

**DISEÑO DE UN MODELO A ESCALA LABORATORIO DE UN REACTOR
ANAEROBICO UASB PARA LAS AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES
DE LA CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA**

Nancy Tulia Escorcía Redondo

**CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
BARRANQUILLA
2001**

**DISEÑO DE UN MODELO A ESCALA LABORATORIO DE UN REACTOR
ANAERÓBICO UASB PARA LAS AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES
DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA**

NANCY TULIA ESCORCIA REDONDO

**Proyecto de grado para optar al título de
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

**CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
BARRANQUILLA
2001**

NOTA DE ACEPTACION

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, Diciembre 3 de 2001

A Dios, fuente de toda sabiduría y quien me ha iluminado para seguir adelante en esta labor, y a mis padres y hermanos, quienes me han apoyado y han demostrado su cariño y comprensión, forjadores de mis éxitos.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores, quienes me han enseñado todos los conocimientos necesarios para alcanzar esta meta.

Al Ing. Néstor Escorcía, por su constante dedicación y paciencia durante la carrera y proceso de investigación.

Al Ing. César Anaya, profesor de Química Sanitaria, por su aporte y enseñarme lo responsable que debo ser siempre.

RESUMEN

El diseño del modelo escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa, se realizó teniendo en cuenta ciertos parámetros que ayudan a llevar a cabo este proyecto de forma efectiva y veraz. Haciendo referencia a las aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa, se puede decir que presentan adecuadas características físicas y químicas como temperatura, nutrientes, pH, sólidos, etc. para ser tratada por un reactor UASB bajo condiciones climáticas y ambientales de la Costa Atlántica.

Las aguas residuales son el resultado de la utilización del agua para distintos fines. Como consecuencia de este uso (comerciales, domésticos, industriales, agrícolas, institucionales), el agua recoge materias en suspensión y disueltas que alteran sus propiedades. Dependiendo del tipo de utilización (domésticos, comercial, institucional), las aguas residuales presentan características muy diferentes.

Palabras Clave: Tratamiento de agua, Calidad del agua, Aguas residuales, Medio ambiente.

ABSTRACT

The design of the model climbs laboratory for the treatment of institutional wastes water of the University Corporation of the Coast, it was realized bearing in mind certain parameters that help to carry out this project of effective and truthful form. Referring to the institutional wastes water of the University Corporation of the Coast, it is possible to be said that they present suitable physical and chemical characteristics like temperature, nutrients, pH, solid, etc. there are treated by a reactor low UASB climatic and environmental conditions of the Atlantic Coast.

The wastes water are the result of the use of the water for different ends. As a result of this use (commercial, domestic, industrial, agricultural, institutional), the water gathers matters in suspension and dissolved that alter its properties. Depending on the type of use (servants, TV/radio commercial, institutional), the wastes water present very different characteristics.

Key words: Water treatment, Water quality, Wastes water, Environment.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	12
1. DESCRIPCION PRELIMINAR DEL PROBLEMA.....	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GENERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
3. JUSTIFICACION	18
4. MARCO TEORICO.....	19
4.1. GENERALIDADES.....	19
4.2. ORIGEN Y COMPOSICION.....	20
4.2.1 Agua residual doméstica (ARD).....	20
4.2.3 Aguas de infiltración (aguas subterráneas).....	21
4.3. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – INSTITUCIONALES	21
4.3.1 Características físicas.....	21
4.3.2 Características químicas.....	24
4.3.3 Características biológicas.....	33
Reino microbiano	33
5. TRATAMIENTOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES.....	37
5.1.1. Procesos preparatorios.....	39
5.1.2. Procesos primarios.....	40
5.1.3 Procesos secundarios.....	40
5.1.4 Procesos avanzados.....	40
5.2 PROCESOS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO.....	40
Clasificación de las lagunas.....	41
DIGESTORES ANAEROBICOS	41
6. CARACTERISTICAS DEL REACTOR UASB.....	44
6.1. GENERALIDADES.....	44
6.2. DESCRIPCION DEL PROCESO	44
6.3. PRINCIPIO DEL PROCESO	45
Reacción Aerobia.....	47
Reacción Anaerobia.....	47
6.3.1 Hidrólisis.....	48
6.3.2 Acidogénesis.....	49
6.3.3 Acetogénesis.....	50
6.3.4 Metanogénesis. Consiste en la conversión del ácido acético en CH ₄	51
6.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA.....	52
6.5. PARAMETROS DE DISEÑO	54
6.5.1 Caudal de diseño.....	54
6.5.2 Tiempo de retención hidráulica (T.R.H.).....	55

6.5.3	Altura de la lámina de agua.	55
6.5.4	Condiciones hidráulicas.	55
6.6.	ARRANQUE DEL PROCESO	56
6.6.1	Inmovilización.	56
6.6.2.	Factores a tener en cuenta en el arranque del proceso.	57
	Hipótesis de trabajo	58
7.	CLASE DE INVESTIGACION.	59
8.	DISEÑO METODOLOGICO	60
	Dimensionamiento de la abertura	61
9.	DISEÑO DEL REACTOR UASB MODELO ESCALA LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES DE LA CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA	64
9.1.	CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DEL AGUA RESIDUAL DE LA CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA	64
	ENSAYO	64
9.2	DISEÑO REACTOR UASB	65
	Dimensionamiento	65
	Sedimentación	67
	Campana.	67
	Cálculos del diámetro de descarga	68
	Diseño hidráulico de la salida del agua del reactor	68
10.	RECURSOS DISPONIBLES	71
10.1	RECURSO HUMANO	71
10.2	RECURSOS FISICOS.	71
	CONCLUSIONES.	72
	RECOMENDACIONES	74
	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	75
	BIBLIOGRAFIA	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Olor característico de las aguas residuales	17
Tabla 1.2 Clasificación de sólidos totales	19
Tabla 1.3 Clasificación del mundo microbiano	30
Tabla 1.4 Procesos de tratamiento	36
Tabla 1.5 Reactor UASB	49

TEMA

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

TITULO

DISEÑO DE UN MODELO A ESCALA DE UN REACTOR ANAEROBICO UASB
PARA EL LABORATORIO DE AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES DE LA
CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA.

INTRODUCCION

Las aguas residuales son el resultado de la utilización del agua para distintos fines. Como consecuencia de este uso (comerciales, domésticos, industriales, agrícolas, institucionales), el agua recoge materias en suspensión y disueltas que alteran sus propiedades. Dependiendo del tipo de utilización (domésticos, comercial, institucional), las aguas residuales presentan características muy diferentes.

En especial existe una gran diferencia entre las aguas residuales urbanas o domésticas (originadas en el uso del agua en las casas), y las aguas residuales industriales, provenientes de instalaciones fabriles.

En estas últimas la diversidad es muy causada, dado que la alteración de propiedades del agua resultante del uso industrial puede variar entre contaminación puramente física hasta contaminación bioquímica de gran complejidad.

Cualquiera que sea su procedencia, las aguas residuales plantean una amenaza para el medio ambiente, dado que se modifican las características iniciales del medio natural donde se produce su descarga.

La importancia de esta amenaza depende de sus propiedades, es decir, su composición y cantidad, ello porque contienen generalmente cantidades

apreciables de compuestos extraños, los cuales son ofensivos a la fauna acuática, a la apariencia física y a las condiciones sanitarias de tales receptores.

Se escogió el diseño de un modelo a escala del reactor UASB, porque es un sistema eficaz para el tratamiento de aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa, y además suplir la necesidad para la dotación del laboratorio de agua de ésta.

Dentro de los sistemas de tratamiento para aguas residuales (industriales, domésticas, institucionales, agrícolas, lluvias) tenemos:

- ❑ Lagunas de estabilización.
- ❑ Filtros anaerobios.
- ❑ Lechos fluidizados.
- ❑ Biodiscos.
- ❑ Lodos activados.
- ❑ UASB (Upflow anaerobic sludge blanket process).

1. DESCRIPCION PRELIMINAR DEL PROBLEMA

En la vida cotidiana y para diferentes actividades el hombre necesita utilizar agua, bien sea para su consumo, aseo, higiene o como un insumo más en cualquier proceso industrial. Cuando el hombre hace uso del agua, le cambia las características y condiciones iniciales en que recibe este líquido y lo altera, siendo necesario utilizar un sistema de recolección de las aguas residuales. A los desechos líquidos recolectados procedentes del uso diario del hombre se pueden adicionar los afluentes de aguas pluviales y aguas subterráneas (en caso de que se presenten volúmenes considerables), que en determinado momento no pueden ser utilizados por el hombre.

Cuando se recolectan las aguas servidas de una comunidad, es posible pensar en reciclar permanentemente esta agua y devolverla a una fuente de consumo; las respectivas consecuencias son evidentes, si no son tratadas, esta agua generan olores desagradables debido a la descomposición de la materia orgánica, además esta agua contiene organismos patógenos que al entrar en contacto con el hombre le pueden ocasionar enfermedades en el sistema digestivo. Si las aguas residuales recolectadas de una comunidad son descargadas en una fuente de agua, contaminarán dicha fuente hasta el punto de convertirse en no apta para el consumo de esta comunidad u otras que se surtan de la fuente.

