



2011

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD SAN CRISTÓBAL DE ECOSUR



RESIDENTE:

Deysi Fabiola Velázquez Natarén

No. De Control:

06270244

ASESOR:

M. en C. Juan José Villalobos Maldonado

REVISORES:

M. en C. Humberto Castañón González

Dr. Arnulfo Rosales Quintero

ASESOR EXTERNO:

ING. BQ IND. Jesús Carmona de la Torre

PERIODO:

JUNIO-DICIEMBRE 2011

Agradecimientos

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunos están conmigo y otros en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mi, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Mami, no me equivoco si digo que eres la mejor mamá del mundo, gracias por todo tu esfuerzo, tu apoyo y por la confianza que depositaste en mi. Gracias por que siempre aunque lejos, has estado a mi lado. Te quiero mucho.

Papi, este es un logro que quiero compartir contigo, gracias por ser mi papá y por creer en mi. Quiero que sepas que ocupas un lugar especial.

Un agradecimiento especial a mi asesor, M. en C. Juan José Villalobos Maldonado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, por que desde el inicio estuvo conmigo dedicándome tiempo, aclarándome dudas sobre el proyecto de investigación, le doy gracias por las asesorías y correcciones realizadas en este proyecto y apoyo en todo momento para la elaboración y culminación de este proyecto.

A mis revisores del Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, M. en C. Humberto Castañón González y Dr. Arnulfo Rosales Quintero, por su accesibilidad y opinión de este proyecto.

Agradecimiento a mi asesor externo IBI. Jesús Carmona de la Torre por su amistad y la confianza que me brindo para realización de este proyecto, por que siempre de alguna u otra manera nos involucra en sus proyectos permitiéndonos aprender mas en diversos temas, agradezco el tiempo dedicado en las correcciones, observaciones y criticas de este proyecto, fue muy bonito de su parte que nos compartiera algunas de sus experiencias para ser mejores en la vida, aunque el proyecto aun sigue espero seguir aprendiendo más de usted día con día.

Dr. Ricardo Bello muy agradecida por el apoyo y la confianza que depositó en mí, aunque nunca tuve el placer de conocerlo personalmente agradezco todas las observaciones, comentarios y correcciones hechas a este trabajo de investigación. Gracias por darme esa oportunidad de trabajar con usted.

Agradezco al Q.F.B. Juan Jesús Morales López por los conocimientos brindados en el Laboratorio de Análisis Instrumental, por la paciencia que demostró en cualquier momento, así también por la toda la bibliografía otorgada para la realización de este proyecto, por que tuvo la confianza de regañarme cuando era necesario y por guiarme es esos momentos de desesperación, me llevo una linda amistad no hay palabras para agradecer todo los conocimientos otorgados en laboratorio. Por cierto olvidaba pedirle disculpas por esterilizar su muestra.

A todos mis maestros no solo de la carrera sino de toda la vida, mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy. Especialmente a los tres que han dejado huella en mi; Q.B.P. Aura Flores por sus conocimientos en Microbiología, Bioquímica y Genética, Q.F.B. Dulce Ma. Hernández Beristaín por enseñarme las bases de la carrera Química orgánica, Química inorgánica y Química analítica aunque sufrí mucho con usted, ahora no estoy más que agradecida por que en su momento las exigencias eran por mí bien y mí querida Mtra. Lucia Ma. Cristina Ventura Canseco por los conocimientos otorgados en Cinéticas microbianas e Ing. de Birreactores fundamento esencial para la realización de este proyecto.

A El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR-San Cristóbal) por la oportunidad y facilidades de aprendizaje que me permitieron contribuir con este proyecto.

A Esvin Adalberto Torres Hernández por enseñarme el funcionamiento de la PTAR en ECOSUR y por que en todo momento estuviste a mi lado. Por la paciencia y disponibilidad demostrada en todo momento. Gran parte de este proyecto no hubiera sido posible sin tu ayuda Gracias!

Al mas especial de todos, a ti Señor porque hiciste realidad este sueño, por todo el amor con el que me rodeas y por que me tiene en tus manos. Este proyecto es para ti.

Índice

1.	Introducción.....	5
2.	Justificación.....	6
3.	Objetivos.....	7
3.1.	Objetivos específicos	7
4.	Características del área en que participo	7
5.	Planteamiento del problema	8
6.	Alcances y limitaciones.....	9
7.	Fundamento teórico.....	11
8.	Metodología.....	24
9.	Resultados y Discusiones.....	37
10.	Conclusión.....	56
11.	Mejoras al sistema	57
12.	Bibliografía	58
13.	Anexos	60
1.	Cronograma preliminar de actividades	60
2.	Programa del curso de inducción en el laboratorio	62
3.	Memoria fotográfica	64

1. Introducción

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación y genera un impacto ambiental desfavorable, por lo que se hace necesaria la búsqueda de alternativas de gestión para los residuos sólidos que permitan evacuarlos favorablemente y obtener de éstos alguna utilidad.

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primaria, secundaria y terciaria. La etapa secundaria tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación.

La tecnología de biodigestores anaerobios es uno de los métodos más importantes para el tratamiento de aguas residuales. La digestión anaerobia, definida como la utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos, incluido dióxido de carbono (Kiely, 1999), es una opción para el tratamiento de la fracción orgánica biodegradable de las aguas residuales, ya que con su implementación se disminuye el riesgo de generar polos infecciosos a causa de su carácter anaerobio. Además se producen dos efluentes residuales importantes: el biogás (esencialmente metano y dióxido de carbono) (Pavlostathis and Giraldo-Gómez, 1991), que puede ser utilizado como fuente de energía (Flotats et al., 1997) y un efluente líquido que puede utilizarse como acondicionar de suelos por sus características fisicoquímicas.

Eficiencia es acción, fuerza, producción y se define como la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. En esta investigación se evaluará la eficiencia de la PTAR de ECOSUR unidad San Cristóbal de las Casas Chiapas, a través de un biodigestor anaerobio mediante los parámetros establecidos en la normatividad vigente ambiental: NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

La PTAR cuenta con un volumen de 60,000 litros, tiene un caudal promedio 0.7 l/s y su velocidad de carga hidráulica es de 1 m³/m³.d. Así mismo se espera un desempeño para la capacidad de remoción de: >95% de remoción de SST y >90% de remoción de DBO₅. Los efluentes deben cumplir con la NOM-002-ECOL-1996

Para conocer la eficiencia de la PTAR se evalúan las siguientes parámetros: DBO₅, DQO, Sólidos sedimentables (SS), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos disueltos (SD), Sólidos suspendidos volátiles (SSV), Grasas y Aceites, Materia flotante, Temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Nitrógeno total, Cianuros total, Fósforo total, el Número más Probable de Coliformes Totales y Fecales, Determinación de Metales (Cobre, Níquel total, Zinc total y Plomo total), Flujos y Tiempo de residencia, Olor, Color, Lodos Activados, Presión, Demostración de gas Metano.

En el plan de muestreo se toma como referencia la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NMX-AA-003 Aguas residuales-Muestreo. La planta operará las 24 horas del día, se va a monitorear cada 4 horas para tomar muestras simples y complejas que servirán para realizar las determinaciones de la norma. Para verificar si existe algún incremento en la eficiencia una vez que se ponga en marcha la PTAR se pretende monitorear SS, SST, SD, SSV, pH, Lodos activados

y Temperatura. La periodicidad de la toma de muestra, análisis de laboratorio y reportes se sugiere que sea mensual hasta lograr la estabilización de la planta y posteriormente realizar los análisis trimestral o semestral en descargas de aguas residuales de tipo no municipal.

El reactor con el que operara la planta es de lecho de lodos anaerobios de flujo ascendente (UASB del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket) son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente. El biorreactor esta dividido en 3 secciones las cuales serán inoculadas con lodos activados aerobios provenientes de la PTAR de SMAPA Paso limón ubicada en Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Las concentraciones de los lodos serán 10% en la primera sección, 7% en la segunda y 4% en la tercera sección del biodigestor del volumen total del reactor.

2. Justificación

Este proyecto de investigación se realiza con la objetivo de conocer la eficiencia real de la planta de tratamiento de aguas residuales a través de un biodigestor anaerobio del Colegio de la Frontera Sur unidad San Cristóbal de Las Casas. Los datos obtenidos en este proyecto de investigación se compararán con la eficiencia teórica de diseño de la PTAR.

IMPACTO SOCIAL:

Se pretende con el uso de esta tecnología se verifique el cumplimiento de las normas ambientales: NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

El valor teórico es otro aspecto relevante ya que la contribución o aportación que tendría nuestra investigación hacia otras áreas del conocimiento, tendría alguna importancia trascendental, los resultados podrán ser aplicables a otros fenómenos o ayudaría a explicar o entenderlos.

La elaboración de un manual en el proyecto será de utilidad metodológica. Con la investigación se hará un manual de operación de la PTAR que seria un instrumento para el funcionamiento de la planta, la recolección de datos y los análisis de laboratorio.

IMPACTO AMBIENTAL:

El uso de Planta de Tratamiento de aguas residuales en ECOSUR eliminaría gran cantidad de los desechos orgánicos en aguas residuales, que son altamente contaminantes del ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.

Por lo anterior se minimizarían los riesgos de contaminación al ambiente, extinción de flora y fauna por descargas de aguas residuales.

IMPACTO ECONÓMICO:

Otro aspecto muy importante es la reutilización de aguas en la institución, que vendría a minimizar los costos de agua potable en la institución.

Por lo anterior, resulta importante evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales a través de un biodigestor anaerobio en la unidad de Ecosur San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Se determina la eficiencia tomando como referencia la NOM-ECOL- 001 Y 002 SEMARNAT y NOM-003-SEMARNAT-1997.

3. Objetivos

Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas procesadas en un biodigestor anaeróbico, a través del monitoreo y análisis de laboratorio de parámetros que determinan la calidad de aguas residuales y verificar el grado de cumplimiento de la normatividad vigente ambiental: NOM-001-SEMARNAT-1997, NOM-002-SEMARNAT-1997 y NOM-003-SEMARNAT-1997

3.1. Objetivos específicos

- Evaluar la remoción de los contaminantes del agua (SS, SST, SD, SSV, materia flotante, así como la remoción de materia orgánica medida como DQO).
- Evaluar y verificar si el efluente cumple con la NOM-002-ECOL-1996.
- Concientizar acerca la importancia del uso de estas tecnologías, como opción para el aprovechamiento y protección de los recursos naturales.
- Elaboración de manual de operación de la PTAR.

4. Características del área en que participo

Misión.

El Colegio de la Frontera Sur es un centro público de investigación científica, que busca contribuir al desarrollo sustentable de la frontera sur de México, Centroamérica y el Caribe a través de la generación de conocimientos, la formación de recursos humanos y la vinculación desde las ciencias sociales y naturales.

Visión.

Ser un centro de investigación científica reconocido nacional e internacionalmente por la calidad, pertinencia, relevancia e impacto de sus aportaciones.

En ECOSUR existe el área de Laboratorios Institucionales (LI's) que trabajan bajo un sistema de gestión de la calidad y cuenta con tres laboratorios acreditados ante la Entidad Mexicana de Acreditación en las ramas de sanidad agropecuaria, alimentos y agua.

Desde hace ya varios años el coordinador del área de LI's, el Ing. Jesús Carmona trabaja con los temas de agua y residuos sólidos y peligrosos, y se ha dedicado a la construcción de prototipos lúdicos. En los últimos años se ha dedicado a la gestión e implementación de un sistema de manejo ambiental y sus aportaciones para la instalación de tecnologías del agua han sido reconocidas al interior de esta institución.

Con estos trabajos se quiere:

- Mostrar a la sociedad que se puede utilizar al agua de forma diferente.
- Incidir en políticas públicas con el ejemplo.
- Contribuir al cuidado del ambiente.
- Disminuir los costos de agua potable y drenaje en ECOSUR San Cristóbal.
- Cumplir la normatividad ambiental para agua (NOM-001-SEMARNAT-1997, NOM-002-SEMARNAT-1997 y NOM-003-SEMARNAT-1997)
- Reusar en baños el agua residual tratada.
- Disponer de infraestructura modelo, congruente con nuestra misión y visión.
- Implementar Sistemas de Manejo Ambiental (SMA)
- Lograr un buen desempeño ambiental de las operaciones de instalaciones de la Unidad San Cristóbal de las Casas.

5. Planteamiento del problema

Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de ECOSUR unidad, San Cristóbal de las Casas, Chiapas a través de un biodigestor anaerobio. Contribuir a la disminución de costos de agua potable, energía eléctrica y disponer de un sistema de saneamiento de las aguas residuales para el reuso del agua tratada en sanitarios, además la mitigación de los problemas de salud relacionados al agua y en la medida de las posibilidades, abastecer de agua para uso doméstico a ECOSUR.

6. Alcances y limitaciones

Alcances:

Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la unidad San Cristóbal de ECOSUR.

Evaluar la eficiencia de la planta implicó el establecimiento de fases del proyecto, a continuación se describe los siguientes rubros:

- I. Investigación bibliográfica, el alcance en este apartado es desarrollar habilidades para realizar investigación bibliográfica, sistematización de la bibliografía recabada y documentación en el presente proyecto. Además de la investigación bibliográfica, se revisaron los antecedentes y documentos registro de la PTAR de la unidad San Cristóbal de ECOSUR.
- II. Elaborar la propuesta para la evaluación de la eficiencia de la PTAR que incluye los parámetros a evaluar para su determinación, considerando el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable vigente.
- III. Establecer el plan de muestreo en el cual se establece: frecuencia de muestreo, monitoreo, localización de la toma de muestra y periodicidad de los análisis y reportes de la PTAR de ECOSUR.
- IV. Inducción-capacitación. Se facilitó a través de un proceso de inducción se les facilitó los conocimientos necesarios para trabajar en los laboratorios bajo el sistema de gestión de la calidad y posteriormente se recibió capacitación sobre los siguientes rubros. Toma de muestra, Teoría de los parámetros de pH, Temperatura y Materia Flotante, Práctica de medición de Temperatura y Materia Flotante, Análisis gravimétricos y espectrofotométricos (generalidades y fundamento teórico de la determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica), práctica determinación de espectrofotometría de absorción atómica, Determinación de Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Sedimentables, Práctica de análisis de Sólidos, Determinación de Fósforo Total, Práctica de Fosforo total, Determinación de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno (Teoría y práctica), Fundamentos del análisis de Grasas y Aceites, Determinación de Nitrógeno Total y fracciones inorgánicas N-NO₂; N-NO₃, Práctica de nitrógeno total y fracciones inorgánicas, Determinación de NMP de coliformes totales y fecales y uso y manejo de los equipos; con el objetivo de lograr buenas prácticas de manufactura. Para evaluar la eficacia de la capacitación, se realizaron tomas de muestras reales dentro y fuera de la ciudad de diferentes fuentes como estanques, bordos, filtros de agua y en tuberías.

