

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Estudiantes Proponentes:

OSCAR DAVID CONTRERAS

YAHIR ACUÑA CARDALES

Título:

**EVALUACIÓN TÉCNICA PRELIMINAR DE SISTEMAS ALTERNATIVOS
PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
DE LA CIUDAD DE SINCELEJO, VERTIDAS POR EL COLECTOR
COLUMUTO**

UNIVERSIDAD DE SUCRE

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

SINCELEJO – SUCRE

ABRIL DE 2005

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Estudiantes Proponentes:

OSCAR DAVID CONTRERAS

YAHIR ACUÑA CARDALES

Director Proponente:

GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN

Título:

**EVALUACIÓN TÉCNICA PRELIMINAR DE SISTEMAS ALTERNATIVOS
PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
DE LA CIUDAD DE SINCELEJO, VERTIDAS POR EL COLECTOR
COLUMUTO**

Línea de Profundización:

**EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE OBRAS CIVILES EN EL
DESARROLLO REGIONAL
Campo de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SINCELEJO – SUCRE
ABRIL DE 2005**

Nota de aceptación:

Firma del director.

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Sincelejo, _____

El mundo que hasta este momento hemos creado como resultado de nuestra forma de pensar tiene problemas que no pueden ser resueltos pensando del modo en que pensábamos cuando lo creamos.

Albert Einstein

“Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo”

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido la oportunidad de culminar satisfactoriamente mis estudios universitarios.

A mis padres, Leonarda Cardales Correa y Oscar Acuña Pabuena, por su incondicional apoyo, a mis hermanos por su absoluto respaldo en cada uno de los proyectos trazados en mi vida.

A mi hijo Salvador y a mi esposa Milene por su apoyo diario y permanente en cada paso de mi vida. Ustedes son mi inspiración.

Al Dr. Salvador Arana Sus, Dra. Samia Isaac Tatis y a Nayeth Arana Tatis por su respaldo y aprecio en todo momento y lugar.

A todos aquellos que han estado cerca de mí, gracias por su colaboración.

Yahir Acuña Cardales

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la oportunidad de conocerle y haberme permitido caminar por el sendero del éxito.

A mis padres, Carmelo y Luz Miriam por su paciencia para cosechar este triunfo.

A mis hermanos, Leonardo y Alidis por ser ejemplo para mi en el camino del saber.

A Madeleine Montes, por su apoyo incondicional y voluntad para que pudiera conocer al Señor.

A mis amigos de universidad, Freddy Cruz, Wilmer Fuentes, Ender Mercado, Javier Banquez y Guillermo Gutiérrez por su gran colaboración para salir adelante.

A todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron con este logro, muchas gracias, el Señor los honrará.

Oscar David Contreras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

Guillermo Gutiérrez Ribón, Ingeniero Civil, Msc en Ingeniería ambiental, director del proyecto, por su gran aporte en la realización de este trabajo.

Reny Guerra, Ingeniero Sanitario y Ambiental adscrito a la Universidad de Sucre por su asesoría acertada en aquellos momentos de duda.

Y en general a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
1. ESTADO DEL ARTE.	24
1.1. PRIMERAS TENDENCIAS DE PRINCIPIOS AMBIENTALES A NIVEL MUNDIAL.	25
1.2. UN TRISTE ESCENARIO AMBIENTAL EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE.	26
1.3. COLOMBIA UN PARAISO SUMIDO EN LA MISERIA AMBIENTAL.	27
1.4. INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.	29
1.5. PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO BIOLOGICO	33
1.5.1. Procesos aerobios.	35
1.5.2. Procesos anaerobios.	36
1.5.3. Procesos anóxicos.	37
1.5.4. Aspectos comparativos.	38
1.5.5. Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, PAMLA.	38
2. METOLOGIA.	43
2.1. TRABAJO DE CAMPO.	
2.1.1. Localización y reconocimiento del área de estudio.	43
2.1.2. Toma de muestras para laboratorio.	43
2.2. TRABAJO DE OFICINA.	44
2.2.1. Revisión bibliográfica.	44
2.2.2. Diseño preliminar y evaluación de alternativas.	44

3. RESULTADOS	45
3.1. DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA.	45
3.1.1. Parámetros de diseño.	45
3.1.2. Cálculos.	47
3.1.3. Diseño de laguna anaerobia para remoción de organismos patógenos.	52
3.1.4. Eficiencia del sistema.	54
3.2. DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA CUBIERTA.	55
3.3. DISEÑO DEL SISTEMA TIPO PAMLA O RAFA (UASB)	56
3.3.1. Producción diaria de lodos.	56
3.3.2. Volumen total de lodos por día.	57
3.3.3. Volumen del reactor UASB.	58
3.3.4. Eficiencia del sistema.	59
4. DISCUSION DE RESULTADOS	61
4.1. Del proceso aerobio.	61
4.2. Del proceso anaerobio.	61
4.3. Del proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, PAMLA.	62
5. CONCLUSIONES	63
6. RECOMENDACIONES	64
6.1. Tratamiento preliminar.	64
6.2. Tratamiento primario.	65
6.3. Tratamiento secundario.	65
6.4. Subproductos con posibilidad de reuso generados por el sistema PAMLA.	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales procesos de tratamiento biológico.	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área de influencia del proyecto.	34
Figura 2. Ejemplos de reactores PAMLA.	42
Figura 3. Esquema de la laguna anaerobia.	55
Figura 4. Esquema de la laguna anaerobia cubierta.	56
Figura 5. Modelo de funcionamiento de un digestor UASB	60
Figura 6. Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas - Tipo PAMLA	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Proyección de la población	70
Anexo 2. Registro fotográfico de P.T.A.R.s	
Rejilla de cribado de gruesos.	71
Desarenador.	71
Proceso de mantenimiento del desarenador.	72
Trampas de grasas.	72
Reactores UASB.	73
Tratamiento secundario-Laguna de maduración.	73
Anexo 3. Área para la P.T.A.R. de Sincelejo	74
Anexo 4. Registro fotográfico de instalaciones físicas de P.T.A.R.s en Colombia.	75
Anexo 5. Registro fotográfico del lugar donde se tomaron las muestras	77
Anexo 6. Registro fotográfico del lugar destinado para la Construcción de P.T.A.R de Sincelejo.	79
Anexo 7. Resultados de las muestras enviadas al laboratorio	81

GLOSARIO

Afluente. Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

Aguas crudas. Aguas residuales que no han sido tratadas.

Aguas residuales municipales. Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

Aguas residuales. Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

Aguas servidas. Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

Ambiente aerobio. Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

Ambiente anaerobio. Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Ambiente anóxico. Ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno molecular pero existe oxígeno en forma combinada como nitratos y nitritos.

Bacteria. Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que

incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Carga orgánica. Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Caudal máximo horario. Caudal a la hora de máxima descarga.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Edad de lodo. Tiempo medio de residencia celular en el tanque de aireación.

Eficiencia de tratamiento. Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente final. Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Efluente. Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Entorno de un Proyecto. Es el ambiente que interacciona con el proyecto en términos de entradas (recursos, mano de obra, espacio,...) y de salidas (productos, empleos, rentas,...) y por tanto provisor de oportunidades, generador de condicionantes y receptor de efectos.

Factores ambientales. Son los diversos componentes del medio ambiente entre los cuales se desarrolla la vida. Son el soporte de toda actividad humana.

Impacto Ambiental. Es la alteración que se produce en el entorno, ocasionada por la ejecución de una acción o actividad de origen natural o antrópico.

Laguna aerobia. Término a veces utilizado para significar “laguna de alta producción de biomasa”. Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua.

Laguna aireada. Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se suple el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido. Es una simplificación del proceso de lodos activados y según sus características se distinguen cuatro tipos de lagunas aireadas:

1. Laguna aireada de mezcla completa,
2. Laguna aireada facultativa,
3. Laguna facultativa con agitación mecánica y
4. Laguna de oxidación aireada.

Laguna anaerobia. Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H_2S).

Laguna de estabilización. Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc).

Laguna de maduración. Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia - facultativa, aireada - facultativa o primaria - secundaria). Originalmente concebida para reducir la población bacteriana.

Laguna facultativa. Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Lechos de secado. Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

Medio ambiente. Es el entorno vital; el conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando su forma,

carácter, relación y supervivencia. No debe considerarse pues, como el medio envolvente del hombre, sino como algo indisociable de él, de su organización y de su progreso (Gómez, 1998).

Muestra puntual. Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Oxígeno disuelto. Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.

pH. Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

Proceso biológico. Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB). Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Relleno sanitario. Es un sitio donde se depositan los residuos no aprovechables que produce una ciudad, población o zona habitada, de tal manera que, mejorando el paisaje, se produzca el mínimo daño al ambiente y a la salud de la población sometida al riesgo de sus efluentes. En este sitio diariamente los residuos son recibidos, dispuestos, compactados, cubiertos y

donde se realiza el control ambiental (principalmente gases, olores y lixiviados), así mismo, se realiza control y monitoreo a la estabilidad con el fin de prevenir riesgos de deslizamiento.

Residuos sólidos. Con este término se denomina a cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales y de servicios.

Tiempo de retención hidráulica. Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

Tratamiento anaerobio. Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

RESUMEN

El presente trabajo denominado “Evaluación técnica preliminar de sistemas alternativos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Sincelejo, vertidas por el colector Columuto”, contiene una síntesis descriptiva del área de influencia del proyecto en sus aspectos biofísicos tales como climatología, geomorfología, geología, suelos, flora, fauna, entre otros.

Además describe los delicados incidentes que en materia de protección del medio ambiente viven los países subdesarrollados como el nuestro al tiempo que pone en evidencia las disposiciones legislativas del orden nacional que se han puesto en marcha con el fin de contrarrestar este flagelo ambiental.

En este trabajo se diseñan de manera preliminar tres diferentes alternativas que posibilitarían una solución al manejo de las aguas residuales en el municipio de Sincelejo en lo concerniente al colector Columuto, comparativamente basados en los factores de dimensionamiento y eficiencia se establecen recomendaciones y se concluye la opción ideal entre los sistemas evaluados.

Finalmente los autores planteamos un esquema del proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas haciendo uso del sistema recomendado para tal fin suministrando además un registro fotográfico de plantas de tratamiento de otras ciudades de nuestro país con el ánimo de formarse un concepto específico acerca del sistema resultante.

ABSTRACT

Work the present denominated "preliminary technical evaluation of alternative systems for the treatment of domestic residual waters of the city of Sincelejo, spilled by the Columuto collector", contains a descriptive synthesis of the area of influence of the project in its biophysics aspects such as climatology, geomorfología, geology, grounds, flora, fauna, among others.

In addition it describes the delicate incidents that in the matter of protection of the medio.ambiente live the underdeveloped countries like ours to the time that puts in evidence the legislative dispositions of the national order which they have started up with a the aim to resist this environmental flagellum.

In this work one designs of preliminary way three different alternatives that would make possible a solution to the handling of residual waters in the municipality of Sincelejo as for the Columuto collector, comparatively based on the sizing factors and efficiency recommendations settle down and the ideal option between the evaluated systems concludes.

Finally the authors we raised a scheme of the process of domestic residual water treatment making use of the system recommended for such aim providing in addition a photographic registry to treatment plants of other cities of our country with the spirit form a concept I specify about the resulting system.

INTRODUCCIÓN

La preocupación por un medio ambiente más sano ha saltado al primer plano de las agendas tanto públicas como privadas en las últimas cuatro décadas, debido a diversos factores entre los que se acentúan el agotamiento de los recursos naturales por mal manejo y el efecto "bumerang" de la contaminación humana sobre los ecosistemas. Dentro de este contexto, la creciente escasez de agua para consumo humano y actividades agrícolas adquiere especial importancia asociada al evidente peligro que representa la descarga de los efluentes urbanos a arroyos, ríos y océanos sin recibir ningún tipo de tratamiento sanitario.

Colombia es uno de los pocos países en el mundo dotado de una gran riqueza natural en extensión por ejemplo, nuestro territorio ocupa menos del 1% (0.7 aproximadamente) de la superficie emergida de la tierra (Plan de Desarrollo Nacional 2002-2006) y aún así posee cerca del 10% de todas las especies animales y vegetales del planeta tierra. También gracias a la variedad climática de nuestras regiones y a su ubicación geográfica posee grandes recursos hídricos contando, como muy pocos países, con un volumen de 57 lt/seg-Km² siendo este último seis veces mayor que el promedio mundial (Mercado, Delgado y Torres, 2004).

