

ANÁLISIS TÉCNICO Y AMBIENTAL DE CONTROL DE EMISIONES EN  
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAGUNAS DE  
ESTABILIZACIÓN

WILSON INFANTE PADILLA

JUAN ANDRES PAREDES ACOSTA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA

2011

ANÁLISIS TÉCNICO Y AMBIENTAL DE CONTROL DE EMISIONES EN  
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAGUNAS DE  
ESTABILIZACIÓN

WILSON INFANTE PADILLA  
JUAN ANDRES PAREDES ACOSTA

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

DIRECTOR PROYECTO DE GRADO  
ING. RICHARD DIAZ GUERRERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA

2011

## AGRADECIMIENTOS

*Esta monografía fue un proceso de aprendizaje y experimentación personal, que necesito de la paciencia de muchas personas, para poderla culminar en excelentes términos, por eso agradecemos especialmente a nuestro director, Ing. Richard Díaz, con el cual siempre encontramos su apoyo incondicional.*

*A cada uno de los maestros pertenecientes a la UIS, porque con el aporte cada uno, nos ayudaron a crecer a nivel personal y profesional.*

*También queremos agradecer a nuestras familias, quienes siempre han estado en los momentos difíciles y hermosos, dándonos una palabra de apoyo y demostrándonos su amor incondicional.*

**Wilson Infante**

**Juan Paredes**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. METODOLOGÍA.....	14
2. ANTECEDENTES .....	16
2.1 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN (OXIDACIÓN): .....	16
2.1.1. Clasificación de las lagunas.....	17
2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI). .....	20
2.3. MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO.....	21
2.3.1 Cómo funciona el MDL.....	24
2.3.1.1 Expedición de certificados de reducción (RCE) por el Consejo de Vigilancia de MDL.....	25
2.4 MERCADOS DE CARBONO.....	26
3. IMPACTOS GENERADOS AL AMBIENTE EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	28
3.1 EMISIONES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	28
4. EMISIÓN DE GASES CON EFECTO INVERNADERO EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	30
5. CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA COLOMBIA.....	31
5.1 EMISIONES DE CH <sub>4</sub> POR TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (IDEAM, 2004).....	31
6. OPORTUNIDADES DE MITIGACIÓN PARA COLOMBIA. ....	34
7. SISTEMAS DE CUBIERTA PARA CAPTURA DE GASES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	36
7.1 EL METANO PRESENTE EN EL BIOGÁS COLECTADO PUEDE SER USADO EN CUATRO FORMAS.....	37

7.2. ELEMENTOS ESENCIALES PARA UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE GASES. ....	40
8. APLICACIONES INTERNACIONALES. ....	43
8.1 APLICACIÓN DE TRATAMIENTO DE CUBIERTAS FLOTANTES EN SANTA CRUZ DE LA SIERRA (BOLIVIA). ....	43
8.1.1 Objetivos del proyecto.....	44
8.1.2 Cobertura de lagunas anaerobias. ....	44
8.1.2.1 Funcionamiento de las lagunas .....	45
8.1.2.2 Captura y Quema de Biogás en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas.....	46
8.1.2.3 Componentes de las Estaciones de Destrucción de Metano.....	46
8.1.2.4 Obtención bonos de carbono. ....	50
8.2 MELBOURNE- AUSTRALIA. ....	50
8.3 CONSIDERACIONES TÉCNICAS EN SISTEMAS DE CUBIERTA PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	53
CONCLUSIONES .....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	57

## LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Tipos y Aplicaciones de Lagunas de Estabilización. ....	19
Tabla 2. Cálculo de Emisiones CH <sub>4</sub> Por Tratamiento de Aguas Residuales.....	32

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Análisis técnico Ambiental Control Emisiones en WSP como MDL. Metodología	15
Ilustración 2 PTAR's en Cuenca Río Bogotá	35
Ilustración 3. Sistema de recubrimiento por geomembranas	36
Ilustración 4. Geomembrana en acción	39
Ilustración 5 Layfield Desing.	40
Ilustración 6. Aplicación de tratamiento de cubiertas flotantes en Santa Cruz de la sierra (Bolivia).	43
Ilustración 7. Características de la cobertura	45
Ilustración 8. Cubierta flotante	47
Ilustración 9. Red de aspersión de cada PTAR	48
Ilustración 10. Antorcha de alta temperatura	49
Ilustración 11. Sistema de lagunas en Australia	51
Ilustración 12. Sistema de tea	54
Ilustración 13. Sistema de Geomembrana de recubrimiento	54

**TÍTULO:** ANÁLISIS TÉCNICO Y AMBIENTAL DE CONTROL DE EMISIONES EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN\*

**Autores:** Juan Andrés Paredes – Wilson Infante Padilla\*\*

**Palabras Clave:** Control emisiones, lagunas estabilización, cubiertas flotantes

El sistema de tratamiento por lagunas ha sido ampliamente en municipios colombianos y otros del mundo cumple con gran desempeño su objetivo de prevenir la contaminación hídrica, con bajos costos inversión y operación, sin embargo posee desventajas notables al emitir emisiones efecto invernadero y frecuentes olores molestos, impactos para los cuales hoy se cuentan con mecanismos apropiados para colectar los gases que allí se generan, permitiendo incluso generar opciones de aprovechamiento del biogás colectado, reduciendo en gran medida los malos olores que afectan zonas residenciales próximas a las lagunas y Gases Efecto invernadero de los cuales se podría generar Certificados de emisiones reducidas.