- V. Realización de plan de monitoreo de la PTAR, y análisis de laboratorio para realizar los parámetros definidos, se espera la inoculación de la PTAR para iniciar el muestreo y análisis en laboratorio.
- VI. Elaborar base de datos y reportes técnicos. Bajo un esquema de rastreabilidad se almacenan los datos obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio a una base de datos. Después se prosigue a realizar un reporte técnico de investigación para informar tanto los procedimientos como los resultados de la investigación en forma concisa y dentro de una estructura lógica. Posteriormente se utilizarán para estudiar el comportamiento de un conjunto de datos al término del proyecto, realizar proyecciones y tomar decisiones.

Otras actividades:

Durante la estancia en ECOSUR hubo una colaboración en las visitas guiadas al sistema de tratamiento de aguas residuales.

Se participó en el marco de la semana de ciencia y tecnología, en el evento ECOSUR a puertas abiertas 2011 con el tema Sistema Integral del Agua (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Biofiltro) en el cual se dio a conocer a estudiantes y público en general mediante una plática-recorrido como está constituido el sistema integral del agua en ECOSUR y su relación con los bosques. A su vez se realizó una exposición de carteles.

Se participó también en el evento ECOSUR en tu comunidad 2011 en el marco de la semana de ciencia y tecnología, realizado en Amatenango del Valle, Chiapas y en el XXX aniversario de la escuela secundaria técnica #56 en el municipio de Tenejapa, Chiapas como conferencista en pro del medio ambiente.

Limitaciones:

La falta de tiempo fue un factor determinante para evaluar la eficiencia de la PTAR de Ecosur Unidad San Cristóbal.

Una limitante fue un problema técnico en las bombas y hubo necesidad de detener la operación de la PTAR y se procedió a realizar el mantenimiento correctivo. A la fecha se espera el traslado de lodos activados para inocular la PTAR antes de concluir el año para que a partir de enero se inicie el muestreo y análisis de laboratorios. Es posible que el proceso de arranque del tratamiento en la PTAR después de la inoculación se vea impactado en tiempo y pueda representar alguna limitante. Estabilización de la PTAR después de la inoculación.

7. Fundamento teórico

Los tratamientos aerobios y anaerobios constituyen las dos grandes alternativas de depuración biológica de aguas residuales y residuos orgánicos fermentables. Sin embargo, el hecho de no necesitar aireación y la generación de biogás, que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas, hacen que la digestión anaerobia resulte mucho más favorable económicamente, permitiendo en muchos casos la autonomía o autosuficiencia de las plantas de tratamiento. Otro aspecto muy ventajoso es que la generación de lodos en exceso es mucho menor en el proceso anaerobio que en el aerobio, por lo que también se reducen los costes de tratamiento de los lodos. Por todo esto, la digestión anaerobia se presenta como el método más ventajoso en el tratamiento de aguas residuales de media y alta carga orgánica.

En el caso de efluentes diluidos, estas ventajas parecen menos importantes, por la baja producción de gas esperada, sin embargo algunos autores indican reducciones en los costes de operación del 30 al 60% cuando se introduce una o más etapas anaerobias en los sistemas de depuración. Este tratamiento, a temperaturas superiores a 20°C, permite eficacias de depuración del 55-75% en la eliminación de DQO, del 65-80% en la eliminación de DBO5 y del 67-81% en la eliminación de SS. La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15°C. Por esta razón, el proceso anaerobio está teniendo una especial importancia en los países de clima cálido, destacando Brasil que cuenta con más de 200 instalaciones de este tipo. Igualmente, el potencial de esta tecnología es elevado para su aplicación en muchas áreas europeas de clima templado, especialmente en las áreas próximas al litoral.

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas se conocen como aguas residuales.

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

La etapa primaria elimina el 60% de los sólidos suspendidos y un 35% de la DBO. La etapa secundaria, en cambio, elimina el 30% de los sólidos suspendidos y un 55% de la DBO.

En la actualidad la digestión anaerobia se utiliza para muchos procesos, entre los que se cuentan el tratamiento de aguas residuales, el tratamiento de residuos industriales (industria cervecera, vinícola, lechera, alimentaria, química, farmacéutica), residuos agrícolas (ganadería porcina, avícola, vacuno, residuos de granjas, productos de cosechas) y residuos de tipo urbano, agua residual bruta, y la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Por lo que se considera conveniente el planteamiento de este tipo de investigaciones que permitan entender el comportamiento de sistemas anaerobios en el tratamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos en aguas residuales. La remoción de materia orgánica constituye uno de

los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, utilizándose en la mayoría de los casos procesos biológicos.

La digestión anaerobia es un proceso en etapas en el que cada grupo microbiano, relacionado tróficamente, aprovecha como sustrato los productos generados por el metabolismo de los microorganismos responsables del paso anterior. Tradicionalmente la degradación anaerobia ha sido considerada como un proceso en dos etapas que aceptaba la existencia de dos grandes grupos microbianos: bacterias formadoras de ácidos o acidogénicas y Archaea formadoras de metano o metanogénicas (McCarty, 1981).

Según este esquema clásico, las bacterias acidogénicas son las encargadas de hidrolizar y fermentar los compuestos orgánicos complejos, presentes en el residuo, en compuestos más simples mediante reacciones de oxidación-reducción. La producción de ácidos produciría un descenso de pH (hasta valores de aproximadamente 5,5) si no existiesen organismos capaces de asimilar estos ácidos.

Así, en un proceso equilibrado, las Archaea metanogénicas consumen los productos de la primera etapa a la misma velocidad que se generan, produciendo dióxido de carbono, metano, algo de nitrógeno, hidrógeno y otros gases en cantidades pequeñas según la naturaleza del residuo. Este acoplamiento induce un pH del medio que se sitúa en el entorno de 7,5-8,5 dependiendo del régimen de temperatura de operación. Sin embargo, esta descripción peca de excesivamente simple. Actualmente se acepta una descripción más detallada que considera hasta cuatro etapas sucesivas (Breure, 1986): hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano. El metabolismo consiste en la utilización por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es transformada químicamente a productos finales, en un proceso que es acompañado por la liberación de energía llamado “**Catabolismo**”. Otro proceso denominado “**Anabolismo ó Síntesis**” ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular (ver Figura 1).

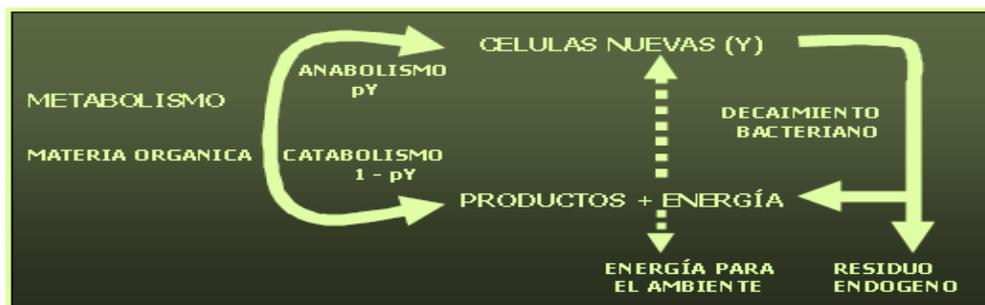


Figura 1. Representación Esquemática del Metabolismo Bacteriano (Van Haandel, 1994)

El anabolismo es un proceso que consume energía y solamente es viable si el catabolismo está ocurriendo para proporcionarle la energía necesaria para la síntesis celular. Por otro lado, el catabolismo solo es posible si existe la presencia de una población bacteriana viva.

El catabolismo se divide en dos procesos fundamentalmente diferentes: (1) Catabolismo Oxidativo y (2) Catabolismo Fermentativo. El catabolismo oxidativo es una reacción redox, donde la materia orgánica es el reductor que es oxidada por un oxidante. En la práctica ese oxidante puede ser el oxígeno, nitrato o sulfato. El catabolismo fermentativo se caracteriza por el hecho de no haber presencia de un oxidante: el proceso resulta en un reordenamiento de los electrones de la molécula fermentada de un modo tal que se forman como mínimo dos productos. Generalmente son necesarias varias fermentaciones secuenciales para que se formen productos estabilizados.

DIGESTIÓN ANAEROBIA

La **Digestión Anaerobia** es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO_2 , en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas (ver Figura 2).



Figura 2. Degradación Biológica de la Materia Orgánica

La digestión anaerobia es un proceso que se produce en ambientes naturales como los pantanos, en zonas anegadas para el cultivo de arroz, en los sedimentos de lagos y mares, en las zonas anóxicas del suelo, en fuentes de aguas termales sulfurosas y en el tracto digestivo de los rumiantes (Díaz-Báez, 2002).

Balance: En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO (demanda química de oxígeno), la cual mide básicamente la concentración de materia orgánica. La forma de apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio de aguas residuales, es comparando su balance de DQO con el del tratamiento aerobio (ver Figura 3 y 4).

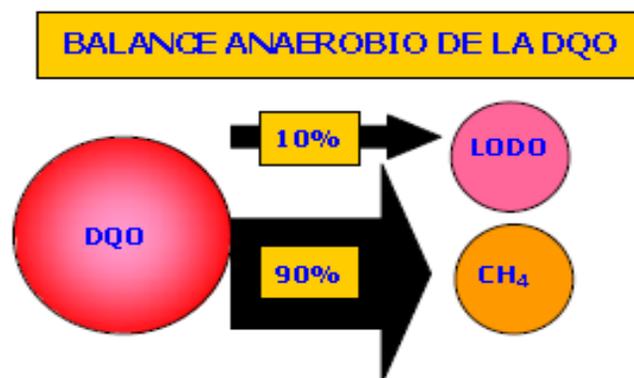


Figura 3. Balance Anaerobio de la Materia orgánica

Fuente R. Bello

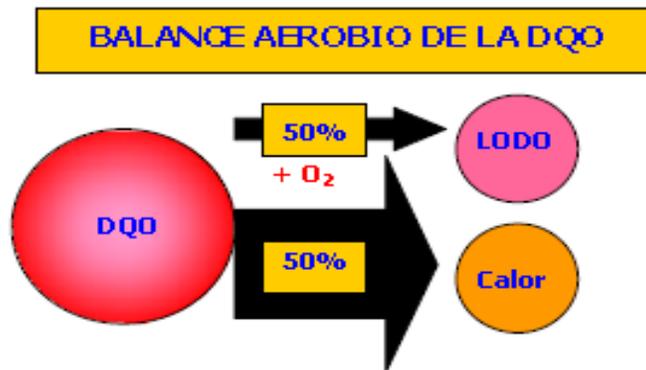


Figura 4. Balance Aerobio de la Materia orgánica
Fuente R. Bello

Tratamiento Anaerobio: La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

Tratamiento Aerobio: En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado.

DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA

La degradación anaerobia de la materia orgánica requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo. La digestión anaerobia de la materia orgánica involucra tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación:

1. Hidrólisis

Grupo I: bacterias hidrolíticas

2. Acidogénesis

Grupo I: bacterias fermentativas

3. Acetogénesis

Grupo II: bacterias acetogénicas

4. Metanogénesis

Grupo III: bacterias metanogénicas

El proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias del Grupo I. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular; posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así como compuestos reducidos como el etanol, además de H₂ y CO₂. Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del Grupo II, las cuales son conocidas como "bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno".

Finalmente las bacterias del Grupo III o metanogénicas convierten el acetato a metano y CO₂, o reducen el CO₂ a metano (ver Figura 5). Estas transformaciones involucran dos grupos metanogénicos que son los encargados de llevar a cabo las transformaciones mencionadas anteriormente: acetotróficas e hidrogenotróficas. En menor proporción, compuestos como el metanol, las metilaminas y el ácido fórmico pueden también ser usados como sustratos de el grupo metanogénico (Díaz-Báez, 2002).

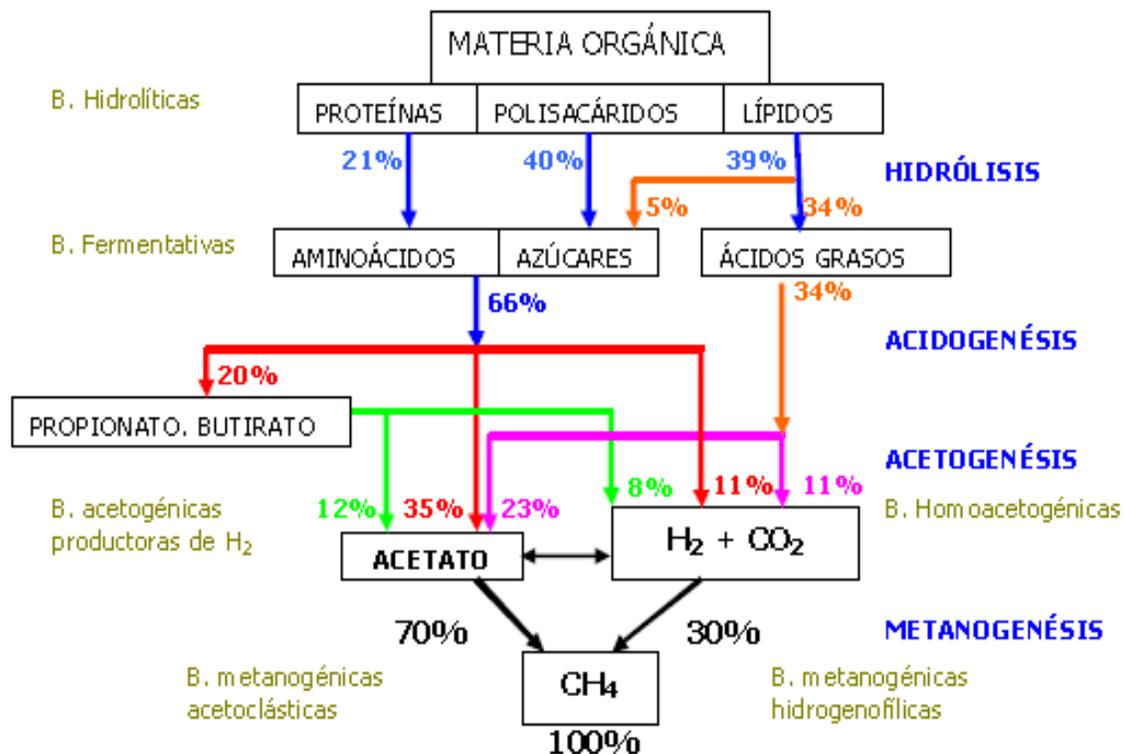


Figura 5. Etapas de la Digestión Anaerobia (Fuente: Madigan, 1997, van Haandel, 1994)

Deben ser tenidos en cuenta dos puntos importantes, con respecto a los diferentes procesos que ocurren durante la digestión anaerobia de la materia orgánica:

1. Según la Figura 5 se observa que solamente cerca del 30% de la materia orgánica afluente es convertida a metano por la vía hidrogenofílica, por lo tanto una condición necesaria para obtener una óptima remoción de la materia orgánica en un sistema anaerobio, es que la metanogénesis acetoclástica se desarrolle eficientemente.