Pero a pesar de estas maravillosas cifras nuestro país vive hoy día la sorprendente y triste paradoja de su ya notable destrucción ambiental debido a la creciente dificultad de contaminación ambiental de los últimos años. Según la Organización Mundial de la Salud, OMS y conclusiones de la Cumbre de Johannesburgo, de nuestra geografía nacional anualmente desaparecen 600 Hectáreas de cobertura boscosa presentando una de las mayores tasas de agotamiento de fuentes de agua. Es uno de los diez países donde se está extinguiendo mayor número de especies vivas y una de las dieciséis naciones que genera la mayor cantidad de gases que origina el calentamiento global.

Derrame de petróleos, productos relacionados con explotaciones tanto mineras como agrícolas, basuras de todo tipo y residuos industriales, están contaminando ríos, suelos y cuerpos de agua con índices extremadamente preocupantes según lo establece el Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, MMAVDT. Pero sin duda, el factor preponderante de contaminación en nuestro país lo constituye la nula o ineficiente disposición y tratamiento de las aguas residuales domésticas urbanas.

En el municipio de Sincelejo son considerables los esfuerzos que han adelantado el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial al igual que los gobiernos, Departamental y Municipal con el propósito de procurar una solución pronta a este creciente problema. Existen en la actualidad estudios y diseños de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) concebido como un sistema de Lagunas Anaerobias más lagunas Facultativas, con Lagunas de Maduración y de Secado de Lodos, para tratar el vertimiento del colector sanitario denominado Caimán a través del cual drena el 60% del caudal total del sistema de alcantarillado sanitario del municipio de Sincelejo, mientras que para el colector Columuto no se han analizado otras alternativas. Si bien es cierto, que implementar estos sistemas se constituye en una posible solución a este delicado problema contaminante de la ciudad, aún no se conocen los argumentos y criterios a partir de los cuales se concluyó optar por éste sistema de tratamiento de las aguas residuales de Sincelejo, considerando su impacto ambiental en el entorno.

Tal como se consigna en aquellos estudios, los diseños de las lagunas anaerobias al descubierto propiciarán la emanación al ambiente aéreo circundante de los gases que se producen en virtud del proceso mismo, con significativas perturbaciones a los seres humanos y bióticos en general;

además, por su característica dimensión de profundidad inducen la percolación de las aguas negras en descomposición anaerobia hacia las pequeñas capas acuíferas, sub superficiales y subterráneas, con un impacto perjudicial irreversible, salvo que se planeara evitar con la implementación de acciones ingenieriles pertinentes y complementarias las cuales no se señalan en documento alguno del diseño en mención.

Otro significativo elemento del problema es la producción y manejo del lodo removido en las lagunas, cuya disposición y adecuación no está considerado en los estudios existentes, pero sí en el presente trabajo.

Cabe resaltar que en el departamento de Sucre, las aguas superficiales son usadas exclusivamente en labores agropecuarias y en el caso puntual del municipio de Sincelejo las aguas subterráneas del Acuífero Morroa se constituyen en la única fuente de abastecimiento de agua potable. Por tal razón la protección, conservación y sostenibilidad del recurso hídrico debe ser prioridad para garantizar la supervivencia de la población. En tal sentido el análisis de diversas alternativas para el tratamiento de las aguas residuales es una responsabilidad inmediata de los gobiernos nacional, departamental y municipal a fin de obtener los mejores resultados con base en la implementación de las acciones de tratamiento óptimas en el marco de la sostenibilidad en el desarrollo de las comunidades.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación técnica de sistemas alternativos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Sincelejo vertidas por el colector Columuto.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar los estudios y diseños del sistema de tratamiento consistentes en lagunas anaerobias descubiertas.
- Realizar el diseño preliminar de los sistemas de tratamiento alternativos considerados:
 - Lagunas aerobias
 - Lagunas anaerobias cubiertas
 - Sistema Tipo PAMLA o RAFA (UASB)
- Analizar y comparar técnicamente los sistemas propuestos.
- Recomendar la alternativa óptima de tratamiento de las aguas residuales domésticas de Sincelejo.

1. ESTADO DEL ARTE

En un principio, el hombre habitaba la tierra en armonía con la naturaleza, cultivaba alimentos, cazaba animales y recogía leña para su cocción, elaboraba su ropa y sus rudimentarias herramientas para lograr generar recursos para abastecerse. A diario, cada vez que terminaba la jornada de sustento, los residuos animales y vegetales y los desechos humanos se arrojaban al suelo con la función de fertilizar la tierra. En aquel tiempo los grupos de asentamiento eran tan pequeños que el medioambiente circundante lograba absorber estos desechos (auto depuración) estableciendo un equilibrio por lo que no se generaban problemas ambientales de grandes magnitudes. (HENRY, 2001)

El hombre comenzó a organizarse logrando conformar pequeñas ciudades las cuales tenían sistemas para el suministro de agua y la eliminación de los residuos tal es el caso de los acueductos que proveían a la antigua ciudad de Roma de agua saludable que provenía de los Montes Apeninos, y La Cloaca Máxima, uno de los más antiguos sistemas de drenaje.

Pero la tecnología de estas antiguas ciudades parece haber sido olvidada durante muchos siglos por quienes construyeron las ciudades europeas pues se desatendió el abastecimiento de agua y la eliminación de los residuos generando que se desataran brotes de disentería, cólera, fiebre tifoidea, y otras enfermedades de transmisión hídrica. (HENRY, 2001).

Hasta la primera mitad del siglo XIX no se había tenido conciencia de que la eliminación inadecuada de residuos contaminaba los suministros de agua con organismos portadores de enfermedades. Pero una vez sucediera la revolución industrial en Gran Bretaña, Europa y Estados Unidos los problemas ambientales comenzarían a generarse pues como resultado de la industrialización se produjo una mayor urbanización. Estos factores fueron, y son en la actualidad, la causa fundamental de la contaminación del agua, el

aire y el suelo, problema que las ciudades de aquellas épocas fueron incompetentes de manejar.

En las décadas siguientes, se produjeron avances tecnológicos en los países rápidamente desarrollados para el tratamiento de los residuos, lo que condujo a una reducción en la incidencia de enfermedades de transmisión por el agua y el aire.

Luego de la segunda guerra mundial los países industrializados experimentaron un auge económico estimulado por una población en crecimiento, tecnología avanzada y un rápido incremento en el consumo de energía. Durante las décadas de 1950 y 1960 esta actividad incrementó de manera significativa la cantidad de residuos descargados en el medio. Los nuevos productos químicos, entre ellos insecticidas y plaguicidas, utilizados sin evaluar suficientemente sus efectos en el medio y en la salud, causaron y aún continúan causando, enormes problemas no previstos en el momento de su introducción. Por desgracia, la situación ambiental se agrava conforme aumenta la variedad y cantidad de contaminantes que se depositan en el medio disminuyendo acelerada e irremediablemente la capacidad de los sistemas para asimilar tales residuos.

1.1. PRIMERAS TENDENCIAS DE PRINCIPIOS AMBIENTALES A NIVEL MUNDIAL.

Desde finales de los 60 hasta finales de los 70 en la mayoría de los países occidentales se instauró una legislación para controlar varios aspectos de la contaminación. La Organización de las Naciones Unidas enfocaron su atención en el problema organizando una conferencia sobre el ambiente humano en 1972 en Estocolmo. Posteriormente otras conferencias dedicadas a la población, la ciencia, la tecnología y el tercer mundo continuaron

haciendo énfasis sobre los problemas ambientales. Finalmente la ONU organiza en Río de Janeiro la conferencia “Cumbre de la Tierra” para abordar temas del medio ambiente y desarrollo con seriedad y prontitud en las acciones a implementar.

En el diario acontecer de casi todos los países industrializados el tratamiento de las aguas residuales urbanas se controla cuidadosamente a través de múltiples reglamentaciones, políticas de estado, programas de incentivos y sobretodo el compromiso de la comunidad en pleno. Sin embargo hasta hace apenas pocas décadas el manejo de estas aguas ha venido a jugar un papel fundamental al interior de los países en vía de desarrollo y/o tercer mundistas. Esto debido, en gran parte, al poco conocimiento y compromiso que existía por parte de la sociedad y del estado con respecto a los efectos perjudiciales de este gran problema.

1.2. UN TRISTE ESCENARIO AMBIENTAL EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE.

La profunda crisis económica y social que afronta América Latina ha determinado que grandes sectores de su población vivan hacinados en las zonas marginales de las grandes ciudades, sumidos en la total pobreza y sin ningún servicio básico. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 1987) señala que en América Latina sólo el 10% de las aguas residuales colectadas en alcantarillados reciben algún tratamiento antes de ser dispuestas en los cuerpos de agua como arroyos y ríos que desembocan al mar lo que ha producido un notable y rápido deterioro en la calidad de las aguas costeras debido a las descargas de aguas residuales municipales sin ningún tratamiento representando esto serios problemas sociales, económicos y ambientales en la región.

Para la región Caribe, refiere la OMS que entre el 80 y 90% de las aguas residuales se descargan al mar sin tratamiento alguno. Éste es el mayor problema en la región, ya que las cargas orgánicas que se están depositando en los cuerpos de agua no son oxidadas y removidas, puesto que superan por mucho la capacidad de los sitios receptores, provocando eutrofización y anoxia de los sistemas, además de graves problemas de salud pública.

La contaminación por aguas residuales ha de tomarse en la actualidad como una alarma histórica: desde la Agenda de Estocolmo ya se había advertido sobre el problema de las aguas municipales; en la cumbre de Río (1992) se dijo que en el 2005 habría que intentar disminuirlas a un 50 por ciento, pero esto ha sido imposible de lograr. Según el PNUMA (2000), en Latinoamérica menos del 20 por ciento del agua residual recibe un tratamiento adecuado, provocando un serio problema que requiere de estrategias eficientes, tanto tecnológica como económicamente.

1.3. COLOMBIA UN PARAISO SUMIDO EN LA MISERIA AMBIENTAL.

En Colombia y solo para nombrar algunos casos, en la región del Pacífico la descarga de sólidos en suspensión (SS) asciende a 4.400 ton/día como resultado del aporte de los ríos y de los vertimientos de las poblaciones que viven en sus riberas y se indica que las actividades económicas aportan al mar Pacífico más de 8 mil galones/año de residuos de combustibles no especificados y más de 27 millones de ton/año de sólidos. Además, los ríos reciben, por escorrentía, sustancias aplicadas en la actividad agrícola que se realiza en sus cuencas.

La bahía de Cartagena y la ciénaga de Tesca, en Colombia, se han caracterizado por estar fuertemente contaminadas por causa de las descargas de aguas residuales urbanas que depositan principalmente

materia orgánica, nutrientes, químicos y sedimentos, mediante las descargas industriales y los aportes provenientes de fuentes fluviales. Actualmente, en la ciénega se descarga alrededor del 60 por ciento de todas las aguas residuales de la ciudad. La ciénega ha experimentado muertes masivas de peces durante el verano por la reducción del oxígeno disuelto y no es apta para actividades de contacto primario.

Estos devastadores sucesos despertaron la preocupación por el tratamiento de las aguas residuales en nuestro país, los primeros intentos por estar a tono con tal situación los efectuó en 1975 la dirección de saneamiento ambiental del Ministerio de salud con la expedición del Código Sanitario y la información obtenida sirvió para formular diversos programas nacionales en la materia.

A partir de la década de los 90, en Colombia se han experimentado profundos cambios en la estructura legal y administrativa: en 1993 se crea el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y el Sistema Nacional Ambiental; el MMA tiene 39 corporaciones autónomas regionales. También participa el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente y los ministerios sectoriales y el Departamento Nacional de Planeación.

Es notable también, en materia legislativa, que a raíz de cumbres como la de Río y Estocolmo se ha formulado diversas herramientas legales y técnicas a fin de fijar criterios, direccionamientos, estándares, orientaciones y requerimientos en el tema del medio ambiente. Se formuló la Ley 99 y posteriormente la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos; en esta última se plantea que el Plan de Gestión Municipal deba fijarse metas de desviación de los residuos que llegan a los sitios de disposición final y en esta dirección orientar sus diferentes instrumentos y estrategias de modo que la minimización de la cantidad y peligrosidad de los residuos que llegan a los

sitios de disposición final, la maximización de su aprovechamiento y la reducción de su generación constituyan las grandes líneas generales hacia las cuales se deban orientar los planes.

