

**DISEÑO DE ALBERCAS BIOLÓGICAS Y FILTROS BIOLÓGICOS COMO
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
INSTITUCIÓN EDUCATIVA GUACIRCO. NEIVA-HUILA.**

LILIANA FERRO ALMARIO

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2008**

**DISEÑO DE ALBERCAS BIOLÓGICAS Y FILTROS BIOLÓGICOS COMO
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
INSTITUCIÓN EDUCATIVA GUACIRCO. NEIVA-HUILA**

LILIANA FERRO ALMARIO

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
2008**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Neiva, Noviembre 2008

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre a mi lado, por ser mi guía y darme la oportunidad de alcanzar esta meta tan importante para mi vida.

A mis padres, Álvaro Ferro y Nelcy Almario, por ser las personas más importante en mi formación como persona y en mi formación profesional, por su esfuerzo y colaboración, por confiar en mí y prestarme su apoyo incondicional.

A mis abuelos Omar Almario y Elvia Perdomo, quienes estuvieron pendientes de mí en todo el proceso de formación profesional.

A mi tía Luz Marina Almario, por sus consejos.

A los maestros del programa de Ingeniería Agrícola, quienes me aportaron su conocimiento y gracias a ellos logré conseguir una meta mas en mi vida.

Liliana Ferro Almario

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

Al Ingeniero Agrícola EDUARDO VALENCIA GRANADA, Director del Proyecto. Profesor del Área de Construcciones Rurales del Programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana, por la orientación y valioso apoyo intelectual prestado.

Al Profesor CARLOS EDUARDO AGUIRRE, Rector de la Institución Educativa Guacirco, por permitirme desarrollar mi proyecto de grado en su Institución.

A la cooperativa Creer en lo Nuestro, especialmente a la comisión de Topografía, por su apoyo y valiosa colaboración.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera, mediante su ayuda y colaboración hicieron posible que este proyecto se llevara a cabo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	14
1. MARCO TEORICO	15
1.1 PLANTAS ACUÁTICAS	15
1.1.1 Clasificación.	15
1.3.2 Mecanismos de depuración de aguas residuales por las macrófitas.	16
1.3.3 Jacinto de agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>)	16
1.3.4 Lenteja de agua (<i>Lemna</i>)	17
1.3.5 Papiro (<i>Cyperus Papyrus</i>)	18
1.2 ALBERCAS BIOLÓGICAS	18
1.3 FILTROS BIOLÓGICOS	19
1.4 ANTECEDENTES	20
1.4.1 Antecedentes sobre Tratamiento de Aguas Residuales con macrófitas	20
1.4.2 Antecedentes sobre Albercas Biológicas	22
1.4.3 Antecedentes sobre Filtros Biológicos	23
2. METODOLOGIA	24
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD	24
2.1.1 Ubicación	24
2.1.2 Climatología	25
2.1.3 Hidrografía	25

2.1.4	La Institución	25
2.1.5	Economía De La Comunidad	25
2.1.6	Servicios	26
2.2	TRABAJO DE CAMPO	26
2.3	TRABAJO DE OFICINA	26
2.3.1	Revisión de Literatura	26
2.4	DISEÑO	26
3.	RESULTADOS Y DISCUSION	28
3.1	DATOS BASICOS	28
3.1.1	Características de las aguas residuales	28
3.1.2	Población	28
3.1.3	Caudal	29
3.2	DISEÑO CONCEPTUAL	30
3.2.1	Propuesta de manejo de las aguas residuales	30
3.2.2	Diagrama de niveles de tratamientos del sistema	30
3.2.3	Diagrama de unidades del sistema	31
3.2.4	Diagrama de procesos	32
3.2.5	Esquema general del sistema	32
3.2.6	Diagrama de subproductos	33
3.2.7	Remociones teóricas del sistema	33
3.2.8	Eficiencia teórica del sistema	34
3.3	DISEÑO FISICO	34

3.3.1	Tratamiento preliminar: Rejilla y Desarenador	35
3.3.2	Tratamiento primario: Albercas Biológicas y Escalera de Oxigenación	37
3.3.3	Tratamiento secundario: Albercas Biológicas	39
3.3.4	Tratamiento Terciario: Filtros Biológicos	40
3.3.5	Lecho de secado de lodos	42
3.4	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	45
3.5	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	47
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFIA	50
	ANEXOS	52

LISTA DE ABREVIATURAS

Af (Af ₁ , Af ₂)	= Afluente
Ef	= Efluente
Q _{AR}	= Caudal de agua residual
L (L ₁ , L ₂)	= Largo
bl	= Borde libre
h	= Profundidad
a (a ₁ , a ₂ ,)	= Ancho
b	= Base
V	= Volumen de agua residual.
TRH	= Tiempo de Retención Hidráulica
As	= Área superficial
V	= Volumen
V	= Velocidad
V _H	= Velocidad Horizontal
V _s	= Velocidad de sedimentación
V _f	= Velocidad de filtración
PTAR	= Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
DBO	= Demanda Bioquímica de Oxígeno
SS	= Sólidos Suspendidos
CF	= Coliformes Fecales
N	= Nitrógeno
P	= Fosforo
AR	= Aguas Residuales
m.s.n.m	= Metros sobre el nivel del mar
mm	= Milímetros
L	= Litros
NaCl	= Cloruro de sodio

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Remoción de algunos contaminantes por macrófitas flotantes	16
Tabla 2. Caracterización de la Aguas Residuales.	28
Tabla 3. Población de la Instituto Educativo Guacirco	28
Tabla 4. Consumo de agua per cápita y por día	29
Tabla 5. Remociones teóricas del sistema	34
Tabla 6. Eficiencias teóricas de remociones del sistema.	34
Tabla 7. Características de la rejilla	36
Tabla 8. Dimensiones de las Albercas Biológicas 1 y 2	37
Tabla 9. Tiempo de Retención Hidráulica (Tratamiento Primario)	38
Tabla 10. Dimensiones de las albercas biológicas 3, 4 y 5	39
Tabla 11. Tiempo de Retención Hidráulica (Tratamiento Secundario)	40
Tabla 12. Dimensiones de uno de los filtros biológicos	41
Tabla 13. Dimensiones del lecho de Secado de lodos	43
Tabla 14. Dimensionamiento de las Unidades de la Alberca Biológica.	44
Tabla 15. Tiempos de Retención Hidráulica por tratamiento.	45
Tabla 16. Manual de Operación	47
Tabla 16. Manual de Mantenimiento	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág
	.
Figura 1. Jacinto de agua	16
Figura 2. Lenteja de agua	17
Figura 3. Papiro	18
Figura 4. Alberca biológica	18
Figura 5. Sección longitudinal de un filtro biológico	19
Figura 6. Localización del proyecto	24
Figura 7. Propuesta general de manejo de las aguas residuales	30
Figura 8. Niveles de tratamientos del sistema	31
Figura 9. Unidades del sistema	31
Figura 10. Procesos del sistema	32
Figura 11. Esquema general del sistema	33
Figura 12. Disposición de subproductos del sistema	33
Figura 13. Vista en planta y sección transversal del canal	36
Figura 14. Dimensiones del desarenador	37
Figura 15. Vista en planta y sección transversal de la alberca biológica	38
Figura 16. Vista en planta y sección longitudinal de las escaleras de oxigenación	39
Figura 17. Vista en planta y sección longitudinal del filtro biológico	41
Figura 18. Vista en planta y sección longitudinal del lecho de secado de lodos	43
Figura 19. Vista en planta y perfil del flujo del agua residual en el sistema	46

LISTA DE PLANOS

Plano 1. Ubicación del Sistema en la Institución Educativa

Plano 2. Planta- Perfil del Sistema

Plano 3. Detalle de los Tratamientos del Sistema

RESUMEN

Para la Institución Educativa Guacirco (Neiva Huila) con un población académica de 240 personas, se diseño una PTAR que consta de un tratamiento preliminar conformado por una rejilla y un desarenador, un tratamiento primario con dos Albercas biológicas sembradas con buchón de agua y unas escaleras de oxigenación, un tratamiento secundario con tres albercas biológicas, dos de ellas con lenteja de agua y una con buchón de agua, y un tratamiento terciario que consta de cuatro filtros biológicos con papiro. La eficiencia teórica de remoción del sistema, dio como resultado 91% de DBO, 88% de SS, 99.99 % de CF, 73% de N y 64% P, las cuales pueden considerarse altas. La importancia del proyecto radica en que la depuración de las aguas residuales se realiza mediante un sistema no convencional, con plantas acuáticas, las cuales además armonizan con el entorno mejorando el aspecto visual de la Institución.

Palabras claves: Aguas residuales, Alberca Biológica, Filtros Biológicos

ABSTRACT

A residual water treatment plant was designed to Guacirco Educational Institution with an academic population of two hundred and forty people (240).

The Plant consists of a grating and a sand cleaner as a preliminary treatment; two biological tanks sown in Jacinto of water and an oxygenation ladder as a primary treatment; three biological tanks, two of them sown in lenteja of water and one in jacinto of water as a secondary treatment and four biological Papiro filters as a Third treatment.

The theoretic efficiency of the system got as a result, 91% of biochemical oxygen demand, 88% of holden solid, 99.99% of fecal colliforms, 73% Nitrogen, which can be considered high.

The project importance sets on that the water depuration is made using a non-conventional system, with aquatic plants, which harmonize with the local environment improving the usual aspect of the institution.

Key Words: Residual water, Biological Tanks, Biological Filter.

INTRODUCCION

En Colombia y específicamente en el departamento del Huila las aguas residuales generalmente son descargadas sin ningún tratamiento a las fuentes, generando problemas de contaminación ambiental y salud pública.

La Institución Educativa de Guacirco (Neiva-Huila) cuenta actualmente con dos baterías sanitarias y un tanque séptico para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de estas baterías, las cuales son insuficientes para la población de estudiantes existente. Para dar solución al problema planteado, se están construyendo 10 baterías sanitarias que descargaran las aguas a un sistema de tratamiento que se debe diseñar.

Son múltiples las soluciones tecnológicas que se pueden implementar para el tratamiento de las aguas residuales para pequeños caudales. La tendencia actual para estos casos es utilizar sistemas no convencionales, de bajo costo, eficientes en la remoción de contaminantes, naturales y de fácil operación y mantenimiento.

Las albercas biológicas son un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizado para el tratamiento de pequeños caudales, generalmente de tipo doméstico o de las explotaciones pecuarias; consiste en unos tanques donde se siembran plantas acuáticas que son las que realizan el tratamiento.

Este sistema se ha implementado en Colombia en el sector rural; se conocen experiencias en el Líbano (Tolima) y en el Departamento del Huila en la zona sur en los municipios de Pitalito y Palestina.

Los filtros biológicos, son otro sistema no convencional para el tratamiento de aguas residuales, consistente en un humedal artificial sembrado con plantas de pantano en la superficie del lecho filtrante.

Este proyecto presenta una propuesta de diseño, para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las baterías sanitarias de la Institución Educativa Guacirco que contempla Albercas biológicas complementadas con filtros biológicos.

Para cumplir con el objetivo de este proyecto, se espera que entidades de carácter gubernamental, presten apoyo para la construcción del sistema, dadas las bondades de carácter ambiental y social que este conlleva tanto para la Institución como para la comunidad.

1. MARCO TEORICO

1.1 PLANTAS ACUATICAS

Las plantas acuáticas, llamadas también macrófitas, están representadas por todo aquel tipo de vegetación que crece en la zona litoral de lagos, embalses y ríos; ya sea en zona de interface agua- tierra, sobre la superficie del agua o totalmente sumergida. (Roldan, 1992)

Estas plantas viven flotando sobre las fuentes de agua y constituyen formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas. Presentan adaptaciones a este tipo de vida tales como: cutícula fina, estomas no funcionales, estructuras poco lignificadas. (Silvana Arreghini)

1.1.1 Clasificación.

Se han reportado aproximadamente 42 familias de dicotiledóneas acuáticas, 30 familias de monocotiledóneas, 6 familias de pteridofitas y 17 familias entre las briofitas. (Roldan, 1992).