En este trabajo de investigación se consideran dos experiencias internacionales donde se ha realizado control de emisiones por medio de cubiertas flotantes, para capturar el biogás generado en el tratamiento y se determinan los principales aspectos para tener en cuenta en una implementación de este tipo, así como de la identificación de plantas de tratamiento donde existen posibilidades de hacer mitigación y control a emisiones y olores.

Entre los casos analizados está uno de Bolivia y otro de Australia, donde se demuestra que el uso de geomembranas, además de ser económico, hace que las posibles soluciones para Colombia, sean viables, controlando en primera medida los olores ofensivos, y desde luego se vuelven proyectos de interés para el Mercado de Bonos de Carbono.

Es por ello que para los autores, el desarrollo de esta monografía, hace parte del desarrollo profesional, dado que el conocimiento que se obtuvo, será aplicado a en la práctica, en el sentido de buscar estas oportunidades en los municipios de Colombia.

Se espera que además de ser una guía para los curiosos del tema del Mecanismo de Desarrollo Limpio, oriente a todos aquellos que quieran incursionar el este mercado de bonos de Carbono.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Escuela de Ingeniería Química. Especialización en ingeniería Ambiental. Director Ing. Richard Díaz Guerrero

**TITLE: TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF EMISSIONS CONTROL ON SEWAGE TREATMENT BY STABILIZATION PONDS\***

**Authors:** Juan Andres Paredes - Wilson Infante\*\*

**Key words:** *Emissions control, Stabilization ponds, Floating Covers*

The treatment system has been widely gaps in Colombian municipalities and others in the world with great performance meets its objective of preventing water pollution, low investment and operating costs, but has significant disadvantages in issuing common greenhouse emissions odors, impacts for which today have appropriate mechanisms to collect the gases generated there, allowing even generate options for use of biogas collected, greatly reducing odors affecting residential areas around the lakes and the greenhouse gases which could lead to reduced emissions certificates.

In this research we consider two international experiences where emission control is done by floating row covers, to capture the biogas generated in the treatment and identifies key issues to consider in an implementation of this type, and the identification of treatment plants where there are possibilities for mitigating and controlling emissions and odors.

Among the cases analyzed is one of Bolivia and one from Australia, which shows that the use of geomembranes as well as being economical, makes possible solutions to Colombia, are viable first step in controlling offensive odors, and since then projects of interest to become the market of carbon credits.

That is why for the authors, the development of this monograph is part of professional development, since the knowledge gained will be applied in practice, in the sense of looking for these opportunities in the municipalities of Colombia.

It is hoped that besides being a guide for the curious issue of Clean Development Mechanism, guide those who want to penetrate this market the carbon credits.

---

\* Thesis

\*\* Chemical Engineer School. Environmental Engineer Specialist. Director: Ing. Richard Díaz Guerrero

## INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se hace un barrido de información que ha permitido establecer mecanismos de optimización de los sistemas de lagunas de estabilización con especial énfasis en lo que respecta al control de emisiones, un factor determinante en el desempeño ambiental de estos sistemas de tratamiento de agua residuales.

Este trabajo investigativo se realiza con el ánimo de abstraer de experiencias a nivel mundial, en las que sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR) , particularmente las lagunas de oxidación o estabilización –WSP- por sus sigla en inglés; *Waste Stabilitation Pond*, han desarrollado nuevos conceptos en la optimización del sistema, en los cuales se ha tratado ampliamente el control de las emisiones que se generan en ellas , un aspecto en el cual lagunas han evidenciado impactos desfavorables para el medio ambiente, precisamente con la emanación de gas metano y ácido sulfhídrico asociado a olores ofensivos y problemas de salud pública.