Colombia cuenta con un instrumento sobre fuentes terrestres de contaminación, el Protocolo para la Protección del Pacífico Sudeste contra la Contaminación Proveniente de Fuentes Terrestres firmado en conjunto con Ecuador, Perú y Chile en 1983. A pesar de ser éste un instrumento vinculante y de haber sido adoptado hace casi 20 años, el rezago en infraestructura y la necesidad de buscar una política integral sobre la protección marina y el manejo de los recursos hídricos siguen sin resolverse y con consecuencias para la salud de los ecosistemas marinos y costeros.

Pero aún así, es importante reconocer hoy día los alcances, cambios positivos y metas en tales aspectos que se han fijado para el futuro próximo en cuanto al manejo de las aguas residuales domésticas pasando de la irresponsable actitud de contaminación desaforada a la preocupación y actuar constante en pro de los recursos hídricos de nuestra nación.

1.4. INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de investigación está localizada en el municipio de Sincelejo en el departamento de Sucre. Limita por el norte con los municipios Santiago de Tolú y Tolú Viejo, por el este con los municipios Morroa y Corozal, por el sur con los municipios Sampués y Chinú (Córdoba) y por el oeste con los municipios Palmito y Santiago de Tolú. La cabecera municipal de Sincelejo se encuentra a 213 m.s.n.m. Dista de la ciudad de Cartagena 195 Km y 971 Km de la capital de la república. El área municipal cuenta con una extensión de 28.410,31 Hectáreas de las cuales el 7,53% pertenece a suelo urbano y el 92,47% pertenece a suelo rural. La ciudad se encuentra construida en las

extensas sabanas de la llanura del caribe, al pie de las últimas y bajas estribaciones de la serranía de San Jerónimo. El territorio en general es plano, bañado por un buen número de arroyos. La temperatura media de Sincelejo es de 26°C y se mantienen precipitaciones medias anuales de 1192.9 mm.

De acuerdo con el censo nacional de población y vivienda realizado en 1993, por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE, se estableció que la población total correspondiente a la cabecera de la ciudad era de 168.410 habitantes de los cuales 79.927 son hombres y 88.483 son mujeres y para el año 2004 el Dane proyectó una población de 262.004 habitantes.

Actualmente en el departamento de Sucre y más concretamente en el municipio de Sincelejo, el sistema recomendado en materia de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas por los habitantes consta básicamente de una serie de procesos físicos y biológicos, los cuales fueron diseñados teniendo como base las condiciones ambientales y topográficas del lugar, así como las capacidades financieras y técnicas de la región (SANTOS, 2001).

Según los Estudios y Diseños de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Ciudad de Sincelejo presentados por el ingeniero Antonio Santos Santiz, de acuerdo con las condiciones ambientales predominantes en la región, a la eficiencia del sistema de tratamiento y a los requerimientos financieros en cuanto a costos de construcción, operación y mantenimiento, el consultor recomienda que el mejor sistema de tratamiento corresponde al uso de lagunas de estabilización para realizar el tratamiento a las aguas residuales generadas por los habitantes del casco urbano del municipio de Sincelejo. Anterior a los sistemas mencionados, se deberá construir un

sistema adicional de pretratamiento para retener materiales provenientes de los colectores de aguas residuales que puedan afectar el tratamiento.

El terreno destinado por la administración municipal de Sincelejo para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales está localizado al extremo oriental de la ciudad, aguas arriba de la confluencia del arroyo Caimán y el arroyo Grande; se localiza a la margen derecha del carretable al corregimiento de Las Palmas, a una distancia aproximada de 5 Km. del centro urbano de Sincelejo. El terreno se encuentra dividido por la línea de gasoducto perteneciente a la firma Promigas.

Debido a la localización actual de los colectores de aguas residuales y a los requerimientos de área se prevé construir dos sistemas de tratamiento independientes en dos etapas cada uno, la primera al año 2010 y la segunda al 2020, aunque algunas operaciones unitarias se diseñarán para satisfacer directamente la demanda al año 2020 debido a que son sistemas de bajo costo y con iguales condiciones para las dos etapas del tratamiento. El primer sistema se diseñará para tratar las aguas residuales domésticas vertidas por el colector Caimán el cual se estima que para el año 2010 transportará un caudal de 264 lt/s y una carga orgánica de 9443 kg/día. El segundo sistema se diseñará para tratar las aguas residuales domésticas provenientes del colector Columuto, el cual se estima que transportará un caudal de 176 lt/s y una carga orgánica de 6295 kg/día generado por el 40% de la población proyectada para el año 2010.

La configuración de tales sistemas incluye los siguientes procesos unitarios:

- Sistema de pretratamiento: constituido por cribado, desarenador y sistema de medición.
- Sistema de distribución: tanque de distribución.

- Tratamiento primario: Lagunas anaerobias.
- Tratamiento secundario: lagunas facultativas.
- Tratamiento terciario: lagunas de maduración.
- Tratamiento de lodos: lagunas de secado.

Del mismo estudio en el ítem 4.2.4 se hace referencia a la Evaluación de las Condiciones de Referencia, en el que el componente físico se considera uno de los más afectados en la actualidad, calificando el medio actual con alta contaminación de las fuentes de agua superficial, debido a que las aguas residuales generadas en el casco urbano del municipio de Sincelejo son vertidas directamente a estos cuerpos sin ningún tratamiento, que proporcionan al elemento un impacto de carácter negativo y con área de influencia directa e indirecta.

Otro de los recursos de este componente, el atmosférico, con los elementos emisiones de gases y olores se considera que en la actualidad se genera una afectación negativa y de mediana importancia y se presenta en el área de influencia directa. El estudio en mención revela que el vertimiento de las aguas residuales domésticas de Sincelejo sobre las fuentes superficiales, seguirá influyendo negativamente en la calidad de éstas, por lo que la tendencia de este elemento sin la construcción de un sistema de tratamiento es a empeorar.

Respecto de la calidad de vida, la tendencia de este elemento es a permanecer igual, sin embargo de continuar con el deterioro acelerado de la calidad del agua de las fuentes superficiales, podría desatar graves consecuencias a la calidad de vida de la población circundante.

Según el Estudio Geológico, Hidrogeológico y de Suelos (ALCALA, 2004) el terreno destinado para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Sincelejo, está localizado al oriente de la ciudad, aguas arriba

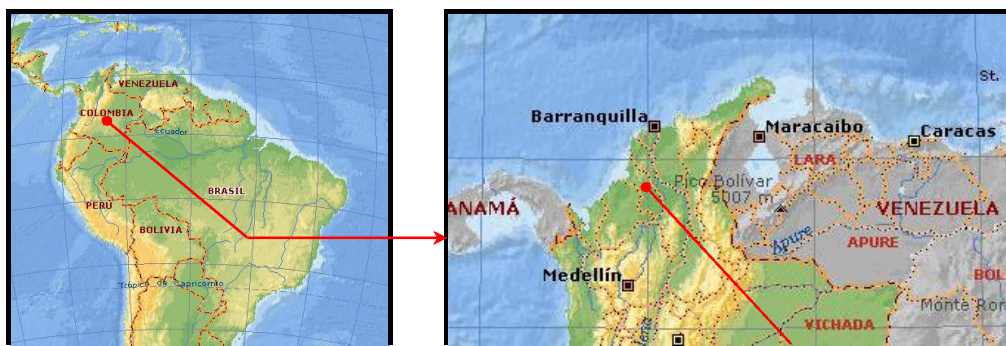
de la confluencia del Arroyo Caimán en el Arroyo Grande. Distante aproximadamente 1.5 Km. del centro de la ciudad. El terreno se encuentra dividido por la línea del gasoducto perteneciente a la firma Promigas. Los suelos del área en mención se encuentran en la parte basal del Miembro Morroa de la Formación Sincelejo cerca al contacto con el miembro Sincelejo Superior y corresponden a suelos limo-arenosos de características semi-impermeables.

1.5. PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO.

El tratamiento de aguas residuales mediante la actividad biológica, busca principalmente remover contaminantes, sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual, mediante su conversión en gases que se dispersan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante procesos de sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual.

Según la presencia o ausencia de oxígeno libre, los procesos biológicos pueden clasificarse en cuatro grupos principales: *aerobios*, *anaerobios*, *anóxicos* y *combinados*, anóxicos con aerobios o con anaerobios.

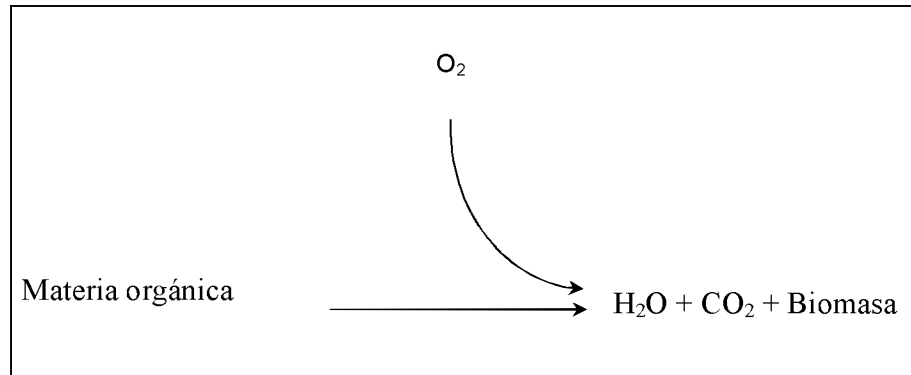
Figura 1. Área de influencia del proyecto.



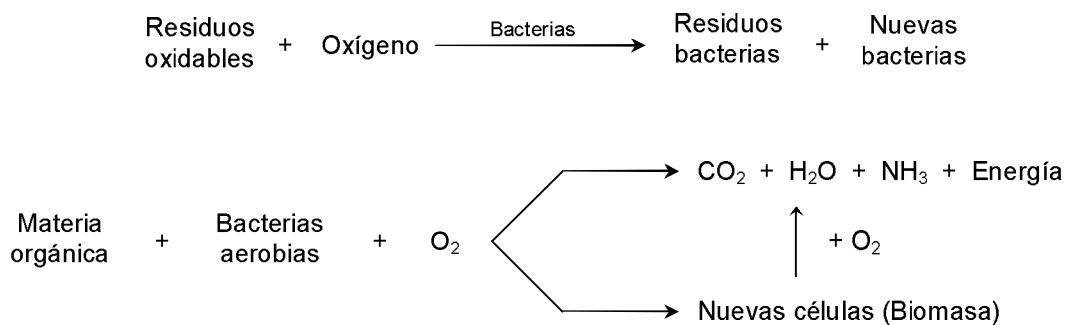
FUENTE: Enciclopedia ENCARTA 2002.

1.5.1. Procesos aerobios. Son procesos de respiración de oxígeno en los cuales el oxígeno libre es reducido, siendo finalmente el aceptador de electrones y el carbono presente en la materia orgánica e inorgánica, es

oxidado. Todos aquellos organismos que emplean oxígeno libre como aceptador de electrones son aerobios.

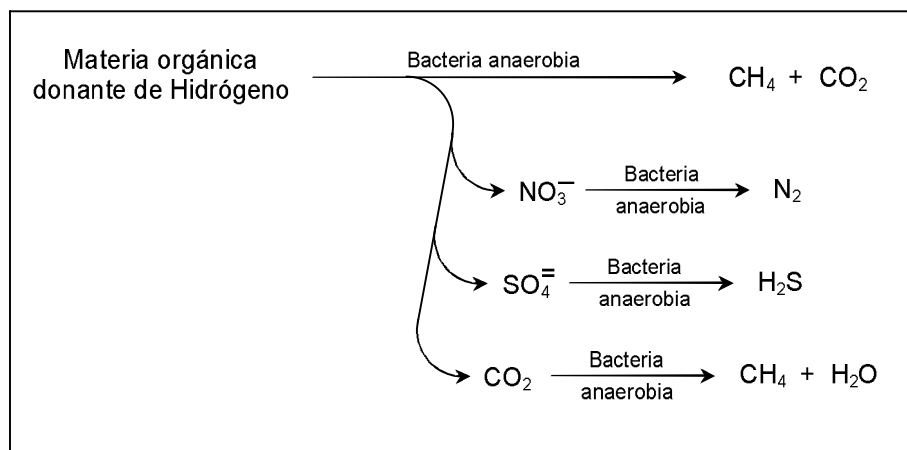


Debido a que el metabolismo microbioal comprende una serie de reacciones de gran complejidad, podemos representar el proceso de oxidación aerobia mediante las siguientes ecuaciones verbales.