De acuerdo con el hábitat se agrupan así:

Plantas flotantes. Son aquellas cuyas hojas se mantienen sobre la superficie del agua y sus raíces pueden estar o no adheridas al fondo. (Roldan 1992)

Entre ellas se tienen el “buchón de agua” (*Eichhornia crassipes*), “lechuga de agua” (*Pistia stratiotes*), “helecho de agua” (*Salvinia rotundifolia*), “victoria regia” (*Victoria amazonica*), cuatro géneros de “lenteja o duckweed” (*Spirodela*, *Lemna*, *Wolffiella*, *Wolffia*). (Pedraza ,1993).

Plantas sumergidas. Son las que completan todo su ciclo dentro del agua, pero sus flores pueden salir a la superficie. Entre ellas se tienen la “Elodea de Florida” (*Hydrilla verticillata*), la “elodea del brasil” (*Helodea densa*), “malezas de agua” (*Potamogeton pectinatus*, *P. foliosus*, *P. crispus*, *p. americanus*), “náyades o najas” (*Naja guadalupensis*, *N. minor*) y algas macroscópicas de los géneros *Chara* y *Nitella*. (Roldan, 1992).

Plantas emergentes. Crecen firmemente en el fondo de áreas poco profundas y la mayor parte de sus tallos y sus hojas viven por encima del agua; son generalmente rígidas y no dependen del agua para su soporte. Los géneros más conocidos son *Typha* sp, *Poligonum* sp, *Luwigia*, *Scirpus validus* “(Junco de tallo blando)”, *Juncos effesus* (“enea o junco blando”). (Roldan, 1992).

1.1.2 Mecanismos de depuración de aguas residuales por las macrófitas

Aunque las plantas acuáticas realizan normalmente tratamientos terciarios del agua que reciben, pueden incluso llegar a realizar tratamientos secundarios. Las propias plantas suministran el oxígeno al proceso de depuración que se realiza en el sistema radicular. Las plantas degradan, absorben y asimilan en sus tejidos los contaminantes, pero también proporcionan una extensa superficie donde se posibilita el crecimiento bacteriano y se filtran los elementos sólidos en suspensión. (Informe Layman. 2005).

En los sistemas de lagunas con macrófitas, aparte de cualquier proceso físico de remoción que pueda ocurrir (especialmente sedimentación), las plantas acuáticas sirven como sustrato que ayudan a mantener la actividad microbiana, que disminuye la DBO y por otra parte, la planta toma del medio nitrógeno, fósforo, y potasio. La función básica de las macrófitas en este último mecanismo es asimilar, concentrar y almacenar nutrientes en un corto periodo de tiempo de forma que su cosecha posterior resulta en una remoción permanente de estos contaminantes del sistema (Domínguez, 1998).

En la tabla 1, se resume el nivel de remoción de nutrientes y de carga orgánica de las macrófitas flotantes más importantes para el proceso de descontaminación de una afluyente con un tiempo de retención de diez (10) días.

Tabla 1. Remoción de algunos contaminantes por macrófitas flotantes

Índices	Agua Influyente (mg/l)	Aguas Efluentes (mg/l)		
		Jacinto de agua	lemna	Azolla
DQO (%R)	461	281(39)	323(30)	258(44)
DBO (%R)	51	19(69)	30(41)	16(67)
NT (%R)	42	14(66)	21(50)	22(47)
NH3 (%R)	17	0.9 (94)	2.2(87)	0.1(99)
PT (%R)	64	3.7(42)	3.3(48)	3.2(50)

Fuente: Domínguez et al. 1996

1.1.3 Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*)



Figura 1. Jacinto de Agua

El Jacinto acuático es una macrófita emergente de la familia pontederiaceae, de flotación libre, la parte aérea vegetativa forma una especie de roseta que sobresale parcialmente sobre la lámina de agua; generalmente alcanza unos 50 cm. (ver figura 1).

La planta crece muy rápido especialmente en aguas residuales. Las plantas individuales oscilan entre 50.8 cm y 119.38 cm desde la punta de sus flores color lavanda hasta el extremo opuesto de sus raíces; es una de las especies acuáticas más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación. (Curt Fernández de la Mora, cp 7).

En la parte sumergida de la planta se sitúan las raíces, que son de aspecto plumoso, muy densas, y de color negro-púrpura por los pigmentos que contienen, y que sirven de protección frente a herbívoros. Las raíces son adventicias, fibrosas, y pueden alcanzar hasta 3 m de longitud. Además, en la parte sumergida de la planta se desarrollan estolones, de hasta 30 cm. de longitud, que sirven para la propagación vegetativa de la especie. (Curt Fernández de la Mora, cp 7).

El uso de Jacinto de agua en estanques donde se ha vertido aguas residuales de tipo domestico o pecuario permiten extraer los contaminantes y transformarlos metabólicamente y almacenarlos a través se su extenso raigambre (Roldan, 1992). Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Poseen un sistema de raíces, que pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas. En general, estas plantas son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados (como cadmio, mercurio, arsénico). (Novotny and Olem, 1994).

1.1.4 Lenteja de agua (*Lemna sp.*)



Figura 2. Lenteja de Agua

Son plantas acuáticas libres, que viven flotantes, sin anclarse en los lechos fangosos, turbosos o arenosos de lagos y otras zonas húmedas, estancadas o fluviales de curso muy lento. (Ver figura 2). Están conformadas por una diminuta lámina verdosa o verde amarillenta, cuya parte inferior, en contacto con el agua lleva una o varias raicillas diminutas, filiformes, simplificadas en auténticos rizoides que llevan una cubierta protectora en su extremo.

Son vegetales perennes, transformados en organismos muy reducidos cuyas primitivas raicillas, bastante cortas, se internan en el agua que sobrenada la parte verde, obteniendo las sustancias minerales y orgánicas requeridas para su sustento. La falsa hoja aparente de las Lemnáceas es en realidad una especie de

mezcla transformada, de tallo reducido a su mínima expresión, o inexistente, que tiene forma ovalada lenticular y bastante aplanada. (Crites, y Tchobanoglous 2000).

Las lentejas de Agua son una familia de 20 especies de flores unisexuales que se reproducen a un ritmo muy acelerado y capaz de absorber todo tipo de nutrientes. La lenteja de agua, viene siendo estudiada desde hace algunos años; tienen excelentes propiedades que la hacen expectante como: su alto índice de reproducción por clonación, su estructura bastante simple, su potencial como agente biológico en el tratamiento de aguas servidas y estancadas y como subproducto de este proceso, su utilización como alimento para alimentar peces forrajeros, aves de corral y cerdos. (Crites, y Tchobanoglous, 2000).

1.1.5 Papiro (*Cyperus papyrus*)



Figura 3. Papiro

Es un especie botánica de junco palustre, del género *Cyperus*, de la familia de las ciperáceas. Está constituido por un tronco leñoso de sección triangular que en su extremo superior porta hojas dispuestas en estrella (Ver figura 3).

Los tallos pueden alcanzar de tres a cinco metros de longitud, y hasta seis metros a su ápice. Vive sobre terrenos arenosos y colmados de humedad, con abundante insolación durante todo el año, pudiendo

tener el pie de su tronco totalmente sumergido en el agua. Sus hojas son de color verde jade, largas, delgadas, firmes, con espigas marrones, de uno a tres cm de largo. Tiene largos troncos granizos que llevan en el ápice una gran inflorescencia liviana y plumosa en abanico. Tolera T° anuales de 20-33 °C y pH entre 6 y 8,5.

http://es.wikipedia.org/wiki/Cyperus_papyrus

1.2 ALBERCAS BIOLÓGICAS



Figura 4. Albercas Biológicas

Es un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizado para el tratamiento de pequeños caudales, generalmente de tipo doméstico o de las explotaciones pecuarias; consiste en un tanque donde se siembran plantas acuáticas que son las que realizan el tratamiento y se complementa con un filtro (ver figura 4). (Medina, 2007)

Este sistema considerado no convencional para el tratamiento de aguas residuales domésticas del sector rural, no ha sido diseñado con parámetros establecidos, y muy por el contrario el diseño ha correspondido a formas experimentales de quienes lo han construido. (Pinzon y Vélez, 2006).

1.3 FILTROS BIOLÓGICOS

El filtro biológico es un humedal artificial de flujo subterráneo, sembrado con plantas de pantano en la superficie del lecho filtrante, por donde las aguas residuales pretratadas fluyen en forma horizontal. Este sistema consta de pilas rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, con un relleno de material grueso (5 a 10 cm de diámetro) en las zonas de distribución (entrada) y recolección (salida). La fracción principal del lecho filtrante ubicada entre la zona de material grueso es homogénea y las fina, normalmente de 0,5 a 15 mm de diámetro (Ver figura 5). (Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe 2007)

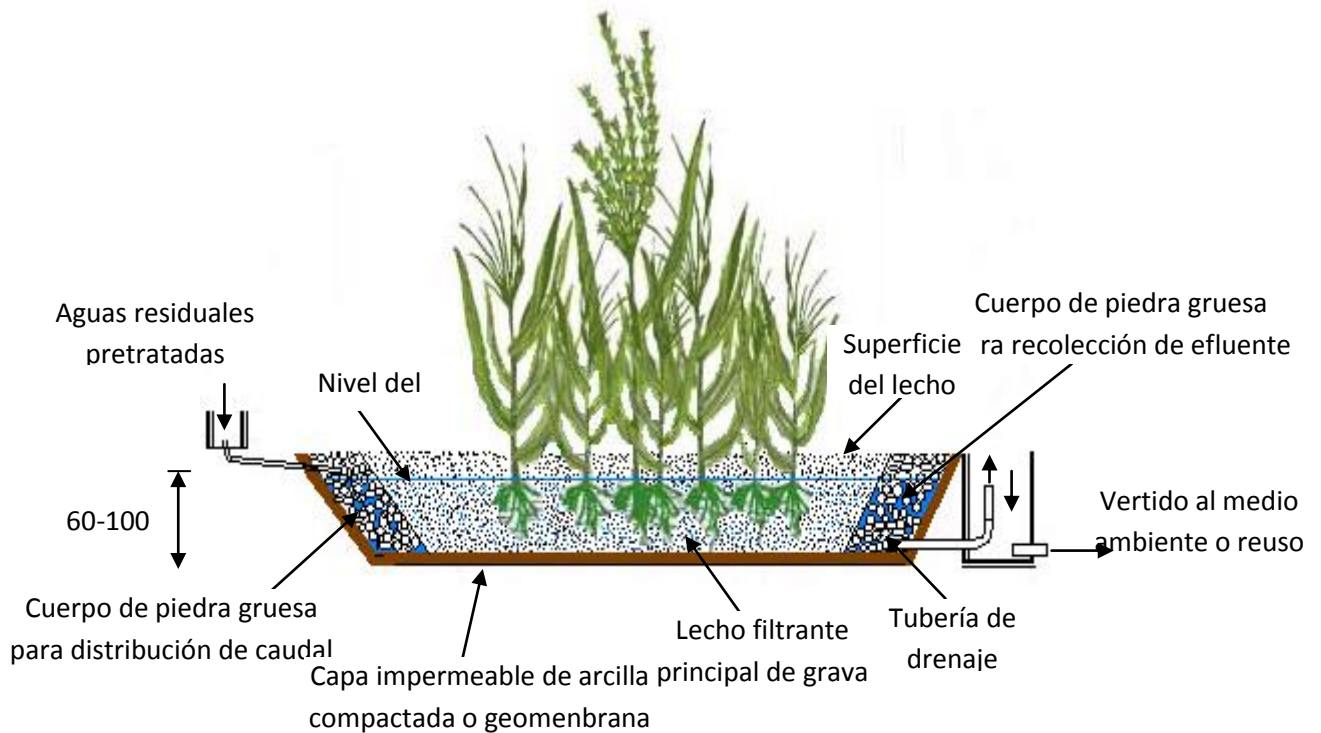


Figura 5. Sección longitudinal de un filtro biológico

Durante el paso a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos tales como la filtración y la

sedimentación. (Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe, 2007)

