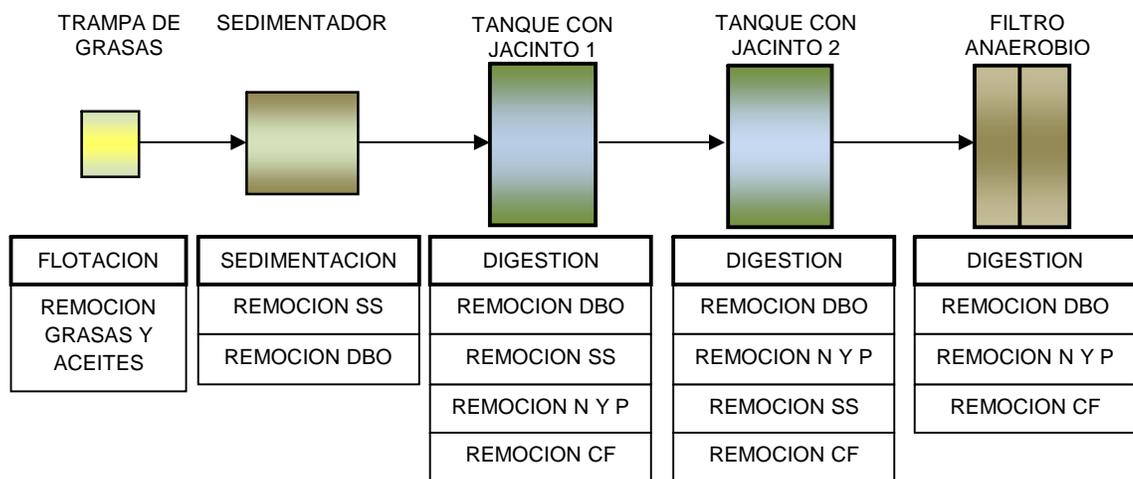


Figura16. Diagrama de procesos del sistema con Alberca Biológica.

### 3.2.4.1.4 Diagrama de subproductos

La figura 17, muestra el esquema de la disposición de los subproductos del sistema, de forma descendente se muestran las unidades, el producto que se deriva y finalmente su disposición.

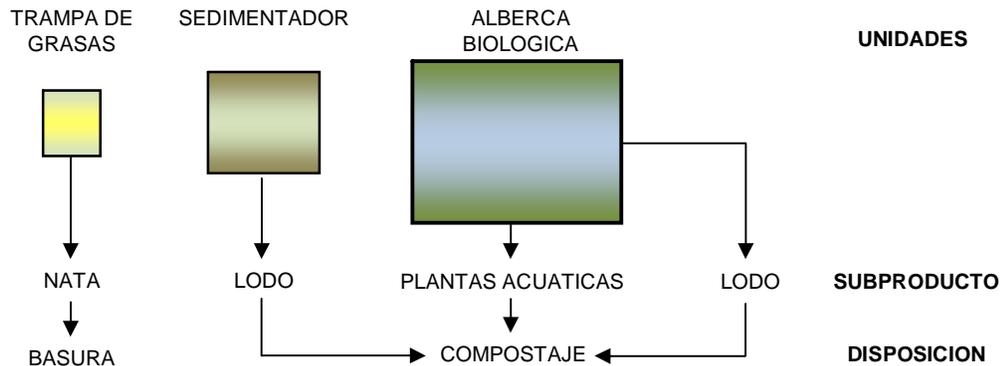


Figura17. Diagrama de subproductos del sistema con Alberca Biológica.

### 3.2.4.1.5 Remoción teórica del sistema

La tabla 9, muestra por contaminantes, las remociones teóricas en cada una de las unidades del sistema.

Tabla 9. Remociones teóricas del sistema con Alberca Biológica.

PARAMETRO		TRAMPA DE GRASAS	SEDIMENTADOR	TANQUE 1	TANQUE 2	FILTRO
DBO mg/L	AF	200	200	170	51	15.3
	%	0	15	70	70	30
	EF	200	170	51	15.3	10.7
SS (mg/L)	AF	250	250	50	15	7.5
	%	0	80	70	50	20
	EF	250	50	15	7.5	6
GRASAS (mg/L)	AF	100	10	4	4	4
	%	90	60	0	0	0
	EF	10	4	4	4	4
N (mg/L)	AF	40	40	32	19.2	7.7
	%	0	20	40	60	20
	EF	40	32	19.2	7.7	6.2
P (mg/L)	AF	8	8	7.2	5.8	4.1
	%	0	10	20	30	10
	EF	8	7.2	5.8	4.1	3.7
CF UFC/100ml	AF	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>
	%	0	90	90	90	90
	EF	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>

FUENTE: Narváez, Silva. 2009.

### 3.2.4.1.6 Eficiencia teórica del sistema

La tabla 10, muestra las eficiencias esperadas para el sistema de tratamiento.

Tabla 10. Eficiencias teóricas del sistema con Alberca Biológica.

PARAMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCION
DBO (mg/L)	200	10,7	95
SS (mg/L)	250	6	98
GRASAS (mg/L)	100	4	96
N (mg/L)	40	6,2	85
P (mg/L)	8	3,7	54
CF NMP/100ml	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>	99,9

FUENTE: Narváez, Silva. 2009.

### 3.2.4.2 DISEÑO FISICO

Se diseñó teniendo en cuenta los criterios propuestos en la Tesis “Manejo de los Residuos de la Explotación Porcícola en la Institución Educativa El Tejar municipio de Timaná Huila. Diseño de una Alberca Biológica”. (Medina, 2007).

#### 3.2.4.2.1 Dimensiones de la Alberca biológica

Relación largo ancho de los tanques con Jacinto de agua L: a 2: 1

Altura de la Alberca biológica h = 0.8m

La figura 18 muestra los esquemas de la vista en planta, corte longitudinal y corte transversal de la Alberca Biológica.

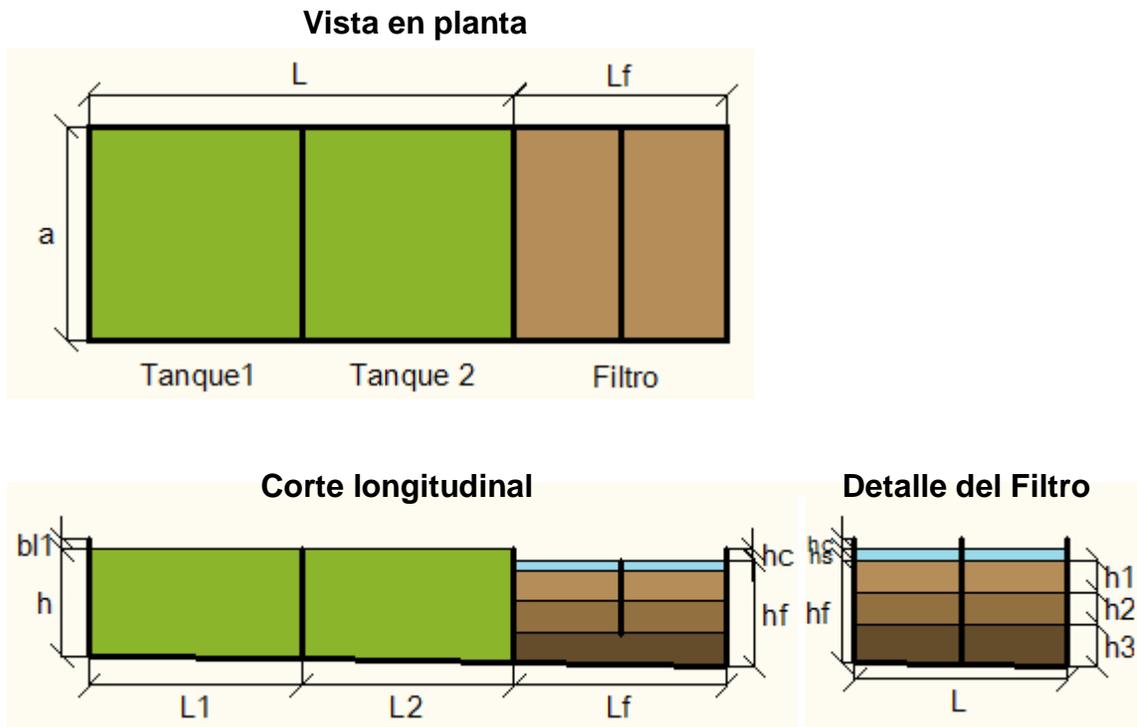


Figura 18. Esquemas vista planta, corte longitudinal y corte transversal de la Alberca Biológica.

- Cálculos de las tanques con buchón de agua

Se diseñó un solo tanque, el cual se divide en dos para aumentar su eficiencia; tomando como parámetro el tiempo de retención hidráulica (TRH).

V	=	Volumen (m <sup>3</sup> )
TRH	=	Tiempo de Retención Hidráulica (día)
Q <sub>AR</sub>	=	Caudal de Aguas Residuales (m <sup>3</sup> /día)
As	=	Área superficial (m <sup>2</sup> )
h	=	Altura (m)
a	=	Ancho (m)
L	=	Largo (m)

Calculo del volumen (V)

$$V = Q_{AR} * THR$$

$$Q_{AR} = 1.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$TRH = 1 \text{ día (Asumido con base al TRH de un Tanque Séptico)}$$

$$V = 1.6m^3 / dia * 1dia$$

$$V = 1.6m^3$$

Cálculo del área superficial (As)

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

Teniendo en cuenta la profundidad de las raíces del Jacinto de agua, la profundidad de la alberca se adopta:

$$h = 0.8m$$

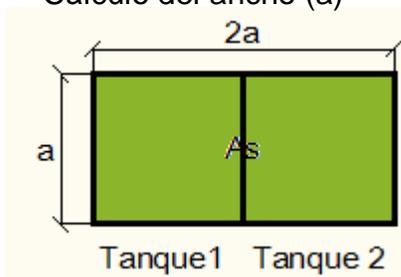
$$As = \frac{1.6m^3}{0.8m}$$

$$As = 2.0m^2$$

Relación largo ancho

$$L = a \quad 2 = 1$$

Cálculo del ancho (a)



$$As = a * L$$

$$As = 2a * a$$

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

$$a = \sqrt{\frac{2m^2}{2}}$$

$$a = 1.0m$$

Cálculo del largo (L)

$$L = a * 2$$

$$L = 2a$$

$$L = 2.0m$$

Para efectos de construcción la longitud de cada tanque es:

$$L = 1.0m$$

- Cálculo del Filtro Biológico

El filtro anaerobio se diseño teniendo en cuenta el parámetro volumen per cápita de filtro.