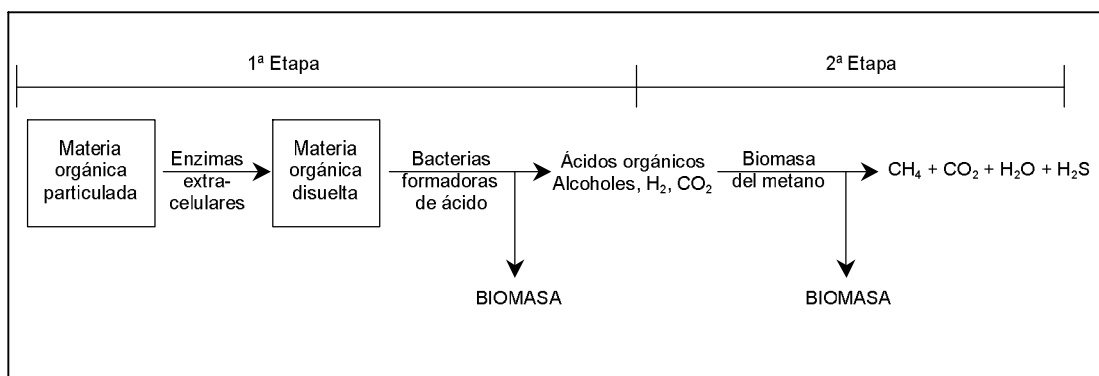


Debido al papel que desempeñan en el tratamiento aerobio de aguas residuales, bacterias tales como *Zocgíea ramigera*, *Pseudomonas*, *Fíavobacterium* y *Alcalígenes*, se constituyen como los organismos más importantes de todo el proceso debido a que son excelentes oxidadores de la materia orgánica y crecen bien en aguas de tal tipo, siendo capaces de formar una capa floculenta gelatinosa de muy buenas características para la remoción de la materia orgánica.

1.5.2. Procesos anaerobios. A este proceso también se le conoce como fermentación y es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno libre de tal manera que se pueda obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. Este proceso puede representarse esquemáticamente de la siguiente manera.



El proceso microbioal anaerobio también es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones paralelas y en serie, interdependientes entre sí. Pero podemos considerar el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica integrado por dos etapas: fermentación de ácidos y fermentación de metano, que ocurren simultáneamente.



1.5.3. Procesos anóxicos. También conocidos como fermentación anóxica o proceso de respiración de nitrato y consiste en una serie de reacciones que buscan la reducción del nitrato o nitrito utilizándolos como aceptadores de electrones, en ausencia de oxígeno libre. Este proceso también se conoce como desnitrificación anaerobia, pero como las vías principales de conversión bioquímica no son anaerobias sino una modificación de las vías aerobias, se ha optado por denominarlo apropiadamente como proceso anóxico.

La única diferencia entre la respiración anóxica y la aerobia radica en la enzima que cataliza la transferencia final de electrones. Para lograr la desnitrificación debe excluirse el oxígeno pues de existir simultáneamente nitrato y oxígeno, los microorganismos prefieren el oxígeno como aceptador de electrones.

En la actualidad se conocen catorce géneros de bacterias desnitrificantes, los grupos más citados son *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Methanomonas*, *Paracoccus*, *Spirillum* y *Thiobacillus*.

1.5.4. Aspectos comparativos. Una de las ventajas y quizás la más importante del proceso anaerobio es su baja tasa de síntesis o bajo porcentaje de conversión de materia orgánica en células biológicas. En el proceso aerobio no hay malos olores, la mineralización de los componentes

oxidables es total, se requiere energía externa para aireación y mezcla y existe una aireación y mezcla y existe una producción alta de biomasa o sea de lodos de desecho. En el proceso anaerobio, el sustrato no es completamente mineralizado, la energía se almacena en el metano y se obtiene menor biomasa.

Para sintetizar una unidad de masa celular, aerobia o anaerobiamente, se requiere la misma cantidad de energía y las mismas cantidades de carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y demás nutrientes. Como la energía obtenida Por transferencia de electrones en el proceso aerobio es mucho mayor que en el proceso anaerobio, por tanto este último produce menos biomasa. En síntesis, la producción de biomasa anaerobia es 19 veces menor que la producción aerobia.

1.5.5. Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, PAMLA. El reactor o proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, conocido en inglés como UASB y en español como RAFA o PAMLA, es un proceso en el cual el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos.

El tratamiento se efectúa por contacto del agua residual con el lodo granulado o floculento, en el cual se deben desarrollar bacterias con buenas características de sedimentación, bien mezcladas por el gas en circulación. La concentración de SSV en el manto de lodos puede alcanzar los 100g/lit.

Tabla 1. Principales procesos de tratamiento biológico.

Tipo	Crecimiento	Proceso	Uso principal
Aerobios	Suspendido	Lodos activados	Remoción de DBO y nitrificación
		Convencional	H
		Mezcla completa	H
		Aireación escalonada	H
		Estabilización y contacto	H
		Oxígeno puro	H
		Tasa alta	H
	Adherido	Aireación prolongada	H
		Proceso Krauss	H
		Zanjón de oxidación	
		Lagunas aireadas	Remoción de DBO y nitrificación
		Digestión aerobia	Remoción de DBO - estabilización
		Lagunas aerobias	Remoción de DBO y nitrificación
Anóxicos	Suspendido	Filtros percoladores	Remoción de DBO y nitrificación
		Tasa baja	
		Tasa alta	
	Adherido	Torres biológicas	Remoción de DBO y nitrificación
		Unidades rotatorias de contacto biológico	Remoción de DBO y nitrificación
		Reactores de lecho fijo	Remoción de DBO y nitrificación
Anaerobios	Suspendido	Bardenpho	Remoción de DBO, N y P
		Desnitrificación	Remoción de nitrógeno
	Adherido	Desnitrificación	Remoción de nitrógeno
	Suspendido	Digestión anaerobia	Remoción de DBO - estabilización
		Anaerobio en contacto	Remoción de DBO
	Híbrido	Lagunas Anaerobias	Remoción de DBO - estabilización
		Manto de lodos – flujo Ascensional (PAMLA) o UASB	Remoción de DBO y SS
	Adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBO - estabilización
		Lecho expandido	Remoción de DBO - estabilización

Los gases de la digestión anaerobia se adhieren a los granos o partículas biológicas o causan circulación interna para proveer la formación de más granos. El gas libre y las partículas con gas adherido se elevan hacia la parte

superior del reactor. Las partículas que se elevan chocan con el fondo de las pantallas desgasificadoras para que el gas se libere. Los granos desgasificados caen de nuevo sobre la superficie del manto de lodos y el gas libre se captura en los domos localizados en la parte superior del reactor, la porción líquida fluye al sedimentador donde se separan los sólidos residuales del líquido. Esta recirculación interior de sólidos removidos permite edades de lodos prolongadas y hace innecesaria la recirculación externa de lodos.

El mecanismo de formación de lodo granulado aún no está claramente definido; sin embargo, se considera que aguas residuales diluidas con concentraciones de SST menores de 1000 a 2000 mg/lit dan origen a un manto de lodos mejor.

Estudios realizados por Lettinga y Hulshoff ¹ demuestran que la eficiencia del sistema PAMLA no se ve afectada por la formación de un lecho de lodos granular o floculento.

Este sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas requiere una temperatura óptima del proceso de 20 a 30°C, razón por la cual no ha sido usado en Europa pero en Colombia la Universidad del Valle con asesoría holandesa, inició estudios en 1981 con una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales. Con base en tales estudios las empresas municipales de Cali y la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) iniciaron la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas del tipo PAMLA.

Existen ventajas significativas en el uso de UASB, notablemente el tamaño compacto de dicho tipo de sistema, sin prácticamente ningún equipo en el recipiente anaeróbico. Esto resulta en menores costos de construcción y

¹ Holanda, 1980.

operación, menor consumo de energía y menor producción de lodo en exceso.

Pero en síntesis, las principales ventajas son:

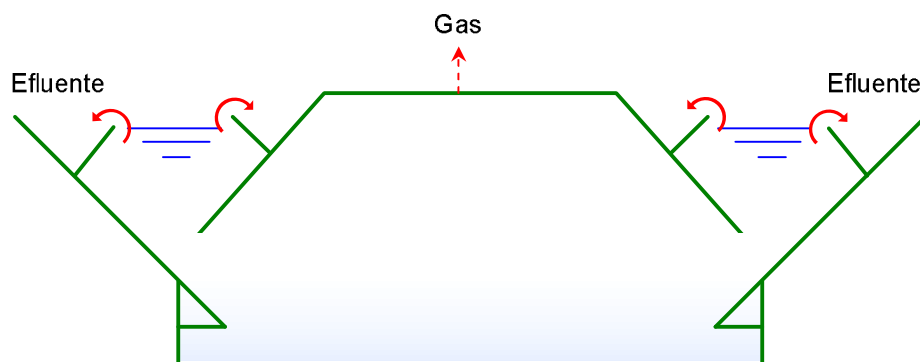
- Sistema compacto, utilizando un área de superficie pequeña.
- Prácticamente no se requiere ningún equipo en el proceso anaeróbico, con costos bajos de construcción y operación.
- Consumo de energía muy bajo.
- Se produce poco lodo en exceso.
- El lodo en exceso tiene una buena concentración (aproximadamente 5 a 6%), con buenas características de secado.
- No se requieren aparatos de calefacción en climas cálidos (como el de Brasil).

Como principales desventajas se encuentran:

- Posibilidad de malos olores, particularmente en el caso de un mal diseño o fallas operacionales, ya que éste es un proceso con un alto potencial de generación de H_2S .
- Baja capacidad para recibir cargas tóxicas (por lo general no es el caso para las aguas de alcantarilla domésticas).
- El arranque requiere inoculación simiente.

En general, existe una variedad de ventajas importantes, incluyendo el hecho de que los clarificadores primarios, espesadores de lodo, y digestores anaeróbicos, pueden ser reemplazados por un reactor UASB, sin ningún

Figura 2 . Ejemplos de reactores PAMLA.



equipo mecánico (excepto por pantallas y cámaras desarenadoras que siempre serán indispensables). Las unidades secundarias son reducidas en aproximadamente la mitad del volumen, ya que el reactor UASB reduce

alrededor del doble de la DOB, en comparación con el tratamiento convencional primario.

Asimismo, el costo de dicho tratamiento UASB y aeróbico es menos de 80 por ciento del costo de un tratamiento convencional secundario y la producción de lodo es menor que en los procesos convencionales, con la gran ventaja de que el lodo en exceso de la fase aeróbica puede ser regresado al reactor UASB; Por último, el lodo en exceso resultante, tomado del UASB, es bien digerido, y tiene buenas propiedades de secado.

2. METODOLOGÍA

Para lograr cumplir adecuadamente con los objetivos trazados al inicio de este proyecto, se hizo estrictamente necesario adelantar dos actividades paralelas que a continuación detallamos.

2.1. TRABAJO DE CAMPO.

2.1.1. Localización y reconocimiento del área de estudio. Se realizaron frecuentes visitas de campo en los tramos iniciales y finales del arroyo Columuto con el fin de identificar la localización general del área de interés y además para observar algunos aspectos ambientales que más tarde sirvieron para disponer los puntos para el posterior muestreo. Tales como profundidad continuación o prolongación de rectas y lejanía del casco urbano para garantizar que el muestreo no este afectado por factores externos

2.1.2. Toma de muestras para laboratorio. E.2.3. RAS2000. Se tomaron manualmente cuatro (4) muestras puntuales de aguas residuales domésticas del colector Columuto en épocas diferentes del año en el sector denominado

como El rebombeo ubicado luego del caso urbano del municipio de Sincelejo; con el fin de medir en el laboratorio los parámetros planteados en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000 a saber DBO5, DQO, Sólidos suspendidos totales, Coliformes totales y Oxígeno disuelto. Una vez recogida cada muestra se vertieron en recipientes plásticos recubiertos con bolsas de polietileno.

Las tres primeras muestras correspondientes a los meses agosto, septiembre y octubre se enviaron al consultor Oscar Fernando Wilches Escudero. La muestra N°4 correspondiente al mes de noviembre, fue enviada al laboratorio AMBIELAB de la ciudad de Montería para la medición inmediata de los parámetros arriba mencionados. Los resultados y demás se anexan al final del presente documento

2.2. TRABAJO DE OFICINA.

2.2.1. Revisión bibliográfica. Se consultó información disponible en textos relacionados con el manejo de las aguas residuales domésticas, tesis de grado de la Universidad de Sucre referentes a residuos sólidos y documentos de dominio público y privado existentes en el entorno departamental así como también diferentes páginas web afines con el propósito de reforzar los conocimientos existentes acerca del diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Toda esta información reposa de manera detallada en las referencias bibliográficas.