Uno de los componentes principales de los filtros biológicos es el Lecho Filtrante, cuyas funciones principales son eliminar los sólidos que contienen las aguas pretratadas y proporcionar la superficie donde se desarrollan los microorganismos que se encargan de degradar aeróbica y anaeróticamente la materia contaminante, además de construir el medio utilizado por las raíces de las plantas para su fijación y desarrollo. (Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe, 2007)

Otro de los componentes de los filtros biológicos son las plantas cuyas raíces, ayudan a incrementar los efectos físicos tales como la filtración y el desarrollo de los microorganismos en su área superficial. La introducción de oxígeno en el lecho filtrante permite la formación de una población microbiana aeróbica en zonas cercanas a las raíces de las plantas. (Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe, 2007)

El papel principal de los microorganismos es degradar aeróticamente y anaeróticamente la materia orgánica contaminante contenida en las aguas residuales, con lo cual la putrescibilidad en el filtro biológico se reduce significativamente. Los microorganismos también permiten la remoción de nitrógeno mediante el mecanismo de Nitrificación - desnitrificación. (Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe 2007)

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes sobre Tratamiento de Aguas Residuales con macrófitas

En Envigado - Antioquia, la empresa industrial de aluminio Limusa posee una de las mejores plantas de tratamiento con plantas acuáticas del país. Esta empresa desde 1977 depura sus aguas industriales con Jacintos de agua, son zanjas en formas de zigzag con un extensión de 1 Ha, teniendo resultados de hasta el 90% en depuración de aluminio y mercurio, con una calidad esperada de la DBO y SS menores del 30%. Hppt. // www.LIMUSA.COM.CO

En la granja El Vergel en el Dovia, (Valle) se tratan las AR con excretas porcinas con un sistema de tratamiento que posee tres canales con "jacinto de agua" (*Eichhornia crassipes*) y un estanque de 28 m² sembrado con "Lemna" (*Lemna sp.*), se obtuvo una remoción del 91% de la DBO y del 98% de los S.S y del total de los sólidos sedimentables. En el mismo lugar se trataron las aguas de lavado de 80 cerdas en gestación, con un biodigestor de 17 m² y complementado con

130 m² de “jacinto de agua” (*Eichhornia crassipes*), se logró una reducción de 97% de DBO, del 93,8% de los S.S y del 99,9% de los S.T en el tramo cultivado con la planta acuática. (Pedraza, 1996).

Caicedo, 1998 de la Universidad del Valle, planteó tratar agua residual domestica mediante un proyecto con piscinas de plantas acuáticas especialmente con lenteja de aguas (*Spirodela palyrhiza*). En el proyecto se encontró que la lenteja de agua asimila los nutrientes que se liberan en la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales domesticas, teniendo una gran capacidad de crecimiento y un contenido de proteína vegetal mayor que el de la soya.

En la hacienda Arizona, Municipio de Jamundí con 23°C de temperatura promedio, una altura de 900 msnm y una precipitación de 2.300 mm/año se realizó un ensayo utilizando tres plantas acuáticas: Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), Lechuguilla (*Pistia stratiotes*) y lenteja de agua (*Lemna, sp*). para purificar efluente proveniente de un biodigestor alimentado con excreta de ganado bovino. El buchón (*Erchornia crassipes*) es aparentemente más eficiente en el reciclaje de efluentes y puede ser posible que cumpla el mismo efecto si se reciclan aguas sucias durante un periodo similar al que se emplea para las tres plantas en conjunto. La Lenteja de agua no es igualmente efectiva que el buchón para aguas con demandas químicas de oxígeno mayores de 18000 mg/L pero probablemente realiza un buen trabajo de purificación debajo de estos niveles. (Pedraza, G. 1993)

En el Instituto Colombiano del Petróleo se ha estudiado a nivel de laboratorio, la utilización del Jacinto Acuático (*Eichhornia crassipes*) como sistema de tratamiento de las aguas con altos contenidos de cloruros procedentes de campos de producción de petróleo. Los resultados muestran porcentajes de remoción entre 20% y 29% a los 7 días y un máximo de 48% a los 14 días de 3 ensayos para soluciones con concentraciones controladas de NaCl. Los ensayos efectuados con aguas residuales de un campo de producción, presentan el 15% a los 7 días y el 37% a los 14 días, encontrándose en el mismo rango de soluciones de NaCl preparadas. También se estableció una concentración limite de 5000 mg/L de NaCl para la supervivencia del vegetal (Restrepo, 1992)

En la industria Pez fresco, ubicada a 20 km de la ciudad de Pereira (Colombia), donde existe el montaje de un sistema combinado de laguna de estabilización y laguna con Jacinto de agua para la depuración final de las aguas residuales procedentes del cultivo y procesamiento de la trucha para exportación; se realizó un estudio que consistió en la verificación y cuantificación en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes y sólidos en un agua residual piscícola. El Jacinto de agua fue utilizado como un sistema de tratamiento secundario. Los datos experimentales obtenidos fueron los siguientes, los efluentes provenientes del tratamiento de la laguna con jacinto presentaron una

reducción del 78% en la DBO, del 80% en la DQO, del 40% en los SST y del 64% en NTK. Las concentraciones efluentes en DBO y SST de la laguna con jacinto satisfacen los límites establecidos para la descarga de aguas residuales en cuerpos de agua en Colombia. (Domínguez AL, 2001).

El proyecto “Humedar I”, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional, consiste en la siembra de plantas macrofitas sobre medios de soporte plástico que interactúan eficientemente. Juncos, espadañas y carrizos son sembrados sobre los dispositivos plásticos, responsables de eliminar los contenidos tóxicos del agua. En Humedar I la efectividad del sistema es del 60% a 95%. (UN, 01-05-2005)

En la granja de la Universidad Surcolombiana en el municipio de Palermo Huila, se propone construir un sistema de plantas acuáticas experimental con jacinto de agua y lenteja de agua como postratamiento y tratamiento de aguas residuales domesticas. Se esperan remociones teóricas con Jacinto de agua como postratamiento el 60% de DBO, 40% de SS, 65% de N y 67% de P y como tratamiento el 63% de DBO, 40% de SS, 66% de N y 67% de P. Se espera obtener remociones con La lenteja de agua como postratamiento el 41% de DBO, 25% de SS, 50% de N y el 48% de P y como tratamiento se espera el 41% de DBO, 25% de SS, 50% de N y 48% de P.

1.4.2 Antecedentes sobre Albercas Biológicas

Las albercas biológicas se han implementado en Colombia en el sector rural, se conocen experiencias en el Líbano (Tolima) y en el Departamento del Huila en la zona sur en los municipios de Pitalito y Palestina. Fundamentalmente se ha utilizado para el tratamiento de aguas residuales domesticas, específicamente las aguas negras (de cocina y de baterías sanitarias). En el Líbano Tolima existe un proyecto instalado para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el sector rural, para el cual se construyó una alberca biológica de tamaño regular (4mx4mx1m); en Pitalito se han construido albercas biológicas de pequeño tamaño (2.5mx 0.8mx 0.4m) para el tratamiento de aguas residuales domésticas de fincas para una población promedio de 8 personas; en el sector rural del municipio de Palestina una alberca biológica trata las aguas residuales de una escuela con una población de 40 estudiantes y 2 docentes con dimensiones similares a las utilizadas en las fincas. (Pinzon y Vélez. 2006).

El sistema de albercas biológicas desarrollado en el Líbano Tolima, consiste en un tanque rectangular dividido en tres compartimentos de igual tamaño y en los cuales se ha sembrado buchón de agua como medio de tratamiento de las aguas residuales. (Pinzón y Vélez. 2006).

En el municipio de Palestina Huila se construyeron algunas albercas Biológicas, a nivel doméstico en la zona rural; sin embargo los resultados no fueron

satisfactorios ya que el cultivo de plantas acuáticas (buchón de agua) en las albercas no sobrevivió. (Pinzón y Vélez. 2006).

Un grupo de profesionales del SENA-Pitalito realizó un rediseño experimental que dió como resultado la creación de una nueva alberca biológica, consistente en un tanque dividido en dos (2) compartimentos complementado con un filtro también dividido en 2 compartimentos. En los dos compartimentos del tanque se sembró buchón de agua; así mismo, el diseño contempla que las aguas residuales negras lleguen a los compartimentos sembrados con buchón de agua y las aguas grises directamente al filtro. (Pinzón y Vélez. 2006).

En la institución educativa El Tejar del municipio de Timaná – Huila, se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de la explotación porcina que constó de dos albercas biológicas complementadas con un filtro y un canal con plantas acuáticas, este sistema arrojó unas remociones teóricas de 83% de DBO, 77% de SS, 99.999% de CF, 68% de N y 67% de P. (Medina 2007).

1.4.3 Antecedentes sobre Filtros Biológicos

En la comunidad San José Las Flores en El Salvador, se adoptó un sistema de tratamiento conformado por: pretratamiento (rejilla y desarenador), tanque imhoff y filtro biológico, logrando remociones de materia orgánica (DBO y DQO) y sólidos suspendidos de más del 90%, la remoción de coliformes fecales fue de dos a tres unidades logarítmicas. (Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe 2007)

La alta eficiencia en la remoción de contaminantes obtenida mediante el sistema de filtro biológico, su bajo costo de operación y mantenimiento, su aspecto agradable y el reducido impacto negativo respecto a olores y proliferación de vectores en las zonas aledañas, ha propiciado la aceptación de esta tecnología por los técnicos y los pobladores, quienes han constatado que incluso sus viviendas pueden estar ubicadas en las proximidades del sistema sin mayores consecuencias. (Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe 2007)

2. METODOLOGÍA

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD

2.1.1 Ubicación

La Institución Educativa Guacirco esta ubicada en la Vereda Guacirco de la Ciudad de Neiva, aproximadamente a 25 Km por la vía nacional que conduce a Bogotá. (Ver figura 6).