2. La fermentación ácida tiende a bajar el pH, debido a la producción de ácidos grasos volátiles (AGVs) y otros productos intermediarios, mientras que la metanogénesis solo se desarrolla cuando el pH está cercano al neutro. Por lo tanto, si por alguna razón la tasa de remoción de AGVs a través de la metanogénesis no acompaña a la tasa de producción de AGVs, puede surgir una situación de inestabilidad: baja significativamente el pH del sistema, causando la inhibición de las bacterias metanogénicas. Esta "Acidificación" del sistema es una de las principales causas de falla operacional en los reactores anaerobios. Lo anterior puede ser evitado cuando se garantiza un equilibrio entre la fermentación ácida y la fermentación metanogénica, a través de mantener una alta capacidad metanogénica y una buena capacidad buffer en el sistema (van Haandel, 1994)

En la Tabla 1, se consignan las principales reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en el proceso de la digestión anaerobia.

Tabla 1. Reacciones Bioquímicas en la Digestión Anaerobia de la Materia Orgánica

TIPO DE REACCIÓN	ECUACIÓN
Fermentación de glucosa a Acetato	$\text{Glucosa} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$
Fermentación de glucosa a Butirato	$\text{Glucosa} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Fermentación del butirato a acetato e H₂	$\text{Butirato} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$
Fermentación del propionato a acetato	$\text{Propionato} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$
Acetogénesis a partir de H₂ y CO₂	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
Metanogénesis a partir del CO₂ e H₂	$\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
Metanogénesis a partir del Acetato	$\text{Acetato} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$

Fuente: Zinder, 1984

MICROBIOLOGÍA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Grupo I: Bacterias Hidrolíticas – Fermentativas

Las bacterias que llevan a cabo las reacciones de hidrólisis y acidogénesis son anaerobias facultativas y los géneros más frecuentes que participan son los miembros de la familia Enterobacteriaceae, además los géneros Bacillus, Peptostreptococcus, Propionibacterium, Bacteroides, Micrococcus y Clostridium. Las bacterias con actividad proteolítica son en su mayoría especies de los géneros Clostridium, Peptococcus, Bifidobacterium y Staphylococcus. Bacterias como Anaerovibrio lipolytica con actividad lipolítica han sido aisladas del rumen; igualmente la Butyrovibrio fibrisolvans hidroliza fosfolípidos cuando crece con azúcares fermentables como fuente de carbono.

Grupo II: Bacterias Acetogénicas

Para que tenga lugar una eficiente metanogénesis, los productos de fermentación como el propionato y el butirato deben ser oxidados a acetato, CO₂ y H₂, esta oxidación es llevada a cabo por un grupo denominado “organismos acetógenos productores obligados de hidrógeno (OHPA)”, mediante un proceso conocido como Acetogénesis.

Aunque la mayoría de este tipo de reacciones consume energía, en ambientes anaerobios donde la energía disponible es baja, el acoplamiento de la actividad de las bacterias OHPA con las bacterias consumidoras de H₂ (metanógenos hidrogenofílicos) permite un balance energético favorable. Este último grupo, consume el hidrogeno generado por las OHPA manteniendo una presión parcial de H₂ a un nivel adecuado para que termodinámicamente pueda darse la conversión de los AGV a acetato e hidrógeno. Esta asociación se conoce como “relación sintrófica” o “transferencia interespecífica de hidrógeno”. Solamente un limitado número de especies del grupo OHPA han sido aisladas; probablemente existan más, pero aún no son conocidas. Dentro de las especies aisladas se pueden mencionar:

- *Syntrophomonas sapovorans*
- *Syntrophobacter wolinii*
- *Syntromonas wolfei*
- *Syntrophospora bryantii*
- *Syntrophus buswellii*

Dentro del grupo de acetógenos existe un grupo de bacterias conocidas como “bacterias homoacetogénicas” las cuales son anaerobias obligadas y utilizan el CO₂, como aceptor final de electrones, produciendo acetato como producto único de la fermentación anaerobia. Aunque este grupo no es un grupo taxonómico definido, en el se incluyen una variedad de bacterias Gram (+) y Gram (-) formadoras de esporas como: *Clostridium aceticum*, *Clostridium formicoaceticum* y *Acetobacterium woodii* (Díaz-Báez, 2002).

Grupo III: Bacterias Metanogénicas

Las bacterias metanogénicas pertenecen al grupo actualmente conocido como Archaea, cuyos miembros presentan características diferentes a las encontradas en Bacteria. Estas características están relacionadas fundamentalmente con la composición química de algunas estructuras celulares. Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas y producen

metano como principal producto del metabolismo energético. A pesar de los requerimientos estrictos de anaerobiosis obligada y el metabolismo especializado de este grupo, estas bacterias se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza. La actividad metanogénica es mucho mayor en ecosistemas de aguas dulces y terrestres, la menor actividad detectada en océanos, se debe a la alta concentración de sulfatos, condición que favorece la sulfato reducción en sedimentos marinos (Zinder 1998).

Con base en el tipo de sustrato utilizado, las bacterias metanogénicas se subdividen en tres grupos:

Grupo 1: utiliza como fuente de energía H_2 formato y ciertos alcoholes, el CO_2 es el aceptor final de electrones el cual es reducido a metano.

Grupo 2: utiliza una amplia variedad de compuestos que tienen el grupo metilo. Algunas de las moléculas son oxidadas a CO_2 , el cual actúa con aceptor final de electrones y se reduce directamente a metano.

Grupo 3: aunque la mayor parte del metano que se genera en la naturaleza proviene del rompimiento del acetato, la habilidad de catabolizar este sustrato esta limitada a los géneros: Methanosarcina y Methanosaeta (Methanotrix). Es frecuente encontrar en reactores anaerobios, una competencia por el acetato entre estos dos géneros, sin embargo, las bajas concentraciones de acetato que usualmente predominan al interior de los reactores favorece el crecimiento de las Methanosaeta (Díaz-Báez, 2002).

SULFATO REDUCCIÓN

La sulfato reducción es el proceso durante el cual el sulfato se reduce a sulfuro de hidrógeno, mediante la participación de las bacterias sulfato reductoras (BSR) (ver Figura 6).

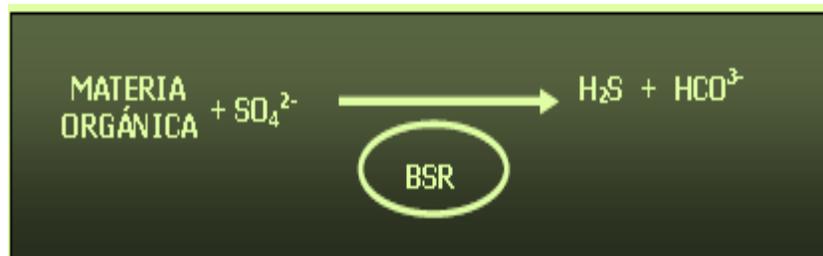


Figura 6. Reducción Biológica del Sulfato

Durante la degradación anaerobia de la materia orgánica, puede ocurrir que las BSR utilicen el sulfato como aceptor de electrones, aunque pueden utilizar también compuestos como el tiosulfato, el tetrationato y el azufre elemental. Los donadores de electrones más utilizados por las BSR son H_2 , lactato, piruvato entre otros.

Las BSR son anaerobios estrictos, ampliamente distribuidas en ambientes acuáticos y terrestres, cumplen un importante papel en las etapas finales de la degradación de la materia orgánica, especialmente en la remoción de los sulfatos presentes en el afluente. Pueden crecer en presencia o ausencia de sulfatos, utilizando vías metabólicas diferentes; una fermentativa y la otra oxidativa (ver Figura 7)

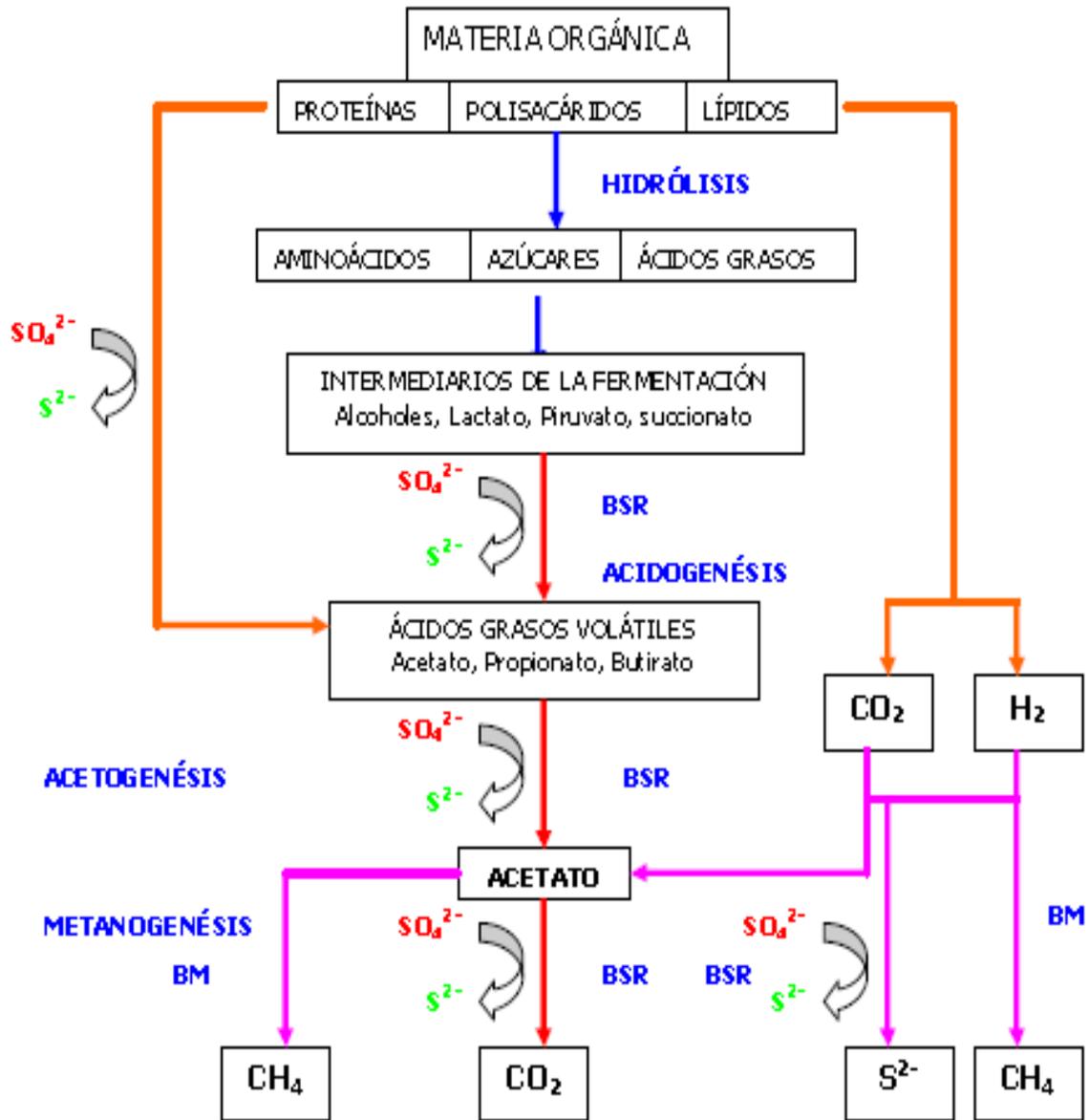


Figura 7. Sulfato Reducción en la Degradación de la Materia Orgánica (Gibson, 1990)

En presencia de sulfatos las BSR compiten con las bacterias metanogénicas (BM) por sustratos comunes como: formato e hidrógeno, con las bacterias acetogénicas (BA) por componentes como propionato y butirato. Esto no significa que la metanogénesis y la sulfato reducción sean excluyentes, pues pueden ocurrir simultáneamente cuando el metano se genera a partir del metanol y/o aminas metiladas, sustratos por los cuales las BSR tienen poca afinidad. Los reactores anaerobios operan a valores umbrales para el consumo de hidrógeno por la población metanogénica. Sin embargo, el valor umbral de las BSR es más bajo, por lo que en presencia de sulfato, el hidrógeno es consumido principalmente por las BSR. Esta población tiene ventajas cinéticas frente a las BM que favorecen su proliferación al interior de los reactores. En reactores anaerobios con alta concentración de sulfato, las BRS también compiten con las BA por sustratos como propionato y butirato, por lo que la relación sintrófica entre las BM y BA para la oxidación de estos compuestos es superada por las BSR.