Por todo lo expuesto anteriormente se hace necesario pensar en la forma de tratar el agua residual de una sociedad, mediante un proceso que permita remover la mayor cantidad de materia orgánica, contaminantes en general y facilitar la autopurificación del agua servida, bajo las condiciones más favorables.

En busca de ofrecer al estudiantado del área de ingeniería de la Corporación, se crea por medio del CITA (Centro de Investigaciones de Tratamiento de Aguas), la idea de diseñar y en su momento de construir modelos estructurales de procesos biológicos, para el tratamiento de aguas residuales domésticas e institucionales, tales como:

- Lagunas de estabilización. Es un estanque artificial, construido para el tratamiento biológico de aguas negras, mediante la excavación y ejecución de diques.
- Biodiscos. Contactores biológicos rotativos donde la biomasa se presenta simultáneamente en la forma de crecimiento asistidos.
- Lodos activados. Se ha desarrollado como una operación continua mediante el reciclado de lodo biológico.
- UASB (Upflow anaerobic sludge blanket process). Este corresponde al desarrollo de un proceso biológico anaeróbico donde la materia orgánica es degradada por microorganismos en ausencia de oxígeno, convirtiéndola en dorgas (motano y dióxido de carbono).

Ante la necesidad de dar un tratamiento adecuado a las aguas residuales generadas en la Corporación Universitaria de la Costa y con el fin de visualizar un conocimiento práctico, para las futuras generaciones de ingenieros sanitarios.

De aquí salen algunos interrogantes que nos dan la pauta para realizar dicho proyecto. Los alcances que éste tiene son los siguientes:

¿Cuáles son las características de las aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa?

¿Cuáles serían los parámetros de la carga orgánica admisibles en el agua residual institucional de la Corporación Universitaria de la Costa?

¿Cuáles son los parámetros necesarios para el diseño del reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA – UASB)?

¿Qué condiciones estructurales tiene el sistema UASB (Reactor anaeróbico de flujo ascendente)?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo a escala de un reactor UASB (Reactor anaeróbico de flujo ascendente) para el CITA (Centro de Investigación para el Tratamiento de Aguas Residuales) de la Corporación Universitaria de la Costa.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Registrar las características del agua residual de la Corporación Universitaria de la Costa.

- Determinar los parámetros de carga orgánica admisible presentes en el agua residual de la Corporación Universitaria de la Costa.

- Analizar los parámetros necesarios para el diseño del UASB (Reactor anaeróbico de flujo ascendente), modelo a escala.

- Determinar las condiciones estructurales del sistema UASB (Reactor anaeróbico de flujo ascendente).

3. JUSTIFICACION

Las aguas residuales de origen doméstico e institucional, presentan una carga orgánica que al ser vertida a los cuerpos contaminan el sistema, debido a lo anterior es necesario aplicarles a las aguas residuales, un tratamiento efectivo.

Es por esto, que a la hora de decidir por un tratamiento a seguir para un tipo determinado del agua residual, se escogió como objeto de esta investigación el reactor UASB, se obtendrán remociones óptimas, las ventajas del sistema y la aplicabilidad a las aguas residuales institucionales, de la Corporación Universitaria de la Costa.

Las razones por las cuales se presentará el diseño del reactor anaeróbico UASB serán los siguientes:

La necesidad de un laboratorio de la Corporación Universitaria de la Costa para el tratamiento de aguas residuales domésticas o institucionales.

Además, otra fuerte razón es que el tema de tratamiento de aguas residuales es uno de los temas que más me apasionan y uno de los de mayor interés en la ingeniería sanitaria. Además, el tema del diseño del reactor UASB siempre ha estado en mi mente realizarlo y ahora que tengo la oportunidad realizarlo y poner el diseño a disposición de la Corporación Universitaria de la Costa.

4. MARCO TEORICO

4.1. GENERALIDADES

Desde sus inicios el hombre y las actividades que él realiza han tenido un elemento esencial para su supervivir: El agua.

Aunque el agua ocupa las tres cuartas partes del planeta (3/4), se observa que el agua para el consumo humano la encontramos en menos proporción ya que no están donde es necesaria; esto nos lleva a pensar que el hombre al utilizar el agua cambia las características naturales de ella, éstas a su vez son vertidas a las fuentes naturales o si no por un sistema de recolección. Estas aguas que ya fueron utilizadas las llamamos aguas residuales, negras o servidas. Estas aguas contaminan los recursos hídricos y a su vez el medio ambiente, para contrarrestar esto el hombre recurrió a sistemas de tratamiento que hacen que el agua residual vuelva a tener sus características naturales.

Aguas residuales – negras o servidas. Son aguas potables después de su uso con propósitos domésticos, institucionales, públicos o industriales que han sido recolectadas y requieran ser tratadas para preservar el medio que rodea al hombre.

4.2. ORIGEN Y COMPOSICION

Las aguas residuales provenientes de las actividades antrópicas, entre las cuales tenemos:

4.2.1 Agua residual doméstica (ARD).

Proveniente de residencia, edificios, comercio, instituciones públicas como universidades, colegios, oficinas o cualquier otro tipo de estructura en la que el agua se utilice para fines domésticos, como por ejemplo retretes, duchas, cocinas, etc.

Están constituidas por desechos humanos, agua proveniente del lavado de ropa, baños, desperdicio de cocina, lavado de pisos, preparación de alimentos; en esta agua podemos encontrar heces fecales, papel, restos de comida, arena, jabón, detergente y grasas.

4.2.2 Aguas residuales industriales (ARI). Estas aguas son propias de procesos industriales, por esta razón sus características varían de acuerdo a cada proceso en particular y pueden contener una pequeña proporción de agua residual doméstica. Estas aguas pueden contener materiales tóxicos. Cuando esto ocurre, el tratamiento se debe realizar antes de enviar el agua al sistema de alcantarillado.

4.2.3 Aguas de infiltración (aguas subterráneas).

Aunque por lo general un alto grado de contaminación, se mezclan con el agua doméstica o residual del sistema de alcantarillado, éstas proceden del agua pluvial que se infiltra en el suelo o de las aguas freáticas. Se infiltran por diversas causas: por pozos de inspección y tuberías defectuosas, juntas y conexiones en mal estado.

4.3. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – INSTITUCIONALES

Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas institucionales es necesario conocer y analizar las características físicas, químicas y biológicas.

4.3.1 Características físicas.

“Son aquellas que se pueden deducir a través de los órganos de los sentidos y por medios físicos.

Las características físicas a estudiar son los sólidos totales, turbidez, color, olor, temperatura”¹.

- ✓ **Turbidez.** Propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión; la turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión.

- ✓ **Color.** Esta característica está ligada a la edad del agua residual se determina cuantitativamente por su color/olor. El agua residual reciente suele ser gris mientras que cuando su estado alterado es negro.

- ✓ **Olor.** Los olores se presentan por la formación de gases por la descomposición de la materia orgánica. El olor de las aguas negras frescas es débil, a medida que se disminuye el oxígeno disuelto se crean condiciones anaeróbicas. Por ello, las aguas residuales alteradas o sépticas huelen a podrido.

Tabla 1.1 Olor característico de las aguas residuales.

Compuesto	Fórmula Típica	Calidad del Olor
Aminas	CH ₃ NH ₂ (CH ₃) ₃ N	A pescado
Amoníaco	NH ₃	Amoniacal
Diaminas	NH ₂ (CH ₂) ₄ NH ₂ , NH ₂ (CH ₂) ₅ NH ₂	Carne
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	descompuesta
Mercaptanos	CH ₂ SH, CH ₃ (CH ₂) ₃ SH	Huevos podridos

¹ METCALFF, Eddy. Tratamiento, evaluación y reutilización de agua residual.

Sulfuros orgánicos	(CH ₃) ₂ S, SH ₃ SSCH ₃	Mofeta
Eskatol	C ₈ H ₅ NHCH ₃)	Coles podridas
		Fecal.

Fuente: METCALF-EDDY.

- ✓ **Temperatura.** La temperatura del agua residual es ligeramente un poco más alta que el agua de suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y las actividades industriales.

- ✓ **Sólidos totales.** Es la característica física más importante para el análisis y dimensionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales. Constituyen un parámetro importante al momento de calcular la cantidad de lodos que produce cierto caudal de agua residual.

Los sólidos totales pueden definirse como suspendidos y filtrables y la forma de medirlos es hacer pasar un volumen conocido de agua residual por un filtro (600 cm) de diámetro medio aproximado de un micrómetro (μm).