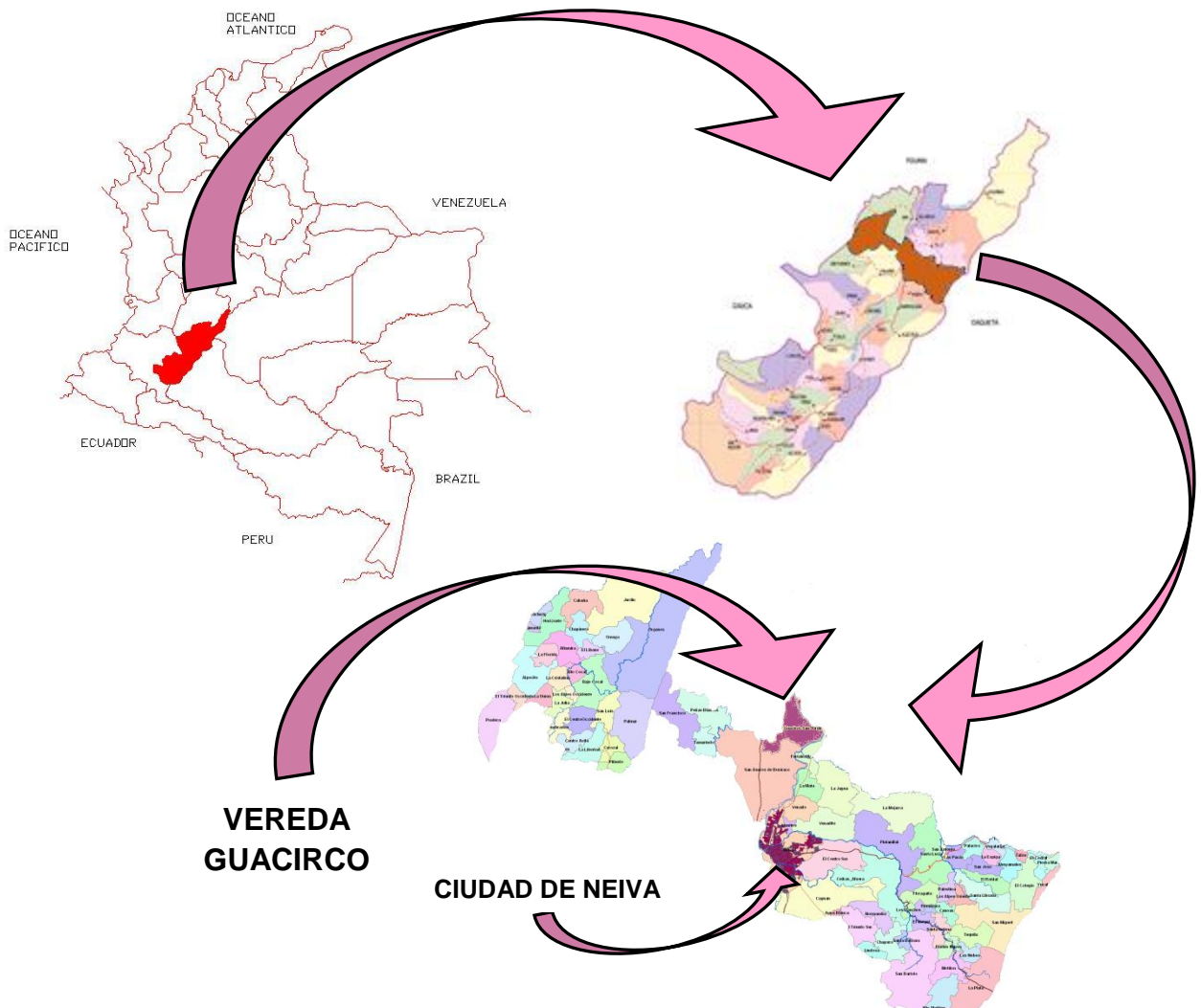


Figura 6. Localización del Proyecto

2.1.2 Climatología

El municipio del Neiva, se halla a una altura de 442 m.s.n.m, según los datos climatológicos del año 2006 de la estación meteorológica Benito Salas; la temperatura promedio es de 27.2°C, la Humedad relativa es de 71.9%, una precipitación promedio anual cercana a los 1000 mm con evaporación promedio anual de 2040 mm.

2.1.3 Hidrografía

El municipio de Neiva corresponde a la cuenca alta del río Magdalena y las subcuencas de los ríos Las Ceibas, El Oro, Fortalecillas, Baché y Aipe como afluentes principales, junto con una red de ríos y quebradas de menor incidencia. Uno de los principales afluentes de la vereda Guacirco es la Quebrada La Colorada que pasa a 3 Km de la localidad y la Quebrada La Arenosa a 4 Km.

2.1.4 La Institución

La institución educativa Guacirco consta de tres bloques de un nivel divididos en 8 salones, un baño, una bodega, un polideportivo, una caseta y una sala de profesores, con un área total de 1977 m². Es la única institución educativa de esta zona, cuenta con 11 profesores, 4 administrativos y 225 alumnos de básica secundaria y media en la jornada de la mañana, 90 alumnos de Básica Primaria en la jornada de la tarde y 4 profesores y 120 alumnos de Básica secundaria y media para adultos en la jornada nocturna.

2.1.5 Economía de la comunidad

La economía de esta zona depende básicamente de las explotaciones petrolíferas, las compañías que llegan a esta zona a realizar sus labores de exploración, perforación y producción, están en la obligación de contratar personal de la región para la realización de estas labores. Debido a que esta zona esta bajo la incidencia de dicha explotación, las labores agrícolas y pecuarias no son relevantes.

2.1.6 Servicios

La vereda Guacirco cuenta con energía eléctrica, con acueducto para el suministro de agua potable, no cuenta con alcantarillado para la recolección de aguas servidas. La Institución Educativa Guacirco cuenta con un tanque séptico para la recolección y tratamiento de las aguas residuales.

2.2 TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron varias visitas de campo a las instalaciones de la Institución Educativa Guacirco con el fin de obtener la información necesaria para el estudio y diseño del sistema de tratamiento.

Se realizó un levantamiento topográfico (planimetría y altimetría) de toda la institución educativa, se tomaron medidas específicas a la zona donde se propone la ubicación del sistema, se consultaron datos de población de estudiantes, profesores y administrativos de la institución, el calendario académico donde se establecen los periodos laborados y no laborados y se determinó la zona de descargue del agua después de ser tratada.

2.3 TRABAJO DE OFICINA

2.3.1 Revisión de literatura

Se revisaron documentos sobre diseño de sistemas de tratamiento no convencional para pequeños núcleos, relacionados con: Documentos referentes a sistemas de tratamiento de aguas residuales, Estudios relacionados con plantas acuáticas, Tesis de grado sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales, realizadas por la Universidad Surcolombiana, Páginas virtuales, Internet.

2.4 Diseño

Teniendo como base la información obtenida en las visitas realizadas a la Institución Educativa, se realizó un bosquejo del sistema en donde se definieron cada uno de los elementos y tratamientos realizando el diseño conceptual el cual contempla la propuesta general del manejo de las aguas residuales, un diagrama que muestra el tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario, el

diagrama de unidades del sistema, el diagrama de procesos, un diagrama general y un diagrama de subproductos. El diseño conceptual se realizó bajo el concepto de sistema integrado sostenible que contempla tratamiento, reuso y producción.

El volumen de las albercas biológicas, los filtros biológicos y el lecho de secado de lodos se diseñó teniendo en cuenta el espacio disponible de la zona donde se ubicará el sistema y posteriormente se calculó el tiempo de retención hidráulica para cada una de ellas por el método de la carga hidráulica volumétrica. Como documentos de referencia para el diseño físico se tuvo en cuenta el RAS 2000 y reportes de la literatura.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 DATOS BASICOS

3.1.1 Caracterización de las Aguas Residuales

Debido a que no se han realizado análisis de laboratorio para determinar las propiedades fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de las baterías sanitarias de la Institución Educativa Guacirco, se asume como un agua residual media. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Caracterización de la Aguas Residuales.

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	220
Sólidos Suspendidos (SS)	mg/L	220
Nitrógeno (N)	mg/L	40
Fosforo (P)	mg/L	8
Grasas	mg/L	100
Coliformes Fecales (CF)	n°/100 ml	10 ⁸

Fuente: Mckcalf and Eddy. 1998

3.1.2 Población.

La Tabla 3, muestra la Población de la Institución Educativa Guacirco por Jornada.

Tabla 3. Población Institución Educativa Guacirco

JORNADA	No. ESTUDIANTES	No. PROFESORES	No. ADMINISTRATIVOS	TOTAL
Mañana: Básica Secundaria y Media	225	11	4	240
Tarde: Básica Primaria	90	4	4	98
Noche: Básica Secundaria y Media (Adultos)	120	4	0	124
Total				462

Fuente: Ferro, 2008

Para el cálculo del Caudal de diseño de las aguas residuales se tiene en cuenta la población crítica que es 240 habitantes.

3.1.3 Caudal

Una persona utiliza en promedio un $Q = 250$ L/hab - día de agua en vivienda (ver tabla 4). Para los cálculos se tuvo en cuenta la parte correspondiente a baterías sanitarias y otros usos $Q = 60$ L/hab-día, por tratarse de una institución educativa.

Tabla 4. Consumo de agua percapita y por día

USOS DEL AGUA	CAUDAL (L)
Ducha	100
Descarga del Baño	50
Lavado de Ropa	30
Lavado de loza	27
Regando el jardín	18
lavado y cocinado de alimentos	15
Otros usos como beber y lavarse las manos	10

Fuente: www.explora.cl/otros/agua/consumo2.html

El caudal total de aguas residuales producida en al Institución Educativa Guacirco se calcula mediante la siguiente expresión.

$$Q_{AR} = Población * Dotación$$

Donde:

Q_{AR} = Caudal de Agua Residual

$$Q_{AR} = (60 \text{ L/hab-día} * 240 \text{ hab}) = 14400 \text{ L/día}$$

$$Q_{AR} = 14.40 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

3.2.1 Propuesta de manejo de las aguas residuales

La figura 7, muestra un esquema del manejo propuesto para las aguas residuales provenientes de las baterías sanitarias de la Institución Educativa Guacirco que comprende un tratamiento preliminar, Albercas Biológicas, escaleras de oxigenación y filtros biológicos.

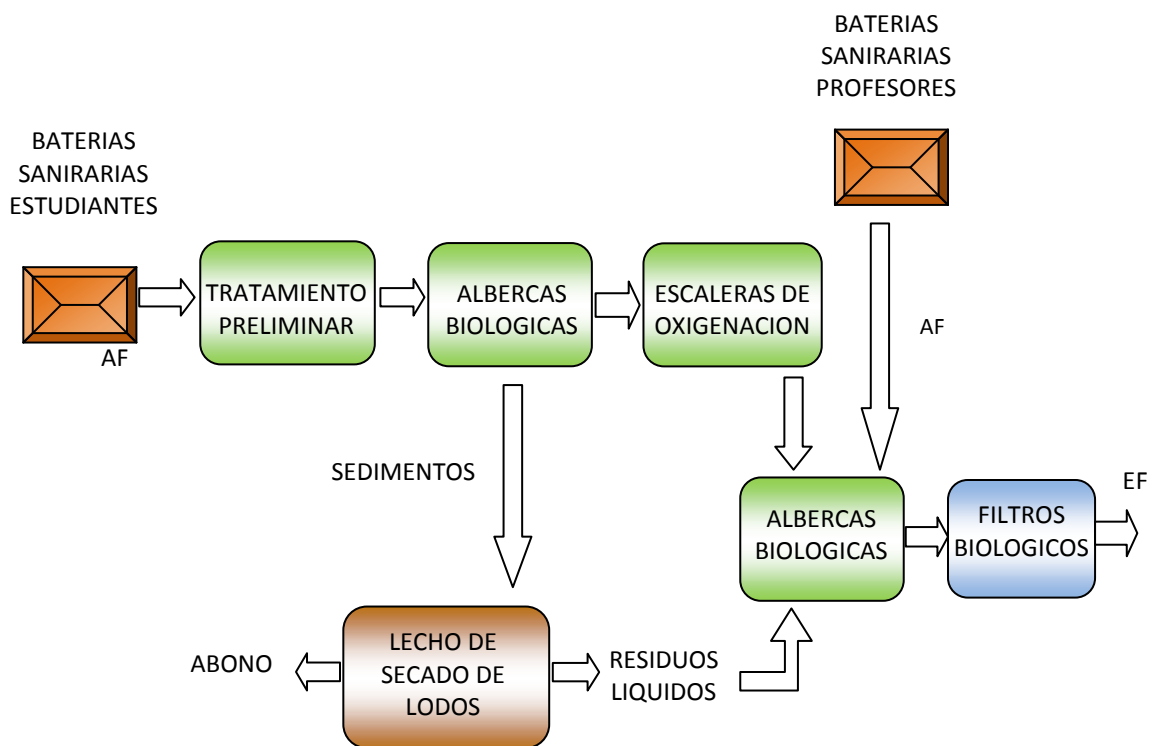


Figura 7. Propuesta general de manejo de las aguas residuales

3.2.2 Diagrama de niveles de tratamientos del sistema

La figura 8, muestra el esquema de los tratamientos que se llevan a cabo en el sistema, el cual consta de un tratamiento preliminar (rejilla y desarenador), un tratamiento primario (albercas biológicas con buchón de gua), un tratamiento

secundario (albercas biológicas con buchón y lenteja de agua) y un postratamiento o tratamiento terciario (filtros biológicos con papiro).