En ausencia de sulfato, las BSR pueden constituir el 15% del total de la biomasa presente en el reactor anaerobio. Bajo estas condiciones fermentan sustratos como: piruvato, lactato, etanol, fructuosa, propanol y acetato entre otros, y crecen como organismos acetogénicos (Díaz-Báez, 2002). En general, durante la degradación anaerobia de la materia orgánica, la sulfato reducción puede interferir con la metanogénesis, generando problemas como (Elferink, 1994):

1. competencia entre las BSR y las BM, por sustratos comunes y la consecuente disminución en la producción de metano.
2. inhibición de varios grupos bacterianos por la presencia de H_2S .
3. toxicidad generada por el H_2S , malos olores y corrosión.

A pesar de los problemas que ocasiona el sulfato reducción al interior de los reactores anaerobios, este proceso puede presentar algunas ventajas (Elferink, 1994):

1. contribuye a mantener un bajo potencial de óxido-reducción en el sistema;
2. constituye un método biotecnológico para la remoción de sulfato;
3. los complejos Metal- S_2^- tienen baja solubilidad, propiedad que puede ser utilizada para la precipitación de metales pesados como Co, Ni, Pb, y Zn.

APLICACIÓN DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia ha sido utilizada ampliamente para **estabilizar lodos** provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, y en una menor proporción, pero con una tendencia de aumento significativo, es utilizada para el **tratamiento de aguas residuales diluidas** como es el caso de las aguas residuales domésticas, con bastante éxito en zonas de clima tropical, y aguas residuales concentradas como las industriales (destilerías, cervecerías, malherías, papeleras, alimentos, etc.). La digestión anaerobia no se limita solamente a remover la materia orgánica del agua residual, existen otras aplicaciones tales como:

- **Sulfato reducción:** aplicado para la remoción y recuperación de sulfuros y metales pesados ver Figura 8:



Figura 8. Reacción de reducción biológica de sulfato y reacción de sulfatos con metales.

Los sulfuros formados biológicamente forman precipitados altamente insolubles con metales pesados tales como cobre o zinc. Si los iones metálicos de estos precipitados están presentes en una alta concentración, ellos pueden ser recuperados para su reutilización en la industria.

Los sulfuros formados biológicamente pueden ser parcialmente reoxidados bajo condiciones microaerófilas por bacterias quimiotróficas (sulfoxidación), a la forma insoluble de azufre elemental. El azufre elemental sedimentado puede ser recolectado para su reutilización industrial. La sulfoxidación puede ser utilizada en postratamientos de aguas residuales y para limpiar gases.

- **Desnitrificación:** es un proceso anóxico en el cual los nitratos son reducidos a nitrógeno gaseoso (ver Figura 9). Las desnitrificación es utilizada en postratamientos de aguas residuales para remover nutrientes.



Figura 9. Reacción de reducción de nitratos.

- **Bioremediación:** la digestión anaerobia puede ser utilizada para la biodegradación o biotransformación de contaminantes tóxicos (ver figura 10). Comunidades de microorganismos en ambientes anaerobios, puede causar la oxidación de contaminantes a productos estables (CO₂) o pueden causar la biotransformación de contaminantes a sustancias menos tóxicas. La bioremediación anaerobia puede ser utilizada en el tratamiento de efluentes industriales que contienen sustancias tóxicas, como es el caso de la industria del plástico, cuyas aguas residuales contienen altas concentraciones de tereftalato:

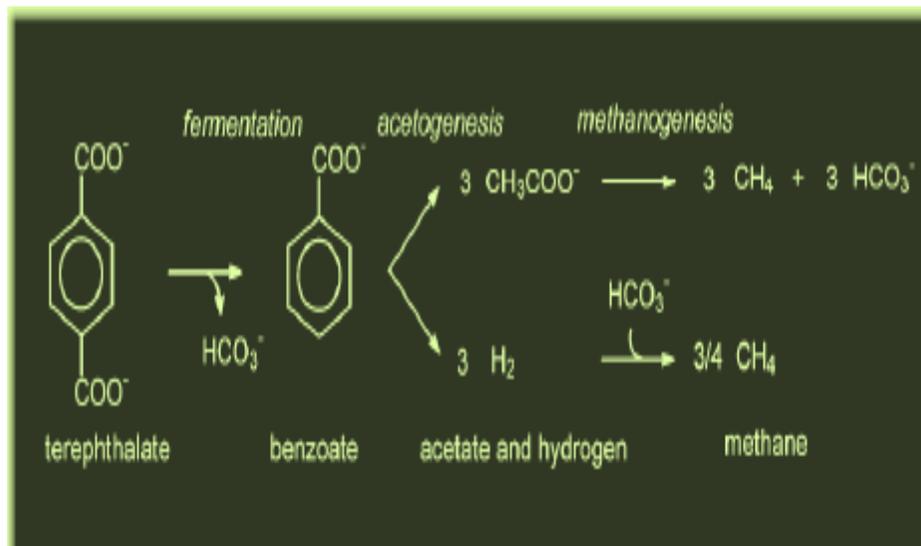


Figura 10. Reacción de Oxidación de contaminantes a productos estables (CO₂)

REACTORES UASB

Los reactores UASB (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket) son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior (Ver Figura 11). Reactor UASB Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos.

En los sistemas anaerobios de flujo ascendente, y bajo ciertas condiciones, se puede llegar a observar que las bacterias pueden llegar a agregarse de forma natural formando flóculos y gránulos. Estos densos agregados poseen unas buenas cualidades de sedimentación y no son susceptibles al lavado del sistema bajo condiciones prácticas del reactor. La retención de fango activo, ya sea en forma granular o floculenta, hace posible la realización de un buen tratamiento incluso a altas tasas de cargas orgánicas. La turbulencia natural causada por el propio caudal del influente y de la producción de biogás provoca el buen contacto entre agua residual y fango biológico en el sistema UASB. En los sistemas UASB pueden aplicarse mayores cargas orgánicas que en los procesos aerobios. Además, se requiere un menor volumen de reacción y de espacio, y al mismo tiempo, se produce una gran cantidad de biogás, y por tanto de energía. Reactor de lecho de lodos anaerobios de flujo ascendente (UASB).

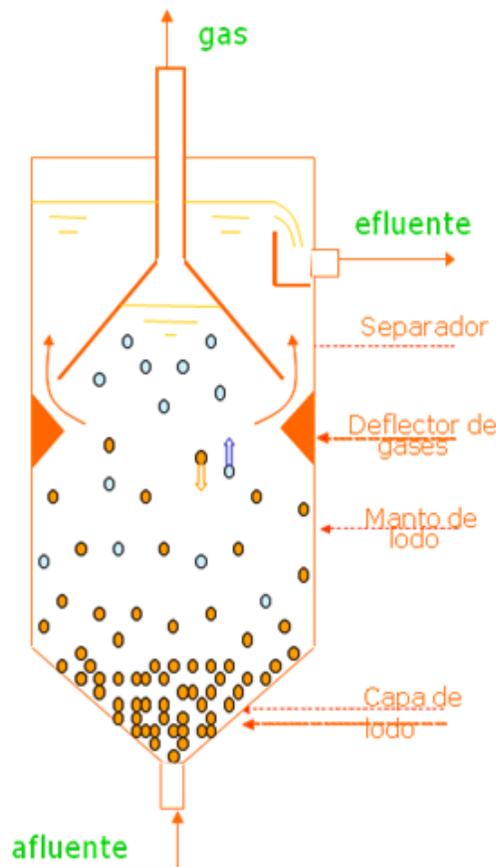


Figura 11. Reactor UASB

Fuente: Ricardo Bello

La eficiencia de la remoción de la materia orgánica a través de las plantas de digestión anaeróbica diseñadas para tratamiento de aguas residuales varía entre 70 hasta 98% en los reactores mejor diseñados.

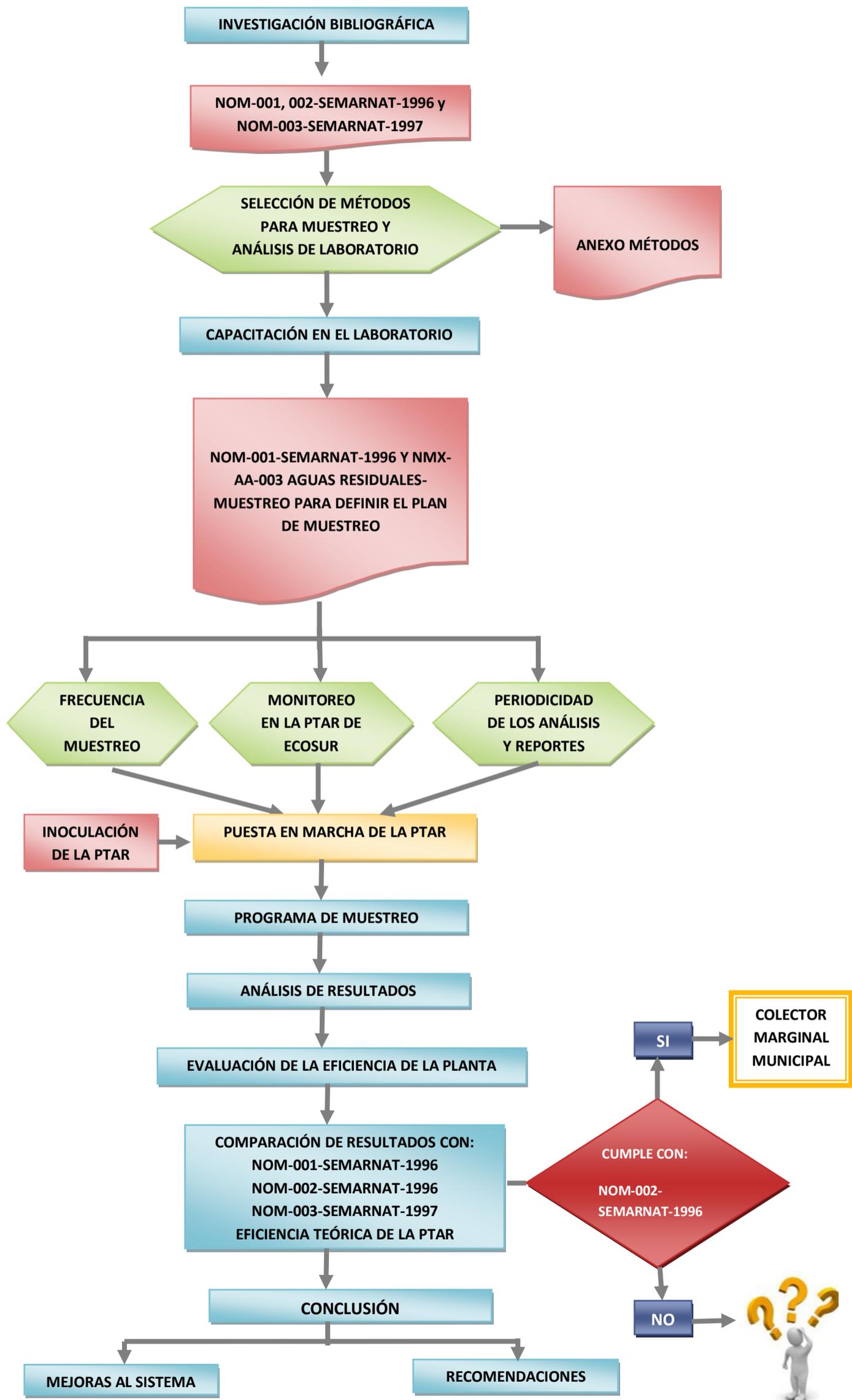
La tecnología para el tratamiento anaerobio a cargas altas constituye una tecnología madura. Al menos 1.200 plantas a escala industrial se han registrado en el mundo para el tratamiento de efluentes industriales (en la actualidad se estima que hay unas 2.500). El abanico de usos de esta tecnología es muy amplio, ya que el tratamiento anaerobio de aguas residuales no se limita únicamente a la degradación en aguas residuales de contaminación orgánica.

VENTAJAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de efluentes con cargas orgánicas usando digestión anaeróbica ofrece las siguientes ventajas, en comparación con procesos de digestión aeróbica:

- Baja producción de lodo orgánico: 5 a 10 veces menos en contenido de material seca.
- Menos consumo energético (usualmente electricidad): 5 a 10 veces menos energía requerida por el sistema de tratamiento.
- Reducción de agentes patógenos.
- Eliminación de olores: una eliminación de olores casi completa.
- Ganancias o/y ahorro de dinero en relación a la producción de energía renovable, en forma de biogás.
- Reducción de gases de Calentamiento Global, ligado al uso de biogás: "ciclo corto" CO₂ es emitido por la combustión de biogás (quiere decir que el CO₂ liberado fue captado por los ciclos biológicos unos meses antes, y así no incrementa las cantidades de CO₂ en la atmósfera), en lugar del "ciclo largo de CO₂" emitido por la combustión de carburantes fósiles.
- Excelente flexibilidad en los cambios estacionales en la producción de los efluentes (ejemplo: la industria de los vinos, donde la digestión anaeróbica solo esta activa durante las épocas de cosecha de la uva).

8. Metodología



Descripción detallada de la metodología

1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La investigación bibliográfica es aquella etapa de la investigación científica donde se explora qué se ha escrito en la comunidad científica sobre el tema de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), eficiencia, sobre como evalúan la eficiencia de PTAR otros autores, biodigestores, etc.

La investigación científica empírica tiene básicamente cinco etapas.

- I. Se definen algunas cuestiones generales como el tema, el problema, el marco teórico a utilizar, etc.
- II. Se procede a hacer una investigación bibliográfica, básicamente para ver qué se ha escrito sobre la cuestión.
- III. Se traza un proyecto.
- IV. Se ejecuta lo proyectado.
- V. Se ponen los resultados, usualmente por escrito.

2. EFICIENCIA

En este proyecto se evaluara la eficiencia de la planta de tratamientos de aguas de ECOSUR unidad San Cristóbal. Pero...

¿Qué es eficiencia?

Con la investigación científica realizada se define que es eficiencia, para así entender y analizar que es lo que se pretende lograr en el proyecto de investigación.

3. ELECCIÓN DE PARÁMETROS QUE DEFINIRÁN LA EFICIENCIA DE LA PTAR

En la necesidad de resolver que parámetros me definirán la eficiencia de la PTAR a través del biodigestor anaerobio, surgen las siguientes dudas:

¿Cómo funciona una PTAR?

¿Cuál es el fundamento Químico, Físico y Biológico de los Biodigestores anaerobios?