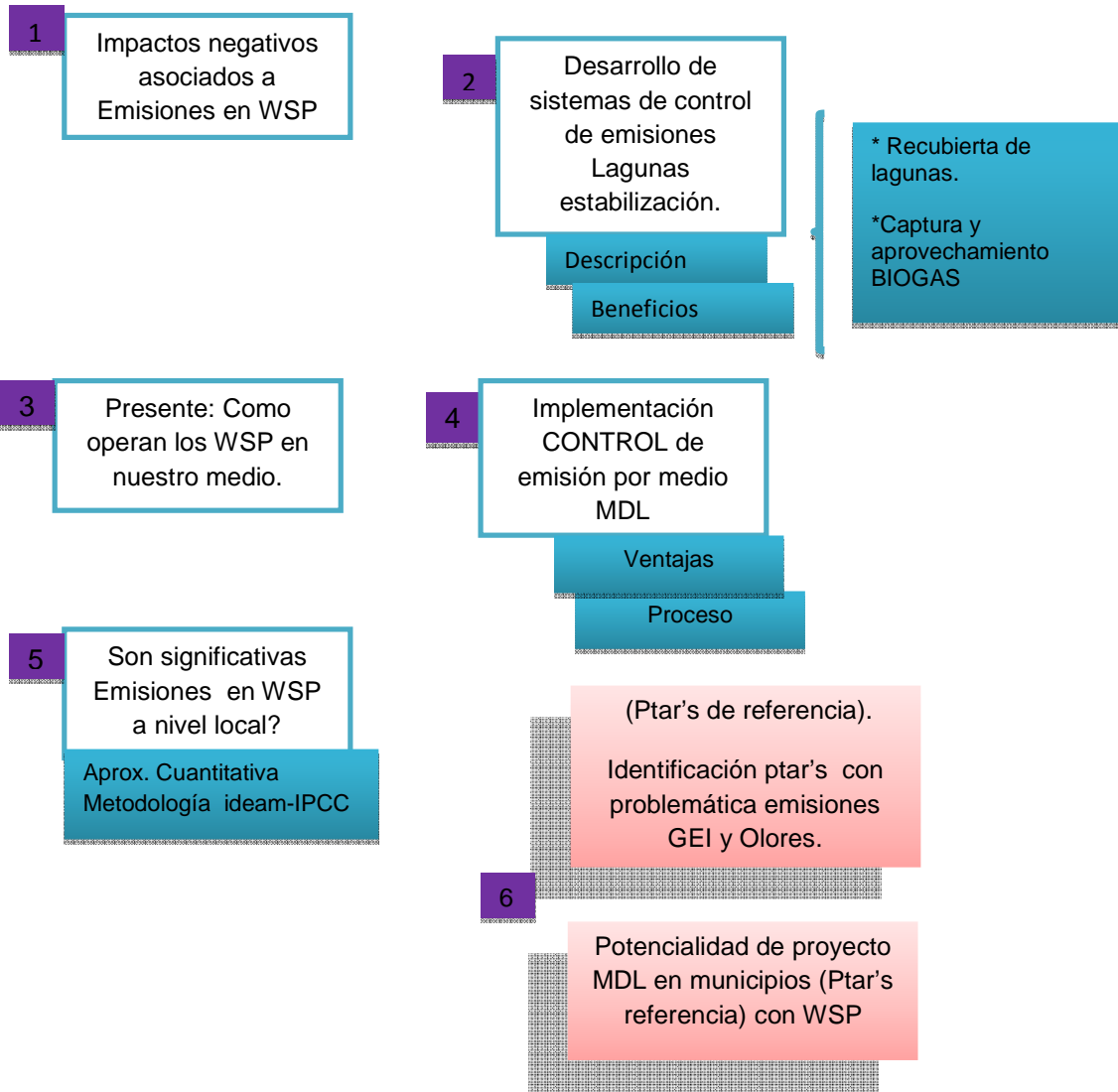
El cambio climático nos enfrenta a nuevos retos, mitigar el impacto que las actividades antrópicas han causado en los sistemas naturales es uno de ellos. El protocolo de Kioto; un conceso casi mundial ha propuesto, a través de reducir el nivel emisiones de gases efecto invernadero en las que actualmente se llevan a cabo los desarrollos humanos implementando aplicaciones técnicas. De esta forma ha permitido que países en desarrollo activen su capacidad innovadora mediante la compensación económica por la implementación de mecanismos que reduzcan emisiones de gases contaminantes, para los cuales los sistemas de control de emisiones en lagunas de estabilización pueden llegar a representar un importante desarrollo con el fin de obtener dichos beneficios y mejorar el desempeño en los sistemas de tratamiento.

## 1. METODOLOGÍA

Para poder concebir los problemática relacionada con las emisiones y efectos no deseados que se presentan en el tratamiento de los vertimientos, por medio de los sistemas de lagunas de estabilización fue necesario hacer la revisión de un amplio número de documentos académicos que han desarrollado amplios análisis y propuestas con el fin de optimizar este tipo de tratamiento. Hoy en día a través de investigaciones realizadas en diferentes contextos la optimización de lagunas de estabilización está muy adelantada, pero con pocas implementaciones a nivel local, con el ánimo de tomar ventaja de los mecanismos de desarrollo limpio, se presenta someramente un análisis considerando la factibilidad de realizar control de emisiones en lagunas de estabilización a partir de esta nueva oportunidad para que las localidades puedan de una forma competitiva hacer una tarea de saneamiento acorde con los nuevas innovaciones que se han dado en materia de control de emisiones en los sistemas de tratamiento, con la misión de contribuir a la reducción de las emisiones a la atmosfera y convertirlo en una ventaja a través de los mercados de carbono.