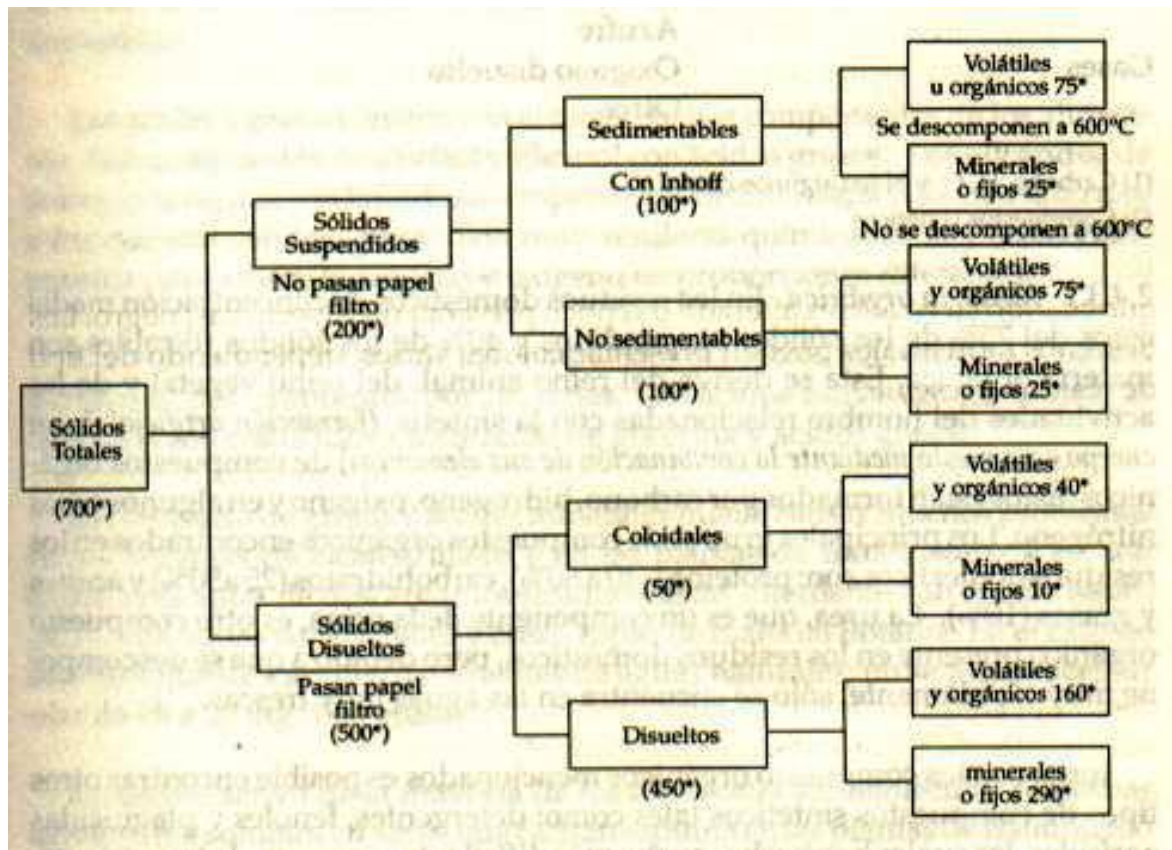
La fracción de sólidos filtrables está compuesta por sólidos disueltos y coloidales.

Fracción coloidal consiste en partículas de un diámetro menor de $1 \mu\text{m}$ y mayor de $10^{-3} \mu\text{m}$ no puede eliminarse por sedimentación.

Fracción disuelta compuesta por moléculas orgánicas e inorgánicas e iones cada una de estas subclasificaciones (suspendido, sedimentable, suspendido no

sedimentable, filtrable coloidal y filtrable disuelta) puede clasificarse en orgánica (volátil) e inorgánica (mineral o no volátil), calentando una muestra a 600° C la materia orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura y la fracción inorgánica permanecerá como ceniza. “El análisis de los sólidos volátiles se aplica a los lodos del agua residual para medir su estabilidad”².

Tabla 1.2 Clasificación de sólidos totales.



Fuente: BAEZ NOGUERA, Jorge.

duales.

4.3.2 Características químicas.

Las características químicas están clasificadas en cuatro categorías.

- ✓ Materia orgánica.
- ✓ Medida del contenido orgánico.
- ✓ Materia inorgánica.
- ✓ Gases que se encuentran en el agua residual.

- ✓ **Materia orgánica.** Los sólidos orgánicos son de origen animal y vegetal y de las actividades antrópicas que se relacionen con la descomposición de compuestos orgánicos. Estos tienen una mezcla de carbono, hidrógeno, oxígeno y otros contienen también nitrógeno.

Principales grupos de sustancias orgánicas que contienen las aguas residuales:

- ✓ Proteínas (40 –60%)
- ✓ Carbohidratos (26 – 50%)
- ✓ Grasas y aceites (10%)

O sea también es importante, pero se encuentra en menor proporción.

Proteínas. Son el principal constituyente del organismo animal, y se presentan en menos cantidad en las plantas; son compuestos complejos en estructura química y estabilidad. Algunas son solubles en agua, otras no.

Todas las proteínas contienen carbono – hidrógeno – oxígeno y nitrógeno.

Carbohidratos. Son las primeras sustancias en ser atacadas por las bacterias, con producción de ácidos orgánicos. Contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Entre los principales carbohidratos están: los azúcares, almidones, celulosa y fibras de madera.

Grasas animales, aceite y grasas. Se constituyen en el tercer componente de los alimentos. Se utiliza este término para referirse a la materia grasosa, aceites y sustancias semejantes encontradas en las aguas residuales provenientes de uso de la manteca, aceites vegetales, cocina, aceites derivados del petróleo.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias.

Agentes tensoactivos. Son grandes moléculas orgánicas ligeramente solubles en agua que causan espumas en las plantas de tratamiento, así como en las aguas a las que se vierten afluentes residuales.

La determinación de los agentes tensoactivos se realiza midiendo el cambio de color en una solución normalizada de azul de metileno.

Pesticidas y productos químicos agrícolas. Son utilizados principalmente en la agricultura y por ello no son constituyentes comunes del agua residual, pero al ser vertidos en ríos u otras fuentes de agua generan polución y toxicidad para la vida acuática o humana que consume el agua.

Fenoles. Causan problemas de sabor, especialmente cuando está clorada. Se producen principalmente en operaciones industriales y es por eso que son importantes constituyentes de las aguas residuales con desechos industriales.

✓ **Medida del contenido orgánico.** En el transcurrir de los años se han realizado investigaciones las cuales nos permiten determinar el contenido orgánico de las aguas residuales. Esas investigaciones llevaron a determinar el contenido orgánico mediante la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y demanda total de oxígeno (DTO) y para comprobar resultados tenemos la demanda teórica de oxígeno (DteO).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de las aguas y aguas residuales. Esencialmente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una

medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aeróbicas, en un período de 5 días y a 20° C.

Los resultados de la DBO se utilizan para:

- ✓ Cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar biológicamente el agua residual.
- ✓ Determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales.
- ✓ Medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.

Demanda química de oxígeno (DQO). Es un parámetro analítico de polución que mide el material contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra oxidable por un agente químico oxidante fuerte.

El ensayo de la DQO se utiliza principalmente para medir materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales. La demanda química de oxígeno (DQO) de un agua residual es, por lo general, mayor que la DBO porque es mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que por vía biológica.

Carbono orgánico total (COT). Es otro método de medir materia orgánica presente. Se aplica sobre todo cuando las concentraciones orgánicas son pequeñas.

Se realiza inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura. El carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico en presencia de un catalizador. El anhídrido carbónico que se produce se mide cuantitativamente en un analizador infrarrojo.

Demanda total de oxígeno (DTO). En este otro método instrumental para medir el contenido orgánico de las aguas residuales; la materia orgánica y en menos cantidad la inorgánica es convertida en compuestos finales estables dentro de una cámara mediante combustión catalizada por platino. La demanda total de oxígeno (DTO) se determina observando el oxígeno presente en el gas que transporta oxígeno.

Demanda teórica de oxígeno (DteO). Es la suma del oxígeno que necesita la materia orgánica y sus componentes para oxidarse y obtener otros elementos secundarios.

En la primera fase para determinar la demanda teórica de oxígeno, los átomos de carbono se oxidan a CO_2 y el nitrógeno se convierte en amoníaco. En segunda y tercera fase, el amoníaco se oxida a nitrito y nitrato. La demanda técnica de oxígeno es la suma del oxígeno requerido en las tres fases.

✓ **Materia inorgánica.** Los componentes inorgánicos contenidos en el agua residual afectan el uso posterior del agua. A continuación, analizaremos algunos de estos constituyentes.

pH. Es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno, o más exactamente la actividad del ion hidrógeno.

Es una medida de calidad del agua. El intervalo de concentración de hidrógeno óptimo para que pueda existir vida biológica es estrecho y crítico.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos.

Cloruros. Los cloruros logran acceso a las aguas naturales en muchas formas: provienen de la capa vegetal y por la disolución del suelo. En las aguas residuales provienen de los excrementos humanos, principalmente la orina, contienen cloruros en una cantidad casi igual a la de los cloruros consumidos con los alimentos y el agua. También muchos residuos industriales contienen cantidades apreciables de cloruros.

Se realizaban ensayos de cloruro para detectar contaminación por aguas residuales antes de descubrir los ensayos bacteriológicos.

Alcalinidad. Se debe a la presencia de hidróxido y carbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio y amoníaco. El agua residual es generalmente alcalina debido a que el agua suministrada le hereda esta propiedad, con adición de cierto componente durante el uso doméstico.

Azufre. Se presenta como ion sulfato en el agua residual, es requerido en la síntesis de proteínas y es liberado en su degradación.

Las bacterias, en condiciones anaeróbicas reducen químicamente los sulfatos y luego a sulfuros de hidrógeno (H_2S). El H_2S puede ser oxidado biológicamente a ácido sulfúrico; el cual corroe las bacterias de alcantarillado. Otro problema de los compuestos de azufre es la generación de olores desagradables.