2.2.2. Diseño preliminar y evaluación de alternativas. Se realizaron los diseños de acuerdo con las metodologías propuestas por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) haciendo uso además de la teoría matemática de textos afines consignados en las referencias bibliográficas al final de este documento.

3. RESULTADOS

3.1. DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA.

El cálculo de la laguna anaerobia para tratamiento de las aguas residuales domiciliarias del municipio de Sincelejo vertidas por el colector Columuto, se realizó para un período de diseño de 20 años fundamentado en el RAS 2000.

3.1.1. Parámetros de diseño.

Proyección de la población a 20 años: *382.840 habitantes*²

Nivel de complejidad: *Alto.*

TABLA A.3.1
Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Notas : (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

Dotación neta de uso residencial: *150 lt/hab-día.*

² Información suministrada por la Secretaría de planeación municipal de Sincelejo (Ver Anexos).

TABLA B.2.2
Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab·día)	Dotación neta máxima (L/hab·día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Corrección a la dotación: *30 lts/hab-aía (+20%).*

TABLA B.2.3
Variación a la dotación neta según el clima y el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (Mas de 28°C)	Clima templado (Entre 20°C y 28°C)	Clima frio (Menos de 20°C)
Bajo	+ 15 %	+ 10%	No se admite Corrección por clima
Medio	+ 15 %	+ 10 %	
Medio alto	+ 20 %	+ 15 %	
Alto	+ 20 %	+ 15 %	

Corrección por uso industrial e institucional: *22,5 lts/hab-aía (+15%).*

Dotación neta, d_{neta} : *202,5 lts/hab-aía.*

Dotación bruta, d_{bruta} : *253,13 lts/hab-aía*, tomando un porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas de 20% para Nivel de Complejidad Alto.

TABLA B.2.4
Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas

Nivel de complejidad del sistema	Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas para el cálculo de la dotación bruta
Bajo	40 %
Medio	30 %
Medio alto	25 %
Alto	20 %

$$d_{\text{bruta}} = \frac{d_{\text{neta}}}{1 - \%p} \quad (\text{B.2.1})$$

Caudal medio diario, Qmd: 1121,62 lts/seg.

$$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400} \quad (B.2.2)$$

Caudal máximo diario, QMD: 1345,94 lts/seg. Tomando un coeficiente de consumo k_1 con valor de 1,20 según Nivel de Complejidad Alto.

TABLA B.2.5
Coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , según el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario - k_1
Bajo	1.30
Medio	1.30
Medio alto	1.20
Alto	1.20

$$QMD = Q_{md} \cdot k_1 \quad (B.2.3)$$

Caudal máximo horario, QMH: 2018,91 lt/seg. Tomando un coeficiente de consumo k_2 con valor de 1,50 según Nivel de Complejidad Alto para redes de distribución matrices.

TABLA B.2.6
Coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según el Nivel de Complejidad del Sistema y el tipo de red de distribución.

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
Bajo	1.60	-	-
Medio	1.60	1.50	-
Medio alto	1.50	1.45	1.40
Alto	1.50	1.45	1.40

$$QMH = QMD \cdot k_2 \quad (B.2.4)$$

3.1.2. Cálculos. Para el diseño de la laguna anaerobia usamos el método racional³ basado en la cinética del proceso, por su simpleza y porque permite

³ Marais, Shaws y otros.

obtener buenos resultados sin agobiar al lector con numerosas fórmulas y ecuaciones.

Empleando el siguiente modelo matemático que supone mezcla completa:

$$\frac{L_p}{L_o} = \frac{1}{K_{AN} \left(\frac{L_p}{L_o} \right)^n R + 1} \quad (1)$$

Donde:

L_o = DBO₅ del afluente

L_p = DBO₅ del efluente

K_{AN} = Constante de reacción por DBO en lagunas anaerobias (días⁻¹)

n = constante adimensional

R = Periodo de retención hidráulica (días)

El método recomienda diseñar lagunas anaerobias para eficiencias alrededor del 50%. Asumiendo una temperatura de 20°C, lo que permite realizar un diseño conservador (la temperatura de operación del sistema es 26°C aproximadamente, lo que aumenta la eficiencia del sistema), dado esto se ha encontrado valores de las constantes $K_{AN}=6$ y $n=4,8$, y valores de R de 1 y 4,6 días. Así las cosas los datos iniciales con los que contamos son los siguientes.

Para una eficiencia del 50%, entonces: $L_p=0,5L_o$

- L_o = 600mg/lt
- L_p = 300mg/lt
- K_{AN} = 6 días⁻¹
- n = 4,8

Despejando el periodo de retención, R :

$$R = \frac{\left(\frac{L_o}{L_p}\right)^{-1}}{K_{AN}\left(\frac{L_p}{L_o}\right)^n} \quad (2)$$

$$R = \frac{\left(\frac{600\text{mg/lit}}{300\text{mg/lit}}\right)^{-1}}{6\text{días}^{-1}\left(\frac{300\text{mg/lit}}{600\text{mg/lit}}\right)^{4,8}} = \frac{(2)^{-1}}{6\text{días}^{-1}(0,5)^{4,8}} = \frac{1}{6\text{días}^{-1}(0,036)} =$$

$$R = \frac{1}{0,216\text{días}^{-1}} = 4,63\text{días}$$

R = 4,6 días

El valor obtenido del período de retención da cumplimiento a lo consignado en la teoría acerca de los posibles valores a encontrar cuando se diseña preliminarmente considerando eficiencias del 50%.

Para el municipio de Sincelejo, la dotación neta de agua potable de 202,5 lts/hab-día y el Caudal Máximo Horario calculado según indicaciones del RAS 2000 para un nivel de complejidad Alto es QMH = 2018,91 lt/seg = 2,02m³/seg.

La prestación del servicio de agua potable en Sincelejo es en promedio 4 h/día, lo que equivale a una eficiencia del servicio del 16.6%, entonces:

$$QMH = 2,02\text{m}^3/\text{seg}.$$

$$Q = 16,6\% (QMH)$$

$$Q = (0.1666) * (2,02 \text{ m}^3/\text{seg})$$

$$\mathbf{Q = 0,335 \text{ m}^3/\text{sg}}$$

Considerando un coeficiente de retorno $R_t = 80\%$ puede calcularse el Caudal de Aguas Servidas (Q_{AR}).

$$Q_{AR} = Q * R_t$$

$$Q_{AR} = (0,335 \text{ m}^3/\text{seg}) * (0,8)$$

$$\mathbf{Q_{AR} = 0,270 \text{ m}^3/\text{sg}}$$

Este caudal calculado corresponde al caudal de aguas negras del municipio de Sincelejo, pero diseñando para el arroyo Colomuto al cual solo es vertido el 40% de las aguas residuales, entonces se calcula el caudal de diseño para esta laguna.

$$Q_{AR} = (0,270 \text{ m}^3/\text{seg}) * (0,4)$$

$$Q_{AR} = 0,107 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\mathbf{Q_{AR} = 9270,92 \text{ m}^3/\text{día}}$$

Con base en el período o tiempo de retención hidráulica se procede a calcular el volumen V_L de la laguna.

$$Q = V_L/T$$

$$V_L = Q * T$$

$$V_L = (9270,92 \text{ m}^3/\text{día}) * (4,6 \text{ días})$$

$$\mathbf{V_L = 42646,265 \text{ m}^3}$$

Dimensionando la laguna, tenemos:

$$V_L = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Profundidad} = L * W * Z$$

Área superficial de la laguna

$$As_L = L * W$$

$$V_L = As_L * Z$$

$$As_L = V_L/Z$$

Asumiendo una profundidad $Z = 3\text{m}$, entonces :

$$As_L = 42646,265 \text{ m}^3 / 3\text{m}$$

$$\mathbf{As_L = 14215,421\text{m}^2}$$

Estableciendo una relación Largo-Ancho de 3 :1

$$As_L = L * W, \text{ pero } L = 3W,$$

Entonces:

$$As_L = 3W \times W = 3W^2$$

$$As_L = 14215,421\text{m}^2 = 3W^2$$

$$W^2 = 14215,421\text{m}^2 / 3$$

$$\mathbf{W = 68,83\text{m} \approx 69\text{m}}$$

$$L = As_L / W$$

$$L = 14215,421\text{m}^2 / 68,83\text{m}$$

$$\mathbf{L = 206,53\text{m} \approx 207\text{m}}$$

En el diseño de lagunas de estabilización, como en cualquier otro diseño en ingeniería, se debe tener un margen o factor de seguridad que garantice que la estructura que se está proyectando va a funcionar sin problemas. Sin embargo no es tan fácil en este caso encontrar este factor de seguridad. Las lagunas se enfrentan a dos requerimientos críticos: carga orgánica y balance hídrico.

Tan importante es procurar una carga orgánica adecuada como lograr un balance hídrico apropiado. Entre más grande hagamos una laguna, más nos aseguramos desde el punto de vista de la carga orgánica, pero más la comprometemos desde el punto de vista del balance hídrico.

El balance hídrico suele ser dado por la ecuación:

$$Q_e = Q_a + (P_r + P_c) - (E + P_e) \quad (3)$$

Donde:

Q_e = Caudal del efluente.

Q_a = Caudal del afluente.

P_r = Precipitación que cae sobre la laguna.

P_c = Infiltración del agua subterránea hacia la laguna.

E = Evaporación.

P_e = Perdidas por percolación.

Asumiendo que el fondo de la laguna tiene cubierta de geomembrana y revestimiento, entonces la infiltración del agua subterránea hacia la laguna y las perdidas por percolación son nulas, esto es $P_c = P_e = 0$.

$$Q_e = Q_a + (P_r + P_c) - (E + P_e)$$

$$Q_e = Q_a + (P_r + 0) - (E + 0)$$

$$Q_e = Q_a + P_r - E$$

Ahora teniendo en cuenta que en nuestro medio geográfico la relación que existe entre las precipitaciones y la evaporación es aproximadamente 1:1 entonces el valor de la precipitación que cae sobre la laguna y la evaporación son iguales, esto es $P_r = E$.

$$Q_e = Q_a + E - E$$

$$Q_e = Q_a$$

3.1.3. Diseño de laguna anaerobia para remoción de organismos patógenos. Suponiendo mezcla completa y utilizando como indicador los coliformes fecales, tanto las lagunas facultativas como las anaerobias siguen la relación:

$$\frac{N_p}{N_o} = \frac{1}{K_b R + 1}$$

Donde:

N_p = Número de bacterias coliformes fecales (por 100 ml) en el efluente.

N_o = Número de bacterias coliformes fecales (por 100 ml) en el afluente.

R = Período de retención en días.

K_b = Constante.⁴

La tasa de mortalidad neta de coniformes fecales ha sido establecida, a 20°C, como un valor promedio aceptable de 0,84día⁻¹ en lagunas facultativas, así las cosas, los datos iniciales son:

$N_o = 540000$ NPM/100ml

$R = 4,6$ días

$K_b = 0,84$ días⁻¹

Calculamos el número de organismos presentes en el efluente.

$$N_p = \frac{1}{K_b R + 1} N_o$$

$$N_p = \frac{1}{(0,84\text{días}^{-1})(4,6\text{días}) + 1} (540000 \text{ NPM}/100\text{ml})$$

$$N_p = \frac{1}{(3,864) + 1} (540000 \text{ NPM}/100\text{ml})$$

$$N_p = \frac{1}{4,864} (540000 \text{ NPM}/100\text{ml})$$

$N_p = 111019,74$ NPM/100ml

⁴ Constante de reacción en remoción de coliformes fecales. Se ha encontrado que tiende a valores más bajos en las lagunas anaerobias que en las facultativas, constituye una sana practica llamarla constante.