Para poder entender el análisis aquí presentado se presentara un serie de temáticas enmarcado en el siguiente orden; conocimiento de los impactos negativos asociados a las emisiones en las lagunas de estabilización, presentación del actual uso de los sistemas lagunares a nivel local y finalizamos presentado lo que en el momento se considera como una opción eficiente para mitigar el impacto que las lagunas puedan ocasionar y contribuir en la misión de hacer frente al cambio climático mostrando a través de experiencias en el mundo donde han implementado desarrollos para controlar la emisión de gases efecto invernadero y la mejora de las condiciones por disminución de olores para lagunas de estabilización.

**Análisis Técnico Ambiental Control Emisiones en WSP como MDL. Metodología.**



**Ilustración 1. Análisis técnico Ambiental Control Emisiones en WSP como MDL. Metodología**

## **2. ANTECEDENTES**

A continuación se presentan los referentes sobre los cuales se basa el desarrollo de la investigación, no con el ánimo de ahondar en todo lo que sobre las lagunas de estabilización y emisiones GEI se ha dicho, ya que se dispone de una vasta producción académica, sino de señalar de alguna manera los grandes avances que le han permitido a los sistemas de lagunas de estabilización consolidarse como sistema de tratamiento de aguas residuales eficiente, de otra parte se aborda las implicaciones ambientales que se han considerado en diferentes análisis dada la desfavorable emanación de gases, vapores y olores que se han identificado en las lagunas de estabilización.

Finalmente será necesario conocer cómo funcionan en la actualidad los mercados de desarrollo limpio en los que eventualmente los sistemas de captura de gases en lagunas de estabilización pueden participar dada su importancia en la reducción de gases efecto invernadero GEI.

### **2.1 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN (OXIDACIÓN):**

Las lagunas de estabilización son lugares de almacenamiento de aguas residuales, relativamente grandes y de poca profundidad, provistas de estructuras en tierra abiertas al sol y al aire y cuyo fin es el de lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados (Metcalf y Eddy, 1998) citado por (Restrepo Correa, 2009).

Son un tipo de tratamiento biológico basadas en un proceso donde una población de microorganismos descompone la materia orgánica para utilizarla como fuente de nutrientes. Las Bacterias desdoblan los compuestos complejos y los

transforman en otros más sencillos y estables; los productos finales del proceso de descomposición son dióxido de carbono, agua, nitratos y sulfatos.

Estas se caracterizan por tener bajos costos de inversión y operación, pero requieren de grandes extensiones de terreno, no pueden construirse en suelos permeables, ni donde el nivel freático esté cercano a la superficie, comparada con otros sistemas convencionales de tratamiento este tipo de sistema no necesita de rigurosos procedimientos de operación y mantenimiento además no depende de equipos electromecánicos y también ofrece la ventaja de poder construirla de forma modular a medida que se requiera de mayor capacidad, son muy apropiadas para el tratamiento de residuos industriales o mezclas de residuos industriales y agua residual doméstica susceptibles de tratamiento biológico.

En la implantación de esta tecnología se han definido como objetivos fundamentales, remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación en la fuente receptora y eliminar los microorganismos potencialmente patógenos que representan un grave peligro para la salud. Aunque en muchas ocasiones se presenta un tercer objetivo y es utilizar su efluente con otras finalidades, como agricultura o piscicultura (Restrepo Correa, 2009).

La laguna de estabilización es aparentemente un método simple de tratamiento de las aguas residuales pero los mecanismos de purificación involucrados son complejos. Estos involucran procesos de sedimentación, digestión, oxidación, síntesis, fotosíntesis, respiración endógena, intercambio de gases, aireación, evaporación, corrientes térmicas y filtración (Restrepo Correa, 2009).

**2.1.1. Clasificación de las lagunas**<sup>1</sup>. Existen varias formas de clasificar las lagunas. De acuerdo con el contenido de oxígeno, pueden ser: aeróbicas, anaeróbicas y facultativas. Si el oxígeno es suministrado artificialmente con

---

<sup>1</sup> (Restrepo Correa, 2009)

aireación mecánica o aire comprimido se denominan aireadas. Con base en el lugar que ocupan respecto a otros procesos, las lagunas pueden clasificarse como: primarias o de aguas residuales crudas, secundarias, si reciben efluentes de otros procesos de tratamiento y de maduración, si su propósito fundamental es reducir el número de organismos patógenos (Cuervo, en prensa).