Vf	=	Volumen del filtro (m <sup>3</sup> )
P	=	población (Hab)
Vp	=	Volumen per cápita de filtro (m <sup>3</sup> /hab)
C	=	Coficiente de mayoración de volumen
hf	=	Altura del filtro (m)
hc	=	Perdida de cabeza (m)
hs	=	Altura del sobrenadante (m)
h <sub>1</sub>	=	Altura capa de Arena (m)
h <sub>2</sub>	=	Altura capa de Gravilla (m)
h <sub>3</sub>	=	Altura capa de Grava (m)
Lf	=	Largo del filtro (m)
af	=	Ancho del filtro (m)

Cálculo del Volumen del filtro (Vf).

$$Vf = P * Vp * C$$

Vp	=	0.05m <sup>3</sup> /hab
P	=	10 Hab
C	=	1.2 Equivalente al 20%

$$Vf = 10Hab * 0.05 \frac{m^3}{Hab} * 1.2 \quad \mathbf{Vf = 0.6m^3}$$

Altura del filtro (hf)

$$hf = h - hc - hs$$

hc	=	0.1m Por el paso del liquido por la intersección del filtro
hs	=	0.1m Por Sobrenadante
h	=	0.8 m

$$hf = 0.8 - 0.1 - 0.1$$

$$\mathbf{hf = 0.6m}$$

Para efectos de construcción:



Largo del filtro (L<sub>f</sub>)

$$V_f = a_f * L_f * h_f$$

Por construcción tomamos el ancho del filtro, con el mismo valor del tanque.

$$L_f = \frac{V_f}{a_f * h_f}$$

$$L_f = \frac{0.6m^3}{1m * 0.6m} \quad \boxed{L_f = 1.0m}$$

El filtro se divide en dos compartimientos de L=0.5m, para asegurar el flujo descendente – ascendente.

La figura 19 muestra los esquemas de la vista en planta, corte longitudinal y corte transversal de la Alberca Biológica para efectos de construcción. (ver plano 2).

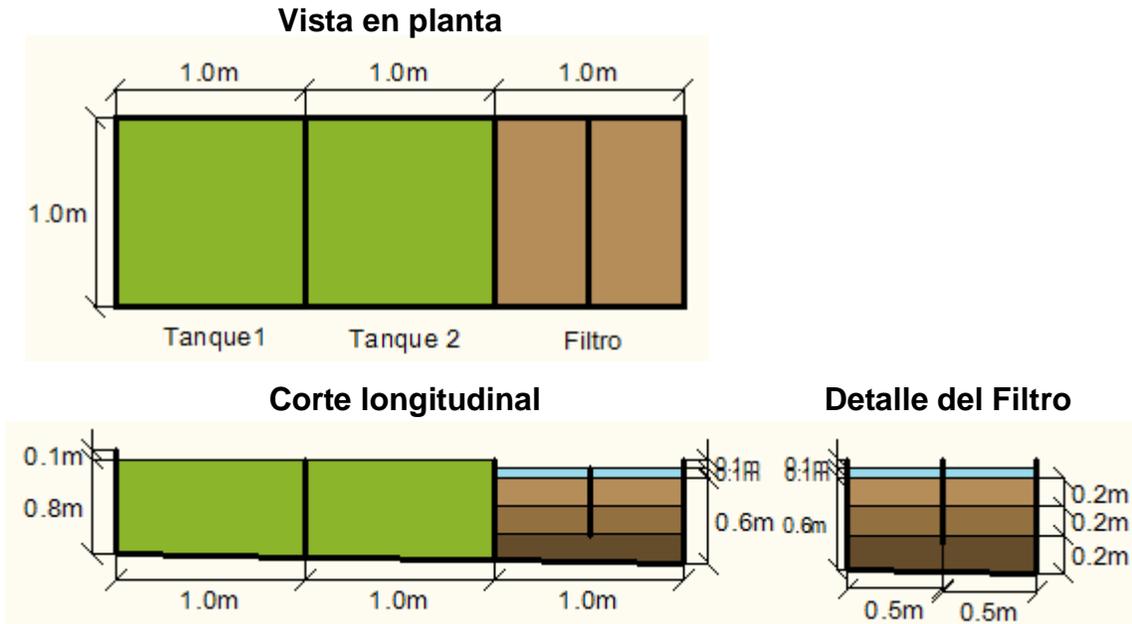


Figura 19. Vista en planta, corte longitudinal y corte transversal de la Albercas Biológica.

La tabla 11 muestra las dimensiones de cada una de las unidades del sistema de tratamiento con alberca biológica.

Tabla 11. Dimensiones de las Unidades del sistema con Alberca Biológica.

UNIDAD	PARAMETRO	MEDIDA (m)
Trampas de grasas <sup>3</sup>	Longitud (m)	0.6
	Ancho (m)	0.6
	Altura (h)	0.6
Sedimentador <sup>4</sup>	Longitud (m)	0.8
	Ancho (m)	0.4
	Altura (h)	0.8
Tanque 1 y 2	Longitud (m)	1.0
	Ancho (m)	1.0
	Altura (h)	0.8
Filtro anaerobio	Longitud (m)	1.0
	Ancho (m)	1.0
	Altura (h)	0.6

Fuente: Narváez, Silva. 2009.

---

<sup>3</sup> Ver cálculos en la Pág. 63

<sup>4</sup> Ver cálculos en la Pág. 64

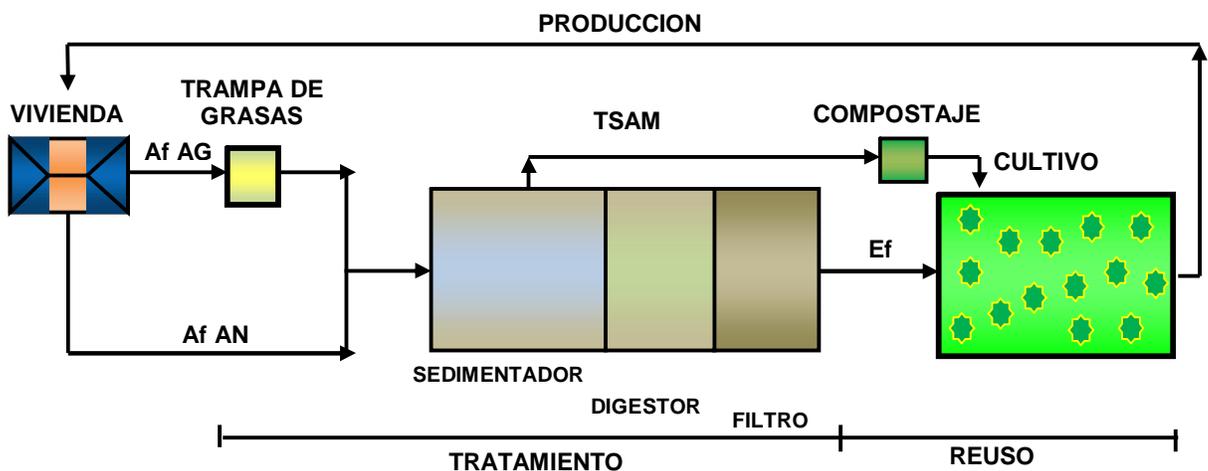
### 3.2.5 PROPUESTA 3

#### SISTEMA INTEGRADO CON TANQUE SEPTICO DE ACCION MULTIPLE

##### 3.2.5.1 DISEÑO CONCEPTUAL

###### 3.2.5.1.1 Propuesta de manejo de las aguas residuales

La figura 20, muestra el esquema general, donde Las aguas grises provenientes de la vivienda (lavaplatos, lavadero, lavamanos y ducha), pasan por una trampa de grasas cuyo objetivo es atrapar grasas, aceites y parte de los detergentes. El efluente de esta trampa de grasas, con el afluente de aguas negras (baterías sanitarias) de la vivienda se une y pasa a un tanque séptico de acción múltiple, conformado por un tanque séptico de dos compartimientos, complementado con un filtro. El primer compartimiento del tanque séptico es un sedimentador cuyo objetivo es remover los sólidos suspendidos y material flotante, el segundo compartimiento es un digestor cuyo objetivo es la remoción de la materia orgánica; y el filtro anaerobio es de flujo ascendente, el cual complementa la remoción de materia orgánica y coliformes; esta fase se considera en el sistema como tratamiento. Los lodos extraídos del sedimentador van a compostaje para ser utilizados en el guadual u otro cultivo; y el efluente del filtro se utiliza como agua para riego, fase que se considera reuso. Las guaduas van de nuevo a la vivienda para ser comercializadas, considerando esta fase como producción.



Fuente: Narváez, Silva. 2009

Figura 20. Sistema descentralizado, integrado y sostenible con Tanque Séptico de Acción Múltiple.

### 3.2.5.1.2 Diagrama de niveles de tratamientos de las unidades del sistema

La figura 21, muestra el esquema de los tratamientos que se esperan en el sistema, un tratamiento preliminar (trampa de grasas), un tratamiento primario y secundario (tanque séptico de acción múltiple).

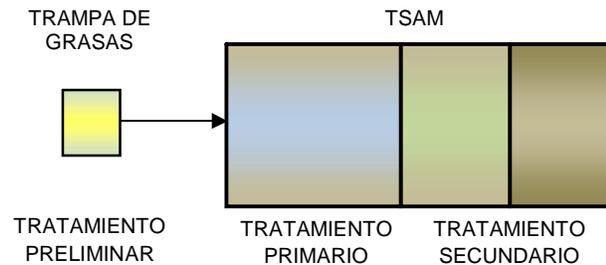


Figura 21. Diagrama de niveles de tratamientos de las unidades del sistema con TSAM.

### 3.2.5.1.3 Diagrama de procesos

La figura 22, muestra el esquema de procesos que se esperan del sistema. En forma descendente se encuentran las unidades, el proceso principal, el contaminante principal removido y los contaminantes secundarios.

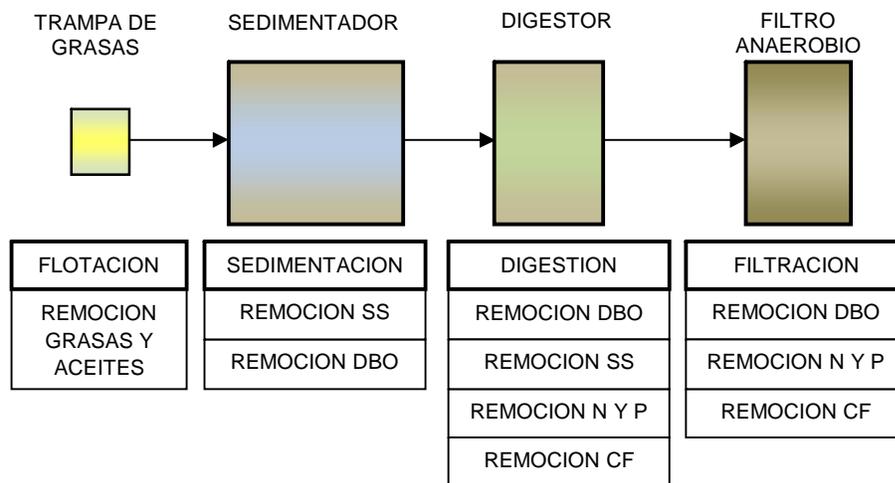


Figura 22. Diagrama de procesos del sistema con TSAM.

### 3.2.5.1.4 Diagrama de subproductos

La figura 23, muestra el esquema de la disposición de los subproductos del sistema, de forma descendente se muestran las unidades, el subproducto y finalmente su disposición.