¿Qué NOM 'S se aplican en las PTAR?

Para la elección de los parámetros que nos ayudaran a determinar la eficiencia primero se tiene que resolver estas incógnitas y se debe tener conocimiento de cómo funcionan las plantas de tratamiento de aguas residuales, los biodigestores y el fundamento Químico, Físico y Biológico es estos reactores. Teniendo estos conceptos bien definidos como Ingeniero Bioquímico se toman criterios, se eligen y se justifican las elecciones de estos parámetros que nos servirán para evaluar la eficiencia de la PTAR de ECOSUR.

Con la investigación bibliográfica defino que NOM'S y NMX son aplicables para tratamiento de aguas residuales.

¿Cómo selecciono los parámetros?

Aplicando la investigación bibliográfica conociendo todo lo anterior planteo lo que se pretende hacer con el agua tratada a través del biodigestor anaerobio:

- Enviarla al dren municipal
- Enviarla al humedal
- Reutilizarla

Conociendo estas alternativas aplico las NOM'S para cada caso y se hace un análisis de los parámetros que exigen cada norma, para que en la etapa final del tratamiento de aguas residuales poder decidir que destino tomar el agua tratada. Para poder continuar en la elección de parámetros resuelvo las otras incógnitas.

¿Existen recursos Económicos para realizar las determinaciones que exige la NOM?

¿El laboratorio cuenta con los equipos necesarios que establece la NOM?

Otro aspecto importante y limitante para la elección de parámetros son los recursos económicos con los que cuenta la institución para la elaboración de dicho proyecto, así como los materiales, reactivos y equipos que requieren las NOM's y NMX para las determinaciones que se realizan en el laboratorio y en el campo de ECOSUR. Se elabora una lista de todas las determinaciones que aplican para la NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1996, en la cual se enlistan los materiales y equipos y se verifica con el jefe de laboratorios IBI. Jesús Carmona de la Torre los materiales, reactivos y equipos que hay en existencia.

Al resolver todas las incógnitas planteadas al inicio del proyecto, con el apoyo de la investigación científica bibliográfica y teniendo estos conceptos bien definidos como Ingeniero Bioquímico se toman criterios, se eligen y se justifican las elecciones de estos parámetros que nos servirán para evaluar la eficiencia de la PTAR de ECOSUR.

Para conocer la eficiencia de la PTAR se evalúan las siguientes parámetros: DBO₅, DQO, Sólidos sedimentables (SS), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos disueltos (SD), Sólidos suspendidos volátiles (SSV), Grasas y Aceites, materia flotante, temperatura, pH, oxígeno

disuelto, nitrógeno total, cianuros total, fósforo total, sólidos en agua, el número más probable de coliformes totales y fecales, determinación de metales (Cobre, Níquel Total, Zinc Total y Plomo Total), flujos y tiempo de residencia, olor, color, lodos activados, presión, demostración de gas metano.

Para verificar si existe algún incremento en la eficiencia una vez que se ponga en marcha la PTAR se pretende monitorear constantemente SS, SST, SD, pH, Lodos activados y Temperatura.

Es importante mencionar en este caso en particular, no todos los parámetros de la NOM se pueden realizar por diversas razones que al final tienen que ser justificadas, y en algunas determinaciones se aplica los conocimientos de ingeniería para realizar algunos parámetros con materiales, reactivos y equipo que hay en laboratorio de ECOSUR, logrando así adaptar métodos con el fin de obtener resultados de algunos parámetros.

4. SELECCIÓN DE MÉTODOS

Para seleccionar los métodos que vamos a utilizar, se deben conocer los diferentes métodos que establecen las normas y es muy importante ver en que unidades se deben reportar los resultados al final de los análisis de laboratorio según las normas consultadas.

Haciendo un análisis de esto se consulta con los Laboratorios Institucionales de Ecosur San Cristóbal si implementan kits para las determinaciones mencionadas. Se elabora una lista para verificar que métodos se pueden realizar mediante aplicación de kits (Tabla 2).

Teniendo la lista de las determinaciones que si se pueden realizar con la aplicación de kits, se leen los manuales de estos kits. En algunas ocasiones los kits presentan mas de dos métodos para realizar una determinación, es por eso que se sugiere que se analicen los métodos a utilizar en cada determinación y se toman criterios para la selección de métodos como:

- El que presente menor interferencia en los resultados
- El rango de concentraciones de cada método
- El tipo de agua
- Se busca el método que presente menor sensibilidad
- Costos

Estos podrían ser algunos de los criterios para seleccionar los métodos que se implementan en los kits. Se hace un análisis y dependiendo del tipo de agua, las interferencias del método y costos es el método a elegir.

En el caso que no se usen kits en algunos parámetros, se hace el mismo procedimiento en caso de tener mas de dos método en las Normas, tomando en cuenta los materiales, equipos y reactivos existentes en los Laboratorios Institucionales de ECOSUR

Tabla 2. LISTA DE LAS DETERMINACIONES A REALIZAR DURANTE EL MONITOREO PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE LA PTAR

REFERENCIA	DETERMINACIÓN	KITS	MÉTODO
Norma Mexicana NMX-028-Aguas Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	Si	Se usa un equipo de la compañía HACH (Faltan detalles por anexar)
Norma Mexicana NMX-AA-030 Agua-Determinación de la demanda química de oxígeno	DQ0	Si	Método de digestión del reactor
Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas- Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales y	Sólidos sedimentables	No	Debe hacerse con el Método de cono Imhoff. Se adapta el método usando probetas
Norma Mexicana NMX-AA-034- Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos totales	Si	Manual hach
Norma Mexicana NMX-AA-034- Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos volátiles	Si	Manual hach
Norma Mexicana NMX-AA-034- Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos Disueltos	Si	Para esta determinación se hace uso de un equipo marca Hanna Instruments Dist Wp 2 Rango 0.01-10.00 g/L
Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas- Determinación de grasas y aceites	Grasas y aceites	No	Método de extracción Soxhlet
Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas Determinación de materia flotante	Materia flotante	No	Método visual con malla específica
Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas-Determinación de la temperatura	Temperatura	No	Método visual con termómetro

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas-Determinación de pH	pH	No	Método potenciométrico
Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas- Determinación de Nitrógeno Total	Nitrógeno total	Si	Método de digestión de persulfato
Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas-Determinación de Cianuros-Método colorimétrico y titulométrico	Cianuros total	No	Método colorimétrico y titulométrico
Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas-Determinación de fosforo total	Fosforo total	Si	Método de molibdovanadato con digestión de ácido persulfato
Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas- Determinación del numero mas probable de coliformes totales y fecales	NMP de coliformes fecales totales	Si	Método de prueba de coliformes Enzima-substrato y NMP
Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas- Determinación de Metales	Determinación de metales	Si	Método espectrofotométrico de absorción atómica
Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas- Determinación de Cobre- Determinación de cobre	Cobre	Si	Método espectrofotométrico de absorción atómica
Norma Mexicana NMX-076 Aguas- Determinación de Níquel	Níquel total	Si	Método espectrofotométrico de absorción atómica
Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas- Determinación de Zinc	Zinc total	Si	Método espectrofotométrico de absorción atómica
Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas- Determinación de Plomo	Plomo total	Si	Método espectrofotométrico de absorción atómica
Investigación bibliográfica	Flujos	No	Método haciendo uso de un equipo medidor de flujos
Investigación bibliográfica	Tiempo de residencia	No	Método usando un modelo matemático

Investigación bibliográfica	Olor	No	Método olfativo
Investigación bibliográfica	Color	No	Método visual
Investigación bibliográfica	Lodos activados	No	Método visual
Investigación bibliográfica	Presión	No	Método visual con manómetro
Investigación bibliográfica	Demostración de gas metano	No	Método visual y olfativo
Investigación bibliográfica	Oxígeno disuelto	No	Método visual con electrodos usando un equipo marca HACH

MUESTREO DURANTE EL MONITOREO

Acción de obtener volúmenes, proporciones, cantidades, biomasa representativa de un sitio determinado para evaluar las características físicas y biológicas. En la Tabla 3. Se presenta la frecuencia de muestreo y el número de muestras a realizar en la PTAR.

Tabla 3.
MONITOREO EN LA PTAR DE ECOSUR

NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	FRECUENCIA DEL MUESTREO HORA
1	7 am
2	11 am
3	3 pm
4	7 pm

El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 4.

**Tabla 4.
PERIODICIDAD DEL ANÁLISIS Y REPORTE**

DESCARGAS NO MUNICIPALES			
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO_s	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
t/d (toneladas/día)	t/d (toneladas/día)		
Mayor de 3.0	Mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
Menor de 1.2	Menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

LOCALIZACIÓN DE LAS TOMAS DE MUESTRAS

En la Imagen 1 y Figura 12 Se muestran los puntos de muestras en la PTAR.

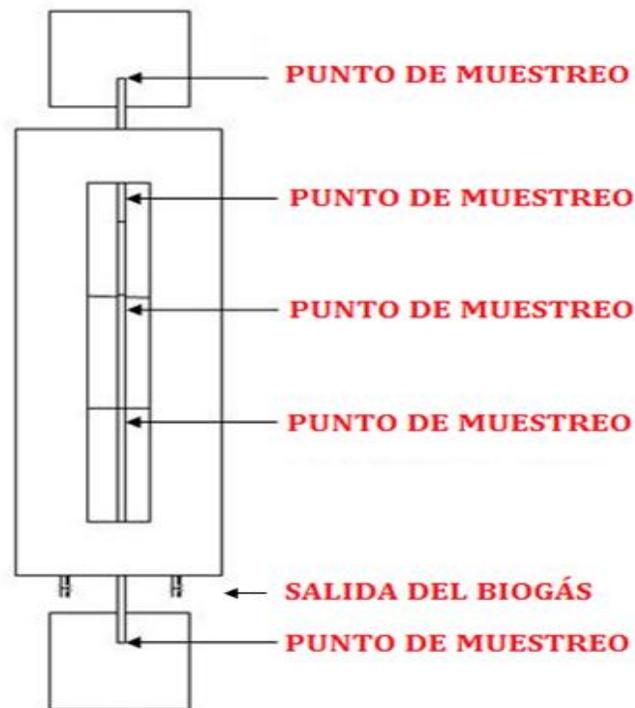


Figura 12. Puntos de muestreo en la PTAR



Imagen 1. Puntos de muestreo en la PTAR

SALIDA DE LA PTAR

En la Imagen 2. Se muestran los puntos de muestras a la salida de la PTAR.



Imagen 2. Puntos de muestras a la salida de la PTAR.

IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información (Tabla 5.).

**TABLA 5.
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	
	 <p><i>Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la unidad San Cristóbal de ECOSUR</i></p>
Identificación de la descarga:	
Número de muestra:	
Fecha y hora de muestreo:	
Punto de muestreo:	
Temperatura de la muestra:	
Profundidad de muestreo:	
Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo:	

HOJA DE REGISTRO

Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo. En la Tabla 6. Se presenta el diseño de la hoja de registro que se empleara en el muestreo.

**Tabla 6.
HOJA DE REGISTRO**

HOJA DE REGISTRO	
 ECOSUR	<i>Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la unidad San Cristóbal de ECOSUR</i>
Identificación de la descarga:	
Número de muestra:	
Fecha y hora de muestreo:	
Punto de muestreo:	
Temperatura de la muestra:	
Profundidad de muestreo:	
Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo:	
Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada.	pH
	Temperatura del ambiente
	Oxígeno disuelto
	Otro: _____
Cuando proceda, el gasto o flujo de la descarga de aguas residuales que se muestreó:	

Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.

Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.

Olor:

Color:

PROCEDIMIENTO

- Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos.
- Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.
- Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.
- Al efectuarse el muestreo, deben anotarse los datos según lo indique la etiquetas y hojas e registro.

MUESTREO EN CANALES Y COLECTORES

- Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.
- Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.
- El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.
- El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra.
- Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa.

PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

- Solo se permite agregar a las muestras los preservativos indicados en las Normas de Métodos de Prueba.
- Preservar la muestra durante el transporte por medio de un baño de hielo y conservar las muestras en refrigeración a una temperatura de 277K (4°C).
- Se recomienda que el intervalo de tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis sea el menor posible y que no exceda de tres días

9. Resultados y Discusiones

A continuación se presentan los resultados de las muestras analizadas del afluente de la primera, segunda y tercera sección del reactor, se indica la referencia bibliográfica, el parámetro evaluado, así como también las unidades en las cuales se reporta según lo que establece la Norma consultada (Ver tabla 7,8 y 9).

Tabla 7. Resultados obtenidos en las muestras analizadas en el afluente de la primera sección del biodigestor anaerobio.

REFERENCIA	DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Norma Mexicana NMX-028-Aguas Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	
Norma Mexicana NMX-AA-030 Agua- Determinación de la demanda química de oxígeno	DQO	
Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas- Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales y	Sólidos sedimentables	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos totales	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos volátiles	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos Disueltos	
Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas- Determinación de grasas y aceites	Grasas y aceites	
Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas Determinación de materia flotante	Materia flotante	
Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura	Temperatura	
Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas- Determinación de pH	pH	

Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas-Determinación de Nitrógeno Total	Nitrógeno total
Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas-Determinación de Cianuros-Método colorimétrico y titulométrico	Cianuros total
Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas-Determinación de fosforo total	Fosforo total
Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas-Determinación del numero mas probable de coliformes totales y fecales	El Numero mas probable de coliformes fecales totales
Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas-Determinación de Metales	Determinación de metales
Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas-Determinación de Cobre-Determinación de cobre	Cobre
Norma Mexicana NMX-076 Aguas-Determinación de Níquel	Níquel total
Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas-Determinación de Zinc	Zinc total
Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas-Determinación de Plomo	Plomo total
Investigación bibliográfica	Flujos
Investigación bibliográfica	Tiempo de residencia
Investigación bibliográfica	Olor
Investigación bibliográfica	Color
Investigación bibliográfica	Lodos activados
Investigación bibliográfica	Presión
Investigación bibliográfica	Demostración de gas metano
Investigación bibliográfica	Oxigeno disuelto

Tabla 8. Resultados obtenidos en las muestras analizadas en el afluente de la segunda sección del biodigestor anaerobio.