3.1.4. Eficiencia del sistema. Determinando la eficiencia del sistema ($E\%$), tenemos:

$$E\% = \frac{100(N_o - N_p)}{N_o}$$

$$E\% = \frac{100(540000 - 111019,74)}{540000}$$

$$E\% = \frac{100(428980,26)}{540000}$$

$$E\% = \frac{42898026}{540000}$$

$$E\% = 79,4\%$$

Según las dimensiones presentadas se puede plantear la posibilidad de diseñar lagunas anaerobias en paralelo de la siguiente manera:

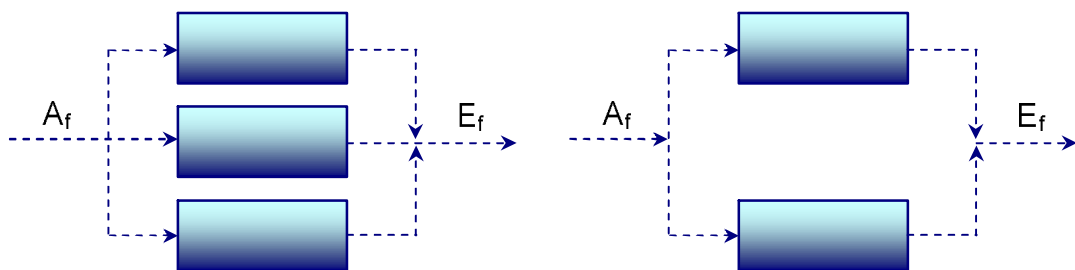
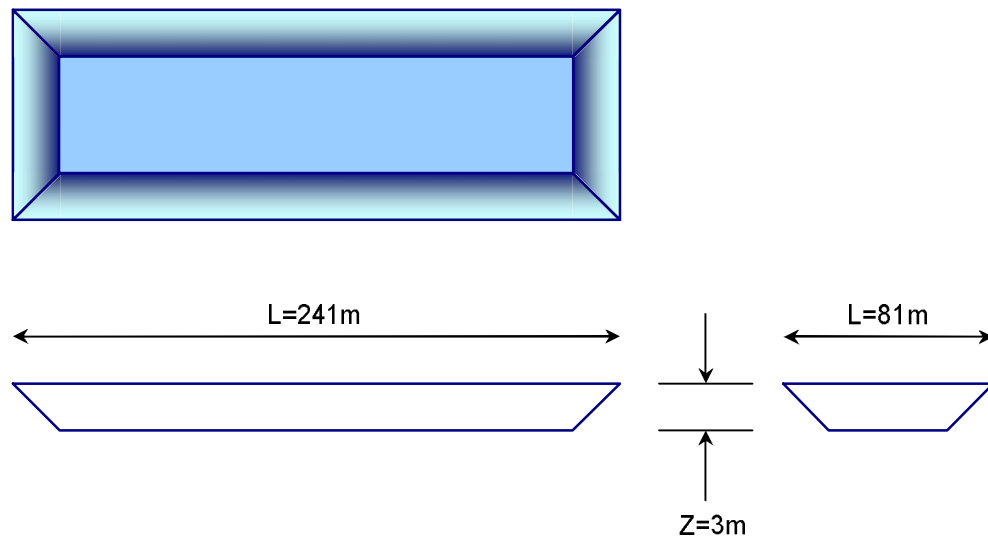


Figura 3. Esquema de la laguna anaerobia.

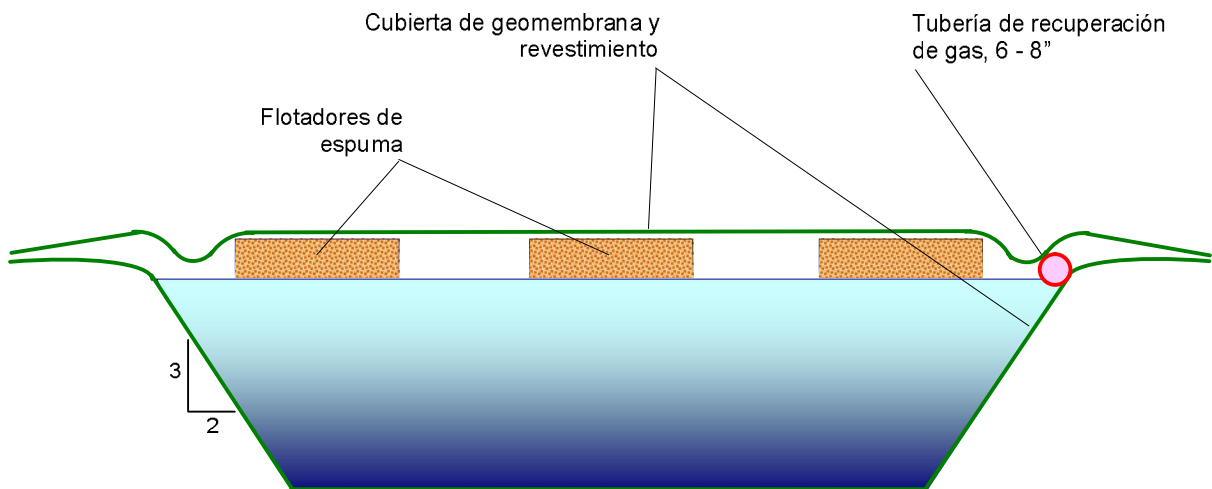


3.2. DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA CUBIERTA.

El objetivo de esta laguna es recuperar los gases que se producen en el proceso. Se logra colocando sobre toda la superficie de la laguna una capa impermeable de color negro preferiblemente, la cual queda separada del agua mediante unos flotadores y los gases se recogen mediante dos tuberías perforadas, colocadas longitudinalmente a lo largo de los extremos de la laguna.

Las dimensiones de esta laguna son las mismas que se calcularon inicialmente.

Figura 4. Esquema de la laguna anaerobia cubierta.



3.3. DISEÑO DEL SISTEMA TIPO PAMLA O RAFA (UASB)

Para el diseño del reactor UASB se ha tenido en consideración los parámetros básicos propuestos por los autores Crites y Tchobanoglous en su obra Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.

3.3.1. Producción diaria de lodos. Para este cálculo se tomaron los datos obtenidos por los Ingenieros Reny Guerra y Dalmiro Pacheco, docentes de la asignatura Laboratorio de química de materiales en el tercer semestre de Ingeniería Civil de la Universidad de Sucre los cuales realizaron los análisis físicos y químicos de las muestras de agua residual del arroyo Columuto, obteniéndose que 1 lt de agua residual contiene 1 cm³ de lodo.

El caudal de aguas residuales a emplear es:

$$Q_{AR} = 9270,92 \text{ m}^3/\text{día} = 9270920 \text{ lt}/\text{día}.$$

Calculando en contenido de lodo en el caudal de aguas residuales:

$$9270920 \text{ lt} * (1 \text{ cm}^3 \text{ lodo} / 1 \text{ lt}) = 9270920 \text{ cm}^3 \text{ lodo}$$

$$= \mathbf{9,27 \text{ m}^3 \text{ lodo/día}}$$

Teniendo en cuenta que el lodo contiene un 95% de humedad se calcula la producción real, así:

$$9,27 \text{ m}^3 \text{ lodo/día} * (0,05) = \mathbf{0,463 \text{ m}^3/\text{día}} \text{ sólido en los lodos}$$

$$9,27 \text{ m}^3 \text{ lodo/día} * (0,95) = \mathbf{8,807 \text{ m}^3/\text{día}} \text{ agua en los lodos}$$

$$9,27 \text{ m}^3 \text{ lodo/día}$$

3.3.2. Volumen total de lodos por día. Inicialmente determinamos el peso de lodos sabiendo la densidad obtenida en el Laboratorio de Química de materiales por los docentes anteriormente mencionados, $d = 1,020 \text{ kg/lt}$.

$$0,463 \text{ m}^3/\text{día} * 1,020 \text{ kg/lt} * (1000 \text{ lt} / 1 \text{ m}^3) = 472,817 \text{ kg/día}$$

$$472,817 \text{ kg/día} * (2,2 \text{ lb} / 1 \text{ kg}) = 1040,197 \text{ lb/día}$$

Peso diario de sólido en los lodos = 1040,197 lbs

$$8,807 \text{ m}^3/\text{día} * 1,000 \text{ kg/lt} * (1000 \text{ lt} / 1 \text{ m}^3) = 8807,00 \text{ kg/día}$$

$$8807 \text{ kg/día} * (2,2 \text{ lb} / 1 \text{ kg}) = 19375,4 \text{ lb/día}$$

Peso diario de agua en los lodos = 19375,4 lbs

Ahora procedemos a calcular el volumen de lodos teniendo en cuenta la gravedad específica obtenida en el laboratorio. $G_{ESP} = 62,4 \text{ lb/pie}^3$

$$1040,197 \text{ lbs/día} + 19375,4 \text{ lbs/día} = 20415,597 \text{ lbs/día}$$

$$20415,597 \text{ lbs/día} * (1\text{pie}^3 / (1,020 * 62,4 \text{ lb})) = 320,757 \text{ pie}^3/\text{día}$$

Volumen total de lodos = 320,757 pie³/día

3.3.3. Volumen del reactor UASB. Calculamos a continuación el tiempo mínimo de retención hidráulica con la ecuación establecida por los autores Crites y Tchobanoglous y aplicamos un factor de seguridad de 2,0 para determinar el valor del diseño.

$$\frac{1}{\theta_c^M} = YK - K_d$$

En esta ecuación los valores de los coeficientes que se aplican a nuestro medio geográfico son los siguientes.

$$K = 1,4 \text{ d}^{-1}$$

$$Y = 0,1 \text{ mg SSV/mg DQO}$$

$$K_d = 0,03 \text{ días}^{-1}$$

$$\frac{1}{\theta_c^M} = (0,1)(1,4 \text{ día}^{-1}) - (0,03 \text{ día}^{-1})$$

$$\frac{1}{\theta_c^M} = (0,14 \text{ día}^{-1}) - (0,03 \text{ día}^{-1})$$

$$\frac{1}{\theta_c^M} = 0,11 \text{ día}^{-1}$$

$$\theta_c^M = \mathbf{9,1 \text{ días}}$$

Usando el factor de seguridad igual a 2, tenemos:

$$\theta_c^M = 9,1 \text{ días} * 2,0 = 18,2 \text{ días}$$

$$\theta_c^M = \mathbf{18,2 \text{ días}}$$

El volumen requerido para el digestor es calculado, así:

$$V_{DIG} = Q * \theta_d$$

$$V_{DIG} = 320,757 \text{ pie}^3/\text{día} * 18,2 \text{ día}$$

$$V_{DIG} = 5837,777 \text{ pie}^3$$

$$\mathbf{V_{DIG} = 165,306 \text{ m}^3}$$

$$V_{DIG} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Altura} = L * W * Z$$

$$\text{Área superficial del digestor: } As_L = L * W$$

$$V_{DIG} = As * Z$$

$$As = V_{DIG} / Z$$

Asumiendo una altura $Z = 3\text{m}$, entonces :

$$As_L = 165,306 \text{ m}^3 / 3\text{m}$$

$$\mathbf{As_L = 55,10\text{m}^2}$$

Si $L = W$, entonces:

$$As_L = 55,10\text{m}^2 = L^2$$

$$\mathbf{L = 7,42\text{m} \approx 7,5\text{m}}$$

3.3.4. Eficiencia del sistema. Para calcular la eficiencia del sistema podemos partir de que en el 96% de los casos el DQO5 y los SST son menores o iguales a 530 mg/lts, tomando como coeficiente de confiabilidad 0.7 podemos calcular DQO5 medio de diseño.