Las lagunas aeróbicas que han sido también referidas como fotosintéticas, son estanques de profundidad reducida (0.5 a 1.0 m) y diseñadas para una máxima producción de algas. En estas lagunas se mantienen condiciones aeróbicas a todo nivel y tiempo, y la reducción de materia orgánica es efectuada por acción de organismos aerobios. Estas unidades han sido utilizadas preferentemente para propósitos de producción y cosecha de algas y su uso en tratamiento de desechos no es generalizado (Colombia. OPS, 1999) citado por (Restrepo Correa, 2009).

Las lagunas anaeróbicas son reservorios de mayor profundidad (2.5 a 5.0 m) y reciben cargas orgánicas más elevadas, de modo que la actividad fotosintética de las algas es suprimida, encontrándose ausencia de oxígeno en todos sus niveles. En estas condiciones, estas lagunas actuarán como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica que requiere de otro proceso adicional para complementar el tratamiento.

Las lagunas facultativas son estanques de profundidad más reducida (1.5 a 2.5 m), en las cuales la actividad fotosintética de las algas ejerce un papel preponderante en la capa superior, al mantener un cierto nivel de oxígeno disuelto que varía de acuerdo a la profundidad y hora del día. En zona del fondo se depositan los sólidos suspendidos que sufren un proceso de reducción por estabilización anaerobia.

Las lagunas de maduración o pulimento son estanques cuya altura está entre 0.5 y 1.0 m, son utilizadas como procesos de tratamiento terciario y diseñadas con el propósito exclusivo de reducir los organismos patógenos (Cuervo, en prensa).

De todos los procedimientos de diseño de procesos de tratamiento biológicos, quizá sea el menos definido el de las lagunas de estabilización. Por ello, son numerosos los métodos que aparecen en la bibliografía y cuando se comparan los resultados obtenidos por cada uno de ellos son muchas las diferencias que se encuentran. Sin embargo, existen factores comunes que inciden en su funcionamiento, como son: la carga orgánica por unidad de área, la temperatura y patrones de viento, tiempo de detención real, dispersión y características de mezcla, energía solar, características de sólidos en el efluente, cantidad disponible de nutrientes esenciales para el metabolismo microbial.

**Tabla 1. Tipos y Aplicaciones de Lagunas de Estabilización.**

<b>TIPO DE ESTANQUE</b>	<b>DENOMINACION COMUN</b>	<b>CARACTERÍSTICA IDENTIFICABLE</b>	<b>APLICACION</b>
<b>AEROBIO (150 – 450 mm)</b>	Estanque aerobio de alta carga	Proyectado para optimizar la producción de tejido celular de algas y lograr altas cantidades de proteínas utilizables	Eliminación de nutrientes, tratamiento de residuos orgánicos solubles, conversión de residuos.
<b>AEROBIO</b>	Estanque aerobio de baja carga Estanque aerobio de maduración o terciario	Proyectado para mantener condiciones aerobias en toda la profundidad del líquido Similar a los tanques de baja carga pero muy ligeramente cargados	Tratamiento de residuos orgánicos solubles y efluentes secundarios. Utilizado para mejorar los efluentes de procesos de tratamientos secundarios convencionales.
<b>Aerobio anaerobio (Fuente de Oxígeno: algas)</b>	Estanque Facultativo	Más profundo que un estanque de alta carga. En las capas superiores ocurre estabilización aerobia, las inferiores están sometidas a digestión anaerobia.	Tratamiento de agua residual devastada o procedente de decantación primaria y residuos industriales.
<b>Aerobio – anaerobio (Fuente de Oxígeno: aireadores superficiales)</b>	Estanque facultativo con aireación mecánica	Uso de pequeños aireadores mecánicos para proporcionar oxígeno para la estabilización aerobia.	Tratamiento de agua residual devastada o procedente de decantación primaria y residuos industriales.
<b>Anaerobia</b>	Estanque Anaerobio	Prevalen las condiciones anaerobias en toda la profundidad, seguidas por estanques aerobios o facultativos	Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

FUENTE: Eddy & Metcalf Inc.

## **2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI).**

Los GEI considerados por el Protocolo de Kyoto son los 6 gases que se piensa son los mayores responsables del incremento de la temperatura global y los disturbios en los patrones de clima. El efecto causado por emisión de GEI a la atmósfera es medido por el índice de Poder de Calentamiento Global (GWP). Los tres gases más frecuentemente encontrados en la naturaleza son:

**Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>):** Gas natural liberado como un producto de la combustión de combustibles fósiles, algunos procesos industriales y cambios en el manejo de usos de suelo.

Se considera para el CO<sub>2</sub> el valor base del GWP igual a 1.

**Metano (CH<sub>4</sub>):** Gas emitido en la minería de carbón, rellenos sanitarios, ganadería y extracción de gas y petróleo. El CH<sub>4</sub> tiene un GWP igual a 21 (21 veces más potente que el CO<sub>2</sub>).

**Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O):** Gas emitido durante la elaboración de fertilizantes y combustión de combustibles fósiles donde el sector transporte es usualmente el contribuyente más significativo. N<sub>2</sub>O tiene un GWP igual a 296 (296 veces más potente que el CO<sub>2</sub>).

La actividad humana no es necesaria para que estos tres gases se liberen a la atmósfera, aunque esta actividad está contribuyendo a aumentar su volumen. Además de estos GEI, hay tres gases más que son principalmente producto de la ingeniería química.

**Hidrofluorocarbonados (HFCs).** Se emite algunos procesos industriales y frecuentemente es usado en refrigeración y equipos de aire acondicionado. HFCs tiene un GWP igual a 1.300 (1.300 veces más potente que el CO<sub>2</sub>).

Perfluorocarbonados (PFCs). Similar a los HFCs. PFCs fueron desarrollados e introducidos como una alternativa para los gases CFCs y HCFCs que destruían la capa de ozono. Estos gases son emitidos en una variedad de procesos industriales. PFCs tiene un GWP que va de 6.500 a 9.200.

Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>). Aunque este gas es lanzado en muy pocos procesos industriales representa el más potente GEI. El GWP de SF<sub>6</sub> es igual 22.000. Es emitido durante la producción de magnesio y se aplica en algunos equipos eléctricos.

Es importante destacar el tema del poder de calentamiento global de los gases de efecto invernadero porque los proyectos que mitiguen GEI con gran GWP recibirán un precio por cada tonelada reducida proporcional a su GWP. Por ejemplo una tonelada reducida de metano tiene un precio en el mercado de carbono 21 veces más que el CO<sub>2</sub>. Para contabilidad e intercambio en el mercado de carbono todos los gases se expresan en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e).

Para medir el impacto sobre el cambio climático transforman todos los gases de efecto invernadero a la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente. Podemos utilizar así como unidad la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) (El Mercado de Carbono, 2007).

### **2.3. MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO<sup>2</sup>**

El Protocolo de Kioto (1997) constituye un importante hito dentro de los esfuerzos globales para proteger el ambiente y alcanzar un desarrollo sostenible, en el que por primera vez los gobiernos aceptaron restricciones legalmente vinculantes sobre sus emisiones de gases de Efecto Invernadero (GEI). El Protocolo también traza "nuevos horizontes" al establecer sus innovadores "mecanismos

---

<sup>2</sup> (Centro de Colaboración del PNUMA en Energía y Ambiente, 2009)

cooperativos", que apuntan a reducir el costo de disminuir esas emisiones. Puesto que para efectos del clima no es relevante dónde se alcanzan las reducciones, se argumenta que por razones económicas, las reducciones deben obtenerse donde éstas tienen el menor costo. Por lo tanto, el Protocolo incluye tres mecanismos basados en el mercado, orientados a alcanzar las reducciones de manera costo-efectiva: el Comercio Internacional de Emisiones (CIE), la Implementación Conjunta (IC), y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

El MDL, contenido en el Artículo 12 del Protocolo de Kioto, permite a los gobiernos o entidades privadas de países industrializados implementar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo, y recibir créditos en la forma de "reducciones certificadas de las emisiones", o RCEs, las cuáles pueden ser contabilizadas dentro de sus objetivos nacionales de reducción. El MDL procura la promoción del desarrollo sostenible de los países en desarrollo, y a la vez permite a los países desarrollados contribuir con el objetivo de reducir las concentraciones atmosféricas de los gases de Efecto Invernadero.

El Protocolo de Kyoto toma en cuenta tanto el carácter global de la protección climática, como también el deseo de minimizar los costos relacionados, a través de una cooperación en la protección climática entre países industrializados y en desarrollo.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio, está destinado a cumplir dos objetivos de la Convención y del Protocolo<sup>3</sup>:

- Debe ayudar a los países industrializados a cumplir sus metas de emisión.
- Al mismo tiempo, debe apoyar a los países en desarrollo en su desarrollo sostenible.

---

<sup>3</sup> (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2009)

Esto último se consigue poniendo al servicio de los países en desarrollo el capital, los conocimientos especializados y la tecnología indispensables, sobre todo para el uso de energías renovables y el aumento de la eficiencia energética.

Los países industrializados - a través del Estado mismo o de la empresa privada - invierten en proyectos ubicados en países en desarrollo, que reducen las emisiones de gases invernadero.

Los países en desarrollo - a través del Estado o de la empresa privada - también podrán ejecutar tales proyectos en forma independiente.

Realizar estos proyectos no sólo contribuye a la modernización de un sector específico, sino también aporta una contribución positiva a la protección del clima global.

El país industrializado inversionista podrá también deducir de sus obligaciones de Kyoto las reducciones logradas en el país contraparte en desarrollo.