REFERENCIA	DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Norma Mexicana NMX-028-Aguas Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	
Norma Mexicana NMX-AA-030 Agua- Determinación de la demanda química de oxígeno	DQO	
Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas- Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales y	Sólidos sedimentables	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos totales	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos volátiles	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos Disueltos	
Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas- Determinación de grasas y aceites	Grasas y aceites	
Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas Determinación de materia flotante	Materia flotante	
Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura	Temperatura	
Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas- Determinación de pH	pH	
Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas- Determinación de Nitrógeno Total	Nitrógeno total	

Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas- Determinación de Cianuros-Método colorimétrico y titulométrico	Cianuros total
Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas- Determinación de fosforo total	Fosforo total
Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas- Determinación del numero mas probable de coliformes totales y fecales	El Numero mas probable de coliformes fecales totales
Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas- Determinación de Metales	Determinación de metales
Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas- Determinación de Cobre- Determinación de cobre	Cobre
Norma Mexicana NMX-076 Aguas- Determinación de Níquel	Níquel total
Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas- Determinación de Zinc	Zinc total
Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas- Determinación de Plomo	Plomo total
Investigación bibliográfica	Flujos
Investigación bibliográfica	Tiempo de residencia
Investigación bibliográfica	Olor
Investigación bibliográfica	Color
Investigación bibliográfica	Lodos activados
Investigación bibliográfica	Presión
Investigación bibliográfica	Demostración de gas metano
Investigación bibliográfica	Oxigeno disuelto

Tabla 9. Resultados obtenidos en las muestras analizadas en el afluente de la tercera sección del biodigestor anaerobio.

REFERENCIA	DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Norma Mexicana NMX-028-Aguas Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	
Norma Mexicana NMX-AA-030 Agua- Determinación de la demanda química de oxígeno	DQO	
Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas- Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales y	Sólidos sedimentables	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos totales	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos volátiles	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos Disueltos	
Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas- Determinación de grasas y aceites	Grasas y aceites	
Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas Determinación de materia flotante	Materia flotante	
Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura	Temperatura	
Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas- Determinación de pH	pH	
Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas- Determinación de Nitrógeno Total	Nitrógeno total	
Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas- Determinación de Cianuros-Método colorimétrico y titulométrico	Cianuros total	

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas- Determinación de fosforo total	Fosforo total
Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas- Determinación del numero mas probable de coliformes totales y fecales	El Numero mas probable de coliformes fecales totales
Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas- Determinación de Metales	Determinación de metales
Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas- Determinación de Cobre	Cobre
Norma Mexicana NMX-076 Aguas- Determinación de Níquel	Níquel total
Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas- Determinación de Zinc	Zinc total
Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas- Determinación de Plomo	Plomo total
Investigación bibliográfica	Flujos
Investigación bibliográfica	Tiempo de residencia
Investigación bibliográfica	Olor
Investigación bibliográfica	Color
Investigación bibliográfica	Lodos activados
Investigación bibliográfica	Presión
Investigación bibliográfica	Demostración de gas metano
Investigación bibliográfica	Oxigeno disuelto

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las muestras analizadas del efluente del reactor, se indica la referencia bibliográfica, el parámetro evaluado, así como también las unidades en las cuales se reporta según lo que establece la Norma consultada.

Tabla 10. Resultados obtenidos en las muestras analizadas en el efluente del biodigestor anaerobio.

REFERENCIA	DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Norma Mexicana NMX-028-Aguas Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	
Norma Mexicana NMX-AA-030 Agua- Determinación de la demanda química de oxígeno	DQO	
Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas- Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales y	Sólidos sedimentables	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos totales	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos suspendidos volátiles	
Norma Mexicana NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua	Sólidos Disueltos	
Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas- Determinación de grasas y aceites	Grasas y aceites	
Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas Determinación de materia flotante	Materia flotante	
Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura	Temperatura	
Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas- Determinación de pH	pH	
Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas- Determinación de Nitrógeno Total	Nitrógeno total	
Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas- Determinación de Cianuros-Método colorimétrico y titulométrico	Cianuros total	

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas- Determinación de fosforo total	Fosforo total
Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas- Determinación del numero mas probable de coliformes totales y fecales	El Numero mas probable de coliformes fecales totales
Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas- Determinación de Metales	Determinación de metales
Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas- Determinación de Cobre- Determinación de cobre	Cobre
Norma Mexicana NMX-076 Aguas- Determinación de Níquel	Níquel total
Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas- Determinación de Zinc	Zinc total
Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas- Determinación de Plomo	Plomo total
Investigación bibliográfica	Flujos
Investigación bibliográfica	Tiempo de residencia
Investigación bibliográfica	Olor
Investigación bibliográfica	Color
Investigación bibliográfica	Lodos activados
Investigación bibliográfica	Presión
Investigación bibliográfica	Demostración de gas metano
Investigación bibliográfica	Oxigeno disuelto

Al término de los análisis de laboratorios se tienen que interpretar los resultados de cada sección de donde fue tomada la muestra y para conocer la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales se propone realizar balances de materia en la primera, segunda y tercera sección del biodigestor para conocer la eficiencia de cada sección (Ver Figura 12, 13 y 14) y finalmente se hace un balance de materia en todo el sistema para evaluar la eficiencia total del reactor (Ver figura 15).

BALANCE DE MATERIA EN LA PRIMERA SECCIÓN DEL BIODIGESTOR

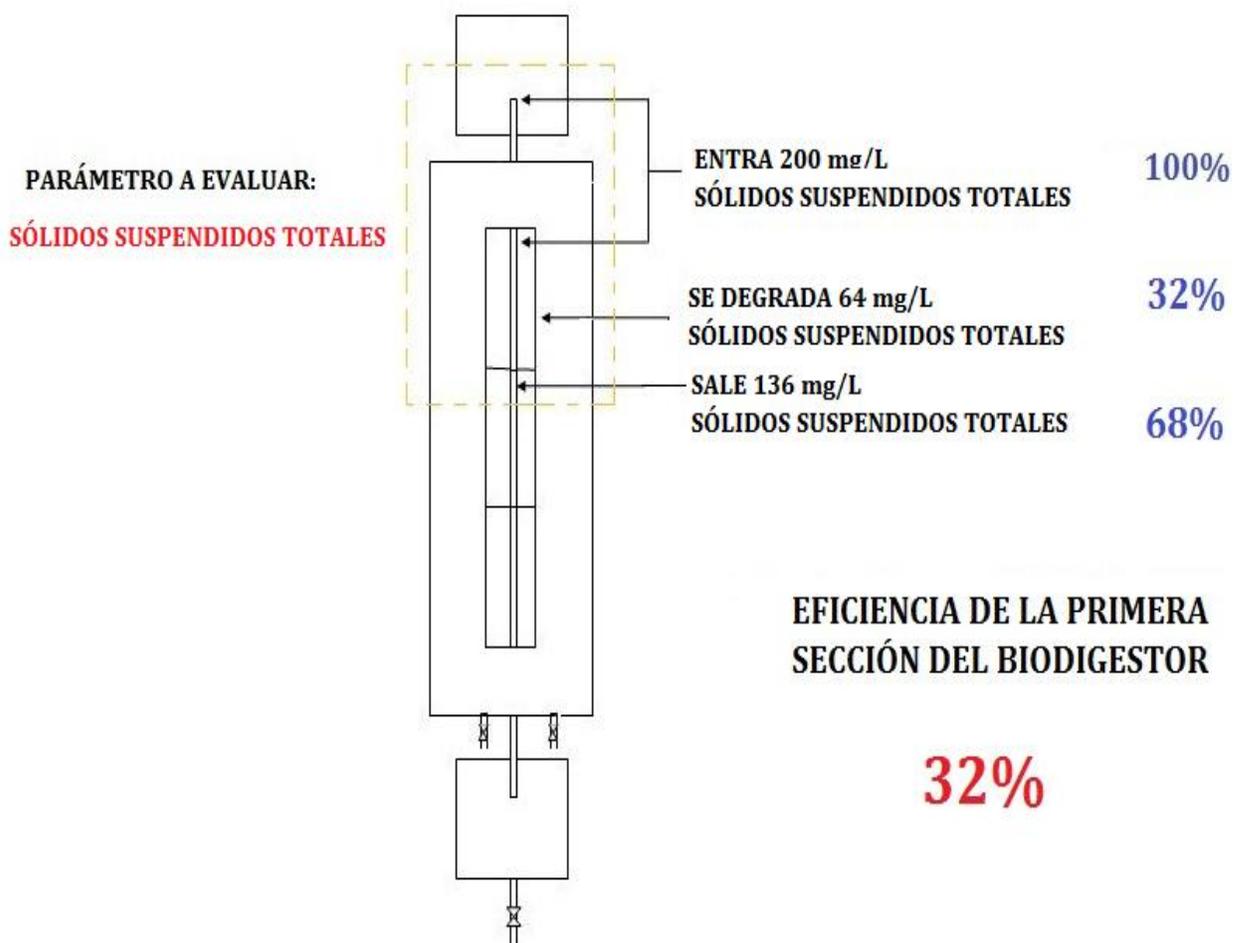


Figura 12. Balance de materia en la primera sección del biodigestor anaerobio

BALANCE DE MATERIA DE LA SEGUNDA SECCIÓN DEL BIODIGESTOR

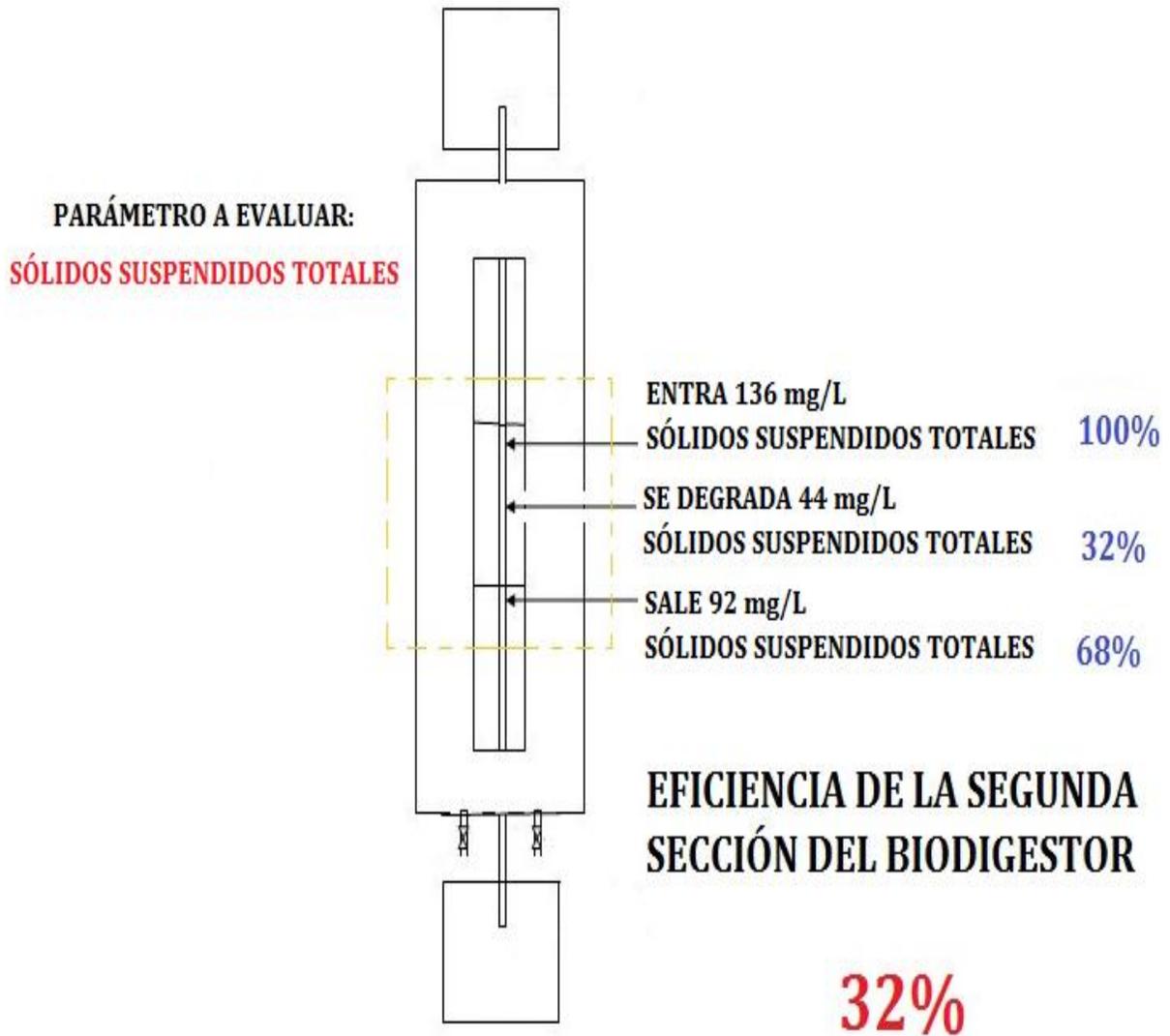
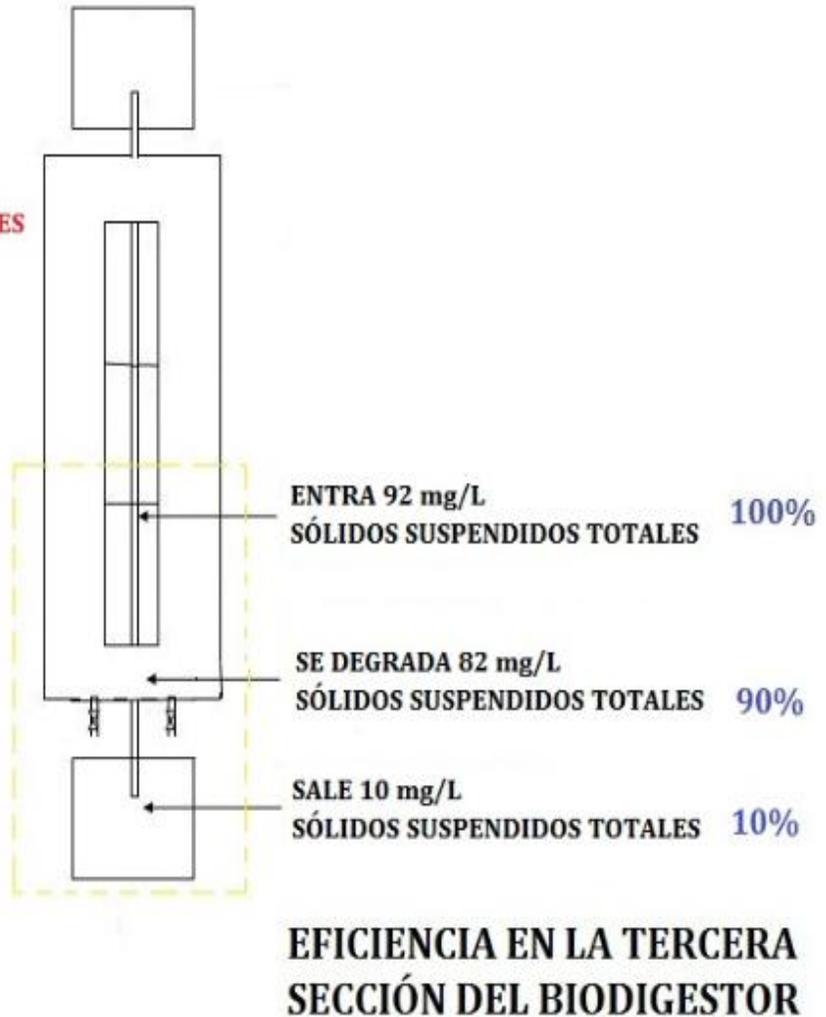