Nitrógeno. Los compuestos del nitrógeno son de gran interés debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales. La química del nitrógeno es compleja debido a sus varios estados de Valencia que puede asumir este elemento, los cambios de Valencia efectuado por las bacterias pueden ser positivos o negativos si las condiciones son anaeróbicas o aeróbicas.

✓ **Gases que se encuentran en el agua residual.** Algunos gases que se encuentran en el agua residual son comunes a los de la atmósfera, los gases más comunes encontrados en el agua residual sin tratar son (N_2) nitrógeno, oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2) común en las aguas que estén expuestas al aire, y los gases que proceden de la descomposición de la

materia orgánica son sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y metano (CH_4).

Oxígeno disuelto. El oxígeno es poco soluble en el agua y es necesario para la respiración de microorganismos aeróbicos, y otras formas de vida.

La velocidad de las reacciones bioquímicas que utiliza el oxígeno se incrementan al aumentar la temperatura. Los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en los meses de verano. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable porque evita la formación de olores desagradables.

Sulfuro de hidrógeno. Se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por reducción de sulfitos.

Tiene características incoloras, inflamables, olor a huevo podrido. Este es el compuesto más importante desde el punto de vista de olores desagradables aunque se pueden formar con otros peores como el indol estacol y mercaptanos.

Metano. Es el principal subproducto que se obtiene de la descomposición anaeróbica.

Hidrocarburo incoloro e inodoro, buen combustible y se utiliza para la generación de energía. Los lugares donde se produce el gas debe ser ventilado ya que éste es de un gran poder explosivo.

4.3.3 Características biológicas.

Aspectos que son importantes en las aguas residuales.

- ✓ Exámenes bacteriológicos y microscópicos, se utilizan para conocer los principales grupos de microorganismos encontradas en las aguas residuales.

- ✓ Los organismos responsables del tratamiento biológico.
- ✓ Los organismos usados como indicadores de polución.

- ✓ Los métodos para evaluar la toxicidad del agua tratada.

Los organismos de las aguas negras se clasifican en microorganismos, organismos coliformes y patógeno. En la siguiente tabla encontraremos la clasificación del mundo microbiano.

Tabla 1.3 Clasificación del mundo microbiano.

Reino microbiano	Algunos microbios	Estructura celular
Animales	Gusanos Helmintos	Unicelular o multicelular
Plantas	Plantas acuáticas Macrófitos Plantas de semilla Helechos Musgos	Estructura celular bien desarrollada: eucariontas.
Protistas superiores	Hongos Algas Protozoos	

	Rotíferos Crustáceos	
Protistas inferiores	Bacterias Alga verdiazules Cranobacterias	Estructura celular primitivas procariontas.
Virus	Muchos	Sin estructura celular.

Fuente: GERARD Kiely. Ingeniería Ambiental.

✓ **Animales, plantas, hongos, algas, protozoos y virus.**

✓ **Animales (helminetos).** Son de interés en la calidad del agua. Son muy pequeños y afectan la salud humana. Esto sí se encuentra en agua de suministro, los nemátodos prestan un servicio beneficioso en el tratamiento de agua residual (filtros percoladores) donde los nemátodos aflojan la biopelícula adherida al medio y así evitan un excesivo crecimiento de éste y su colmatación.

✓ **Plantas.** Los crecimientos biológicos indeseados están asociados con grandes concentraciones de materia orgánica y nutrientes. Los crecimientos heterótrofos responden a concentraciones elevada de azúcares sencillos (medidos por la DBO). Los fototrofos requieren formas inorgánicas de nitrógeno y fósforo.

✓ **Hongo.** Los hongos se emplean principalmente en la degradación y el compostaje de materia orgánica muerta, un comportamiento descrito por el

término saprofítico, por esta naturaleza saprofítica los hongos tienen un papel significativo en el tratamiento del agua residual.

- ✓ **Algas.** Las algas pueden presentar un problema en los abastecimientos de agua, ya que contribuyen al gusto y a los olores, colmatan las tomas de agua, acortan los ciclos de filtración en el tratamiento de agua y dan lugar a una alta demanda de cloro en los procesos de desinfección, también cumple con un fenómeno que es problema para los ríos y lagos como es la eutrofización.

- ✓ **Protozoos.** Actúan principalmente como predadores de bacterias, y por tanto se encuentran especialmente donde haya enormes cantidades de bacterias. Estas se encuentran en muchas instalaciones depuradoras de aguas residuales tales como los procesos de fango activado, filtros percoladores, etc.

- ✓ **Virus.** Son pequeñísimas estructuras biológicas que contienen todo lo necesario para su propia reproducción. Son parásitos y requieren un huésped para vivir. Se clasifican de acuerdo al sujeto afectado. Su eliminación es un gran problema; un virus puede vivir en el agua residual a 20° C de temperatura durante 41 días.

- ✓ **Bacterias.** Son organismos dominantes en el tratamiento biológico. En algunos casos se explotan en la depuración de aguas residuales. Las bacterias se clasifican de diferentes formas, pero en el tratamiento de aguas residuales. Se les suele describir como aerobias o anaerobias, dependiendo de su cantidad de oxígeno.

- ✓ **Organismos patógenos.** Estos proceden de desechos humanos infectados de una enfermedad cualquiera. Estos organismos causan enfermedades en el aparato intestinal.

- ✓ **Organismos coliformes.** Son organismos indicadores de polución, dado que la presencia de organismos coliformes va ligada con la presencia de organismos patógenos y es más fácil cuantificar los organismos coliformes, se interpreta su presencia como un indicador de organismo patógeno y por ende de agua contaminada.

5. TRATAMIENTOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES

El agua después de su uso se convierte en agua residual, ya sea doméstica, industrial comercial, según su origen, esta agua tiene la necesidad de ser recolectadas para ser llevadas a una planta de tratamiento para ser reutilizadas, pero algunas de ellas son vertidas directamente a los cuerpos de aguas, entonces esta agua servidas se tratará con un proceso de autodepuración, el cual puede ser definido como la propiedad que tiene los cuerpos de agua de asimilar y recuperar las descargas producidas por residuos sólidos o líquidos de naturaleza orgánica.

La estabilización se produce por medio de microorganismo aeróbicos – anaerobios o de ambas, una corriente contaminada por descargas orgánicas, presentan 4 zonas definidas: degradación, descomposición, recuperación y equilibrio.

- 1. Zona de degradación.** Donde se aprecia disminución considerable de O_2 disuelto en el agua; olores desagradables producidos por descomposición del tipo anaerobios y cambios en la fauna. Aparecen larvas de mosquitos, lombrices, etc.
- 2. Zona de descomposición activa:** Donde desaparecen los peces y baja mas el contenido de oxígeno disuelto hay gran producción de gases y ácidos.
- 3. Zona de recuperación:** Comienza a observarse peces al agua empieza a aclarar y aumenta el contenido de oxígeno.

4. Zona de equilibrio: Donde la corriente vuelve a exhibir sus condiciones originales.

Los tratamientos de aguas residuales solo aceleran el proceso que cumplen los cuerpos receptores.

CLASIFICACION DE PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES – INSTITUCIONALES

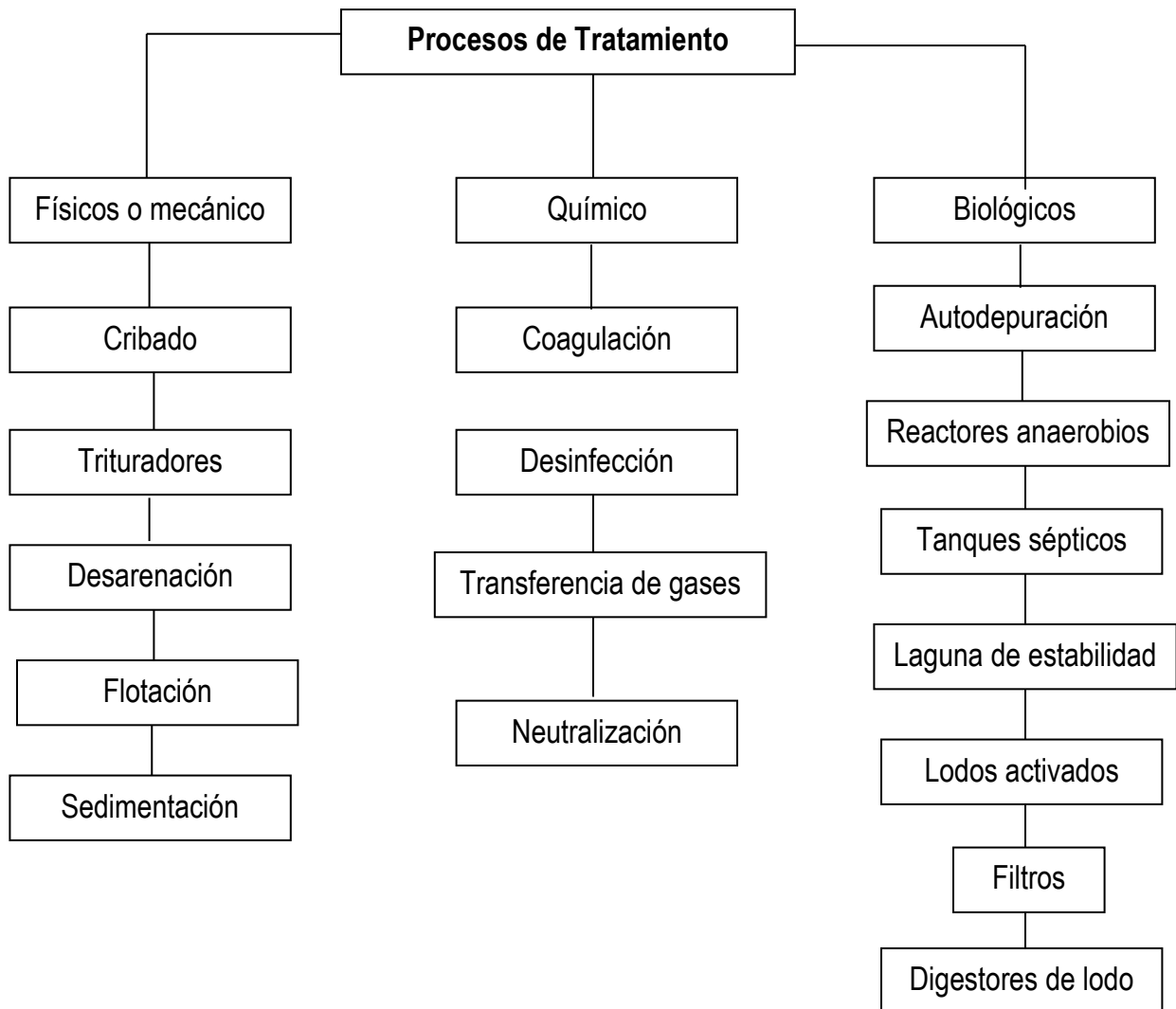
Para tratar las aguas residuales existen 3 tipos de procesos unitarios que pueden constar de:

Operaciones unitarias. Aquí se le aplican fuerzas físicas para remoción de material contaminante.

Procesos unitarios. Remoción de contaminante por adición de productos químicos.

Procesos biológicos. Remoción de contaminante por acción biológica. Estos procesos se utilizan para eliminar las sustancias orgánicas biodegradable presentes en el agua residual.

TABLA



5.1.1. Procesos preparatorios. Son aquellos procesos químicos o físicos en los cuales se prepara el agua residual para entrar a otro proceso más eficaz.

Fuente: BAEZ NOGUERA, Jorge.

5.1.2. Procesos primarios. Se encargan de remover gran parte de contaminantes del agua residual con gran producción de sólidos y gases.

5.1.3 Procesos secundarios. Son aquellos que complementan al proceso primario y aseguran una remoción casi completa de contaminante.

5.1.4 Procesos avanzados. Se utilizan para remover sustancias que no son removidas por tratamientos convencionales.

5.2 PROCESOS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO

Estos se utilizan para reducir el contenido orgánico y eliminar los nutrientes como el nitrógeno y fósforo los cuales ayudan al crecimiento de algas.

A continuación realizaremos un resumen de los tratamientos más utilizados.

Lagunas de estabilización. Son estanque artificial construido para el tratamiento biológico de las aguas negras, mediante la excavación de diques.

La materia orgánica es estabilizada principalmente por la acción de las bacterias; sin embargo, algunos hongos y protozoarios también participan en el proceso, las bacterias producen ácidos orgánicos bajo condiciones anaerobias, o CO_2 y agua bajo condiciones aeróbica.

En las lagunas de estabilización se presentan los mismos fenómenos que efectúan la llamada autodepuración natural de los cuerpos de agua a saber:

- Oxigenación biológica y redacción fotosintética.
- Digestión ácida y fermentación metánica (alcalina).

Clasificación de las lagunas

- Lagunas Aeróbicas.
- Laguna Anaeróbicas.
- Laguna facultativas.
- Lagunas de maduración.

Filtros biológicos. Es una innovación relativamente reciente que consiste en una columna rellana de diversos tipos de medios sólidos que se utilizan para fijar las bacterias anaerobias que atacan la materia orgánica del agua residual, dichas bacterias están adheridas al medio filtrante y no son arrastradas por el flujo ascendente del agua.

DIGESTORES ANAEROBICOS

En el proceso de digestión anaerobia la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y biológicos se convierten biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano y dióxido de carbono, el digester anaerobio es totalmente

cómodo, donde se introducen los lodos y se retienen durante un período de tiempo variable.

Reactor UASB. Es un proceso anaeróbico donde el agua residual fluye ascendentemente a través de un manto de lodos. Este manto de lodos contiene bacterias que atacan la materia orgánica. Fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores y es usado particularmente en aguas residuales con algún contenido de carbohidratos. El sistema prevé la formación de gases y dispone de una campana que los atrapa con la posibilidad de utilizar el metano producido como energía. El efluente líquido se dispone en la parte superior del reactor por canaletas o tuberías y puede ser conducido a un tratamiento terciario. Los residuos sólidos se disponen en la parte inferior del reactor.

La gran ventaja de este sistema, aparte de su bajo costo, es la obtención de cortos tiempos de retención hidráulica y una adecuada concentración en el reactor.

“El tiempo de retención depende del tipo de agua residual a tratar, de la temperatura y de la cantidad y calidad del lodo. A temperaturas menores de 20° C la rata de degradación decrece siendo una temperatura óptima 30° C”³.

Recientes investigaciones han mostrado que este proceso puede ser aplicado especialmente en climas subtropicales, para el tratamiento de aguas residuales

³ OROZCO JARAMILLO, Alvaro. Manual de tratamientos de aguas residuales.

domésticas y han sido probados en la India y en Colombia (Van Velsen and Wildschut 1988).

Como todo proceso anaeróbico el reactor UASB cumple con cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, y metanogénesis.

6. CARACTERISTICAS DEL REACTOR UASB

6.1. GENERALIDADES

El reactor anaeróbico de flujo ascendente a través de un manto de lodos (UASB), es un tratamiento biológico, donde la materia orgánica es degradada por acción de bacterias anaerobias.

“La cantidad de subproductos generados depende de la concentración orgánica del agua residual”⁴.

Se entienden como subproductos generados los gases, lodos y biomasa que se evacúan del reactor durante el proceso.

6.2. DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso normal del agua residual que se trata en un reactor UASB es el siguiente:

- ✓ El agua entra por el fondo del reactor a través de tuberías que deben estar distribuidas uniformemente, debe existir un punto de entrada por cada 1 ó 2 m² de superficie disponible en el fondo del reactor.

- ✓ El agua residual comienza a ascender a través de un manto de lodo microbiano, que ocupa la parte inferior del reactor, este lodo retiene los sólidos

suspendidos y coloidales del agua residual; en este medio se produce la biodegradación de la materia orgánica.

- ✓ La mezcla de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas asciende hasta una zona de separación de fases. El gas se separa de las otras dos fases, gracias a una estructura de un largo mayor a la cámara de sedimentación, largo que obliga al gas a desviarse y entrar en una cámara o campana recolectora de gases de donde es enviado a la atmósfera, quemado o transportado hacia una cámara donde pueda ser aprovechado en la generación de energía.

La mezcla de las fases líquida y sólida llega hasta la cámara de sedimentación, donde las partículas sólidas se sedimentan, erosionan y retornan a la capa de lodos ubicados en la parte inferior del reactor.

- ✓ El efluente líquido es recogido por canaletas o tuberías, localizadas uniformemente en la parte superior del reactor.

6.3. PRINCIPIO DEL PROCESO

La digestión anaerobia es el proceso de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y otros oxidantes fuertes, tales como el NO_3 y el SO_4 . Como subproducto de ella se obtiene un gas denominado biogas, el cual está compuesto

⁴ METCALFF, Eddy. Ibid.

en un 95% de CH₄ y CO₂, pero con la presencia adicional de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno.

En 1891 se dio en París el primer paso para el tratamiento de las aguas residuales por un método anaeróbico, se trató de un proyecto de un pozo séptico presentado por Mouras a la Revista Cosmos.

Sin embargo, con el descubrimiento del proceso de los lodos activados en 1914 – Arden y Lockett-, se dio inicio al tratamiento biológico aeróbico, que por sus más altas remociones y tiempo de digestión menores, hizo olvidar por un largo período el tratamiento anaeróbico.

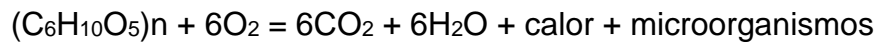
Por los altos costos de construcción y operación de las plantas de tratamiento aeróbico estimuló la investigación de los sistemas anaeróbicos, llevándose a cabo en 1974 por Lettinga y sus colaboradores el redescubrimiento de que la concentración de biomasa permite acelerar las tasas de remoción de materia orgánica, dicha concentración se logra inmovilizando la biomasa.

Como en la digestión anaerobia no se requiere oxígeno ni suspensión de la biomasa, permite una mejor concentración de biomasa anaerobia que, en comparación con la concentración de biomasa aerobia, abrió la posibilidad de que la tasa total de remoción en el tratamiento anaerobio fuera comparable a la del aerobio.