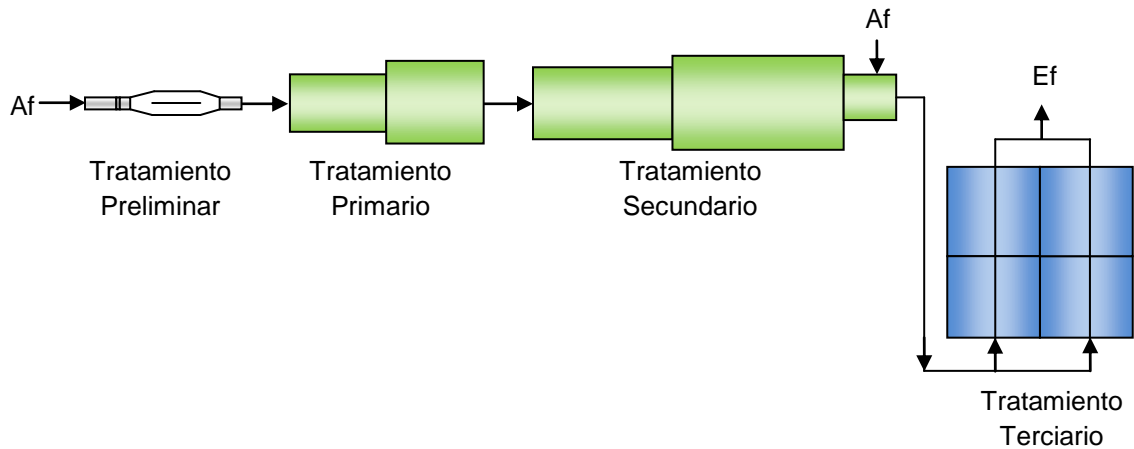


Figura 8. Niveles de Tratamientos del sistema

3.2.3 Diagrama de unidades del sistema

La figura 9, muestra el esquema de las unidades que conforman el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Institución Educativa Guacirco.

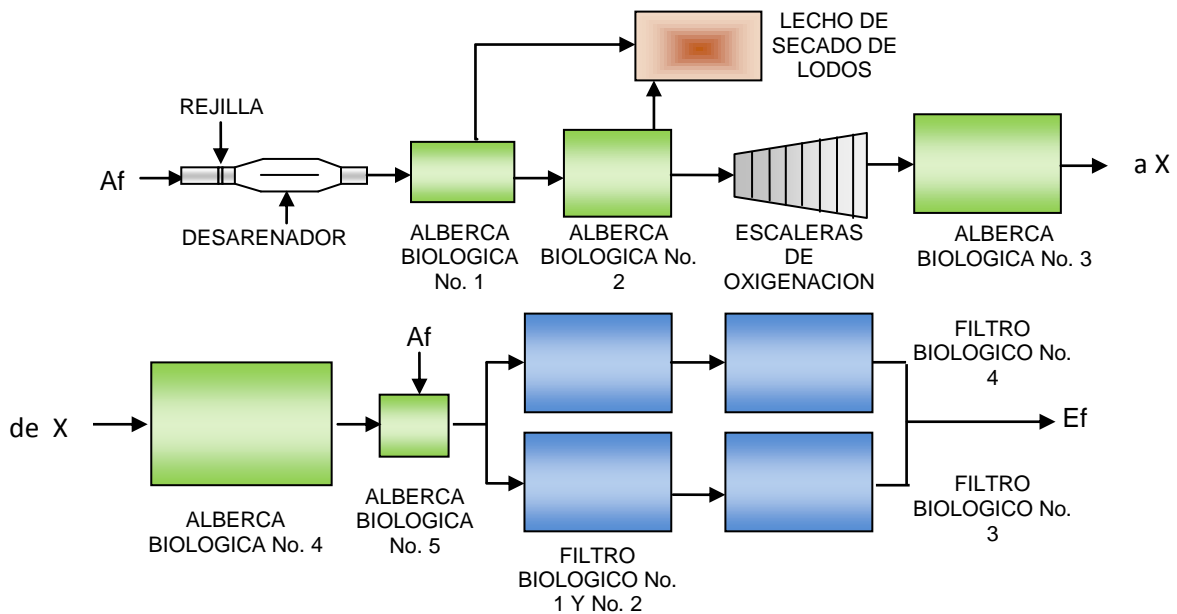


Figura 9. Unidades del sistema

3.2.4 Diagrama de procesos

La figura 10, muestra el esquema de procesos del sistema. En forma descendente se encuentran las unidades, el proceso principal que se da en cada unidad, luego el principal contaminante que se remueve y finalmente los contaminantes secundarios.

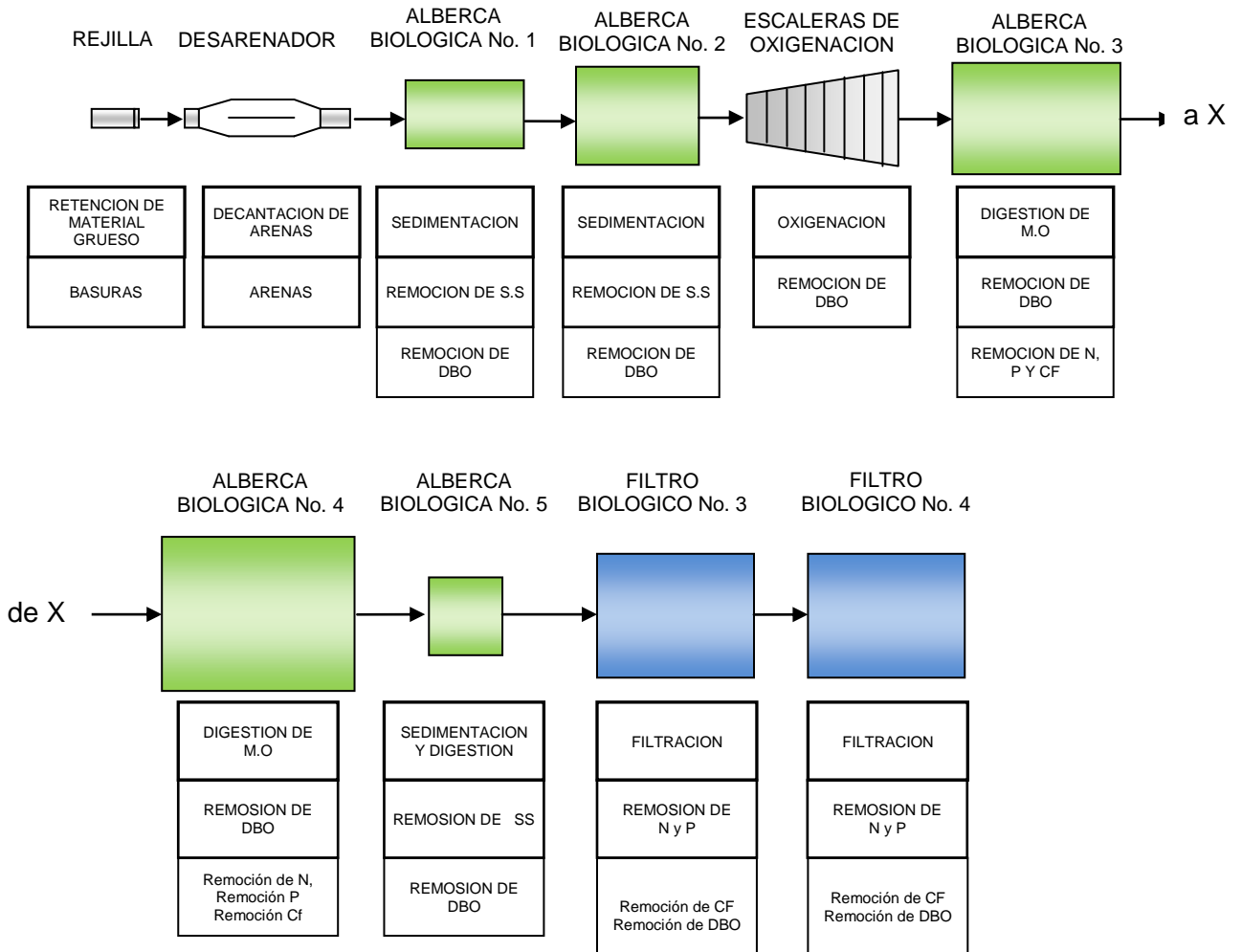


Figura 10. Procesos del sistema.

3.2.5 Esquema general del sistema

La figura 11, muestra la disposición de las unidades del sistema de tratamiento de las aguas residuales, el cual servirá de base para el diseño físico del sistema.

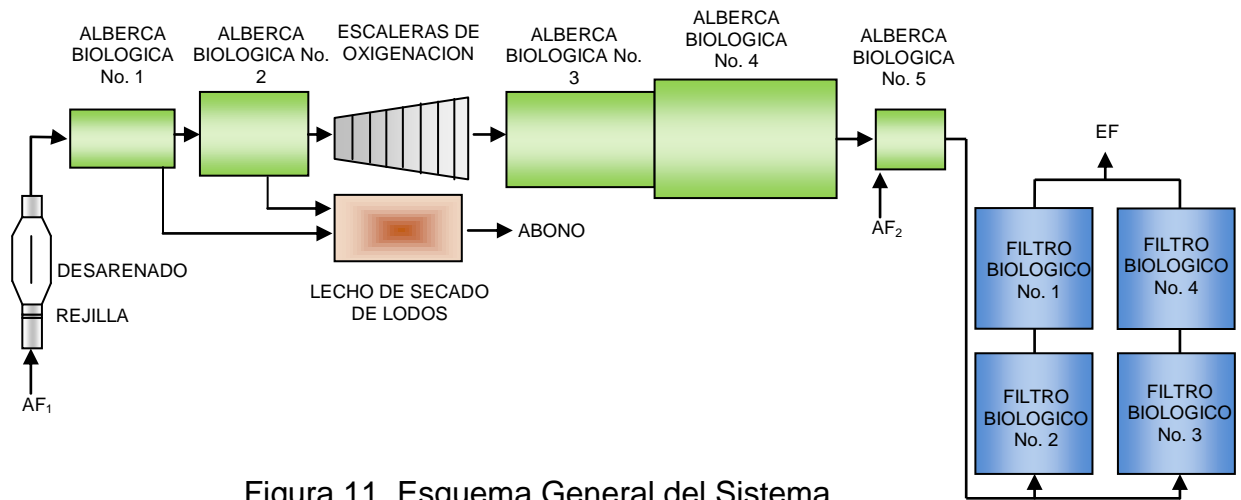


Figura 11, Esquema General del Sistema

3.2.6 Diagrama de subproductos

La figura 12, muestra el esquema de la disposición de los subproductos del sistema, de forma ascendente se muestran las unidades, seguidamente el producto que se deriva de cada una de ellas y la disposición que se le dá al producto.

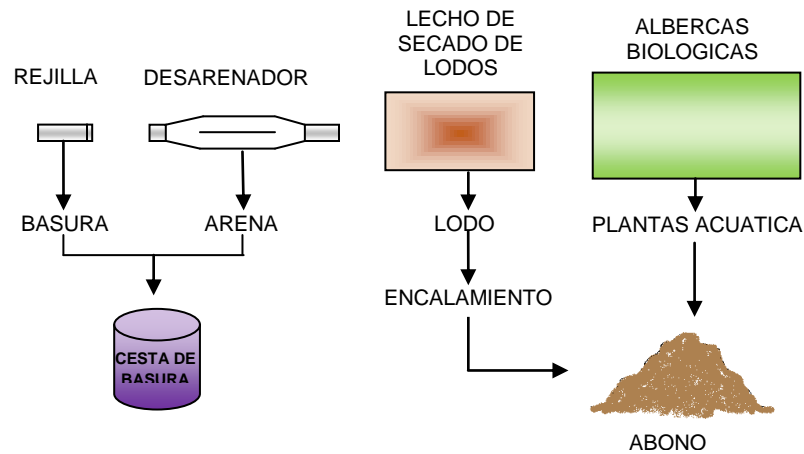


Figura 12. Disposición de Subproductos del sistema

3.2.7 Remociones teóricas del sistema

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

Tabla 5. Remociones teóricas del sistema

PARÁMETRO UNIDAD	DBO (mg/L)			SS (mg/L)			CF (UFC/100 ml)			N (mg/L)			P (mg/L)		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Alberca 1	220	20	176	220	50	110	10 ⁸	90	10 ⁷	40	5	32	8	5	7.6
Alberca 2	176	20	141	110	50	55	10 ⁷	90	10 ⁶	32	5	30	7.6	5	7.2
Escaleras	141	10	127	55	0	55	10 ⁶	0	10 ⁶	30	0	30	7.2	0	7.2
Alberca 3	127	40	76	55	10	50	10 ⁶	90	10 ⁵	30	5	29	7.2	5	6.8
Alberca 4	76	40	46	50	10	45	10 ⁵	90	10 ⁴	29	10	26	6.8	10	6.1
Alberca 5	46	20	37	45	30	32	10 ⁴	90	10 ³	26	5	26	6.1	5	5.8
Filtro 1	37	20	30	32	10	29	10 ³	90	10 ²	26	20	21	5.8	15	4.9
Filtro 2	30	20	24	29	10	26	10 ²	90	10	21	20	17	4.9	15	4.1
Filtro 3	24	10	22	26	0	26	10	90	1	17	20	14	4.1	15	3.5
Filtro 4	22	10	20	26	0	26	1	90	0.1	14	20	11	3.5	15	2.9

Fuente: Ferro 2007

3.2.8 Eficiencia teórica del sistema

La tabla 6, muestra en forma resumida los cálculos de las eficiencias esperadas por el sistema de tratamiento.