Figura 13. Balance de materia en la segunda sección del biodigestor anaerobio

BALANCE DE MATERIA EN LA TERCERA SECCIÓN DEL BIODIGESTOR

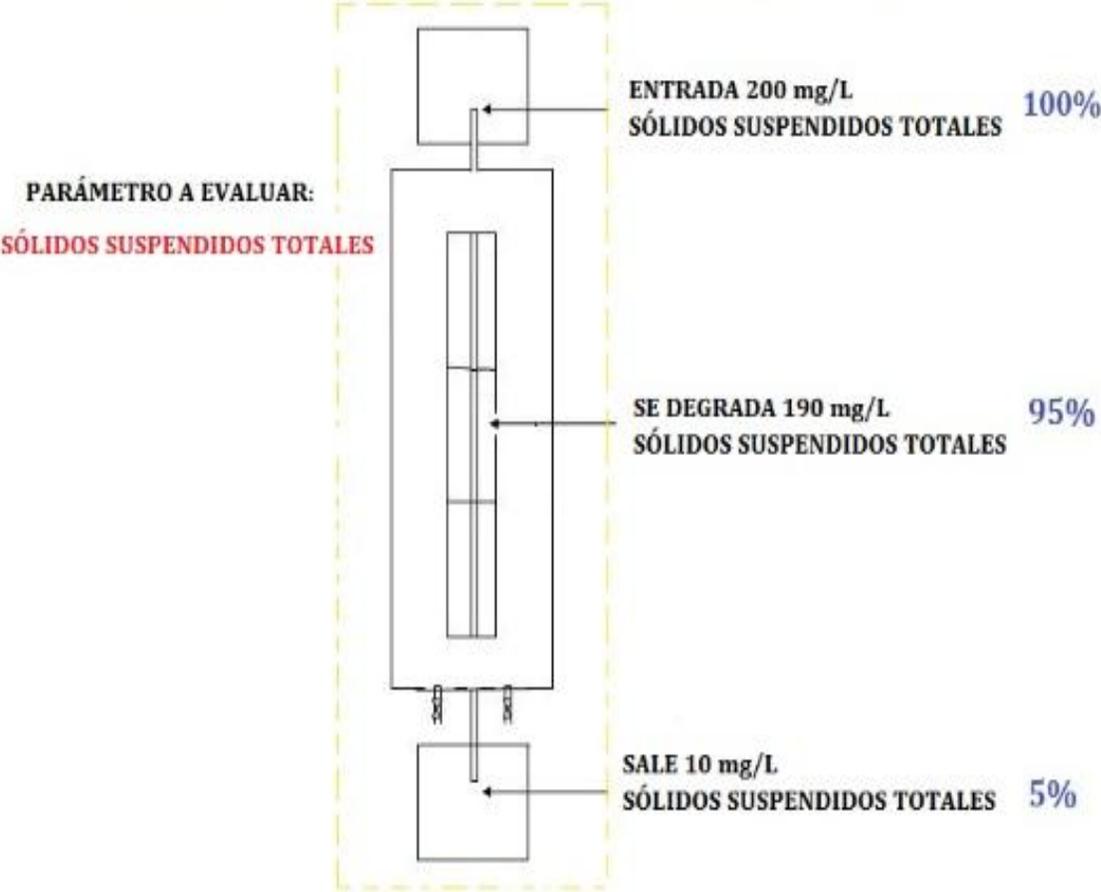
PARÁMETRO A EVALUAR:
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES



90%

Figura 14. Balance de materia en la tercera sección del biodigestor anaerobio

BALANCE DE MATERIA DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO



EFICIENCIA DEL BIODIGESTOR RESPECTO AL PARAMETRO MEDIDO

95%

Figura 14. Balance de materia del biodigestor anaerobio

En seguida se presentan los resultados de laboratorio de las tomas de muestras de las diferentes secciones del biodigestor y se evalúa la capacidad de remoción del reactor respecto a cada parámetro, es decir se calcula la eficiencia del sistema pero de cada parámetro evaluado. En las tablas 11, 12 y 13 se presentan los resultados obtenidos de los balances de materia de cada sección del biodigestor, se registran los datos de la entrada, degradación y salida del reactor. Al final en la Tabla 14. Se evalúa la eficiencia total del sistema de cada parámetro.

Tabla 11. BALANCES DE MATERIA EN LA PRIMER SECCIÓN DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO

DETERMINACIÓN	ENTRADA	DEGRADACIÓN	SALIDA	EFICIENCIA (%)
DBO₅				
DQO				
Sólidos sedimentables				
Sólidos suspendidos totales				
Sólidos suspendidos volátiles				
Sólidos Disueltos				
Grasas y aceites				
Materia flotante				
Temperatura				
pH				
Nitrógeno total				
Cianuros total				
Fosforo total				
NMP coliformes fecales totales				
Determinación de metales				
Cobre				
Níquel total				
Zinc total				
Plomo total				
Flujos				
Tiempo de residencia				
Olor				
Color				
Lodos activados				
Presión				
Demostración de gas metano				
Oxígeno disuelto				

Tabla 12. BALANCES DE MATERIA EN LA SEGUNDA SECCIÓN DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO

DETERMINACIÓN	ENTRADA	DEGRADACIÓN	SALIDA	EFICIENCIA (%)
DBO₅				
DQO				
Sólidos sedimentables				
Sólidos suspendidos totales				
Sólidos suspendidos volátiles				
Sólidos Disueltos				
Grasas y aceites				
Materia flotante				
Temperatura				
pH				
Nitrógeno total				
Cianuros total				
Fosforo total				
NMP coliformes fecales totales				
Determinación de metales				
Cobre				
Níquel total				
Zinc total				
Plomo total				
Flujos				
Tiempo de residencia				
Olor				
Color				
Lodos activados				
Presión				
Demostración de gas metano				
Oxigeno disuelto				

Tabla 13. BALANCES DE MATERIA EN LA TERCERA SECCIÓN DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO

DETERMINACIÓN	ENTRADA	DEGRADACION	SALIDA	EFICIENCIA (%)
DBO₅				
DQO				
Sólidos sedimentables				
Sólidos suspendidos totales				
Sólidos suspendidos volátiles				
Sólidos Disueltos				
Grasas y aceites				
Materia flotante				
Temperatura				
pH				
Nitrógeno total				
Cianuros total				
Fosforo total				
NMP coliformes fecales totales				
Determinación de metales				
Cobre				
Níquel total				
Zinc total				
Plomo total				
Flujos				
Tiempo de residencia				
Olor				
Color				
Lodos activados				
Presión				
Demostración de gas metano				
Oxigeno disuelto				

Tabla 14. BALANCE TOTAL DE MATERIA DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO

DETERMINACIÓN	ENTRADA	DEGRADACION	SALIDA	EFICIENCIA (%)
DBO₅				
DQO				
Sólidos sedimentables				
Sólidos suspendidos totales				
Sólidos suspendidos volátiles				
Sólidos Disueltos				
Grasas y aceites				
Materia flotante				
Temperatura				
Ph				
Nitrógeno total				
Cianuros total				
Fosforo total				
NMP coliformes fecales totales				
Determinación de metales				
Cobre				
Níquel total				
Zinc total				
Plomo total				
Flujos				
Tiempo de residencia				
Olor				
Color				
Lodos activados				
Presión				
Demostración de gas metano				
Oxigeno disuelto				

Evaluada la eficiencia de la PTAR es importante comparar nuestros resultados con las Normas oficiales ambientales vigentes, para evaluar el porcentaje (%) de cumplimiento con la NOM 001-SEMARNAT-1996, 002 SEMARNAT-1996 y NOM-003- SEMARNAT-1997 (Ver Tablas 15, 16 y 17).

Tabla 15. Comparación de resultados con la NOM 001-SEMARNAT-1996.

PARÁMETROS A EVALUAR DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REÚSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO		RESULTADOS OBTENIDOS P.D.	CUMPLE CON LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996.		PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO (%)
	P.M.	P.D.		SI	NO	
NMP DE COLIFORMES FECALES/100ml	1000	2000				
GRASAS Y ACEITES mg/l	15	25				
MATERIA FLOTANTE mg/l	AUSENTE	AUSENTE				
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/l	1	2				
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	75	125				
DBO ₅ mg/l	75	150				
NITRÓGENO TOTAL mg/l	40	60				
FÓSFORO TOTAL mg/l	20	30				
CIANUROS mg/l	1.0	2.0				
COBRE mg/l	4.0	6.0				
NÍQUEL mg/l	2	4				
ZINC mg/l	10	20				
PLOMO mg/l	0.2	0.4				
TEMPERATURA °C	40	40				
pH	Debe estar en un rango de 5 - 10 unidades					

P.D.= Promedio Diario; P.M. =Promedio Mensual

Tabla 16. Comparación de resultados con la NOM-002 SEMARNAT-1996

PARÁMETROS A EVALUAR DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-1996	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REÚSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO		RESULTADOS OBTENIDOS	CUMPLE CON LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-1996.		PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO (%)
	P.M.	P.D.		SI	NO	
GRASAS Y ACEITES mg/l	50	75	P.D.			
MATERIA FLOTANTE mg/l	AUSENTE	AUSENTE				
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/l	5	7.5				
*SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	75	125				
*DBO mg/l	75	150				
CIANUROS TOTAL mg/l	1	1.5				
COBRE TOTAL mg/l	10	15				
NÍQUEL TOTAL mg/l	4	6				
ZINC TOTAL mg/l	1	1.5				
PLOMO TOTAL mg/l	1	1.5				
TEMPERATURA °C	40	40				
pH	Debe estar en un rango de 10 - 5.5 unidades					

P.D.= Promedio Diario; P.M. =Promedio Mensual

*La norma exige realizar estas determinaciones pero hace referencia de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para los límites máximos permisibles.

Tabla 17. Comparación de resultados con la NOM-003- SEMARNAT-1997.

PARÁMETROS A EVALUAR DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003- SEMARNAT-1997.	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003- SEMARNAT-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO		RESULTADOS OBTENIDOS	CUMPLE CON LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997.		PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO (%)
	P.M.	P.D.	P.D.	SI	NO	
NMP DE COLIFORMES FECALES /100 ml	1000					
GRASAS Y ACEITES mg/l	15					
MATERIA FLOTANTE mg/l	AUSENTE					
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	30					
DBO ₅ mg/l	30					
*CIANUROS mg/L	1.0	2.0				
*COBRE mg/L	4.0	6.0				
*NIQUEL mg/L	2	4				
*ZINC mg/L	10	20				
*PLOMO mg/L	0.2	40				

TIPO DE REUSO: SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL

*La norma exige realizar estas determinaciones pero hace referencia de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para los límites máximos permisibles.

10. Conclusión

En este proyecto de investigación se revisaron los antecedentes y documentos registro de la PTAR de la unidad San Cristóbal de ECOSUR.

Se Elaboró la propuesta para la evaluación de la eficiencia de la PTAR que incluye los parámetros a evaluar para su determinación, considerando el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable vigente.

Se estableció el plan de muestreo en el cual se establece: frecuencia de muestreo, monitoreo, localización de la toma de muestra y periodicidad de los análisis y reportes de la PTAR de ECOSUR.

Así también se realizó el plan de monitoreo de la PTAR, y análisis de laboratorio para realizar los parámetros definidos, se espera la inoculación de la PTAR para iniciar el muestreo y análisis en laboratorio.

Además de logró concientizar acerca la importancia del uso de estas tecnologías, como opción para el aprovechamiento y protección de los recursos naturales.

La falta de tiempo fue un factor determinante para evaluar la eficiencia de la PTAR de Ecosur Unidad San Cristóbal.

Una limitante fue un problema técnico en las bombas y hubo necesidad de detener la operación de la PTAR y se procedió a realizar el mantenimiento correctivo. A la fecha se espera el traslado de lodos activados para inocular la PTAR antes de concluir el año para que a partir de enero se inicie el muestreo y análisis de laboratorios. Es posible que el proceso de arranque del tratamiento en la PTAR después de la inoculación se vea impactado en tiempo y pueda representar alguna limitante. Estabilización de la PTAR después de la inoculación.

11. Mejoras al sistema

- Se recomienda la recolección del gas metano producido en la PTAR, ya que es fuente de energía muy importante que puede ser utilizada en las estufas de los hogares. Si el gas metano no se recolecta estaríamos contribuyendo al calentamiento global, lo cual no es deseable por que estaríamos afectando al medio ambiente.
- Para facilitar el manejo del sistema se sugiere que las tapas de los registros de la PTAR sean de algún material de acero y no de concreto ya que este material dificulta la puesta en marcha del sistema así como la toma de muestras.
- Así también considero de suma importancia que las tapas del reactor tengan bisagras y que no estén encimadas sobre el biodigestor, ya que es importante por la seguridad del equipo que opere el sistema, para evitar riesgos y accidentes.
- En ocasiones hay visitas guiadas al sistema, es por eso que se sugiere colocar un corta flamas en el reactor para hacer una demostración de la producción gas metano y así comprobar que las bacterias dentro del reactor están realizando su actividad metabólica.