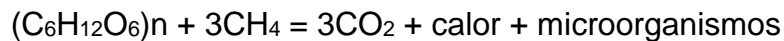
El hecho que la digestión anaerobia no requiere suministro de energía y que tiene como producto final gas metano, un gas de alto contenido energético, convirtió a los procedimientos anaerobios en muy competitivos económicamente; otra ventaja es la poca producción de biomasa en comparación con los sistemas aerobios, donde esta producción representa una calamidad debido a la disposición final y a problemas de impacto ambiental.

Las reacciones de los dos procesos son los siguientes:

Reacción Aerobia



Reacción Anaerobia



Siendo el calor producido por la reacción anaerobia siete veces menos que el calor generado por la reacción aerobia.

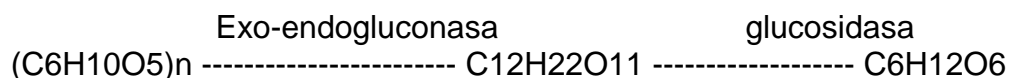
La digestión anaerobia se emplea para recuperar energía y para obtener cierto tipo de bioabono; en ella participan varios grupos de microorganismos.

El proceso de degradación no es una secuencia de reacciones independientes, pero está caracterizado por complejas interacciones entre diferentes especies de microorganismos que efectúan los siguientes pasos.

6.3.1 Hidrólisis. Es el proceso mediante el cual los compuestos orgánicos complejos, principales componentes de las aguas residuales, son convertidos en sustratos orgánicos simples, principalmente azúcares aminoácidos, ácidos grasos volátiles de bajo peso y alcoholes.

La hidrólisis es el primer paso de la digestión anaeróbica y en ella la acción de las exo-enzimas produce pequeñas moléculas que puedan atravesar la membrana celular. Se estima que de 10^8 a 10^9 bacterias hidrolíticas por ml, se encuentran en la digestión mesofílica de los lodos de desechos.

Las proteasas y las peptidasas son las enzimas responsables de la hidrólisis de la proteína. La celulosa, el constituyente predominante de la biomasa, es más resistente a la hidrólisis; la enzima responsable de la hidrólisis de las uniones de glucosa se denomina celulosa, la cual es un compuesto de complejas enzimas celulolíticas (Exo gluconasas, endogluconasas, glucosidasas). La hidrólisis completa de la celulosa insoluble requiere la acción sinérgica de tres grupos de enzimas celulolíticas:



Celulosa

Celubiosa

Glucosa

La hidrólisis tiene lugar externamente por la acción de las exoenzimas de las bacterias genéricamente conocidas como ácidogénicas o fermentativas.

6.3.2 Acidogénesis. Los productos solubles de la hidrólisis son metabolizados intracelularmente por un complejo consorcio de microorganismos hidrolíticos y no hidrolíticos. Las bacterias acidogénicas toman los sustratos simples y los descomponen mediante procesos metabólicos básicos; los azúcares entran a la glucólisis. El producto final de esta etapa depende de la concentración de hidrógeno (pH) y en todo caso está exento de oxígeno u otro potente aceptor de electrones.

El acetato, propionato, butirato y H₂/CO₂ son los principales productos de la acetogénesis.

Las bacterias que los fermentan son llamadas microorganismos acidogénicos, y pueden producir un número mayor de productos finales.

La producción de ácido acético está regida por la siguiente reacción:



Cabe anotar que la acumulación de nitrógeno dificulta la descomposición de la glucosa.

6.3.3 Acetogénesis. Los ácidos grasos volátiles son el producto final de la acidogénesis y es necesario convertirlos en ácido acético para su posterior metanogénesis.

Los productos de la acetogénesis son H₂, CO₂ y acetatos, como son mostrados en la tabla 1.5. Muchas de las reacciones que generan hidrógeno son termodinámicamente desfavorables bajo condiciones normales (se debe agregar energía al sistema). El progreso de las reacciones se ven afectadas por la presión parcial de hidrógeno (pH₂).

Existe la posibilidad de convertir el H₂ formado en las reacciones acidogénicas productoras de H₂ en ácido acético.

Tabla 1.5. Reactor UASB.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menor requerimiento de área ✓ Generación de biogas como recurso energético. ✓ Menor producción de lodo. ✓ Menor consumo de energía. ✓ Alto tiempo de preservación del lodo anaeróbico. ✓ Fácil operación y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remociones de DBO menores de 80%. ✓ No elimina nutrientes. ✓ No elimina coliformes ni organismos patógenos. ✓ No elimina amoníaco. ✓ Bacterias anaeróbicas de fácil susceptibilidad a inhibirse. ✓ Resultado no satisfactorio de algunos reactores construidos.

Fuente: OROZCO JARAMILLO, Alvaro.

6.3.4 Metanogénesis. Consiste en la conversión del ácido acético en CH₄.

Es una reacción termodinámicamente difícil y lenta, pero importante ya que produce cerca del 70% del metano final producido. Las bacterias metanogénicas utilizan un número limitado de sustratos y forman metanol, metilaminas y CO₂.

La reacción que rige la metanogénesis es la siguiente:

$C_n H_a O_b N_c + (n - a/4 - b/2 + 3C/4) H_2O$

$(n/2 + a/8 + b/4 - 3C/8) CH_4 + (n/2 - a/8 + b/4 + 3C/8) CO_2 + CNH_3$

6.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA

El reactor UASB es un proceso reciente, que aún se encuentra en etapa de investigación, para verificar sus ventajas en diferentes clases de aguas residuales, temperaturas, caudales y en las variaciones de los otros parámetros del diseño.

En términos generales presenta grandes ventajas al ser utilizadas en aguas residuales industriales y domésticas sin llegar a desconocer la importancia y ventajas de otros procesos y reconociendo las desventajas del reactor UASB.

Algunas de las ventajas del reactor UASB, al compararlo con otros métodos, se mencionan a continuación:

- Menor requerimiento de área.
- Generación de biogas como recurso energético (aunque los países latinoamericanos no poseen la capacidad tecnológica para aprovechar gases como el metano como fuente de energía).
- Menor producción de lodo.

- Menor consumo de energía.
- El lodo anaeróbico puede ser preservado, y no ser alimentado por mucho tiempo sin deterioro serio.
- Fácil operación y mantenimiento.

Algunas de las desventajas son:

- Remociones de DBO no mayores del 80%.
- Se necesita operación.
- No elimina nutrientes (reducción 5-10%).
- No elimina coliformes ni organismos patógenos (reducción de 0-1 log ó 90%).
- No elimina amoníaco.
- Las bacterias anaeróbicas son susceptibles a inhibición por un gran número de compuestos.

Debe considerarse como una desventaja los resultados negativos de algunos reactores que han sido construidos indiscriminadamente, sin haberse efectuado estudios previos.

6.5. PARAMETROS DE DISEÑO

Los factores principales que determinan el diseño del reactor UASB, son.

- ✓ Caudal de diseño
- ✓ Tiempo de retención hidráulica
- ✓ Altura de la lámina de agua
- ✓ Carga orgánica
- ✓ Condiciones hidráulicas.

6.5.1 Caudal de diseño. Va ligado con el tiempo de retención hidráulica, en el proceso de determinación del volumen del reactor UASB.

Para tratar el agua residual de una comunidad puede considerarse el consumo medio diario de agua potable de dicha comunidad afectado por un coeficiente de retorno hacia el sistema de alcantarillado y por un coeficiente de factor pico, que depende del tamaño de la población; el caudal medio diario afectado por estos factores se convierte en un caudal máximo diario.

Cuando se trabaja con el caudal máximo diario se puede aminorar el tiempo de retención hidráulica.

6.5.2 Tiempo de retención hidráulica (T.R.H.). Es un parámetro que varía de acuerdo al tipo de agua residual a tratar, de la temperatura y del medio ambiente. Se define como el tiempo que tarda una gota de agua en ejecutar el recorrido en el reactor.

Para el diseño del reactor UASB se toman tiempos de retención que varían de 4 a 12 horas, dependiendo de las características del agua residual a tratar y de la eficiencia deseada.

6.5.3 Altura de la lámina de agua. Cuando se presentan caudales picos, se produce una expansión del manto de lodos y para evitar el vertimiento de éstos en el efluente final, debe limitarse el nivel de lodos dos metros aproximadamente por debajo del vertedero final.

6.5.4 Condiciones hidráulicas. En la ranura de separación de la fase líquida y sólida existe una contra corriente entre el agua que va ascendiendo y el lodo que desciende, por este motivo la velocidad de paso del agua ascendente debe ser de 4 m/hora teniendo en cuenta que la velocidad descendente del lodo es aproximadamente de 8 m/h.

El efluente debe salir con una tasa de desbordamiento superficial entre 0.6 a 1.00 m/h²/hora, esta velocidad define la superficie de sedimentación.

La velocidad ascensional del reactor debe ser menor de 1.25 m/h.

Estas condiciones hidráulicas determinan el diseño de la campana de gases, de la cámara de sedimentación y del volumen mismo del reactor.

6.6. ARRANQUE DEL PROCESO

Se define como el período de operación que comienza cuando el reactor empieza a ser operado bajo condiciones físico químicas particulares y un tiempo de retención hidráulica definido y termina cuando se puede aplicar la carga orgánica volumétrica del diseño bajo condiciones estacionarias o el tiempo requerido para alcanzar una degradación de 10 kg CH₄/DQO/m/día.