$$DQO5 = 0.7 * 530 \text{ mg/lit} = 371 \text{ mg/lit}$$

$$\mathbf{DQO5 = 371 \text{ mg/lit}}$$

$$SST = 0.65 * 530 \text{ mg/lit} = 344,5 \text{ mg/lts}$$

$$\mathbf{SST = 344,5 \text{ mg/lts}}$$

Para el caso de los DQO suspendidos podemos tomar una conversión de masa igual a 1,21 y una fracción volátil del 0,65 entonces:

$$\text{DQO}_{\text{SUSP}} = 271 \text{mg/lit}$$

Al convertir la DQO_{SUSP} a $\text{DQO5}_{\text{SUSP}}$ obtenemos lo siguiente:

$$\text{DQO5}_{\text{SUSP}} = 0.6 * 271 \text{ mg/lit} = 162,6 \text{mg/lit}$$

$$\text{DQO5}_{\text{SUSP}} = 162,6 \text{mg/lit}$$

Para el efluente:

$$\text{DQO5}_{\text{SOLUBLE}} = \text{DBO5} - \text{DBO5}_{\text{SUSP.}}$$

$$\text{DQO5}_{\text{SOLUBLE}} = 344,5 - 162,6$$

$$\text{DQO5}_{\text{SOLUBLE}} = 181,9 \text{mg/lit}$$

Este valor afectado por un factor de seguridad del 0.8 entonces

$$\text{DQO5}_{\text{SOLUBLE}} = 181,9 \text{mg/lit} * 0,8$$

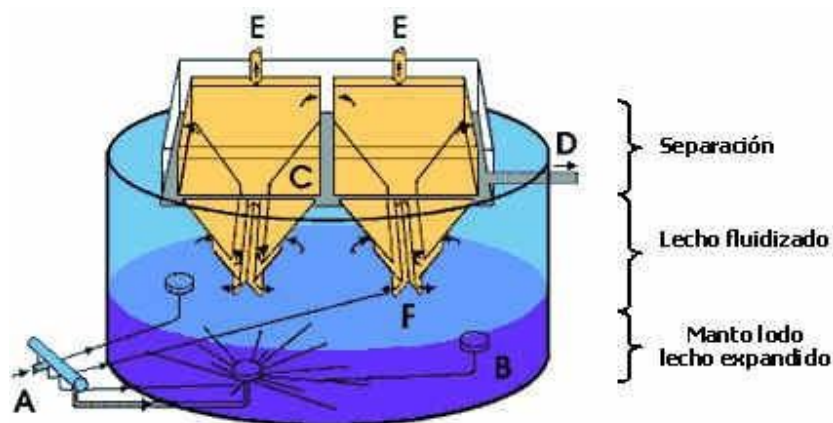
$$\text{DQO5}_{\text{SOLUBLE}} = 145,52 \text{mg/lit}$$

Entonces la eficiencia del sistema estaría dada por lo siguiente:

$$E = (530 \text{mg/lit} - 145,52 \text{mg/lit}) / 530 \text{mg/lit} = 0,725$$

$$E = 72,5 \%$$

Figura 5. Modelo de funcionamiento de un digestor UASB



4. DISCUSION DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos, podemos evidenciar una serie de ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas planteados inicialmente las cuales se señalan a continuación.

4.1. Del proceso aerobio. Este tipo de tratamiento de aguas residuales domésticas, nos ofrece dos grandes ventajas, a saber:

- Ausencia de olores.
- Mineralización de todos los compuestos biodegradables.

Sin embargo su operación es bastante dificultosa debido a tres diferentes aspectos:

- Alta producción de lodos debido a la tasa alta de síntesis celular.
- Requiere de mucha energía eléctrica principalmente para los procesos de oxigenación y mezcla.
- Gran proporción de células en los lodos que hace, en algunos casos, necesaria su digestión, antes de secarlos y disponerlos.

4.2. Del proceso anaerobio. Tal como lo señala la teoría, este sistema nos ofrece mayores ventajas ante los sistemas aerobios:

- Por tener una tasa baja de síntesis celular, nos genera poca producción de lodos.
- El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos convencionales.
- Utiliza poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica.
- Produce metano, el cual puede ser útil como elemento energético pues posee un valor calorífico de aproximadamente 36.500KJ/m^3 .

Podemos también señalar algunas de las desventajas de emplear este tipo de sistemas:

- Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas.
- El medio es corrosivo.
- Tiene riesgos de salud por H_2S .
- Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido.
- Requiere concentraciones altas de alcalinidad.
- Es sensible a la contaminación con oxígeno.
- Presenta olores desagradables por H_2S , ácidos grasos y amidas.

4.3. Del proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, PAMLA.

Este sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, posee una serie de ventajas que van desde su construcción hasta su operación y mantenimiento:

- Es un sistema elemental por lo que su construcción es sencilla.
- Puede construirse incluso en áreas bajas de terreno.
- Su operación es supremamente simple.
- No necesita energía.
- El gas puede utilizarse.
- Produce poco lodo.
- La eficiencia en remoción de DBO y SS es aceptable, con tiempos de tención mayores de seis horas.

Con respecto de los otros sistemas anaerobios, las ventajas son las siguientes:

- El sistema PAMLA permite usar cargas orgánicas volumétricas mayores.
- Es el único proceso anaerobio que remueve nitrógeno.
- No necesita mezcla artificial ni tanques independientes de sedimentación.

5. CONCLUSIONES

Para garantizar un adecuado y completo tratamiento de las aguas residuales domésticas del municipio de Sincelejo y el saneamiento de las corrientes superficiales del entorno, significativamente contaminadas por el acelerado crecimiento urbanístico así como por la disposición no adecuada de los residuos sólidos, concluimos que el sistema más apropiado es el tipo PAMLA/RAFA (UASB) debido a sus múltiples ventajas ya conocidas, que se reflejan en economía en su construcción, eficiencia en operación y mantenimiento y disponibilidad de alternativas de reuso de los subproductos resultantes del proceso de tratamiento.

El sistema de tratamiento PAMLA es una solución ventajosa porque además de ser sencilla su construcción tiene bajo consumo de energía durante su operación haciéndolo un sistema atractivo desde el punto de vista económico; además como necesita poco espacio comparado con las extensiones de terreno necesarias para las lagunas anaerobias bajarían los costos porque no sería necesario comprar mucho terreno para la localización del proyecto.

La producción de lodos en el tratamiento de aguas residuales con el sistema PAMLA es menor que en los sistemas anaerobios convencionales; estos lodos presentan buena concentración y buenas características para el secado

La evaluación técnica preliminar de sistemas alternativos para el tratamiento de las aguas residuales permite hacer un análisis comparativo de tipo técnico, operativo y económico para poder tomar la mejor alternativa de solución a la problemática del tratamiento de las aguas residuales; éstas características la convierten en una herramienta vital para la toma de decisiones.

6. RECOMENDACIONES

Los estudiantes a cargo de esta tesis de grado bajo la dirección del Ingeniero Guillermo Gutiérrez Ribón se permiten recomendar a la administración del municipio de Sincelejo en cabeza del Doctor Jaime Merlano Fernández:

Elaborar, analizar y confrontar los diseños de otros sistemas alternativos para el tratamiento de las aguas residuales domesticas examinando variables de tipo económico y de factibilidad dado que este documento arroja como conclusión fundamental que la ejecución de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con proceso ascensional de manto de lodos anaerobio-PAMLA (UASB) es la mejor alternativa técnica ante otros sistemas anaerobios, para garantizar un adecuado y completo tratamiento de las aguas residuales y por ende el saneamiento de las corrientes superficiales del entorno.

Considerando que el mayor porcentaje de contaminación de las aguas residuales domesticas es a causa de materia orgánica, nos permitimos plantear a continuación un esquema de tratamiento constituido por un Tratamiento Preliminar, Tratamiento Primario, y Tratamiento Secundario, que permite principalmente la remoción de la carga orgánica en términos de DBO obviamente manteniendo como corazón del proceso de tratamiento primario el proceso biológico anaeróbico tipo PAMLA.

6.1. Tratamiento preliminar. En toda planta de tratamientos hay dispositivos de pretratamiento, cuyo objetivo es eliminar elementos sólidos y partículas gruesas, capaces de interferir o causar daño a los equipos o unidades de tratamiento posterior. El tratamiento preliminar o pretratamiento debe estar constituido por tres sistemas: Cribado Grueso, Cribado Fino y Desarenado. Tanto en el cribado grueso como en el fino, se debe hacer pasar el agua

residual a través de rejillas con aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 7 cm y otros entre los 4 y los 7mm (Mercado, 2003), de esta manera quedaran retenidos todo tipo de sólidos, que luego deberán ser retirados de las rejillas de manera manual o mecánica y deberá ser dispuesto hacia el relleno sanitario. Por ultimo el pretratamiento debe concluir en desarenadores, cuyo diseño debe permitir la decantación eficaz de las arenas presenten en las aguas residuales.

6.2. Tratamiento primario. Luego del tratamiento preliminar en el agua permanece la carga contaminante menos fácil de remover, representada por material disuelto y material en suspensión, esencialmente de naturaleza orgánica. El tratamiento primario se llevará a cabo a través del proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, PAMLA también conocido como sistemas de reactores UASB. El principal evento que ocurre en estos reactores es la degradación en ausencia de oxígeno de la materia orgánica (proceso anaeróbico) promovidas por bacterias especializadas. La acción enzimática de las bacterias promueve varias reacciones de degradación, siendo la más importante la formación de metano (biogás) como subproducto del proceso. En el transcurso del proceso, las bacterias crecen y se agrupan formando “flocs” que se depositarán en el tercio inferior del reactor, dando lugar al llamado manto de lodos, responsable del proceso de biodegradación, estos lodos deberán ser retirados periódicamente cuando exista exceso de los mismos y dispuestos en lechos de secado.

6.3 Tratamiento secundario. Luego del tratamiento primario la carga contaminante debe estar por debajo del 70 por ciento. Pero la norma establece que este porcentaje debe ser superior o igual al 80 por ciento en este sentido y para lograr esto el agua debe ser llevada a lagunas facultativas donde debe complementarse la descontaminación por acción conjunta de microorganismos que se adaptan al medio aeróbico a nivel de

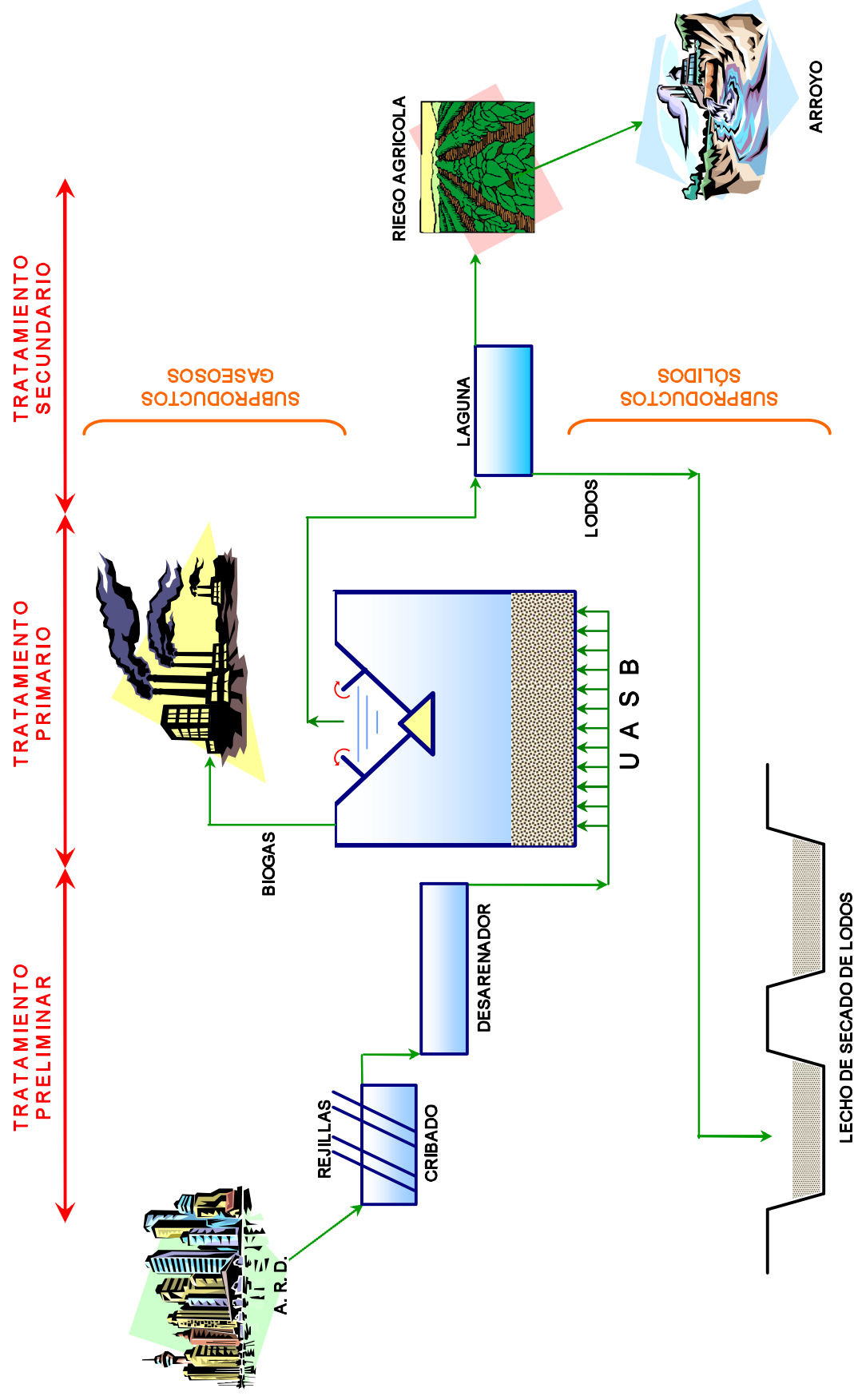
superficie y al medio anaeróbico en el fondo de las lagunas. Con este tratamiento secundario se logra la remoción adicional de 10 a 15% y se consolida una remoción total o superior al 80%, límite establecido por la normatividad ambiental de vertimientos.