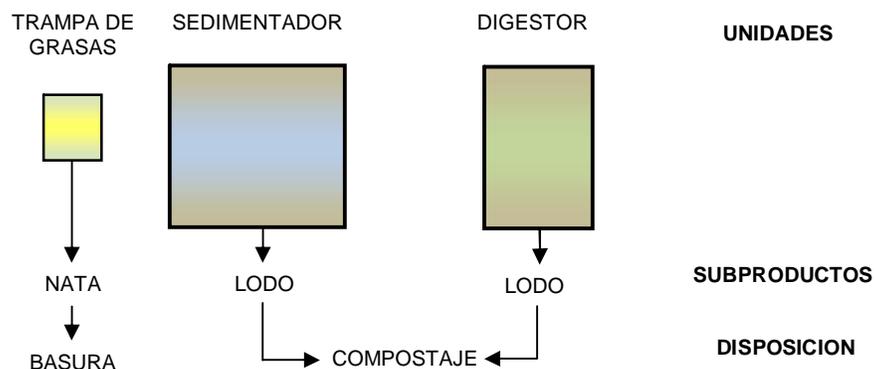


Figura 23. Diagrama de subproductos del sistema con TSAM.

### 3.2.5.1.5 Remoción teórica del sistema

La tabla 12, muestra por contaminantes, las remociones teóricas en cada una de las unidades del sistema.

Tabla 12. Remociones teóricas del sistema con TSAM.

PARAMETRO		TRAMPA DE GRASAS	SEDIMENTADOR	DIGESTOR	FILTRO
DBO mg/L	AF	200	200	170	68
	%	0	15	60	40
	EF	200	170	68	40.8
SS (mg/L)	AF	250	250	50	25
	%	0	80	50	40
	EF	250	50	25	15
GRASAS (mg/L)	AF	100	10	4	4
	%	90	60	0	0
	EF	10	4	4	4
N (mg/L)	AF	40	40	32	19.2
	%	0	20	40	20
	EF	40	32	19.2	15.4
P (mg/L)	AF	8	8	7.2	4.3
	%	0	10	40	20
	EF	8	7.2	4.3	3.4
CF UFC/100ml	AF	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>
	%	0	90	90	90
	EF	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>

FUENTE: Narváez, Silva. 2009.

### 3.2.5.1.6 Eficiencia teórica del sistema

La tabla 13, muestra las eficiencias esperadas para el sistema de tratamiento.

Tabla 13. Eficiencias teóricas del sistema con TSAM.

PARAMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCION
DBO (mg/L)	200	40.8	80
SS (mg/L)	250	15	94
GRASAS (mg/L)	100	4	96
N (mg/L)	40	15.4	62
P (mg/L)	8	3.4	58
CF NMP/100ml	10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup>	99.9

FUENTE: Narváez, Silva. 2009.

### 3.2.5.2 DISEÑO FISICO

Se diseñó teniendo en cuenta los criterios propuestos en el documento de saneamiento rural (Valencia, 1997).

#### 3.2.5.2.1 Dimensiones del Tanque séptico

Relación largo ancho L: a 2: 1

Largo compartimiento 1  $L_1 = \frac{2}{3}L$

Largo compartimiento 2  $L_2 = \frac{1}{3}L$

La figura 24 muestra los esquemas de la vista en planta, corte longitudinal y corte transversal del Tanque séptico y el filtro anaerobio.

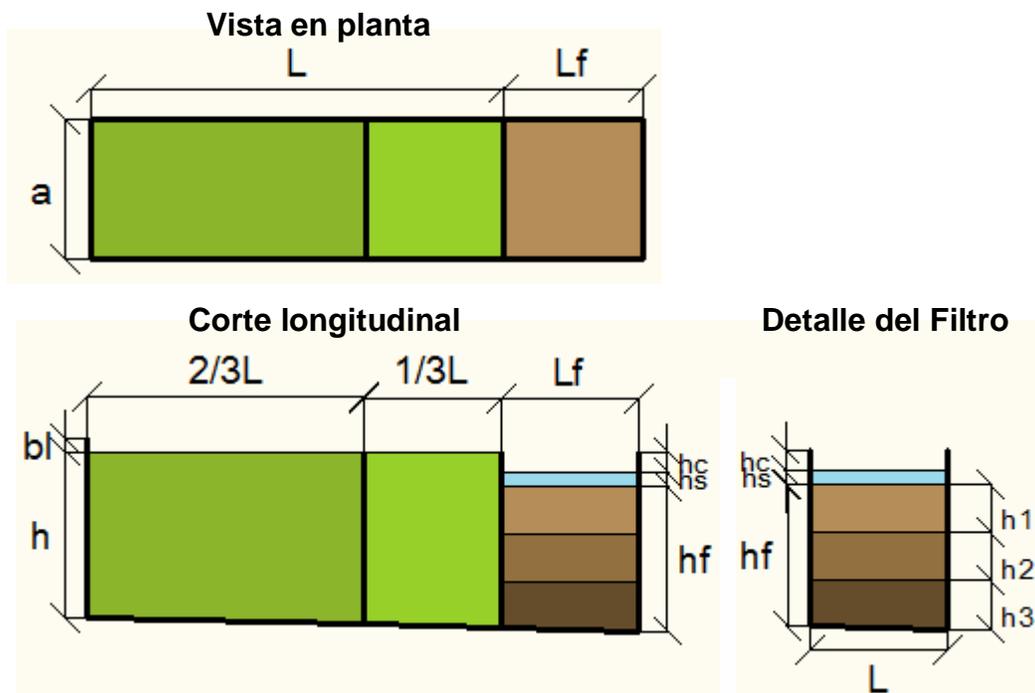


Figura 24. Esquemas vista planta, corte longitudinal y corte transversal del TSAM.

- Cálculo del Tanque séptico

El tanque séptico se diseñó teniendo en cuenta el parámetro de caudal medio diario y el tiempo de retención hidráulica.

$V_e$	=	Volumen efectivo del tanque (L)
$P$	=	Numero de habitantes (Hab)
$Q_{ARu}$	=	Caudal de aguas residuales unitario (L/Hab-día)
$TRH$	=	tiempo de retención hidraulica (día)
$V_l$	=	Volumen de lodos (L)
$A_c$	=	Tasa de acumulación (L/Hab-año)
$T$	=	Tiempo de remoción de lodos (años)
$V_d$	=	Volumen de diseño
$h$	=	Altura del liquido del tanque septico (m)
$L$	=	Largo total (m)
$a$	=	Ancho (m)
$L_1$	=	Longitud del primer compartimiento (m)
$L_2$	=	Longitud del segundo compartimiento (m)
$H$	=	Altura total del tanque (m)
$bl$	=	Altura del borde libre

- Dimensiones de los compartimientos

Cálculo de volumen efectivo (Ve)

$$Ve = P * Q_{ARu} * TRH$$

$$\begin{aligned} TRH &= 1 \text{ día} \\ P &= 10\text{Hab} \\ Q_{ARu} &= 160 \text{ L/Hab-día} \end{aligned}$$

$$Ve = 10\text{Hab} * 160 \frac{\text{L}}{\text{dia}} * 1$$

$$Ve = 1600L$$

$$Ve = 1.6m^3$$

La profundidad del líquido se asume: **h = 1.0m**

Cálculo del Ancho (a)

$$a = \sqrt{\frac{Ve}{2h}}$$

$$a = \sqrt{\frac{1.6m^3}{2(1.0m)}}$$

$$a = 0.87m$$

Para efectos de construcción: **a = 1.0m**

Cálculo del largo total (L)

$$L = \frac{Ve}{a * h}$$

$$L = \frac{1.6m^3}{1.0m * 1.0m}$$

$$L = 1.6m$$

Para efectos de construcción: **L = 1.5m**

Largo compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	$L_1 = \frac{2}{3} (1.5)$	<b>L<sub>1</sub> = 1,0m</b>
Largo compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	$L_2 = \frac{1}{3} (1.5)$	<b>L<sub>2</sub> = 0.5m</b>

Cálculo del borde libre (bl)

$$H = h + bl$$

Donde  $bl = 25\%h$

$$bl = 25\%(1) = 0.25m$$

$$bl = 0.25m$$

$$H = 1.0m + 0.25m = 1.25m$$

$$H = 1.25m$$

- Periodo de retiro de lodos

Cálculo de volumen de lodo (VI)

Criterio: Los lodos serán retirados del tanque séptico cuando ocupen la mitad del volumen del compartimiento de sedimentación.

$$H_{\text{Lodos}} = 50 \text{ cm (se requiere retirar lodos)}$$

Volumen de lodos (VI) =  $h_{\text{lodos}} * L_1 * a$

$$VI = 0.5m * 1m * 1m$$

$$VI = 0.5m^3$$

$$\text{Como } Ac = 40 \text{ L/Hab-año}$$

Producción de lodos por año

$$\frac{VI}{\text{año}} = 40 \frac{L}{\text{Hab-año}} * 10 \text{Hab}$$

$$VI/\text{año} = 400L/\text{año} = 0.4m^3/\text{año}$$

Tiempo de retiro de lodos (Td)

$$Td = \frac{0.5m^3}{0.4m^3 / \text{año}} = 1.25 \text{ años}$$

$$Td = 1 \text{ año y 3 meses}$$

### 3.2.5.2.2 Dimensiones del filtro anaerobio

El filtro anaerobio se diseñó teniendo en cuenta el parámetro: Volumen per cápita de filtro.

Vf	=	Volumen del filtro (m <sup>3</sup> )
Vp	=	Volumen per cápita de filtro (m <sup>3</sup> /hab)
P	=	población (Hab)
hf	=	Altura del filtro (m)
h	=	Altura del liquido en el tanque séptico (m)
hc	=	Pérdida de cabeza
hs	=	Altura sobrenadante (m)
h1	=	Altura arena (m)
h2	=	Altura gravilla (m)
h3	=	Altura grava (m)
Lf	=	Largo del filtro (m)
af	=	Ancho del filtro (m)
hs	=	altura sobrenadante (m)

Volumen del filtro (Vf)

$$Vf = P * Vp$$

$$Vp = 0.05\text{m}^3/\text{hab (Asumido)}$$

$$Vf = 10\text{Hab} * 0.05 \frac{\text{m}^3}{\text{Hab}} \quad \mathbf{Vf = 0.5\text{m}^3}$$

Altura del filtro (hf)

$$hf = h - hc - hs$$

hc = 0.15m Pérdida de cabeza por el paso del liquido en el filtro

hs = 0.10m Sobrenadante

h = 1.0 m

$$hf = 1.0 - 0.15 - 0.10$$

$$\mathbf{hf = 0.75m}$$

Para efectos de construcción:

$h_1 = 0.25\text{m}$  Arena

$h_2 = 0.25\text{m}$  Gravilla

$h_3 = 0.25\text{m}$  Grava

Largo del filtro ( $L_f$ )

$$V_f = a_f * L_f * h_f$$

$a_f = a$  (ancho del tanque séptico)

$a_f = 1.0\text{m}$

$$L_f = \frac{V_f}{a_f * (h_f)}$$

$$L_f = \frac{0.5\text{m}^3}{1.0\text{m} * 0.75\text{m}} = 0.66\text{m}$$

Por efectos de construcción:

$L_f = 0.7\text{m}$

La figura 25 muestra los esquemas de la vista en planta, corte longitudinal y corte transversal del TSAM para efectos de construcción. (Ver plano 3).