Para un buen arranque del proceso se necesita un buen proceso de inmovilización.

6.6.1 Inmovilización. Es la fijación de un biocatalizador (microorganismos, células animales o vegetales, enzimas) en un soporte sólido o suspendido. La inmovilización tiene la clara ventaja de que una alta concentración de biomasa puede ser retenida en un bioreactor por extensos períodos de tiempo. La aplicación de esta tecnología es de reciente data, aunque se ha venido aplicando

naturalmente por largo tiempo; por ejemplo, en grandes ríos que pasan a través de centros urbanos.

Una ventaja de la inmovilización es que el tiempo de generación de la biomasa se reduce de 30 días a menos de 6 horas. Cuando la biomasa se acumula en las paredes del reactor es más difícil conseguir el alimento por la biomasa más cercana a la pared, siendo el alimento tomado por la biomasa superficial, en caso de no llegar alimento a la biomasa de la pared, esta biomasa muere y se desprende, arrastrando consigo toda la biomasa acumulada, es por este motivo que se debe tener especial cuidado con la inmovilización de la biomasa en el manto de lodo.

Existen compuestos inhibidores del proceso de inmovilización como los ácidos grasos volátiles, las grasas y agentes tóxicos; también existen compuestos estimulantes del proceso como el nitrógeno, el fósforo, cobalto, hierro y magnesio.

6.6.2. Factores a tener en cuenta en el arranque del proceso.

- ✓ Concentración de ácidos grasos en el efluente: un aumento inesperado en los ácidos grasos volátiles del sistema retrasará el proceso de arranque e inhibirá la inmovilización de la biomasa. Coincidiendo con situaciones de sobrecarga de ácidos grasos se encuentra un incremento de la concentración del H en el

biogas, lo cual puede traducirse en acumulación de propionato en el efluente afectando la microbiología del proceso.

- ✓ La producción de gas. Un seguimiento de la concentración de H₂ en el gas proporcionará una información más precisa acerca del desarrollo del proceso.
- ✓ La dinámica del lodo. La determinación del arrastre del lodo y el perfil de la biomasa permiten calcular la cantidad total del lodo presente en el reactor y la producción de metano.

Otros factores que deben tenerse en cuenta para el arranque son.

- ✓ Temperatura.
- ✓ pH.
- ✓ Nutrientes.
- ✓ Toxicidad.

Hipótesis de trabajo

En comparación con otros sistemas de tratamiento cuál sería el área requerida para la ubicación del reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB) Sabiendo que tiene menor requerimiento de área.

Cuál sería el porcentaje de remoción esperado en el sistema UASB si se sabe que las remociones de DBO son menores del 80%.

7. CLASE DE INVESTIGACION

El proyecto del diseño de un modelo a escala laboratorio de un reactor anaerobio UASB para el tratamiento de aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa. Se considera una investigación descriptiva.

En ella encontramos:

Una descripción de los diferentes procesos de tratamiento.

- Tratamiento preliminares
- Tratamientos primarios
- Tratamientos secundarios
- Tratamientos avanzados.

Dentro de los tratamientos secundarios se describen los procesos biológicos del tratamiento de agua residual institucional.

Encontramos la descripción de las diferentes características y parámetros de diseños que debemos tener en cuenta para el diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB).

Se realizará el diseño bajo un punto de vista personal, pero sin modificar el marco teórico-bibliográfico que se recopiló durante el recorrido del proyecto.

8. DISEÑO METODOLOGICO

A continuación presentaremos los pasos seguidos para el diseño del modelo a escala laboratorio de un reactor UASB, para el tratamiento de aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa.

Se diseñó un reactor UASB de forma circular, esto para mayor facilidad en el manejo.

El primer paso a seguir fue la medición de parámetros relacionados con sus características físico químicas del agua residual institucional. En la tabla especificada en el capítulo 9 se presentan las características que de forma muy precisa nos van a servir para el diseño del reactor, ya que se necesita que éstas estén en un rango determinado.

Seguimos con la determinación o definición del caudal de diseño, el cual se escogió de acuerdo con el estudio de otros diseños realizados; esto de la experiencia en aguas residuales de algunas entidades universitarias, de pronto trabajando una población universitaria similar.

Escogimos a continuación el tiempo de retención hidráulica del TRH, éste varía de un recargo de (2 a 8 horas) para su escogencia se realizó un promedio y más o menos se pensó en que no fuera muy poco ni muy alto.

Siguiendo las operaciones para encontrar los dimensionamientos del reactor, se enumera lo siguiente:

- Volumen
- Altura del reactor (que se asume también por experiencia y teóricamente)
- Area del reactor
- Velocidad ascensional
- Diámetro
- Perímetro.

En los anexos se verán más detallados el dimensionamiento del reactor.

Las ecuaciones a utilizar se encuentran en el capítulo 9 junto con el diseño.

Dimensionamiento de la abertura

Se recomienda una velocidad máxima de 4 m/h. Esto para hallar el área de la abertura, de aquí se deduce el diámetro W_a y otras dimensiones que lleva el reactor.

El ángulo de inclinación varía de 30 – 60°.

En la parte de sedimentación la tasa de desbordamiento superficial, se tomó de 1 m³/m²/h. Se halla el área superficial con el caudal. La tasa de desbordamiento. De aquí se halla el diámetro W_s , (ir a la figura de anexos) y de aquí se derivan todos los dimensionamientos del reactor. Para la campana se escogió un ángulo de 60°.

Para finalizar, el dimensionamiento del reactor se eligieron un punto de alimentación por cada 3 m²; se encontró un punto de alimentación en el diseño. La guía para el diseño se tomó del libro Tratamiento Básico Aguas Residuales.

Se realizó el cálculo del diámetro de la tubería de descarga. Esto se realizó por la fórmula de Fair. $Q = 1.375 A h^{1/2}$.

Después el diseño hidráulico de la salida del agua del reactor. La salida del agua tratada se realizará como si fuese un orificio. Los detalles se encuentran en el capítulo 9.

El tanque de homogeneización será de 250 litros.

9. DISEÑO DEL REACTOR UASB MODELO ESCALA LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES DE LA CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA

9.1. CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DEL AGUA RESIDUAL DE LA CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA

ENSAYO	RESULTADO	UNIDADES
DBO5	342	mgO ₂ /L
DQO	563.4	mgO ₂ /L
pH	6.5	Unidades
Sólidos totales	1370	Mg/L
Sólidos suspendidos	410	Mg/L
Fosfato	15	mgP ₂ O ₅ /L
Nitrato	10	mgNO ₃ /L
Nitritos	0.1	mgNO ₂ /L

Para el diseño del reactor se definieron características constantes físico-químicas.

9.2 DISEÑO REACTOR UASB

Temperatura del agua 25° C (20 < OK < 42)

Dimensionamiento

Se define un caudal de diseño:

Q →

0.07 m³/h

$$0.07 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \times \frac{1000 \text{ lts}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ seg}}$$

0.019 lts/seg

Tiempo de retención hidráulica varía de (2 – 8 horas)

Definimos TRH = 6 horas

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= Q \times \text{THR} = \\ &= 0.07 \text{ m}^3 \times 6 \text{ horas} \\ &= \frac{0.42 \text{ m}^3}{\text{hora}} \end{aligned}$$

Altura del reactor (asumida) (h) h = 4 m

Area del reactor (V/h) 0.42 m³/4 m
0.105 m²

Velocidad ascensional: Q/A 0.07 m³/hora

0.105 m
→ 0.667 m/hora

0.667 < 1.25 m/hora OK

Diámetro: $0.105 \text{ m}^2 = \pi r^2$
 $0.36 \text{ m} \approx 14''$

Perímetro: $\rightarrow 2\pi r$
 $\rightarrow 1.13 \text{ m}$

Abertura:

Velocidad recomendada (V): 4 m/h (máxima recomendada)

Area Q/V $\frac{0.07 \text{ m}^3/\text{hora}}{4 \text{ m/hora}} = 0.0175 \text{ m}^2$

Diámetro (Wa): $0.0175 \text{ m}^2 = \pi r^2$
 $D = 0.14 \text{ m}$
 $6''$

$2 \times Z = 1.5 \text{ (Wa)}$ $1.5 \times \text{(Wa)}$
 0.21

Velocidad en Z Q/A

$$0.07/0.105 - \left(\frac{(0.21)^2 \times \pi}{4} \right)$$

$1.00 \text{ m/h} < 4 \text{ m/h}$ OK

∞ 60°

b. $Z/\text{tg } \infty$
 $0.105/\text{Tg } 60$
 $0.060 \text{ m} = 6 \text{ cm}$

a. $Wa/2 \times \text{Tg } \infty/2$
 $0.040 \text{ m} = 4 \text{ cm}$

Sedimentación

Tasa de desbordamiento

Superficial TDS $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$

Superficie S^2 Q/TDS
 $0.07 \text{ m}^3/\text{hor}/1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
 0.07 m^2

Diámetro (W_s) $\left(\frac{0.07 + 4}{\pi} \right)^{1/2}$
 0.30 m

$W_g = W_s - W_a$ $0.30 \text{ m} - 0.14 \text{ m}$
 0.16 m

$W_t = \phi - W_s$
 $(0.36 - 0.30) \text{ m}$
 0.06 m

$W_t/2$ $0.03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$

Campana

∞ 60°

Hg $T_g \propto x W_g/2$
 $T_g 60 \times 0.08$
 $0.14 \text{ m} \rightarrow 14 \text{ cm}$

Puntos de alimentación \rightarrow Por cada 3 m^2 un punto de alimentación

$$x \frac{0.105 \text{ m}^2}{3} < 1$$

Un punto de alimentación

Sobrecarga 0.20 m

Cálculos del diámetro de descarga

Fórmula de Fair = Según la fórmula de Fair se puede obtener el diámetro de la tubería de descarga.

$$Q = 1.375 A h^{1/2}$$

$$Q = 1.375 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) h^{1/2}$$
$$Q = 1.375 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) d^{1/2}$$

$$Q = 1.08 d^2 \times d^{1/2}$$

$$Q = 1.08 d^{5/2}$$

$$Q^{(2/5)}/1.08^{(2/5)} = d$$

$$Q^{(2/5)}/1.031 = d$$

$$\left(\frac{0.07}{1.000} \right)^{2/5} \times \frac{1}{1.031} = d$$

0.0211
2.11
1"

Se utilizará una tubería de 1" \approx 0.0254

Diseño hidráulico de la salida del agua del reactor

La salida del agua tratada se realizará como si fuese un orificio.