A su vez, el país en desarrollo puede vender los certificados de reducción directamente a países industrializados.

El MDL ofrece la oportunidad de movilizar fondos adicionales para inversiones en países en desarrollo, sobre todo en el ámbito de energías renovables y el aumento de la eficiencia energética. Para hacer realidad los proyectos de MDL, es indispensable que los países contraparte cuenten con una estructura institucional eficaz a nivel nacional, que permita la aprobación de dichos proyectos, la suscripción de acuerdos marco y la definición de los tipos prioritarios de proyectos. Además, la participación pública y la inclusión de diversos grupos de interés son imprescindibles.

Al identificar los criterios de sostenibilidad, es necesario cuidar de que estos criterios no sean demasiado estrechos, a fin de ofrecer una gama de opciones a los inversionistas. Los posibles criterios incluyen:

- Medio ambiente (impactos ambientales positivos a nivel local)
- Sociedad (creación de empleo, beneficios para grupos de bajos ingresos, e integración regional y sectorial, sin desplazamientos forzosos de los pobladores y sin destrucción del hábitat de la población local)
- Economía (balanza de pagos, eficiencia de costos, maximización de los efectos para el país contraparte)
- Tecnología (contribución a la autosuficiencia, la innovación y la posibilidad de reproducir las experiencias)

**2.3.1 Cómo funciona el MDL.** En la producción industrial y de energía, los países industrializados suelen emplear tecnología eficiente y avanzada. En cambio, en muchos países en desarrollo predominan procesos obsoletos, que gastan un exceso de recursos. Por ejemplo, mientras que en muchos países en desarrollo las plantas generadoras de energía que funcionan con carbón operan con un grado de eficiencia por debajo del 30 por ciento, las nuevas centrales eléctricas de carbón en países industrializados las superan en eficiencia en más de un tercio. Sin embargo, el aumentar la eficiencia de tecnologías avanzadas es mucho más costoso que reemplazar plantas anticuadas. Por ello, los costos de evitar la emisión de una tonelada de gas invernadero en países en desarrollo suelen ser considerablemente más bajos que en los países industrializados.

Para el clima global no es relevante dónde se producen las reducciones de gases invernadero. Por ello, el MDL ofrece beneficios a todos los participantes. Las reducciones de emisión se miden y se contabilizan en forma de certificados de reducción (RCE) a favor de las metas de emisión de los países inversionistas.

Tanto el inversionista como el país contraparte se benefician con el MDL, al disminuir los costos y al fomentarse el desarrollo económico y social de un modo ecológicamente sostenible.

No obstante, los proyectos de MDL deben cumplir con varios requisitos importantes. Así, la integridad ambiental del Protocolo de Kyoto no debe ponerse en peligro creando certificados de reducción (RCE) que no representan reducciones de emisiones reales. Además, la participación del público es esencial. Por otro lado, es necesario cuidar la eficiencia de costos. Hay algunos detalles críticos, como la determinación de escenarios de referencia o la inclusión de proyectos forestales en el MDL, para los cuales todavía no se ha acordado un convenio internacional.

Un proyecto de MDL tiene que pasar por las siguientes fases antes de generar certificados de reducción.

Idea del proyecto

Descripción del proyecto por las partes

Autorización por los países inversionista y contraparte

Evaluación por un ente certificador independiente

Registro ante el Consejo de Vigilancia de MDL

Implementación y monitoreo del proyecto de MDL por las partes del proyecto

Verificación regular por el ente certificador independiente

Certificación por el ente certificador

**2.3.1.1 Expedición de certificados de reducción (RCE) por el Consejo de Vigilancia de MDL.** Los proyectos MDL deben ser validados por Entidades Operacionales Designadas, antes de ser registrados ante Naciones Unidas, y una vez en operación, la reducción de emisiones resultante debe ser verificada

posteriormente para que se les pueda conceder las Reducciones Certificadas de Emisiones o Créditos de Carbono.

Proyectos que califican

Los proyectos que califican como MDL básicamente deben cumplir dos requisitos: que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero considerados por el Protocolo de Kioto y que sean adicionales.

## **2.4 MERCADOS DE CARBONO<sup>4</sup>.**

Lo que se transa en estos mercados son las reducciones certificadas o no, de emisiones de CO<sub>2</sub>e, comúnmente conocidos como CER. Algunos Estados industrializados o empresas emisoras de CO<sub>2</sub>, financian proyectos de reducción de emisiones de GEI, en un país en vías de desarrollo, que equivale a las toneladas de CO<sub>2</sub>e que generan. Otros, en cambio, acuden a bolsas de clima en las que ya están los proyectos desarrollados, con las cantidades de emisiones capturadas certificadas o verificadas, y donde se venden a quienes requieran reducir su propio impacto ambiental. Por ejemplo, si una compañía emite un millón de toneladas de CO<sub>2</sub>e (tCO<sub>2</sub>e), puede neutralizar sus emisiones protegiendo un bosque que absorba ese millón de tCO<sub>2</sub>e, o financiar el desarrollo de energías limpias y eficientes en países en vías de desarrollo, que tengan un impacto positivo equivalente al millón de tCO<sub>2</sub>e emitidas, lo importante es que haya, en términos cuantificables, una reducción de las emisiones.