Tabla 6. Eficiencias teóricas de remociones del sistema.

PARÁMETRO	AFLUENTE (Af)	EFLUENTE (Ef)	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	220	20	91
SS (mg/L)	220	26	88
CF (UFC/100 ml)	10 ⁸	0.1	99.999
N (mg/L)	40	14	73
P (mg/L)	8	3.8	64

Fuente: Ferro 2007

3.3 DISEÑO FÍSICO

Para el diseño del sistema y todas sus unidades, se adoptaron como criterios básicos: la topografía del terreno, el espacio disponible en la institución, un sistema no convencional, de bajo costo, de fácil operación y mantenimiento y que armonizara con el entorno. El sistema contempla tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario.

El tratamiento preliminar está conformado por un canal de aproximación en el cual se ubicará una rejilla, complementado con dos desarenadores en paralelo, conformando una sola unidad. (Ver plano 3). El primario consta de dos albercas biológicas en serie sembradas con buchón de agua y unas escaleras de oxigenación, complementado con un lecho de secado de lodos. (Ver plano 4). El secundario esta conformado por tres albercas biológicas en serie, dos de ellas sembradas con lenteja de agua y una con buchón de agua. (Ver plano 5). El tratamiento terciario esta conformado por cuatro filtros biológicos, con dos unidades en paralelo y cada una con dos filtros en serie (Ver plano 6).

Para el manejo de los subproductos se tiene previsto, para los residuos sólidos del tratamiento preliminar disponerlos en una caneca para luego ser tratadas como residuos sólidos; para los lodos del tratamiento primario un lecho de secado de lodos, que mediante un proceso de secado y enclamiento serán utilizados como abono. Las plantas acuáticas deberán ser cosechadas periódicamente y después de un proceso de compostaje serán utilizadas como abono.

El efluente final del sistema será descargado a una acequia cercana a la institución.

3.3.1 Tratamiento preliminar: rejilla y desarenador

- Canal de aproximación

Para el diseño del canal de aproximación se utilizó la siguiente expresión

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

Donde:

Q_{AR} = Caudal de Agua residual ($m^3/día$)

V = velocidad (0.3 – 0.6 m/s)

A = Área de la Sección Transversal (m^2)

$A = 14.4 m^3/día * 0.6 m/s * 1 día/86400 s$ ----->

$A = 0.0001 m^2$

$A = h * a$

Asumiendo $h = 0.5 m$

$a = 0.0001 m^2 / 0.5 m = 0.0002 m$ ----->

$a = 0.0002 m$

Por construcción se determinó $h= 0.5 \text{ m}$, $a= 0.3 \text{ m}$, $L= 0.6\text{m}$ y $bl= 0.1\text{m}$ (Ver figura 13)

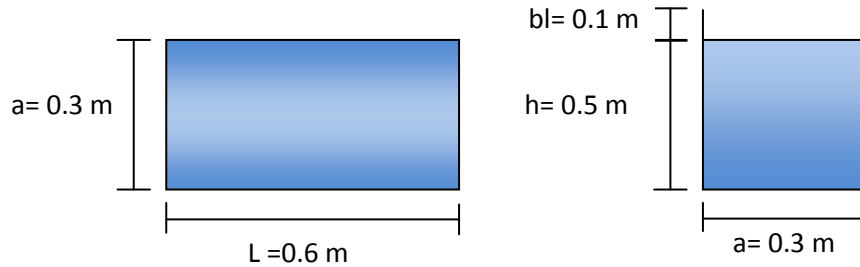


Figura 13. Vista en planta y sección transversal del canal

- Rejilla

Las características de la rejilla aparecen en la tabla 7 (RAS 2000).

Tabla 7. Características de la rejilla

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
Longitud de las barras	cm	45
Ancho de las barras	cm	1.0
Espesor de las barras	cm	3.0
Espacio entre barras	cm	2.5
Pendiente (con la Horizontal)		45°

- Desarenador

El desarenador se diseñó teniendo en cuenta las siguientes expresiones:

$$Q_{AR} = V * A \quad A = Q_{AR} / V_H$$

Donde:

L = Longitud del Desarenador (m)

h = Profundidad Útil (m)

V_H = Velocidad Horizontal (m/s). Se asume $V_H= 0.3 \text{ m/s}$ (RAS 2000)

$$A = 14.4\text{m}^3/\text{día} / 0.3 \text{ m/s} * (1\text{día}/86400 \text{ s}) \quad \text{-----} \rightarrow \quad \boxed{A = 0.00005 \text{ m}^2}$$

$A=h*a$

Asumiendo $a = 0.6 \text{ m}$
 $h = 0.00005 \text{ m}^2 * 0.6 \text{ m}$



$h = 0.00003 \text{ m}$

Por construcción se determinó $h = 0.6 \text{ m}$, $a = 0.6 \text{ m}$, $L = 2.0 \text{ m}$. (Ver figura 14)

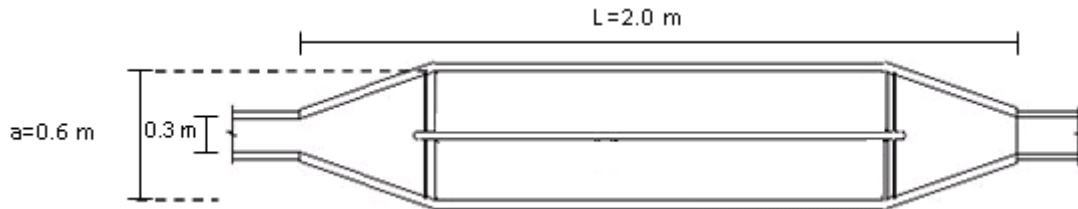


Figura 14, Dimensiones del desarenador

3.3.2 Tratamiento primario: Albercas Biológicas y Escaleras de Oxigenación.

- Albercas Biológicas

Criterio de Diseño: Funciona como un sedimentador, calculándose con la carga hidráulica volumétrica (TRH).

Se asume $h = 0.8 \text{ m}$. teniendo en cuenta la longitud de las raíces del buchón de agua. De acuerdo al área disponible en la zona donde se ubicará el proyecto por construcción se determinó las dimensiones de las albercas 1 y 2. (Ver tabla 8 y figura 15)

Tabla 8. Dimensiones de las albercas 1 y 2

ALBERCA	DIMENSIONES (m)	VOLUMEN (m ³)
1	L = 1.2 a ₁ = 0.4 a ₂ = 0.5 h = 0.8	0.43
2	L = 0.7 a ₁ = 0.7 a ₂ = 0.8 h = 0.8	0.42

Fuente: Ferro, 2008

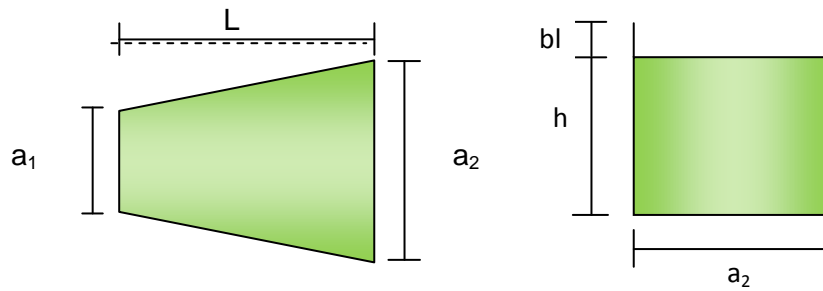


Figura 15. Vista en Planta y sección transversal de las Albercas biológicas

Calculo del tiempo de retención hidráulica (TRH):

$$TRH = V / Q$$

Donde:

TRH= tiempo de retención Hidráulica

V= Volumen

Q_{AR}= Caudal

Muestra de Cálculos

$$TRH = 0.43 \text{ m}^3 / (14.4 \text{ m}^3/\text{día} * 1\text{día}/24 \text{ horas}) = 0.7 \text{ horas}$$

La tabla 9, muestra los TRH de las albercas que conforman el tratamiento primario.

Tabla 9. Tiempo de Retención Hidráulica tratamiento primario

ALBERCA	CAUDAL (m ³ /día)	VOLUMEN (m ³)	TRH (horas)
1	14.4	0.43	0.7
2	14.4	0.42	0,7
Total			1.4

TRH del tratamiento primario = 1.4 horas (Albercas).

TRH ≥ 1 hora, para sedimentadores primarios (RAS 2000)

El tratamiento primario cumple con los parámetros establecidos en el RAS 2000.

- Escaleras De Oxigenación

Criterio de diseño: Topografía y área disponible.

La figura 16, muestra las dimensiones de las escaleras de oxigenación.

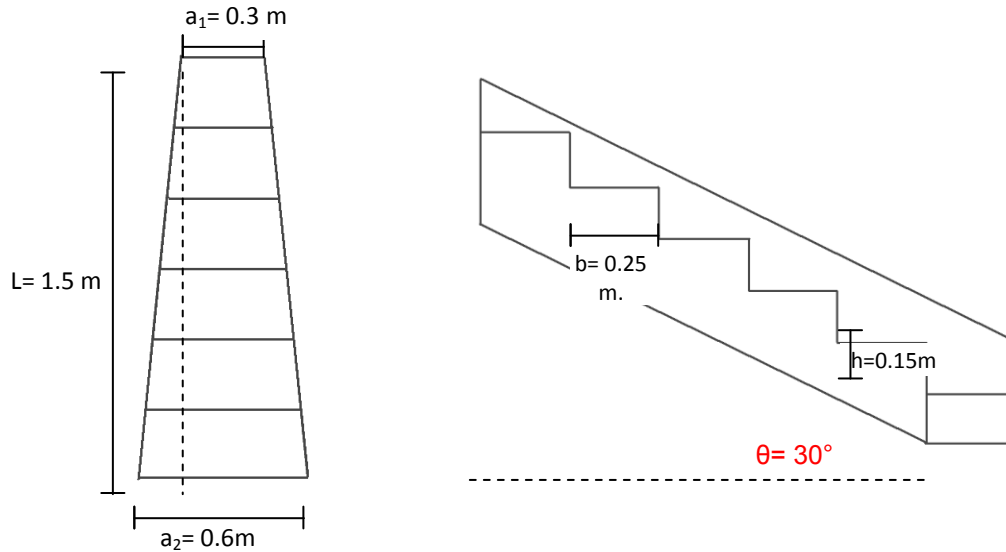


Figura 16. Vista en planta y sección longitudinal.
Escaleras de oxigenación

3.3.3 Tratamiento secundario: Albercas Biológicas

Criterio de diseño: Las Albercas 3 y 4 funcionan como un digestor y la alberca 5 como sedimentador y digestor, calculándose con la carga hidráulica volumétrica (TRH).

Se asume $h = 0.8$ m. De acuerdo al área disponible en la zona donde se ubicara el proyecto, por construcción se determino las dimensiones de las albercas 3,4 y 5. (Ver tabla 10).

Tabla 10. Dimensiones de las Albercas Biológicas 3, 4 y 5

ALBERCA	DIMENSIONES (m)	VOLUMEN (m ³)
3	L = 1.2 a ₁ = 1.2 a ₂ = 1.5 h = 0.8	1.3

4	L = 3.0 a ₁ = 1.5 a ₂ = 2.0 h = 0.8	4.2
5	L = 2.5 a ₁ = 0.6 a ₂ = 0.8 h = 0.8	1.4

Calculo del tiempo de retención hidráulica:

Muestra de Cálculos

$$TRH = 1.3 \text{ m}^3 / (14.4 \text{ m}^3/\text{día} * 1\text{día}/24 \text{ horas}) = 2.2 \text{ horas}$$

La tabla 11, muestra los TRH de las albercas que conforman el tratamiento secundario.