12. Bibliografía

1. DÍAZ-BÁEZ, M.; Espitia, S. y Molina, F. (2002) Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia.
2. GIBSON, G. (1990) "Physiological and ecology of the sulfate-reducing bacteria". Areview. Journal Applied Bacteriology, 69:769-797.
3. McCARTY, L. (1982) "One hundred years of anaerobic treatment". En: proceedings of the second international symposium on anaerobic digestion, Federal Republic of Germany on sep. 6 – 11. Elsevier Biomedical press, Amsterdam.
4. MADIGAN, M.; Mertinko, J. y parker, J. (1997) Biology of Microorganisms. Prentice Hall.
5. New Jersey, USA van HAANDEL, A. y Lettinga G. (1994) Tratamiento Anaeróbico de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande, Brasil.
6. ZINDER, S. (1998) Chapter 5. Methanogens. En: Burlage, R.S. et al, Techniques in Microbial Ecology. Oxford University Press. New York. 113-135.
7. ZINDER, S. y Koch, M. (1984) "Non-acetoclastic methanogenesis from acetate: acetate Oxidation by a thermophilic syntrophic co cultura", Arch. Microbiology, 138: 263-272.
8. ZEHNDER, A. (1988) Biology of Anaerobic Microorganisms. John Wiley and Sons. Inc.
9. NOM-001-SEMARNAT-1996
10. NOM-002-SEMARNAT-1996
11. NOM-003-SEMARNAT-1997
12. NMX-AA-003 Aguas residuales – Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.
13. NMX-AA-004 Aguas- Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales- Método de cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.
14. NMX-AA-005 Aguas- Determinación de grasas y aceites- Método de extracción Soxhlet, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.
15. NMX-AA-006 Aguas Determinación de materia flotante- Método visual con malla especifica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** 2010.
16. NMX-AA-007 Aguas-Determinación de la temperatura- método visual con termómetro, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 23 de julio de 1980.
17. NMX-AA-008 Aguas-Determinación de pH- Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

18. NMX-AA-026 Aguas- Determinación de Nitrógeno Total—Método Kjeldahl, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.
19. NMX-028-Aguas Determinación de demanda bioquímica de oxígeno- Método de incubación en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.
20. NMX-AA-029 Aguas-Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de octubre de 1981.
21. NMX-AA-030 Agua-Determinación de la demanda química de oxígeno
22. NMX-AA-034-Aguas- Determinación de sólidos en agua- Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** 3 de julio de 1981.
23. NMX-AA-042 Aguas- Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales- método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** 22 de junio de 1987.
24. NMX-AA-051 Aguas- Determinación de Metales- Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de febrero de 1982.
25. NMX-AA-057 Aguas- Determinación de Plomo-Método de la ditizona, en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de septiembre de 1981.
26. NMX-AA-058 Aguas-Determinación de Cianuros-Método colorimétrico y titulométrico, en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de diciembre de 1982.
27. NMX-AA-066 Aguas- Determinación de Cobre-Determinación de cobre-Método de la neocuproína, en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de noviembre de 1981.
28. NMX-AA-076 Aguas- Determinación de Níquel, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 4 de mayo de 1982.
29. NMX-AA-078 Aguas- Determinación de Zinc-Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 1982.
30. www.uasb.gov

13. Anexos

1. Cronograma preliminar de actividades

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Investigación bibliográfica	x	X	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	X
Recopilación de información y datos		X	x	x												
Inducción-capacitación para el trabajo de laboratorio	x	X														
Muestreo y análisis de laboratorio			x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x			
Elaboración de base de datos y reportes técnicos			x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x			
Documentación de manual de operación del sistema de tratamiento			x			x			X			x		x	x	X
Colaboración en las visitas guiadas al sistema de tratamiento										x	x	x	x			
Elaboración de presentaciones power point del sistema de tratamiento										x	x	x	x	x	x	X
Documentación de memoria fotográfica			x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x			
Reuniones para presentar avances de las actividades programadas.			x			x			X				x			x
Elaboración de reporte técnico para el ITTG														x	x	x
Conclusión de la evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento																x

a) Descripción detallada de las actividades

En el proyecto de investigación Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la unidad San Cristóbal de ECOSUR se realizarán las siguientes actividades:

- Investigación bibliográfica, esto con la finalidad de que el alumno adquiera el conocimiento de las investigaciones ya existentes –teorías, hipótesis, experimentos, resultados, instrumentos y técnicas usadas- acerca del tema o problema que el investigador se propone investigar o resolver.
- Recopilación de información y datos deberá dirigirse al registro de aquellos hechos que permitan conocer y analizar lo que realmente sucede en la unidad o tema que se investiga. Esto consiste en la recolección, síntesis, organización, sistematización y comprensión de los datos que se requieren.
- Inducción-capacitación para el trabajo de laboratorio donde se pretende retroalimentar al alumno en actividades como: toma de muestra así como el uso y manejo de los equipos; con el objetivo de lograr buenas prácticas de manufactura.
- Muestreo y análisis de laboratorio: se realizarán tomas de muestras de agua residual, residual tratada y después del biofiltro para obtener una parte representativa cuantitativamente de aguas residuales; para después hacer los análisis en el laboratorio en base a las nom001y 002-semarnat. Durante el proceso de análisis de laboratorio y toma de muestra se tomarán fotos, para que al término de los estudios realizados en este proyecto se realice una documentación de memoria fotográfica.
- Culminado los análisis en el laboratorio se deberá elaborar una base de datos y reportes técnicos. En la cual se almacenan los datos obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio de una manera ordenada. Después se prosigue a realizar un reporte técnico de investigación para informar tanto los procedimientos como los resultados de la investigación en forma concisa y dentro de una estructura lógica. Posteriormente se utilizarán para estudiar el comportamiento de un conjunto de datos al término del proyecto, realizar proyecciones y tomar decisiones.
- Documentación de manual de operación del sistema de tratamiento
- Durante la estancia en ECOSUR habrá una colaboración en las visitas guiadas al sistema de tratamiento de aguas residuales y así mismo la elaboración de presentaciones power point del sistema de tratamiento.
- Se realizarán reuniones para presentar avances de las actividades programadas realizadas en la institución.
- Elaboración de reporte técnico para el ITTG
- Conclusión de la evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento

2. Programa del curso de inducción en el laboratorio

	<p>EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR LABORATORIOS INSTITUCIONALES</p> <p>Laboratorio de Análisis Instrumental</p>	 <p>Laboratorios Institucionales</p>
<p>CURSO DE CAPACITACIÓN</p>		

Título del curso: Metodologías de laboratorio para Análisis químico de aguas residuales.

Responsable del curso: Juan Jesús Morales López

Instructores: Q.F.B. Juan Jesús Morales López
Q.F.B. María Guadalupe Pérez
IBI. Jesús Carmona de la Torre

Costo: Sin costo

Objetivos de aprendizaje:

Que los participantes conozcan los fundamentos de los métodos fisicoquímicos en agua y su implementación en el laboratorio de análisis químico.

Tipo de curso: Intermedio

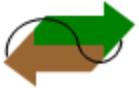
Contenido temático

1. Introducción.
2. Inducción
 - a. Sistema de gestión de la calidad de LI's
 - b. Control de la calidad

Instructores:

Q.F.B. María Guadalupe Pérez
IBI. Jesús Carmona de la Torre (10 horas)

San Cristóbal . Tapachula . Chetumal

	<p>EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR LABORATORIOS INSTITUCIONALES</p> <p>Laboratorio de Análisis Instrumental</p>	 <p>Laboratorios Institucionales</p>
<p>CURSO DE CAPACITACIÓN</p>		

3. Generalidades de las normas NOM-001-ECOL y NOM-002-ECOL

- Toma de muestra
- Teoría de los parámetros de pH, Temperatura y Materia Flotante
- Práctica de medición de Temperatura y Materia Flotante

4. Análisis gravimétricos y espectrofotométricos

- Generalidades
- Fundamento teórico de la determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica.
- Practica determinación de espectrofotometría de absorción atómica.
- Determinación de Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Sedimentables
- Práctica de análisis de Sólidos
- Determinación de Fósforo Total
- Práctica de Fosforo total
- Determinación de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Teoría y practica
- Fundamentos del análisis de Grasas y Aceites
- Determinación de Nitrógeno Total y fracciones inorgánicas N-NO₂; N-NO₃
- Práctica de nitrógeno total y fracciones inorgánicas

Instructor: Q.F.B. Juan Jesús Morales López (50 horas)

Lugar: Laboratorio de Análisis instrumental del área de laboratorios institucionales del Colegio de la Frontera Sur

Fechas de realización del curso Del 08 al 17 de agosto

San Cristóbal . Tapachula . Chetumal

3. Memoria fotográfica



Imagen 3. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ECOSUR Unidad San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.



Imagen 4 .By pass del sistema de la PTAR.



Imagen 5 .Tratamiento primario (Trampa de grasas, rejilla y desarenador).



Imagen 6. Tratamiento primario (Modificación de las rejillas).

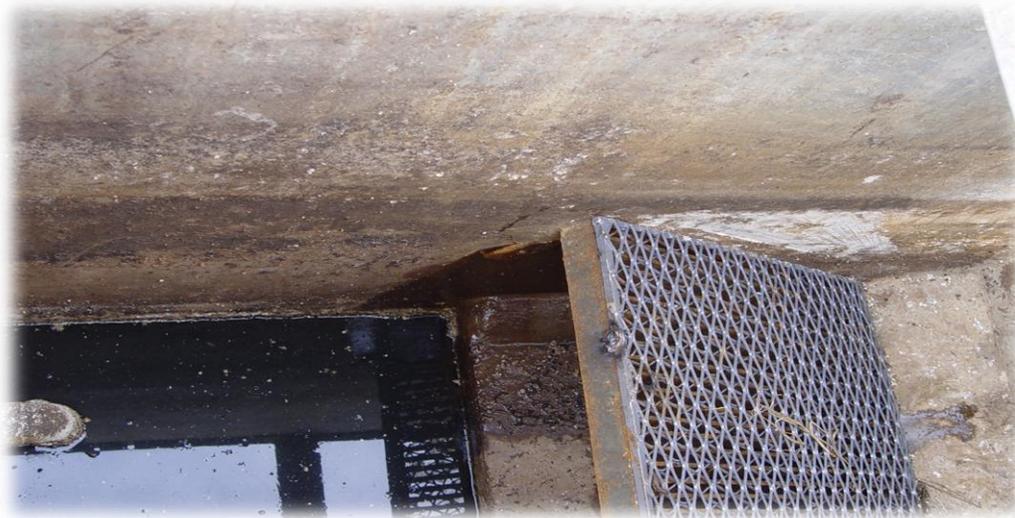


Imagen 7. Tratamiento primario (Pendiente de la rejilla).



Imagen No. 8 tratamiento primario trampa de grasas y sedimentador.



Imagen No. 5 vista superior del tratamiento primario.



Imagen No. 7 Cárcamo de bombeo.



Imagen 8. Ubicación de la toma de muestra en la PTAR

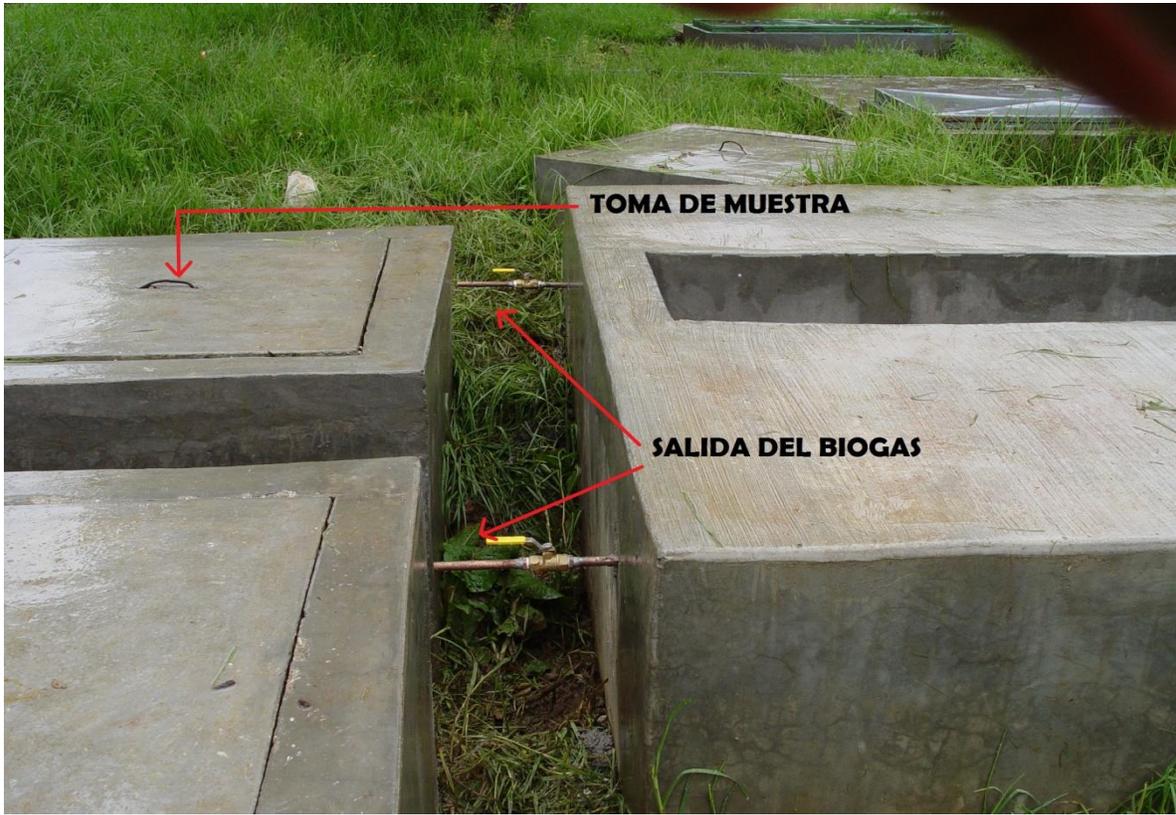


Imagen 9 .Ubicación de la toma de muestra a la salida de la PTAR



Imagen 10.Pozo de lodos Activados.



Imagen No 5. Clorinator.