6.4. Subproductos con posibilidad de reuso generados por el sistema PAMLA.

- **Subproductos sólidos.** Los principales subproductos sólidos son los lodos de purga de los reactores UASB y las basuras retenidas en el tratamiento de los lodos. Estos lodos al ser deshidratados por medios naturales y sometidos a un proceso de adecuación, pueden ser utilizados como abono orgánico en los programas de recuperación de suelos agrícolas, y los desechos sólidos como basuras tendrán que ser dispuestos para reciclaje o para disposición final en un relleno sanitario.
- **Subproductos gaseosos.** El biogás generado por los reactores el cual está compuesto básicamente por metano y H_2S (generador de olores indeseables), deberá ser extraído de las campanas de los reactores UASB y conducido hacia un sistema de quemadores de piso (chimeneas), mientras que el H_2S recogido en las cámaras de los sedimentadores de los reactores UASB será enviado a un sistema de extracción de H_2S para su posterior tratamiento en un sistema de biofiltración.

A continuación esquematizamos el proceso tipo PAMLA planteado para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del municipio de Sincelejo.

Figura 6. Esquema sugerido de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas - Tipo PAMLA.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALCALA BERTEL, Gustavo Enrique. Ingeniero Civil. 2004. Proyecto de tratamiento de aguas residuales municipio de Sincelejo. Geología, hidrogeología y suelos.

SANTOS SANTIZ, Antonio. Ingeniero Consultor. 2001. Estudios y diseños de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Sincelejo.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE SINCELEJO. 2000.

PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE SINCELEJO. 2004.

CRITES y TCHOBANOGLOUS. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw-Hill.

PROGRAMA DE TASAS RETRIBUTIVAS. DESCONTAMINACION PARA LA VIDA. Corporación Autónoma Regional de Sucre. CARSUCRE. Sincelejo. 2002.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería.

ANEXOS

Anexo 1. PROYECCION DE LA POBLACION PARA SINCELEJO

PERIODO	AÑO	POBLACION (hab.)
0	2005	269.010
1	2006	273.798
2	2007	278.672
3	2008	283.632
4	2009	288.681
5	2010	293.820
6	2011	299.050
7	2012	304.373
8	2013	309.790
9	2014	315.305
10	2015	320.917
11	2016	326.629
12	2017	332.443
13	2018	338.361
14	2019	344.384
15	2020	350.514
16	2021	356.753
17	2022	363.103
18	2023	369.566
19	2024	376.145
20	2025	382.840

FUENTE: Secretaria de Planeación Municipal de Sincelejo.

Anexo 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE P.T.A.R.s



Fotografía 1. Rejilla de cribado de gruesos



Fotografía 2. Desarenador



Fotografía 3. Proceso de mantenimiento del desarenador



Fotografía 4. Trampas de grasas que ayudan a retener grasas y elementos flotantes

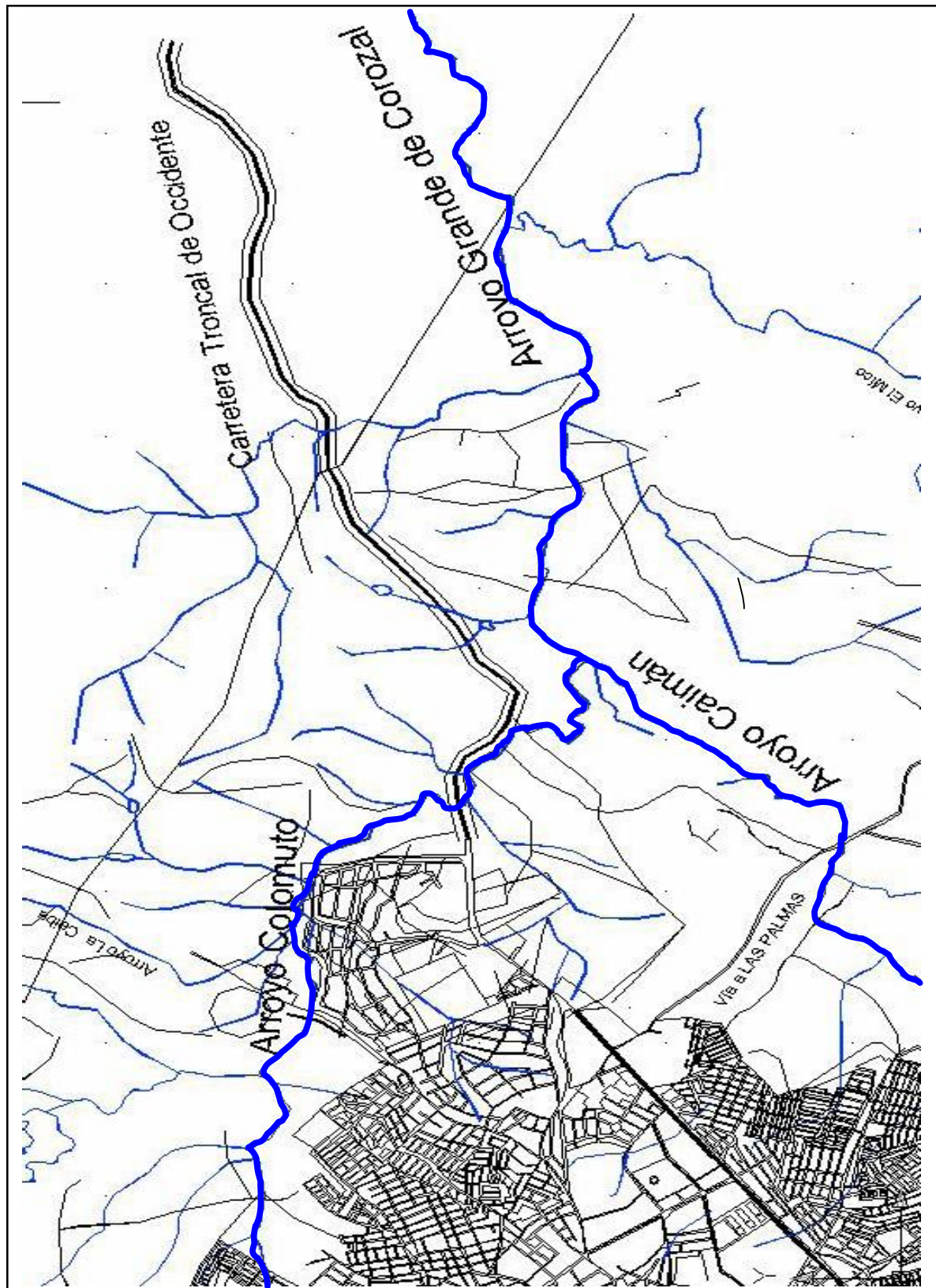


Fotografía 5. Reactores UASB



Fotografía 6. Tratamiento secundario-Laguna de maduración.

Anexo 3. AREA PARA LA P.T.A.R DE SINCELEJO



**Anexo 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE INSTALACIONES FÍSICAS
DE P.T.A.R.s EN COLOMBIA**





**Anexo 5. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL LUGAR DONDE
SE TOMARON LAS MUESTRAS.**





**Anexo 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL LUGAR DESTINADO PARA
CONSTRUCCION DE P.T.A.R. DE SINCELEJO.**





**Anexo 7. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ENVIADAS
AL LABORATORIO.**

Oscar Fernando Wilches

CONSULTORIA Y OBRAS CIVILES

NIT. 72309762-4

M.P. N° A08031998-72309762

C.C. N° 72.309.762 de Puerto Colombia (Atlántico)

Residencia: Calle 23ª N° 25-114 Barrio Palermo

Teléfono: (095) 281 10 16 – Cel. (310) 6153000

Sincelejo - Sucre

Sincelejo, Agosto 30 de 2004

Señores: *Oscar David Contreras / Yahir Acuña Cardales*

Tipo de muestra: *Agua residual doméstica - Muestra N° 01*

Fecha de muestreo: *Agosto 18 de 2004*

Fecha de recibo: *Agosto 18 de 2004*

ANALISIS DE LABORATORIO

Parámetros	Método Empleado	Valores obtenidos
DBO5	Winkler 5 días	235 mg / L
DQO	Reflujo abierto	370 mg / L
Sólidos suspendidos	Gravimétrico	200 mg / L
Oxígeno disuelto	Colorimétrico	1,2 mg / L
Coliformes totales	NMP	288.000 NMP/100 ml

Oscar Fernando Wilches Escudero

C.C. 72.309.762 Pto Colombia (Atlántico)

Oscar Fernando Wilches

CONSULTORIA Y OBRAS CIVILES

NIT. 72309762-4

M.P. N° A08031998-72309762

C.C. N° 72.309.762 de Puerto Colombia (Atlántico)

Residencia: Calle 23ª N° 25-114 Barrio Palermo

Teléfono: (095) 281 10 16 – Cel. (310) 6153000

Sincelejo - Sucre

Sincelejo, Septiembre 29 de 2004

Señores: *Oscar David Contreras / Yahir Acuña Cardales*

Tipo de muestra: *Agua residual doméstica - Muestra N° 02*

Fecha de muestreo: *Septiembre 20 de 2004*

Fecha de recibo: *Septiembre 20 de 2004*

ANALISIS DE LABORATORIO

Parámetros	Método Empleado	Valores obtenidos
DBO5	Winkler 5 días	308 mg / L
DQO	Reflujo abierto	425 mg / L
Sólidos suspendidos	Gravimétrico	280 mg / L
Oxígeno disuelto	Colorimétrico	0,9 mg / L
Coliformes totales	NMP	370.000 NMP/100 ml

Oscar Fernando Wilches Escudero

C.C. 72.309.762 Pto Colombia (Atlántico)

Oscar Fernando Wilches

CONSULTORIA Y OBRAS CIVILES

NIT. 72309762-4

M.P. N° A08031998-72309762

C.C. N° 72.309.762 de Puerto Colombia (Atlántico)

Residencia: Calle 23ª N° 25-114 Barrio Palermo

Teléfono: (095) 281 10 16 – Cel. (310) 6153000

Sincelejo - Sucre

Sincelejo, Noviembre 05 de 2004

Señores: *Oscar David Contreras / Yahir Acuña Cardales*

Tipo de muestra: *Agua residual doméstica -Muestra N° 03*

Fecha de muestreo: *Octubre 28 de 2004*

Fecha de recibo: *Octubre 28 de 2004*

ANALISIS DE LABORATORIO

Parámetros	Método Empleado	Resultados
DBO5	Winkler 5 días	450 mg / L
DQO	Reflujo abierto	680 mg / L
Sólidos suspendidos	Gravimétrico	365 mg / L
Oxígeno disuelto	Colorimétrico	0,2 mg / L
Coliformes totales	NMP	475.000 NMP/100 ml

Oscar Fernando Wilches Escudero

C.C. 72.309.762 Pto Colombia (Atlántico)



NIT. 812.004.917-2

Análisis numérico: 251104-103-RES
Clase de muestra: Agua Residual
Ordenado por: Oscar David Contreras
Fecha de recolección: 25 / 11 / 2004
Fecha de recibido: 25 / 11 / 2004

PARAMETROS	METODO DE ANALISIS	RESULTADOS	UNIDADES
DBO ₅	Winkler 5 días	528	mg / L
DQO	Reflujo abierto	756	mg / L
Oxígeno disuelto (*)	Colorimétrico	0,0	mg / L
Sólidos suspendidos	Gravimétrico	400	mg / L
Coniformes totales	NMP	540.000	NMP / 100 ml

OBSERVACIONES:

Resultados correspondientes a muestra tomada en temporada de intensa sequía. En caso de requerir interpretación de los resultados favor enviar más información acerca de la procedencia de la muestra.

(*) Los valores de Oxígeno disuelto corresponden a valores medidos en el laboratorio en el recipiente enviado.

ANALISTA QUIMICO

Calle 24 N° 4-34 Edificio Ganem Piso 1 Telefax: 7920637 Celular: 315 660 3031
E-mail: ambielabltda2@hotmail.com
Montería-Córdoba