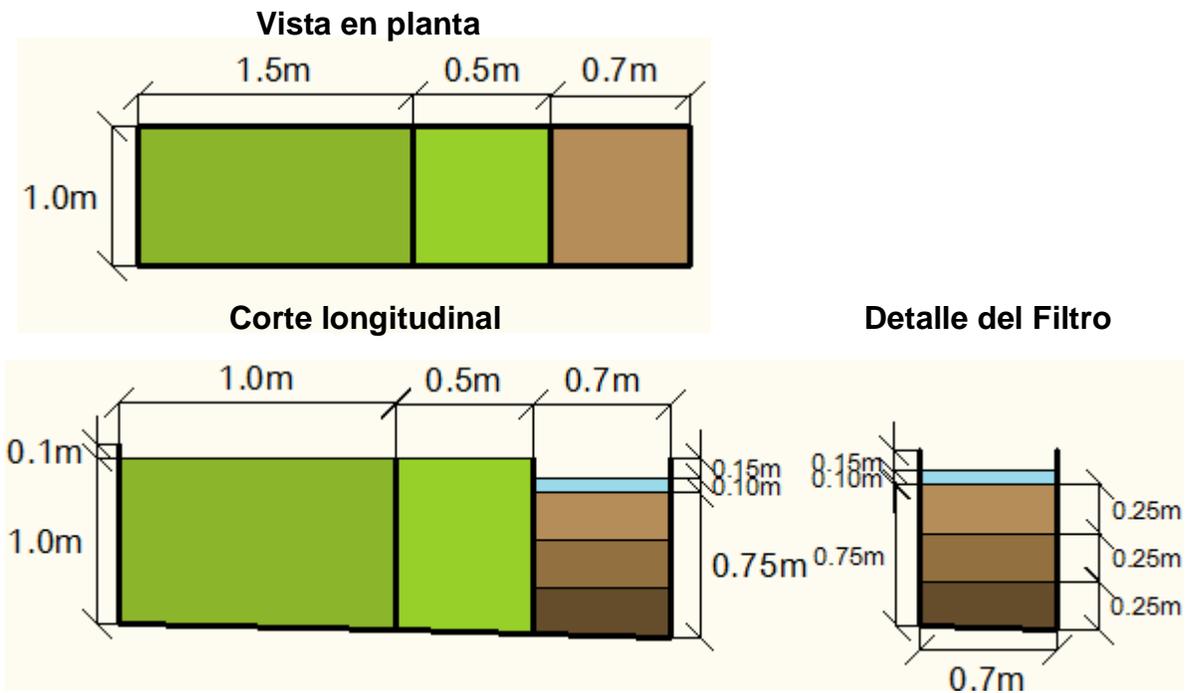


Figura 25. Vista planta, corte longitudinal y corte transversal del TSAM.

La tabla14 presenta las dimensiones de las unidades del sistema con TSAM.

Tabla 14. Dimensiones de las Unidades del sistema con TSAM.

<b>UNIDAD</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>MEDIDA (m)</b>
Trampas de grasas <sup>5</sup>	Longitud (m)	0.60
	Ancho (m)	0.60
	Profundidad (m)	0.60
Tanque séptico de acción múltiple		
Sedimentador	Longitud (m)	1.0
	Ancho (m)	1.0
	Profundidad (m)	1.0
Digestor	Longitud (m)	0.5
	Ancho (m)	1.0
	Profundidad (m)	1.0
Filtro anaerobio	Longitud (m)	0.7
	Ancho (m)	1.0
	Profundidad (m)	0.75

Fuente: Narváez, Silva. 2009.

---

<sup>5</sup> Ver cálculos en la Pág. 63

### 3.2.6 DISEÑO DE LA TRAMPA DE GRASAS

La trampa de grasas se utiliza como tratamiento preliminar en cada una de las tres propuestas. Para el diseño de acuerdo al RAS, la trampa debe tener 0.25m<sup>2</sup> por 1.0 L/s de agua residual.

$Q_{AR}$  = caudal de aguas residuales (L/s)  
A = Área (m<sup>2</sup>)  
a = Ancho (m)  
L = Longitud (m)  
h = Altura (m)

Cálculo del área (m<sup>2</sup>)

$$A = \frac{0.019L/s}{1.0L/s} * Q_{AR}$$

$Q_{AR}$  = 0.019L/s (Ya calculado)

$$A = \frac{0.25m^2}{1.0L/s} * 0.019L/s \quad \mathbf{A = 0.0048m^2}$$

Cálculo de la longitud (L)

Si se calcula cuadrada

$$A = L^2 \quad L = \sqrt{0.0048m^2} \quad \mathbf{L = 0.078m}$$

Por construcción las dimensiones serán las siguientes (MARÍN, 2007):

$\mathbf{a = 0.6m}$	$\mathbf{L = 0.6m}$	$\mathbf{h = 0.6m}$
---------------------	---------------------	---------------------

La figura 26 muestra el esquema de la vista en planta y corte longitudinal de la trampa de grasas. (Ver plano 1,2 y 3).

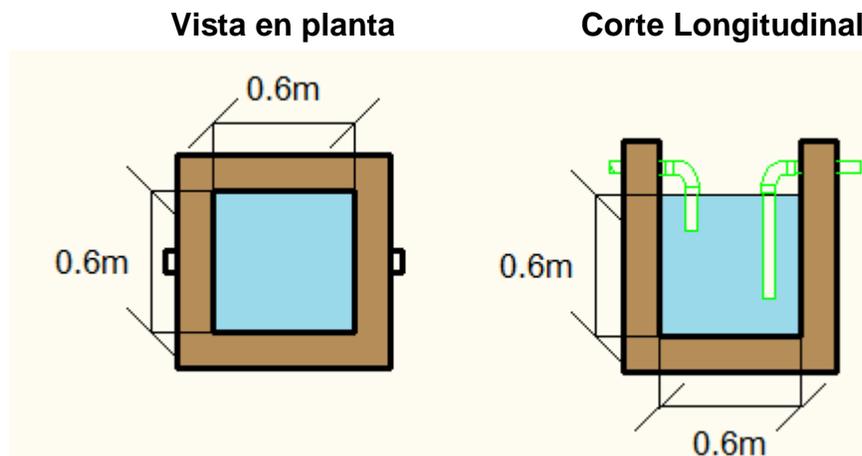


Figura 26. Vista planta y corte longitudinal de la Trampa de Grasas.

### 3.2.7 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

El sedimentador es utilizado en la propuesta 1 (sistema integrado con Humedales) y en la propuesta 2 (sistema integrado con Alberca Biológica), como tratamiento primario.

El sedimentador se diseño teniendo en cuenta el parámetro de TRH.

Relación largo ancho 2:1

- V = Volumen (m<sup>3</sup>)
- TRH = Tiempo de Retención Hidráulica (días)
- As = Área Superficial (m<sup>2</sup>)
- L = largo (m)
- a = Ancho (m)
- h = Altura (m)

Cálculo del volumen (V)

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

$$TRH = 3 \text{ horas} = 0.125 \text{ días}$$

$$V = 1.6m^3 * 0.125 \text{ dias}$$

$$V = 0.2m^3$$

Cálculo del área superficial ( $A_s$ )

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

La altura se asume:

$$h = 0.6\text{m}$$

$$A_s = \frac{0.2\text{m}^3}{0.6\text{m}}$$

$$A_s = 0.33\text{m}^2$$

Cálculo de la ancho ( $a$ )

$$L = a \quad 2 = 1$$

$$A_s = a * L \quad A_s = a * 2a \quad A_s = 2a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{A_s}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{0.33}{2}}$$

$$a = 0.4\text{m}$$

Cálculo de la longitud ( $L$ )

$$L = 2a$$

$$L = 0.8\text{m}$$

La figura 27 muestra el esquema de la vista en planta y corte longitudinal del sedimentador.

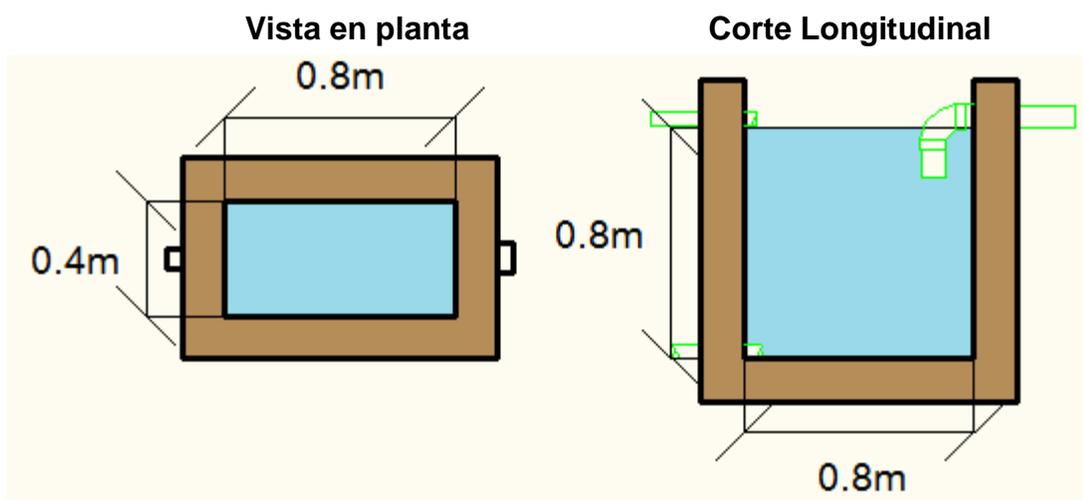


Figura 27. Vista planta y corte longitudinal del Sedimentador.

## 3.2.8 CONSTRUCCIÓN

### 3.2.8.1 Materiales

En general, para los sistemas descentralizados integrados y sostenibles se propone el uso de diversos materiales: No convencionales, nuevos materiales y en lo posible de la región, propios de la cultura de la gente y que minimicen los costos.

Para los sistemas que contempla este proyecto, se proponen materiales convencionales; sin embargo parte de estos pueden ser propios de la región y adquiridos sin costos por las comunidades; o reemplazados por materiales no convencionales. A continuación se presenta los materiales que se propone utilizar en los sistemas de tratamiento:

- Humedal

El humedal de la propuesta se puede construir en tierra, con sección trapezoidal y pendiente 1H:2V ( $\alpha=63^\circ$ ), si el suelo es arcilloso. En caso de suelos con altos contenidos de arena, se recomienda disminuir la pendiente de los taludes y revestir el fondo y taludes; lo cual puede realizarse con arcilla, concreto, geomembrana, u otros materiales. Para las conducciones de las aguas residuales se debe utilizar tubería PVC, por su durabilidad y confiabilidad. En los lechos filtrantes, utilizar arena gruesa, grava y piedra gruesa, como aparece en el plano 1.