Tabla 11. Tiempo de Retención Hidráulica tratamiento Secundario.

ALBERCA	CAUDAL (m ³ /día)	VOLUMEN (m ³)	TRH (horas)
3	14.4	1.3	2.2
4	14.4	4.2	7
5	14.4	1.4	2.3
Total			11.5

TRH del tratamiento secundario = 11.5 horas (Albercas).

TRH ≥ 4 horas, para digestores (RAS 2000)

El tratamiento secundario cumple con los parámetros establecidos en el RAS 2000.

3.3.4 Tratamiento terciario: Filtros Biológicos

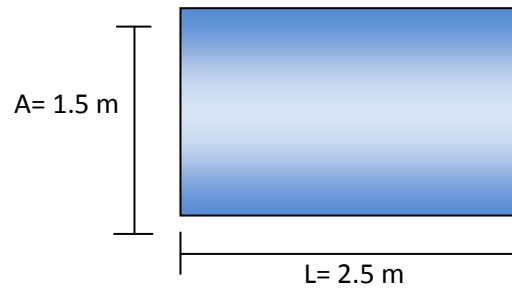
Criterio de diseño: Velocidad de filtración y carga Hidráulica volumétrica (TRH).

De acuerdo al área disponible y a la topografía del terreno se determino las dimensiones de los filtros (Ver tabla 12) (Ver figura 16).

Tabla 12. Dimensiones de uno de los filtros biológicos

DIEMNSIONES	VALOR (m)	VOLUMEN (m ³)
Ancho (a)	1.5	1.3
Largo (L)	2.5	
Profundidad (h)	0.8	

Vista en Planta



Corte Longitudinal

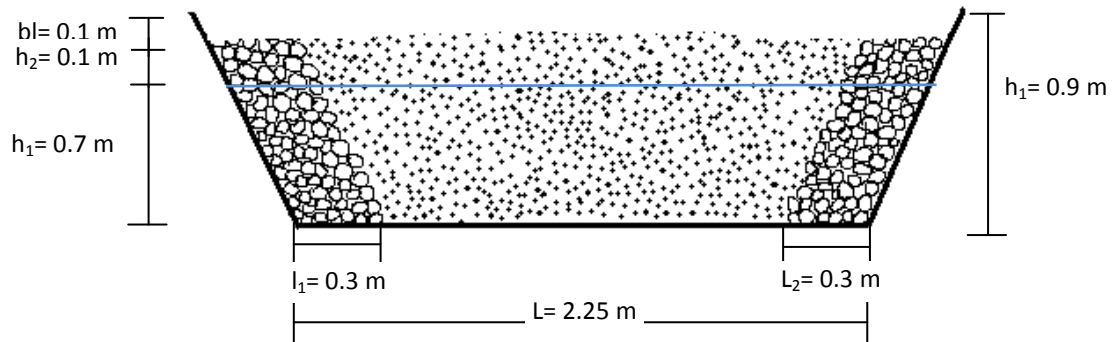


Figura 16. Vista en planta y sección longitudinal del Filtro Biológico

Chequeo de la velocidad de filtración (V_f)

$$Q_{AR} = V_f \times A_s$$

Donde:

V_f = Velocidad de Filtración

A_s = Area superficial

$$\begin{aligned}A_s &= 2.25 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} \Rightarrow A_s = 1.58 \text{ m}^2 \\V_f &= Q_{AR} / A_s = (14.4 \text{ m}^3/\text{día}) / (3 \text{ m}^2) \\V_f &= 9.1 \text{ m/ día} \times 1 \text{ día} / 24 \text{ hr} = 0.4 \text{ m/h}\end{aligned}$$

V_f del tratamiento terciario = 0,4 m/h

V_f = 1-3 m/h, según valencia y otros 1997

La velocidad de filtración es mas baja, lo que asegura una mayor eficiencia del filtro.

Chequeo del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

$$\begin{aligned}E &: \text{espacio} \\E &= V_f \times \text{TRH} \\E &= L = 2.25 \text{ m} \\ \text{TRH} &= E / V_f = (2.25 \text{ m}) / (0.4 \text{ m/ h}) \\ \text{TRH} &= 5.6 \text{ horas/filtro}\end{aligned}$$

TRH tratamiento terciario = 5.6 horas/filtro * 2 Filtros = 11.2 horas

TRH Filtros anaerobios = 2.5 a 12 horas (RAS 2000)

El tratamiento terciario cumple con los parámetros establecidos en el RAS 2000.

3.3.5 Lecho de secado de lodos

El lecho de secado se diseñó teniendo en cuenta el volumen de las Albercas biológicas 1 y 2, la tercera parte del volumen de estas albercas será conducida al lecho de secado de lodos semestralmente.

Volumen Alberca 1 = $0.43 \text{ m}^3 / 3 = 0.14 \text{ m}^3$

El volumen del lecho de secado de lodos desde la superficie del lecho filtrante hasta el borde libre deber ser $V \geq 0.14 \text{ m}^3$

De acuerdo al área disponible en la zona donde se ubicará el proyecto, por construcción se determinaron las dimensiones del lecho de secado de lodos. (ver tabla 7 y Figura 18)

Tabla 13. Dimensiones del lecho de Secado de lodos

DIEMNSIONES	VALOR (m)	VOLUMEN (m ³)
Ancho (a)	0.5	0.6
Largo (L)	1.5	
Profundidad (h)	0.9	

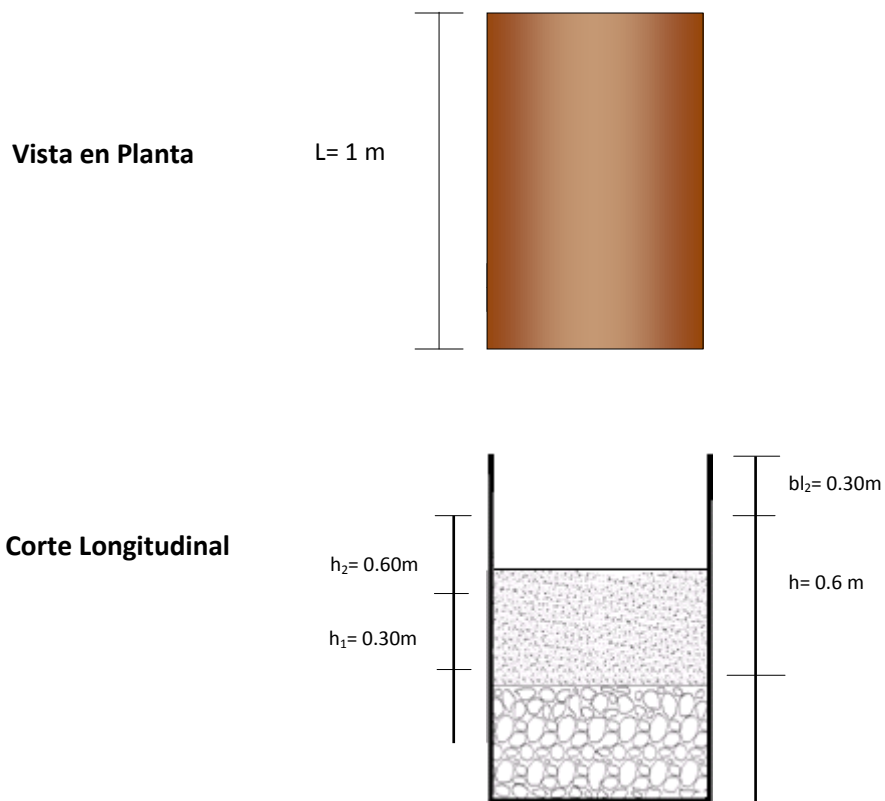


Figura 18. Vista en planta y sección longitudinal.
Lecho de secado de lodos

Volumen del borde libre del lecho de secado de lodos

$$V \text{ bode libre} = L * a * bl$$

$$V = 1.0 \text{ m} * 0.5 \text{ m} * 0.3 \text{ m} = 0.15 \text{ m}^3$$

V borde libre > 0.14 m³

El lecho de secado de lodos cumple con los parámetros, que se tuvieron en cuenta para el diseño.

La tabla 14, muestra las dimensiones de cada una de las unidades del sistema de tratamiento.

Tabla 14. Dimensionamiento de las Unidades del sistema de tratamiento.

TRATAMIENTO PRELIMINAR				
UNIDAD	h (m)	L (m)	a (m)	
Canal	0.5	0.6	0.3	
Desarenador	0.6	2.0	0.6	
TRATAMIENTO PRIMARIO				
UNIDAD	h (m)	L	a₁	a₂
Alberca 1	0.80	1.2	0.4	0.7
Alberca 2	0.80	0.7	0.5	0.8
TRATAMIENTO SECUNDARIO				
UNIDAD	h (m)	L	a₁	a₂
Alberca 3	0.8	1.2	1.2	1.5
Alberca 4	0.8	3.0	1.5	2.0
Alberca 5	0.8	2.5	0.6	0.8
TRATAMIENTO Terciario				
UNIDAD	h (m)	L (m)	a (m)	
Filtro 1	0.8	2.5	1.5	
Filtro 2	0.8	2.5	1.5	
Filtro 3	0.8	2.5	1.5	
Filtro 4	0.8	2.5	1.5	
LECHO DE SECADO DE LODOS				
h (m)		L (m)	a (m)	
0.9		1.0	0.5	
ESCALERAS				
L (m)	a1	a2	b (m)	h (m)
1,5	0,3	0,6	0.25	1.15

FUENTE: Ferro, 2008

La tabla 15, muestra los tiempos de retención hidráulica de cada uno de los tratamientos del sistema.

Tabla 15. Tiempos de retención hidráulica por tratamiento

TRATAMIENTO	TRH (horas)
Tratamiento Primario	1.4
Tratamiento Secundario	11.5
Tratamiento Terciario	11.2
Total	24.1

El tiempo de retención Hidráulica total del sistema es 24. 1 Hora.

En la figura 19, se muestra el flujo del agua residual del sistema de tratamiento en planta y corte longitudinal.