Utilizamos

$$Q = V \times A$$

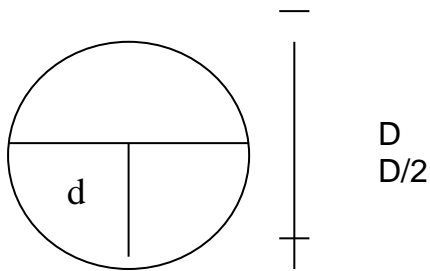
Donde la velocidad es

$$Cd \sqrt{2g \times d^{3/2}}$$

Cd varía entre $0.6 < cd < 1$

Se escogió 0.8

$$\text{Area} = \frac{\pi D^2}{4}$$



$$\phi = 2\frac{1}{2}'' \approx 0.0635 \text{ m}$$

Entonces para la verificación $Q_1 > Q_d$ caudal de diseño es $\rightarrow 0.019 \text{ Lps}$

$$Q = 0.8 \sqrt{2 \times 981} \times (0.0635/2)^{(3/2)} \times \pi (0.0635)^2/8$$

$$Q_1 = 0.031 \text{ Lps}$$

Donde $Q_1 > Q_d$

$$0.031 > 0.019 \text{ Lps}$$

Se colocará un tanque de homogeneización por el factor de igualación de caudales ya que en diferentes épocas del año la población estudiantil y administrativa disminuye en época de vacaciones.

Tenemos un tanque elevado con capacidad de 250 lts. No se realiza el cálculo de la motobomba porque puede que éste se pueda llenar por gravedad, y además no existe un levantamiento topográfico que nos pueda dar y la ubicación del pozo de succión de agua residual y también porque aún no se ha determinado el área exacta para la ubicación del sistema de tratamiento.

10. RECURSOS DISPONIBLES

10.1 RECURSO HUMANO

Asesores técnicos

- Néstor Escorcía Redondo, Ing. Civil, Postgrado en Análisis y Gestión Ambiental.

Asesor metodológico

- Juan Pablo Rodríguez, Ingeniero Sanitario y Ambiental.

10.2 RECURSOS FISICOS

- Un computador – impresora
- Bibliotecas
- Internet
- Papelería
- Laboratorios:
 - Químico
 - Hidráulico
 - Microbiológico.

CONCLUSIONES

El diseño del modelo escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa, se realizó teniendo en cuenta ciertos parámetros que ayudan a llevar a cabo este proyecto de forma efectiva y veraz. Haciendo referencia a las aguas residuales institucionales de la Corporación Universitaria de la Costa, se puede decir que presentan adecuadas características físicas y químicas como temperatura, nutrientes, pH, sólidos, etc. para ser tratada por un reactor UASB bajo condiciones climáticas y ambientales de la Costa Atlántica.

Las características del modelo a escala del reactor UASB en estudio son las siguientes:

Caudal: 0.07 m³/h – 0.019 lts/seg

THR (/tiempo de retención hidráulica) = 6 horas

Volumen: 0.42 m³

Altura: 4 metros

Temperatura del agua: 27° C

pH: 6.5 – 8.3

Realizando los análisis de la caracterización físico-química del agua residual institucional de la Corporación Universitaria de la Costa, se encontró otras

características homogéneas. En la tabla presentada en el capítulo 9, esto me lleva a pensar que no existía necesidad de colocar un tanque de igualación (homogeneización). Ya que éste cumple la función de igualar o darles una homogeneización a las características del agua residual de la Corporación.

En las aguas residuales domésticas o institucionales de cambio en la variación de las características se hace despreciable.

Nos podemos remitir también a datos experimentales y relacionar, para saber si se puede colocar un tanque de igualación porque hay que recordar que para el sector industrial se hace indispensable colocar un sistema de homogeneización porque en esta zona se varía la cantidad de concentración a diferentes horas del día.

Por otro lado, realizando una comparación con otros tratamientos de aguas residuales vemos que el reactor UASB ocuparía menor espacio en áreas. Por ejemplo, uno de estos tratamientos es la laguna de oxidación, la cual ocuparía un área muy grande y de pronto no sería apropiada para una institución universitaria. Los otros procesos de tratamiento ocupan un área mayor que el del reactor UASB, haciendo las respectivas comparaciones del caso.

También datos experimentales de otros diseños, construcciones, monitoreos y calibraciones de reactores UASB arrojaron un resultado de remoción de DBO de un 70%, cumpliendo con lo teórico-práctico de la recopilación bibliográfica.

RECOMENDACIONES

A continuación, se realizarán ciertas recomendaciones que podemos seguir en un futuro:

Sobre el sistema de bombeo del reactor UASB se hace indispensable realizar un levantamiento topográfico, para saber si es necesario colocar una estación de bombeo. Además, para poder establecer la zona de ubicación de los reactores para que se diseñe de la manera más económica posible.

Se colocará un tanque de igualación debido a que los caudales de agua no son constantes en las diferentes horas del día por el flujo de estudiantes que puede existir en diferentes horarios.

Sería bueno pensar en un futuro la construcción del sistema de tratamiento porque así se beneficiará la universidad, por la reutilización de agua que en un momento le serviría para riego y uso de baño; ahí estaríamos viendo un sistema sanitario ambiental aplicado a la economía y también sería bueno para que generaciones futuras de ingenieros sigan de pronto una construcción, calibración y monitoreo del diseño realizado para que sirva de base de estudio para próximas investigaciones.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Mes Actividad	Octubre				Noviembre					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	
Aprobación de la propuesta.										
Entrega del anteproyecto primera revisión.										
Entrega de correcciones Asesor Técnico y Metod.										
Recopilación bibliográfica.										
Entrega del anteproyecto segunda revisión.										
Reunión CID Asesor Técnico y Metodológico.										
Entrega final de anteproyecto.										
Toma de muestras aguas residuales.										
Diseño del reactor anaeróbico.										
Entrega final del proyecto.										

BIBLIOGRAFIA

BAEZ NOGUERA, Jorge. Tratamiento básico de aguas residuales. Barranquilla: Universidad del Norte. Ingeniería Civil, 1986.

------. Apuntes de clases asignatura Tratamiento de aguas. Universidad del Norte. 1993.

CURE CURE, Faisal. SARMIENTO V., Gray. Evaluación de la tecnología del tratamiento anaeróbico por medio de digestor tipo UASB para las aguas residuales domésticas de Barranquilla (estrato 6). Tesis de grado, 1994. Uninorte.

GIJZEN HUUB. Memorias de la Conferencia "Microbiología y bioquímica de los tratamientos del agua residual". Uninorte. Barranquilla, 1995.

INGENIERIA DE PROYECTOS LTDA. Diseño de los drenajes sanitarios y pluviales de la Universidad del Norte.

JALLER C., Nehman; LAGARES C., Juan. Planta piloto de tratamiento de aguas residuales tipo doméstico por el proceso de lodos activados (Tesis de grado Uninorte).

MARTES MENDOZA, Carlos; PEDROZA GOENAGA, Alberto. Comparación de los sistemas UASB y lagunas de estabilización con jacintos de agua en el tratamiento de aguas residuales. Tesis de grado, Uninorte.

METCALFF, Eddy. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales.

MOYA, Aida Luz. Apuntes de clase asignatura Ingeniería Sanitaria. Uninorte, 1994.

------. Manual de análisis de aguas y aguas residuales. Universidad del Norte. Departamento de Ingeniería Civil, 1995.

OROZCO, Alvaro. Tratamiento de aguas residuales. Reactor UASB y Reactor anaeróbico a pistón. Universidad de Los Andes.

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 1594 de 1984.

------. Ley 99 Sistema Nacional Ambiental.

STERLING, Carmen Eugenia. La tecnología UASB para el tratamiento de aguas residuales municipales. Cali, marzo de 1989.

SIERRA, Jorge Humberto. Análisis de agua y aguas residuales. Antioquia: Departamento de Ingeniería Sanitaria.

SOCIEDAD DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BARRANQUILLA A.A.A. Normas técnicas para la construcción de acueducto y alcantarillado.