- Alberca Biológica

Las paredes de los tanques que se sembraran con Jacinto de agua y del filtro, se construirán en ladrillo tolete revestidos en su interior; La placa de fondo va fundida en concreto de 3000 PSI reforzado con varilla de 3/8" cada 12.5 cm en ambos sentidos y los cimientos en concreto ciclópeo. Para las conducciones tubería PVC. El filtro de flujo descendente – ascendente, estará formado por tres capas de abajo hacia arriba así: una primera capa de 0.2m de piedra de diámetro 50mm, la segunda capa de 0.2m de gravilla de diámetro entre 4 y 20mm y una tercera capa de 0.2m de arena de diámetro entre 0.15 y 0.35mm; como aparece en el plano 2.

- Tanque Séptico de Acción Múltiple

Las paredes del TSAM se construirán en ladrillo tolete, revestidas en su interior; La placa de fondo va fundida en concreto de 3000 PSI; la tapa va fundida en concreto de 3000 PSI reforzado con varilla de 3/8" cada 12.5 cm y cimientos en concreto ciclópeo. Para las conducciones tubería PVC. El filtro, estará formado por una primera capa de 0.25m con piedra de diámetro a 50mm, la segunda capa de 0.25m con gravilla de diámetro entre 4 y 20mm y una tercera capa de 0.25m con arena de diámetro entre 0.15 y 0.35mm; como aparece en el plano 3.

- Trampa de Grasas

Las paredes de la trampa de grasas se construirán en ladrillo tolete, revestidas en su interior. La placa de fondo fundida en concreto de 3000 PSI. La tapa fundida en concreto de 3000 PSI reforzada con varilla de 3/8" cada 12.5 cm. Para las conducciones tubería PVC.

- Sedimentador

Las paredes se construirán en ladrillo tolete, revestidas en su interior. La placa de fondo fundida en concreto de 3000 PSI. Para las conducciones tubería PVC.

### **3.2.8.2 Mano de obra**

La construcción de los sistemas descentralizados integrados y sostenibles, debe ser realizada por los mismos propietarios de los predios, y así reducir costos. Por lo anterior, es indispensable capacitar a los habitantes de la zona, en aspectos constructivos, por entidades como el SENA, para asegurar que los sistemas queden bien contruidos.

### **3.2.9 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Las unidades de los sistemas deben ser operadas y mantenidas por los mismos usuarios, requiriéndose su capacitación. Así mismo, se debe elaborar un manual de operación y mantenimiento. La tabla 15 muestra las actividades de operación y mantenimiento para las unidades de los sistemas.

Tabla 15. Manual de Operación y Mantenimiento.

UNIDAD	ACTIVIDAD	PERIODICIDAD	OPERACION	MANTENIMIENTO
<b>Trampa de Grasas</b>	Retiro de natas	Mensual	X	
	Limpieza del tanque	Semestral	X	
	Limpieza del área	Semestral		X
<b>Sedimentador</b>	Retiro de sólidos	Anual	X	
	Limpieza del tanque	Bianual	X	
	Limpieza del área	Semestral		X
<b>Humedal</b>	Cosecha de heliconias		X	
	Limpieza de lechos	5 años	X	
	Limpieza del área	Semestral		X
<b>Alberca Biológica</b>	Cosecha del Jacinto de agua	Trimestral	X	
	Retiro de sólidos del tanque 1 y 2	Semestral	X	
	Retiro malezas del filtro	trimestral	X	
	Limpieza del filtro	5 años		X
	Limpieza del área	Semestral		X
<b>TSAM</b>	Retiro de lodos del compartimiento 1 y 2	Anual	X	
	Secado de lodos	Anual	X	
	Retiro malezas del filtro	trimestral	X	
	Limpieza del filtro	5 años		X
	Limpieza del área	Semestral		X

Fuente: Narváez, Silva. 2009.

### 3.2.10 PRESUPUESTO

En los anexos A, B y C, se presentan respectivamente, los presupuestos del Sistema con Humedal, Sistema con Alberca Biológica y el Sistema con Tanque Séptico de Acción Múltiple. Los costos de los sistemas se pueden minimizar, teniendo en cuenta que algunos de los materiales se consiguen en la región y la mano de obra será aportada por personas de la comunidad.

#### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles, son sistemas de bajo costo, fácil operación y mantenimiento; y pueden ser construidos y operados por los mismos habitantes de la zona rural. Su implementación constituye una gran ventaja en comparación con otros sistemas convencionales de alto costo.

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domesticas, reducen significativamente la contaminación de ríos y quebradas. Además minimizan los riesgos sobre la salud de los habitantes del sector rural, mejorando su calidad de vida y el entorno.

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles son concebidos como de fácil construcción, operación y mantenimiento; sin embargo para que cumplan los objetivos para los que se diseñan y construyen, se requiere realizar las actividades de operación y mantenimiento necesarias que aseguren mantener su eficiencia.

Las eficiencias teóricas de remoción de contaminantes de los sistemas descentralizados integrados y sostenibles propuestos en este estudio, pueden considerarse altas, están alrededor del 80% en DBO, S.S, G y A y el 50% en N y P, lo que evidencia la importancia de estos sistemas como una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domesticas en el sector rural.

Los prototipos de unidades propuestos como tratamiento secundario en este proyecto: Humedales, Alberca Biológica y TSAM, pueden ser construidos en el sector rural, sustentados en sus eficiencias, bajos costos y fácil construcción, operación y mantenimiento. En caso de requerir aumentar eficiencias se pueden complementar con otras unidades.

La inversión inicial de los prototipos propuestos en este proyecto, más o menos de \$1'800.000, puede ser considerada alta para un campesino de la zona de minifundio del departamento del Huila, sin embargo, la inversión puede recuperarse con los productos obtenidos del proceso (reuso – producción) y los ahorros en pago de tasa retributiva.

El tema de los sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el sector rural, merece ser objeto de estudio e investigación, por su alto impacto en el medio ambiente y la calidad de vida de la gente, así mismo porque pueden implementarse para el tratamiento de otro tipo de aguas residuales; se sugiere continuar y complementar este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

CAICEDO, J. R., Lagunas de lenteja de agua en combinación con reactores anaeróbicos y estanques piscícolas: una alternativa para el tratamiento sostenible de aguas residuales. Universidad del Valle. Presentado en el curso internacional de sistemas integrados sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. Cali, 2001.

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

CIPAV, Memorias Seminario Internacional, Contaminación y reciclaje en la producción porcinas, aspectos legales, técnicos y económicos. Cali. 1998.

DIMURO, P. G., los ecosistemas como laboratorios la búsqueda de modos de vivir para una operatividad de la sostenibilidad, proyecto fin de Master, Universidad de Sevilla, 2008.

GLAS Cevallos, C. C., Evaluación de Factores Físicos, Químicos y Biológicos en el Desempeño de Reactores Duckweed, con y sin Pretratamiento Anaerobio en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

GOBERNACIÓN DEL HUILA. Huila naturaleza Productiva. Consultado el 12 de mayo de 2009. [http://www.gobernacionhuila.gov.co/cms/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6990&Itemid=454](http://www.gobernacionhuila.gov.co/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=6990&Itemid=454).

Gobernación del Huila. Huila naturaleza Productiva. Consultado el 12 de mayo de 2009. [http://www.gobernacionhuila.gov.co/cms/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6989&Itemid=455](http://www.gobernacionhuila.gov.co/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=6989&Itemid=455).

HUUB, J. G; Anaerobes, Aerobes and Phototrophs A winning team for wastewater management. Presentado en el curso internacional de sistemas integrados sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. Cali, 2001.

MARÍN M., LEIVA D. Infraestructura bajo el enfoque de una producción más limpia en el subsector cafetero. Guía para caficultores. Coffe Company Huila, 2007.

MARTINEZ, A. G.; Colombia tu destino, Bogotá – Colombia 2005 - 2007. Consultado el 12 de mayo de 2009. <http://www.colombiatudestino.com/colombia/huila/huila/index.php>

MEDINA P. A., Manejo de dos residuos de la explotación Porcina en la Institución Educativa El Tejar municipio de Timaná Huila. Diseño de una alberca biológica. Tesis. Universidad Surcolombiana. Neiva, 2007.

METCALF y EDDY, Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1. Tratamiento vertido y reutilización. Tercera Edición. Editorial McGraw-Hill. Madrid, 1995.

MULDER, K., Desarrollo sostenible para ingenieros, 2007.

OPS, Organización Panamericana de la Salud, CEPIS, Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Lima. 2005.

OSORIO, M. P., Sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas empleados por la CVC en el sector rural del departamento del Valle del Cauca – Colombia. 2003.

OTERO, L. A.; MARÍN, M. F. Bibliografía Agua Residual, Centro de Documentación – INSTITUTO CINARA, Evaluación de la Eficiencia de Remoción de Nutrientes y Coliformes Fecales de un Humedal de Flujo Subsuperficial con Papiro, en el Post-Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Cali, 2001.

RAMIREZ, C. L., Indicadores de sostenibilidad en sistemas agropecuarios, proyecto IICA/GTZ. 2004.

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

SANCHEZ, M. F., GARZON, J. C.; Formulación del plan de saneamiento y manejo de vertimientos PSMV del municipio de Villavieja – Huila. Especialización Ingeniería Ambiental. Universidad Surcolombiana 2007.

TCHOBANOGLIOUS, G. CRITES, R. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 1, 2 y 3. Editora Mc. Graw Hill, Bogotá. 2000.

THURNHOFER. M., GAUSS. M., CÁCERES. V., FONG. N., Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe (WSP-LAC). Honduras, 2007

VALENCIA G. E. OLAYA M. M., Generalidades sobre Saneamiento rural, Universidad Surcolombiana, Programa Ingeniería Agrícola. Neiva, 1997.

VAN Lier, J. B., Anaerobic wastewater (AWWT): The cost – effective approach for biomethanation, wastes (wáter) treatment, and re-use. Presentado en el curso internacional de sistemas integrados sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. Cali, 2001. P. 2-3.

YOCUM, D., Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara.