3.3 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

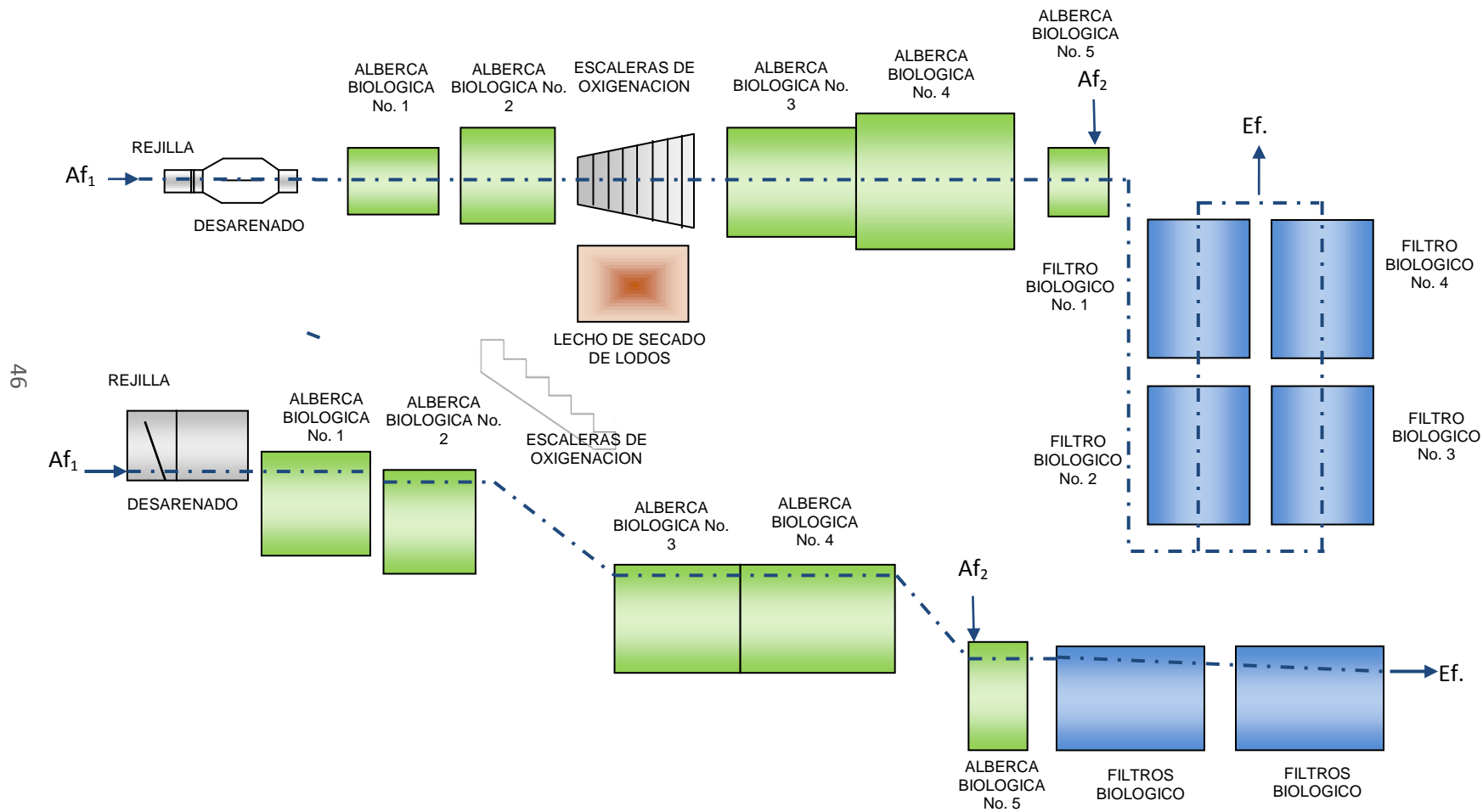
Las características constructivas de cada uno de los elementos del sistema se determinaron teniendo en cuenta las propiedades estructurales y los costos.

El canal y el desarenador se construirán en concreto de 21 MPa, reforzado con varilladle ½” cada 10 cm en parrilla, una rejilla de hierro que tendrá las características mencionadas en la tabla 7 y un solado de 5 cm de espesor con concreto de 14 MPa psi. (Ver plano 3)

Las albercas biológicas se construirán concreto de 21 MPa reforzado con varilla de ½” cada 10 cm en ambos sentidos para la placa del fondo, paredes de ladrillo tolete pañetadas y cimientto en concreto ciclópeo de 0.3 m x 0.4 m. de sección. (Ver planos 2 y 3)

Las escaleras de oxigenación se construirán en concreto de 21 MPa, reforzado con verilla de ½” cada 10 cm y un solado de 5 cm de espesor con concreto de 2000 psi. (Ver plano 2 y 3)

Los filtros biológicos se impermeabilizaran con una capa de arcilla de 10 cm de espesor. Los lechos filtrantes se construirán como aparecen en los (ver planos 2 y 3).



46

Figura 10. Vista en planta y perfil. Flujo del agua residual en el sistema

El lecho de secado de lodos se construirá con concreto de 21 MPa reforzado con varilla de ½" cada 10 cm en ambos sentidos para la placa del fondo, paredes de ladrillo tolete pañetadas, cimiento en concreto ciclópeo de 0,3 m x 0.4m de sección y dos lechos filtrantes, el inferior de un espesor de 30 cm con grava de 5 a 10 cm y la capa superior de arena 0.1 a 0.3 mm de 30 cm de espesor, (Ver plano 2 y 3).

Todas las conducciones del sistema serán de pvc de 4" sanitaria.

3.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La tabla 16, presenta las actividades requeridas para que el sistema opere normalmente, cumpliendo los objetivos del diseño y la tabla 17, presenta el manual de mantenimiento que asegura la conservación de las unidades del sistema.

Tabla 16. Manual de Operación

MANUAL DE OPERACION	
ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Limpieza de rejilla	Diaria
Retiro de Arena	Semanal
Cosecha del buchón de agua	Trimestral
Cosecha de la lenteja de agua	Semanal
Retiro de sólidos de las albercas 1, 2	Semestral
Encalamiento del lodo retirado para abono	Semestral
Retiro de malezas de los filtros	Trimestral
Lavado de las escaleras de oxigenación.	Trimestral
Descarga de las baterías sanitarias para el funcionamiento permanente del sistema	Épocas de vacaciones
Retiro y limpieza de la grava y arena del lecho de secado de lodos	Cada 3 años
Análisis de laboratorio para determinar la eficiencia del sistema.	Anual

Tabla 17. Manual de Mantenimiento

MANUAL DE MANTENIMIENTO	
ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Pintar la rejilla con pintura anticorrosiva.	Anual
Chequeo filtraciones en las albercas y tuberías	Anual
Retiro y limpieza de la grava de los filtros	Cada 5 años
Retiro de malezas de todo el sistemas	Semestral

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema diseñado mediante Albercas Biológicas Y filtros Biológicos para el tratamiento de las aguas residuales de la Institución Educativa Guacirco, es eficiente en la remoción de contaminantes con un porcentaje de 91% de DBO, 88% de SS, 99.99% de CF, 73% de N Y 64% de P por lo tanto puede convertirse en modelo para Instituciones educativas rurales.

El sistema de tratamiento diseñado es no convencional, de bajo costo, de fácil operación y mantenimiento presentando ventajas comparativas respecto a otros sistemas convencionales, haciéndolo aplicable en el sector rural.

Para poder determinar con seguridad la eficiencia de las albercas biológicas y los filtros biológicos como sistema de tratamiento de aguas residuales para pequeños caudales, se deben realizar monitoreos a sistema ya construidos o construir prototipos para su evaluación.

El sistema planteado además de resolver el problema de la contaminación por las aguas residuales, contribuye con el embellecimiento del entorno mejorando el aspecto visual de la institución por basar su operación en plantas acuáticas.

Para asegurar la operación permanente del sistema en épocas de vacaciones se debe asegurar el flujo de agua al sistema.

Para el buen funcionamiento del sistema se deben llevar a cabo todas las actividades planteadas en el manual de operación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, Albeiro y CAVIEDES Diego, Tesis de pregrado de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana, Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Para la experimentación con plantas en la Granja de la Universidad Surcolombiana. 2007

CURT, Fernández Maria Dolores de la Mora. Macrófitas de interés en la Fitodepuración. Cp 7. <http://www.infoagro.com>

DOMINGUEZ, Alba. Evaluación de la Depuración de las Aguas Residuales Provenientes de un Sistema de Tratamiento Combinado de Laguna de Estabilización y Laguna con Jacinto de Agua. Revista Actividades Biológicas, Universidad de Antioquia. Enero-Junio 2001 Vol.23 Núm.74 p. 75-82

DOMINGUEZ, Pedro L. El reciclaje de los residuos porcinos como una alternativa para reducir la contaminación del ambiente. Instituto de Investigaciones Porcinas. Memorias seminario Internacional. Santiago de Cali,1998;

LAYMAN, Informe. Nuevos filtros verdes con macrófitas en flotación "macrophytes". 2005. <http://www.infoagro.com>

MEDINA HINCAPIE, Paola A, Tesis de pregrado de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana, Manejo de los residuos de la explotación porcina en la Institución Educativa El Tejar Municipio de Timana Huila. Diseño de una Alberca Biológica, 2007.

METCALF & EDDY, Ingeniería de aguas residuales. Editoria McGraw-Hill. Madrid. 1998

Ministerio de Desarrollo Económico, Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Bogotá, 2000.

PEDRAZA, Gloria. Reciclaje del efluente de origen animal con tres especies de plantas acuáticas. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) AA20591 Cali, Colombia. Hppt. // www.LIMUSA.COM.CO

Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe, Biofiltro "Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades", Costa Rica, 2007

RESTREPO, Ricardo, Eficiencia del jacinto de agua en la remoción de cloruros. Instituto Colombiano del Petróleo, Asuntos Ambientales. Revista AINSA1992 7 – 17

ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología Neotropical, Ed. Universidad de Antioquia, Medellín.1992.

Silvana Arreghini <http://www.cricyt.edu.ar>,

TCHOBANOGLIOUS, George y CRITES, Ron. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Santa fe de Bogota. T.2. 2000.

VALENCIA, Eduardo y otros, Saneamiento Rural, Programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana, 1997.

VALENCIA, Eduardo y otros, Sistemas para disposición de aguas residuales y residuos sólidos en pequeñas fincas, Programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana, 2007.

UN, Periódico de la Universidad Nacional de Colombia. Art., HUMEDAR I, licencia para purificar el agua. Bogota domingo 01 de mayo 2005. Pág.16,17.

http://es.wikipedia.org/wiki/Cyperus_papyrus

ANEXOS

ANEXO A

PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

PRESUPUESTO				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1. TRATAMIENTO PRELIMINAR				
1.1 Concreto de 3000 PSI	m3	0,35	\$ 422.964	\$ 148.037
1.2 Concreto de 2000 PSI	m3	0,09	\$ 354.388	\$ 31.895
1.3 Varilla corrugada 1/2"	6 ml	9	\$ 14.420	\$ 129.780
2. TRATAMIENTO PRIMARIO				
2.1 Concreto de 3000 PSI	m3	0,3	\$ 422.964	\$ 126.889
2.2 Concreto de 2000 PSI	m3	0,015	\$ 324.388	\$ 4.866
2.3 Concreto Ciclópeo	m3	1,15	\$ 264.923	\$ 304.661
2.4 Muro en Ladrillo Tolete	m2	4,97	\$ 134.019	\$ 666.074
2.5 Varilla corrugada 1/2"	6 ml	5	\$ 14.420	\$ 72.100
3. TRATAMIENTO SECUNDARIO				
3.1 Concreto de 3000 PSI	m3	0,9	\$ 422.964	\$ 380.668
3.2 Concreto Ciclópeo	m3	0,7	\$ 264.923	\$ 185.446
3.3 Muro en Ladrillo Tolete	m2	16,88	\$ 134.019	\$ 2.262.241
3.4 Varilla corrugada 1/2"	6 ml	25	\$ 14.420	\$ 360.500
4. TRATAMIENTO TERCIARIO				
4.1 Arcilla Impermeable	m3	0,8	\$ 45.000	\$ 36.000
4.2 Grava	m3	3,6	\$ 30.000	\$ 108.000
4.3 Gravilla	m3	11,4	\$ 35.000	\$ 399.000
5. LECHO DE SECADO DE LODOS				
5.1 Concreto de 3000 PSI	m3	0,05	\$ 422.964	\$ 21.148
5.2 Concreto Ciclópeo	m3	0,18	\$ 264.923	\$ 47.686
5.3 Muro en Ladrillo Tolete	m2	3,04	\$ 134.019	\$ 407.418
5.4 Varilla corrugada 1/2"	6 ml	1	\$ 14.420	\$ 14.420
5.5 Grava	m3	0,3	\$ 30.000	\$ 9.000
5.6 Arena	m3	0,3	\$ 25.000	\$ 7.500
6. ACCESORIOS				
6.1 Suministro e instalación Tubería PVC 4"	6 ml	9,2	\$ 39.000	\$ 358.800
6.2 Suministro e instalación Codo 90° PVC 4"	Und	6	\$ 7.300	\$ 43.800
6.3 Suministro e instalación Codo 45° PVC 4"	Und	1	\$ 6.500	\$ 6.500

6.4 Alambre	kg	8	\$ 3.468	\$ 27.744
6.5 Pañete Impermeabilizante	m2	17,2	\$ 6.850	\$ 197.820
Excavación Manual y Retiro de Material Sobrante	m3	3	\$ 15.000	\$ 45.000
Suministro y Compactación Recebo	m3	1	\$ 17.000	\$ 17.000
TOTAL				\$ 6.419.994

ARTICULO

PLANOS