# **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**PRESUPUESTO DEL SISTEMA DESCENTRALIZADO, INTEGRADO Y**  
**SOSTENIBLE CON HUMEDAL**

<b>Propuesta 1. Sistema Integrado con Humedal</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Vr.Unitario</b>	<b>Vr. Parcial</b>
<b>1</b>	<b>TRATAMIENTO PRELIMINAR</b> <b>Trampa de grasas</b>				
	Concreto 3000 PSI	m3	0,097	269.511	26.196
	Muro de ladrillo tolete	m2	2,49	29.960	74.600
	Pañete	m3	0,24	231.511	55.331
	Tubería PVC Ø 2"	ml	0,70	4.270	2.989
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 2"	UND	2	2.262	4.524
	Tapa Cemento (incluye hierro 3/8" C/ 12cm)	m2	0,81	38.901	31.510
	VALOR PARCIAL				195.150
<b>2</b>	<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b> <b>Sedimentador</b>				
	Concreto 3000 PSI	m3	0,092	269.511	24.903
	Muro de ladrillo tolete	m2	3,49	29.960	104.620
	Pañete	m3	0,37	231.511	86.122
	Tubería PVC Ø 3"	ml	0,90	4.270	3.843
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 3"	UND	1	2.262	2.262
	Tapa Sedimentador (incluye hierro 3/8" C/ 12cm)	m2	0,770	38.901	29.954
	VALOR PARCIAL				251.703
<b>3</b>	<b>TRATAMIENTO SECUNDARIO</b> <b>Humedal</b>				
	Piedra gruesa Ø 50mm	m3	0,928	25.000	23.200
	Arena gruesa Ø 2mm	m3	1,05	40.000	42.000
	Grava media Ø 32mm	m3	10	50.000	500.000
	Arcilla impermeable	m3	1,2	45.000	54.000
	Tubería de desagüe PVC Ø 3"	ml	2	4.270	8.540
	Union PVC Aguas Negras Ø 3"	UND	1	1.210	1.210
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 3"	UND	2	2.262	4.524
	VALOR PARCIAL				633.474
<b>SUMATORIA DE VALORES PARCIALES</b>					<b>1.080.328</b>
ADMINISTRACION E IMPREVISTOS (10%)					108.033
UTILIDAD (5%)					54.016
IVA SOBRE UTILIDAD (16%)					8.643
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>1.251.020</b>

**ANEXO B**  
**PRESUPUESTO DEL SISTEMA DESCENTRALIZADO, INTEGRADO Y**  
**SOSTENIBLE CON ALBERCA BIOLÓGICA**

<b>Propuesta 2. Sistema Integrado con Alberca Biológica</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNI.</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Vr. Unitario</b>	<b>Vr. Parcial</b>
<b>1</b>	<b>TRATAMIENTO PRELIMINAR</b> <b>Trampa de grasas</b>				
	Concreto 3000 PSI	m3	0,097	269.511	26.196
	Muro de ladrillo tolete	m2	2,49	29.960	74.600
	Pañete	m3	0,24	231.511	55.331
	Tubería PVC Ø 2"	ml	0,70	4.270	2.989
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 2"	UND	2	2.262	4.524
	Tapa Cemento (incluye hierro 3/8" C/ 12cm)	m2	0,81	38.901	31.510
	VALOR PARCIAL				195.150
<b>2</b>	<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b> <b>Sedimentador</b>				
	Concreto 3000 PSI	m3	0,092	269.511	24.903
	Muro de ladrillo tolete	m2	3,49	29.960	104.620
	Pañete	m3	0,37	231.511	86.122
	Tubería PVC Ø 3"	ml	0,90	4.270	3.843
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 3"	UND	1	2.262	2.262
	Tapa Sedimentador (incluye hierro 3/8" C/ 12cm)	m2	0,770	38.901	29.954
	VALOR PARCIAL				251.703
<b>3</b>	<b>TRATAMIENTO SECUNDARIO</b> <b>Alberca Biológica</b>				
	Concreto 3000 PSI	m3	0,585	269.511	157.664
	Varilla corrugada Ø 1/2"	ml	73,0	2.403	175.441
	Concreto Ciclopeo	m3	1,56	83.715	130.596
	Muro de ladrillo tolete	m2	13	29.960	389.477
	Pañete	m3	1,44	231.511	333.375
	Tubería PVC Ø 3"	ml	2,00	4.270	8.540
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 3"	UND	2	2.262	4.524
	Arena para filtro anaerobio	m3	0,2	40.000	8.000
	Grava para filtro anaerobio	m3	0,2	35.000	7.000
	Gravilla para filtro anaerobio	m3	0,2	50.000	10.000
	VALOR PARCIAL				1.224.617
<b>SUMATORIA DE VALORES PARCIALES</b>					<b>1.671.470</b>
ADMINISTRACION E IMPREVISTOS (10%)					167.147
UTILIDAD (5%)					83.574
IVA SOBRE UTILIDAD (16%)					13.372
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>1.935.563</b>

**ANEXO C**

**PRESUPUESTO DEL SISTEMA DESCENTRALIZADO, INTEGRADO Y  
SOSTENIBLE CON TANQUE SEPTICO DE ACCION MULTIPLE**

<b>Propuesta 3. Sistema Integrado con TSAM</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNI.</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Vr.Unitario</b>	<b>Vr. Parcial</b>
<b>1</b>	<b>TRATAMIENTO PRELIMINAR</b> <b>Trampa de grasas</b>				
	Concreto 3000 PSI	m3	0,097	269.511	26.196
	Muro de ladrillo tolete	m2	2,49	29.960	74.600
	Pañete	m3	0,24	231.511	55.331
	Tubería PVC Ø 2"	ml	0,70	4.270	2.989
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 2"	UND	2	2.262	4.524
	Tapa Cemento (incluye hierro 3/8" C/ 12cm)	m2	0,81	38.901	31.510
	VALOR PARCIAL				195.150
<b>2</b>	<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b> <b>Tanque Séptico de Acción Múltiple</b>				
	Concreto 3000 PSI	m3	0,437	269.511	117.722
	Varilla corrugada Ø 1/2"	UND	27,40	2.403	65.850
	Concreto Ciclopeo	m3	1,332	83.715	111.509
	Muro de ladrillo tolete	m2	13,50	29.960	404.457
	Pañete	m3	1,56	231.511	361.156
	Codo 90 PVC Aguas Negras Ø 2"	UND	6	840	5.040
	Tubería PVC Ø 3"	ml	2,10	4.270	8.967
	Tee PVC Ø 3"	UND	1,00	2.262	2.262
	Arena	m3	0,175	40.000	7.000
	Grava	m3	0,175	35.000	6.125
	Gravilla	m3	0,175	50.000	8.750
	Tapa Cemento (incluye hierro 3/8" C/ 12cm)	m2	2,7	38.901	105.034
	VALOR PARCIAL				1.203.873
<b>SUMATORIA DE VALORES PARCIALES</b>					<b>1.399.023</b>
ADMINISTRACION E IMPREVISTOS (10%)					139.902
UTILIDAD (5%)					69.951
IVA SOBRE UTILIDAD (16%)					11.192
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>1.620.069</b>

# PLANOS

# **ARTICULO**

# Sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domesticas

## Sustainable integrated systems decentralized for the treatment of residual waters domiciliary

Ivonne Julieth Silva González<sup>6</sup>, Clara Patricia Narváez Ramírez<sup>7</sup> y Eduardo Valencia Granada<sup>8</sup>

### Resumen

En el sector rural del departamento del Huila, las aguas residuales de las diferentes actividades generalmente son vertidas crudas a las fuentes hídricas causando problemas de contaminación y salud pública. Tradicionalmente se han propuesto alcantarillados y sistemas de tratamiento convencionales y centralizados, caracterizados por ser de alto costo. Como otra alternativa de solución, este estudio propone los Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles, que se caracterizan por integrar el Tratamiento con el Reuso y la Producción, además de ser de bajo costo y fácil construcción, operación y mantenimiento. Se presentan tres prototipos de Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas, que contemplan como tratamiento secundario Humedales, Albercas Biológicas y Tanques Sépticos de Acción Múltiple, con eficiencias teóricas de remoción superiores a 80% en DBO, SS, G y A y 50% en N y P; convirtiéndose en una alternativa para la descontaminación de las microcuencas.

*Palabras clave:* Aguas Residuales, Tratamiento, Sistemas Integrados.

### Abstract

In the rural sector of the department of Huila, the wastewater of different activities are usually discharged raw water sources causing pollution problems and public health. Traditionally have been proposed sewage treatment systems and conventional, centralized, characterized by its high cost. As another alternative solution, this study proposes the Integrated and Sustainable Decentralized Systems, characterized by integrating the Reclamation Treatment and Production, in addition to being low cost and easy construction, operation and maintenance. There are three prototypes of integrated and sustainable decentralized systems for treating domestic wastewater, which provide secondary treatment as Wetlands, Biological Pools and Multiple Action Septic Tanks, with theoretical efficiencies greater than 80% removal of BOD, SS, G and A and 50% in N and P; becoming an alternative for the decontamination of the watersheds.

*Keywords:* Wastewater, integrated systems, unconventional.

---

<sup>6</sup> Estudiante Programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana Neiva. [tjivonne@hotmail.com](mailto:tjivonne@hotmail.com)

<sup>7</sup> Estudiante Programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana Neiva.. [jaclar1122@hotmail.com](mailto:jaclar1122@hotmail.com)

<sup>8</sup> Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Docente Universidad Surcolombiana Neiva. [eduvale@usco.edu.co](mailto:eduvale@usco.edu.co)

## 1. Introducción

En Colombia, generalmente los pequeños municipios y el sector rural presentan problemas de contaminación del recurso hídrico, como consecuencia de la baja inversión en proyectos de saneamiento básico. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se han diseñado y construido tanto en el sector urbano como rural se caracterizan por ser centralizados, de alto costo y exigente operación y mantenimiento.

En el sector rural, la cobertura en alcantarillado y tratamiento de aguas residuales es baja. Comparativamente es más costoso construir alcantarillados en el sector rural que en el sector urbano; y construir sistemas centralizados y convencionales para el tratamiento de aguas residuales, además de los costos se dificulta aún más por la operación y mantenimiento. Aunque se construyen alcantarillados y sistemas centralizados en la zona rural, no siempre es posible por razones de tipo topográfico y económico. En la zona rural también se construyen sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, siendo el caso más común los tanques sépticos.

En las zonas de minifundio del sector rural del departamento del Huila, se generan aguas residuales que son vertidos a las fuentes hídricas, sin ningún tipo de tratamiento, dando como resultado problemas de salud y de contaminación. Como una alternativa a la problemática mencionada, en los últimos años, se han propuesto diferentes tipos de sistemas que tienen de común ser no convencionales y descentralizados. En el presente proyecto se proponen los sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales del sector rural en el departamento del Huila, y tres prototipos de los mismos que contemplan como sistemas secundarios Humedales, Alberca Biológica y Tanque Séptico de Acción Múltiple.

Los Sistemas Integrados Sostenibles para el Tratamiento de Aguas residuales son procesos en los cuales se integra TRATAMIENTO – REUSO – PRODUCCION, y los subproductos del tratamiento son nuevamente utilizados por el hombre, minimizando así la contaminación. (Valencia, 1997).

Los sistemas integrados de tratamiento de aguas residuales se definen como una combinación de procesos y prácticas donde el uso óptimo del recurso se alcanza vía el reciclaje de desechos, el cual, se logra mediante la recuperación y reuso de los nutrientes y la energía. Los procesos de conversión para diferentes desechos son dispuestos en un orden tal, que permite una adición mínima de energía externa y de materia prima, buscando lograr una máxima eficiencia en el proceso global. (Caicedo, 2001).

Un sistema descentralizado de manejo de las aguas residuales puede definirse como la recolección, tratamiento, y vertimiento o reutilización de las aguas residuales provenientes de hogares, industrias o comunidades existentes cerca del punto de generación de residuos. Dado que una red completa de alcantarillado no es posible para muchos habitantes, es claro que el manejo descentralizado de aguas residuales es de gran importancia para el manejo futuro del ambiente. Por tanto, el concepto de manejo descentralizado de aguas residuales merece el mismo grado de atención que hasta ahora estaba reservado para los sistemas convencionales de manejo centralizado de aguas residuales. (Tchobanoglous, 1996).

Actualmente hay un creciente interés por el desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles, para el tratamiento de aguas residuales, que permiten obtener un efluente, a bajo costo con recuperación y uso de subproductos. (Glas).

En la Estación de Investigación y Transferencia de Tecnología en Ginebra-Valle del Cauca-Colombia, se realizó una investigación, con el objetivo de evaluar el potencial de un humedal de flujo subsuperficial con Papiro, construido a escala piloto, como alternativa de post-tratamiento de aguas residuales domésticas, en términos de la eficiencia de remoción de coliformes fecales. Dentro de las conclusiones de la investigación se destaca que los procesos físico-químicos y biológicos que ocurren al interior del humedal, involucrados en los mecanismos de remoción de nutrientes y patógenos, son altamente influenciados por el pH, la densidad de las plantas, la carga hidráulica, el tiempo de retención hidráulica (TRH) y las condiciones aerobias y anaerobias del suelo; esto se ve reflejado en las eficiencias obtenidas durante la fase experimental. En general, el porcentaje de nitrógeno retenido en el humedal es muy bajo durante la primera y segunda etapa del estudio. (Otero, 2001).

En una investigación realizada en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de La Vorágine, vereda perteneciente al Corregimiento de Pance del municipio de Santiago de Cali, en Colombia se estudio el desempeño de un sistema integrado de tratamiento de agua residual doméstica compuesto por tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente y Filtro fitopedológico, para establecer relaciones entre las variables de diseño que se adapten a la realidad local y sirvan de base para encarar racionalmente proyectos futuros. 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 un potencial para el sistema evaluado de manera de ofrecer soluciones al problema de tratamiento de aguas residuales domésticas en los contextos rurales y urbanos marginales en el que se deben seleccionar tecnologías eficientes, confiables y simples en su operación y mantenimiento. (Rivera, 1998).

Un humedal es un sistema que consiste en un estanque o canal poco profundo, construido por el hombre, para el tratamiento de aguas residuales, en el que se siembran plantas acuáticas; estas plantas ayudan a purificar el agua mediante la absorción de los nutrientes, eliminando una cantidad significativa de contaminantes, mientras sus raíces proporcionan el hábitat para microorganismos. El tratamiento en el humedal ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente, la cual permite la degradación biológica de contaminantes y materias orgánicas por microorganismos, generando también la sedimentación de los sólidos suspendidos. (Thurnhofer, 2007). La figura 1 muestra un corte de un humedal (biofiltro de flujo horizontal) con heliconias.

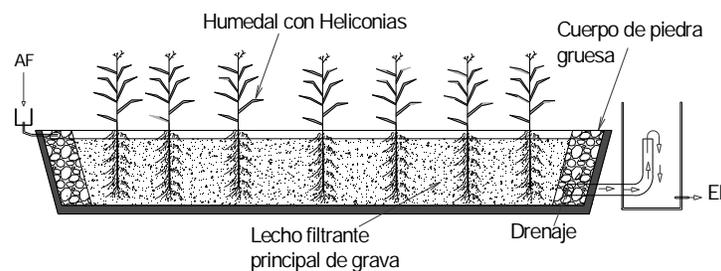


Fig. 1. Corte longitudinal de un Humedal de flujo horizontal.

Una alberca biológica es un sistema que consiste en un tanque pequeño para el tratamiento de aguas residuales, donde se siembran plantas flotantes las cuales realizan el tratamiento. Este tanque está dividido en dos compartimientos donde se siembra Jacinto de agua (buchón de agua), las plantas funcionan como medio de filtración y absorción de sólidos, poseen un sistema radicular sobre el cual las bacterias crecen las cuales ayudan a realizar la limpieza a la planta; el sistema esta complementado con un filtro compuesto de piedra, grava y arena, en el cual se culmina el

tratamiento del efluente proveniente de las albercas con buchón. (Medina, 2007). La figura 2 muestra el corte longitudinal de una alberca biológica sembrada con Jacinto de agua.

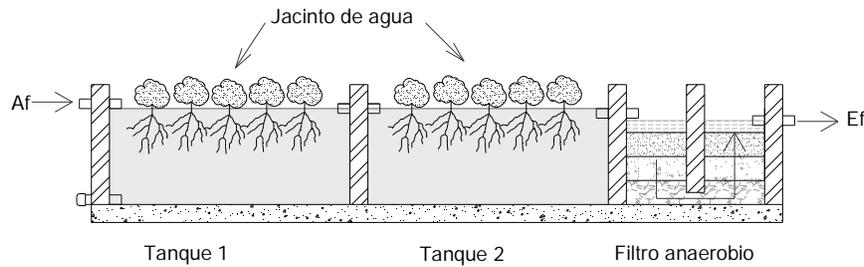


Fig. 2. Corte longitudinal de una Alberca Biológica.

Un tanque séptico de acción múltiple es un sistema de tratamiento de aguas residuales, en el cual el tanque séptico se divide en dos compartimentos, complementados con un filtro anaerobio de flujo ascendente. La primera unidad está compuesta por un compartimento 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 biodigestor donde se depositan los sólidos sedimentados de la sección superior y se inicia su correspondiente biodegradación mediante el 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, Olaya, 1997). La figura 3 muestra un corte longitudinal de un TSAM.

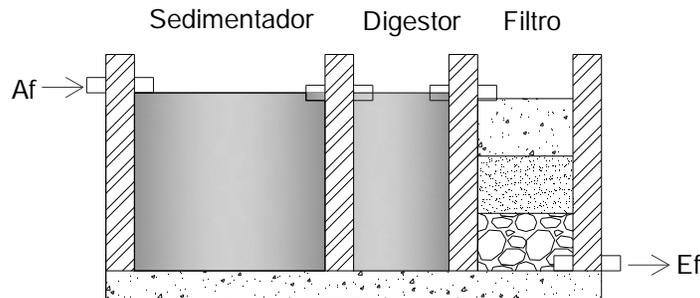


Fig. 3. Corte longitudinal de un TSAM

## 2. Metodología

### 2.1 Localización

Las propuestas están dirigidas a la zona rural del departamento del Huila y específicamente a las de minifundio, para explotaciones agropecuarias menores a 10 hectáreas y de economía campesina, localizadas principalmente en zonas de ladera.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Trabajo de campo

Se realizaron visitas a sistemas de tratamiento de aguas residuales construidos en zonas de minifundio del departamento del Huila, en los municipios de Neiva, Rivera, Pitalito y Palestina, donde se tomaron datos e información sobre las unidades de los sistemas, población, caudales, reuso y producción con efluentes.

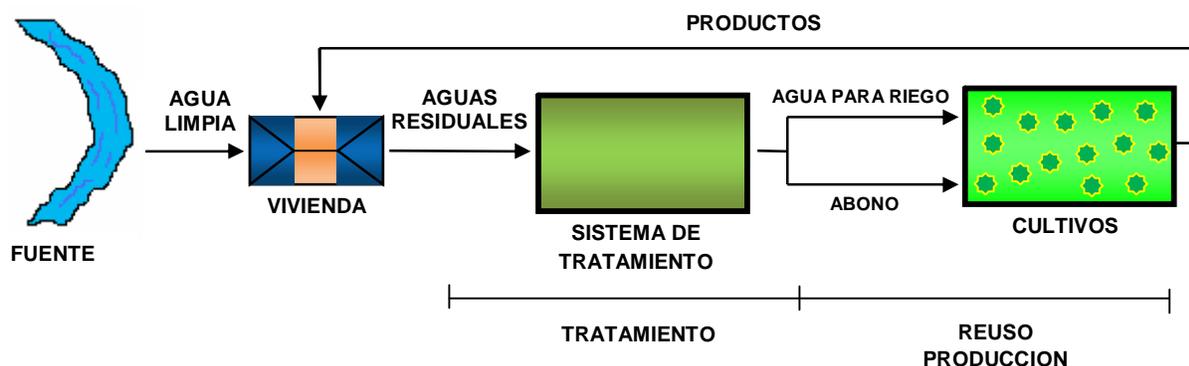
### 2.2.2 Trabajo de oficina

Se realizó una revisión bibliográfica, referente al tratamiento de aguas residuales domésticas a pequeña escala, así como conceptos de aguas residuales, sistemas de tratamiento, y normas y parámetros de diseño; para elaborar un concepto sobre un sistema descentralizado integrado y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Con base en el concepto elaborado, se diseñaron tres prototipos de sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas. A cada propuesta se le realizaron los diseños conceptual y físico de acuerdo a lo establecido en el RAS 2000 y a normas y parámetros de diseño reportados por la literatura.

## 3. Resultados

### 3.1 Concepto de Sistema Descentralizado Integrado y Sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Un sistema descentralizado integrado y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas en 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 para disponer al ambiente, por lo tanto no se produce contaminación. Estos sistemas de tratamiento deben diseñarse de tal manera que sean amigables con el ambiente y los contaminantes no sean vertidos a las fuentes, convirtiéndose en materia prima para la producción; además deben ser de bajos costos y de fácil construcción operación y mantenimiento. Un sistema descentralizado integrado y sostenible se representa en la figura 4.



Fíg. 4. Esquema general de un Sistema Descentralizado Integrado y Sostenible.

Generalmente para conducir las aguas residuales se utilizan los alcantarillados, que se caracterizan por ser de alto costo y más en el sector rural, debido a los grandes movimientos de tierra, instalación de tuberías y distancia entre las viviendas; lo que se agrava con la cultura de la gente, es costumbre disponer todo tipo de residuos a los alcantarillados. Con los sistemas descentralizados se minimiza este problema, no se construyen alcantarillados, al conducir las aguas directamente al sistema de tratamiento.

Además en las zonas de minifundio y ladera, por razones de tipo topográfico y económico, no es posible la construcción de grandes sistemas de alcantarillados y de tratamiento centralizados de aguas residuales; requiriéndose soluciones eficientes a las condiciones locales, por tanto deben emplearse sistemas descentralizados, no convencionales que tengan en cuenta la cultura de la gente y que se centren en el uso de los residuos para la producción y en el bienestar de los pobladores.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es integrado cuando asocia un conjunto de partes (Tratamiento - Reuso - Producción) enlazadas entre sí y que llevan a un mismo fin, el manejo adecuado de las aguas residuales, minimizando su efecto contaminante. Se considera integrado un sistema cuando en el diseño se contempla el Tratamiento de los efluentes, el Reuso de los subproductos del tratamiento en la Producción agropecuaria y los productos de esta son utilizados nuevamente por los pobladores para su beneficio directo o para su comercialización. Cambiando la idea común de que los desechos son un problema convirtiéndolos en un recurso.

Por ser un sistema sostenible, tiene la capacidad de tratar naturalmente las aguas residuales, sin requerimientos adicionales de energía. Desde el punto de vista económico los sistemas serán sostenibles si los costos de construcción, operación y mantenimiento son bajos, las unidades pueden ser construidas y operadas por las mismas comunidades y los subproductos del sistema generan recursos que permiten recuperar la inversión. Además contribuye a la sostenibilidad ambiental, al garantizar la calidad del recurso hídrico para futuras generaciones, al no arrojarse efluentes contaminados a las fuentes. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son sostenibles socialmente si las comunidades los aceptan y se apropian de ellos, convirtiéndose en sistemas sostenibles en el tiempo.

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles están conformados por una o varias unidades de sistemas no convencionales, siendo los más comunes en nuestro medio: los tanques sépticos, los humedales, los biodigestores, las albercas biológicas, los canales con plantas acuáticas y los filtros anaerobios.

### **3.2 Prototipos de sistemas descentralizados integrados y sostenibles**

#### **3.2.1 Sistema con humedales**

Contempla para el tratamiento preliminar una trampa de grasas, en el tratamiento primario un sedimentador y en el tratamiento secundario un humedal sembrado con heliconias, el efluente del humedal es usado para riego de un guadal u otro cultivo y la producción va a la vivienda para su comercialización. La figura 5 muestra el sistema.

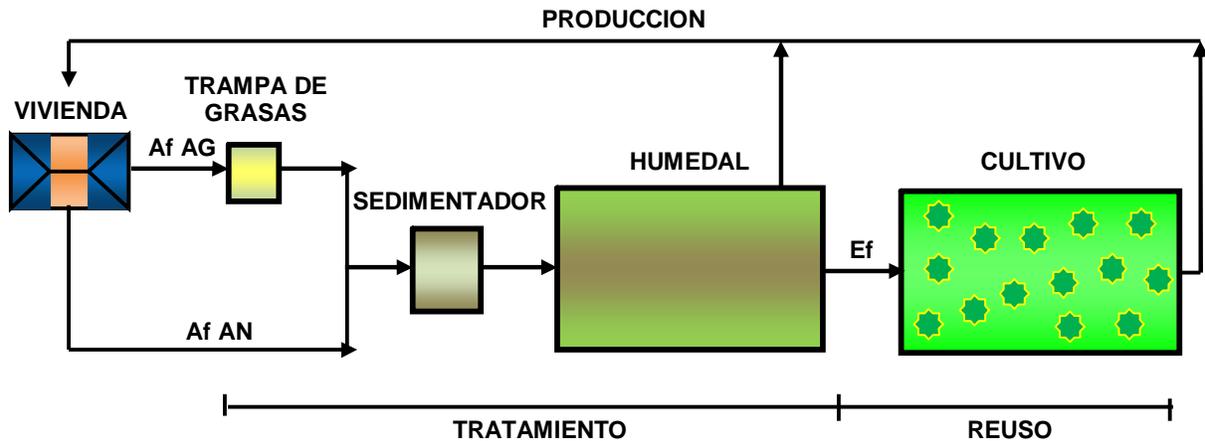


Fig. 5. Sistema Integrado con Humedales

Las Eficiencias teóricas de remoción de contaminantes del sistema, pueden considerarse altas, están alrededor del 83% en DBO, 92% en SS y G y A, el 60% en N, 46% en P y 99% en CF.

### 3.2.2 Sistema con Alberca Biológica

Se propone para el tratamiento preliminar una trampa de grasas, en el tratamiento primario un sedimentador y en el tratamiento secundario una Alberca Biológica, compuestas por dos tanques sembrados con plantas acuáticas: Jacinto de agua *Eichhornia Crassipes*, y un filtro anaerobio. Los Jacintos cosechados serán compostados para ser utilizado en un guadual u otro cultivo y el efluente del filtro se utilizara para riego. La producción retorna a la vivienda para ser comercializada. La figura 6 muestra el sistema.

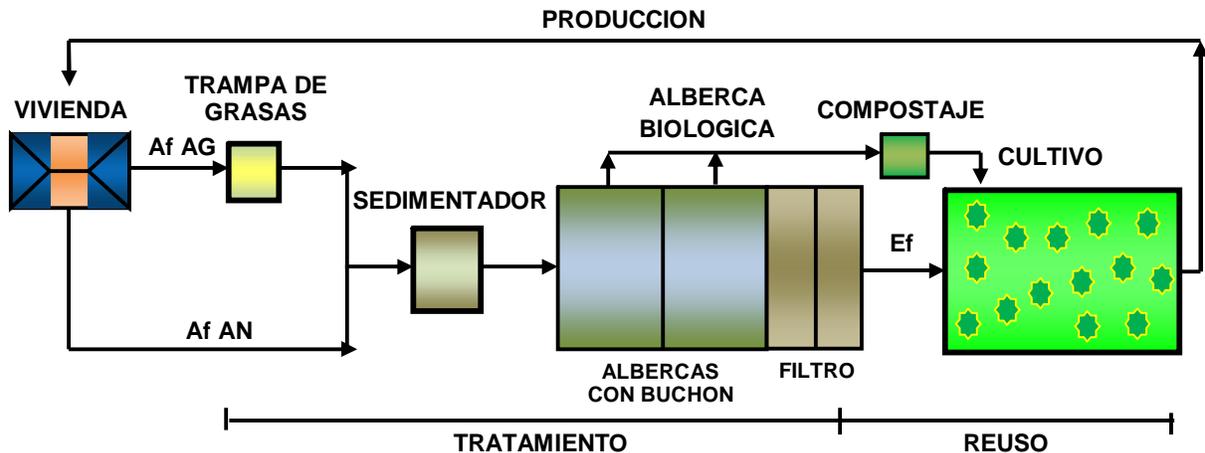


Fig.6. Sistema integrado con Alberca Biológica.

Las Eficiencias teóricas de remoción de contaminantes del sistema, pueden considerarse altas, están alrededor del 95% en DBO, 98% en SS, 92% en G y A, 85% en N, 54% en P y 99% en CF.

### 3.2.3 Sistema con Tanque Séptico de Acción Múltiple (TSAM).

Contempla para el tratamiento preliminar una trampa de grasas, y un Tanque Séptico de Acción Múltiple, conformado por un sedimentador el cual es el tratamiento primario, un digestor y un filtro anaerobio como tratamiento secundario. Los lodos extraídos del sedimentador van a compostaje para ser utilizados como abono en el guadual u otro cultivo; y el efluente como agua para riego. La producción va a la vivienda para ser comercializada. La figura 7 muestra el sistema.

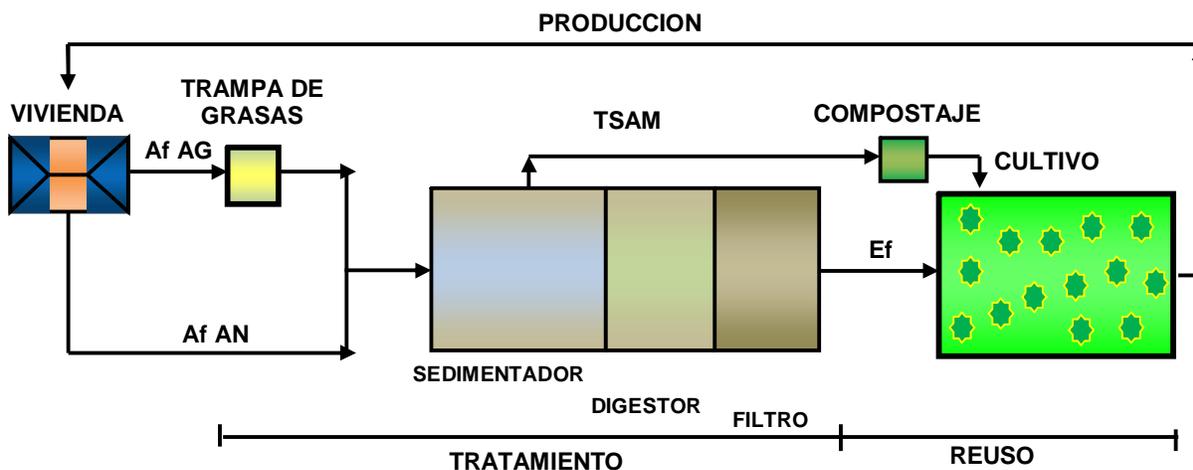


Fig. 7. Sistema integrado con Tanque Séptico de Acción Múltiple.

Las Eficiencias teóricas de remoción de contaminantes del sistema, pueden considerarse altas, están alrededor del 80% en DBO, 94% en SS, 92% en G y A, 62% en N, 58% en P y 99% en CF

## 4. Conclusiones

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles, son sistemas de bajo costo, fácil operación y mantenimiento; y pueden ser construidos y operados por los mismos habitantes de la zona rural.

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domesticas, reducen significativamente la contaminación de ríos y quebradas. Además minimizan los riesgos sobre la salud de los habitantes del sector rural, mejorando su calidad de vida y el entorno.

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles son concebidos como de fácil construcción, operación y mantenimiento; sin embargo para que cumplan los objetivos para los que se diseñan y construyen, se requiere realizar las actividades de operación y mantenimiento necesarias que aseguren mantener su eficiencia.

Los prototipos de unidades propuestos como tratamiento secundario en este proyecto: Humedales, Alberca Biológica y TSAM, pueden ser construidos en el sector rural, sustentados en sus eficiencias, bajos costos y fácil construcción, operación y mantenimiento. En caso de requerir aumentar eficiencias se pueden complementar con otras unidades.

El tema de los sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el sector rural, merece ser objeto de estudio e investigación, por su alto impacto en el medio ambiente y la calidad de vida de la gente.

## **5. Bibliografía**

CAICEDO, J. R., Lagunas de lenteja de agua en combinación con reactores anaeróbicos y estanques piscícolas: una alternativa para el tratamiento sostenible de aguas residuales. Universidad del Valle. Presentado en el curso internacional de sistemas integrados sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. Cali, 2001.

GLAS Cevallos, C. C., Evaluación de Factores Físicos, Químicos y Biológicos en el Desempeño de Reactores Duckweed, con y sin Pretratamiento Anaerobio en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

MEDINA P. A., Manejo de dos residuos de la explotación Porcina en la Institución Educativa El Tejar municipio de Timaná Huila. Diseño de una alberca biológica. Tesis. Universidad Surcolombiana. Neiva, 2007.

OTERO, L. A.; MARÍN, M. F. Bibliografía Agua Residual, Centro de Documentación – INSTITUTO CINARA, Evaluación de la Eficiencia de Remoción de Nutrientes y Coliformes Fecales de un Humedal de Flujo Subsuperficial con Papiro, en el Post-Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Cali, 2001.

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

TCHOBANOGLOUS, G. CRITES, R. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 1, 2 y 3. Editora Mc. Graw Hill, Bogotá. 2000.

THURNHOFER. M., GAUSS. M., CÁCERES. V., FONG. N., Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe (WSP-LAC). Honduras, 2007

VALENCIA G. E. OLAYA M. M., Generalidades sobre Saneamiento rural, Universidad Surcolombiana, Programa Ingeniería Agrícola. Neiva, 1997.