Sin embargo no es válido para la comunidad internacional financiar o comprar proyectos que hubiesen sido llevados a cabo sin tener en cuenta el beneficio ambiental o el cumplimiento legal, ya que lo primordial es ir más allá del marco

---

<sup>4</sup> (El Mercado de Carbono, 2007)

legal por compromiso con el medio ambiente. Resulta importante tener siempre presente que el propósito del mercado de emisiones es la reducción de los GEI, si ese propósito no se logra no hay forma de comercializar los proyectos en ninguna de las bolsas de clima del mundo.

### **3. IMPACTOS GENERADOS AL AMBIENTE EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

#### **3.1 EMISIONES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

El tratamiento de aguas residuales municipales e industriales mediante lagunas de estabilización es ampliamente usado en el mundo y reconocido por tener unos aceptables índices de eficiencia previniendo la contaminación de cuerpos hídricos evitando la descarga de efluentes altamente contaminados, sin embargo estos tipos de tratamiento a menudo implican efectos secundarios negativos sobre el medio ambiente como lo son la emanación de gases efecto invernadero y la producción de malos olores.

Al igual que en cualquier otro sistema de tratamiento biológico, en las lagunas de estabilización, el proceso de purificación es el resultado de una compleja interrelación de reacciones físicas, químicas y biológicas de las cuales se han identificado la presencia de gases como: sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), amoníaco ( $NH_3$ ) y metano ( $CH_4$ ).

Según Metcalf (1996) el sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable que produce un olor a huevo podrido.

El metano es el principal subproducto de la descomposición anaerobia. Siendo un Hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro.

Cuando los sistemas de tratamiento lagunares facultativos o aerobios son superados por la carga orgánica a tratar, es decir superan sus capacidades, se encuentran frecuentemente con problemas de olores y emanación de gas metano.

El mal olor es ocasionado por el sulfuro de hidrógeno, el sulfuro disuelto es también tóxico para la vida microbiana. En particular en lagunas facultativas inhiben el proceso fotosintético de las algas y la producción de oxígeno; así mismo, consumen oxígeno si el sulfuro es oxidado químicamente. Esto resta eficiencia al tratamiento de la facultativa y de las lagunas subsecuentes (Houghton, 1991).

El desprendimiento de gas de sulfuro de hidrógeno ha sido a menudo un problema asociado con el mal funcionamiento de las lagunas anaerobias y facultativas (Houghton y Mara, 1987).

#### **4. EMISIÓN DE GASES CON EFECTO INVERNADERO EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.**

Siendo el tratamiento de aguas residuales una de las principales fuentes de emisiones de gases efecto invernadero, seguido de sistemas como los humedales, lodos activados y reactores de flujo ascendente descubiertos son los que mayor contribución presentan en ese sentido.

Comúnmente tanto en lagunas anaerobias, facultativas como aerobias, se desarrollan condiciones anóxicas que promueven la producción de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O. El monitoreo de emisiones GEI en lagunas de estabilización usualmente es logrado por medio de cámaras estáticas que colectan los gases producidos de forma dispersa sobre la superficie de las lagunas, durante un periodo de tiempo determinado el gas que logra ser acumulado es sometido análisis por cromatografía de gases, identificando su composición y cuantificando la producción de gases en cada sistema.

En observaciones ampliamente desarrolladas en el mundo se ha observado que el mayor GEI emitido por las lagunas es el CH<sub>4</sub>. Las emisiones de CH<sub>4</sub> son significativas tanto en las lagunas anaerobias como facultativas y aerobias. Cuando los niveles de emisión identificados han sido comparados con los principales indicadores de calidad de agua, se ha observado una clara correlación entre la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y las emisiones de GEI.

Por ello el panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) ha validado internacionalmente que en el levantamiento de información para los inventarios nacionales de emisión de gases efecto invernadero, en el sector de tratamiento de aguas residuales, se haga por medio de una valoración a partir de la carga orgánica tratada, cuantificada en valores de DBO y DQO.

## 5. CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA COLOMBIA

El CH<sub>4</sub> producido desde Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, se ha encontrado que constituye cerca de 7 % de las fuentes de metano global (Parra Z, y otros, 2010).

### 5.1 EMISIONES DE CH<sub>4</sub> POR TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (IDEAM, 2004).

En Colombia, para los años 2000 y 2004, las cargas de materia orgánica total producidas por la población urbana fueron de 605.218.394 kg de DBO/año y 648.080.195 kg de DBO/año respectivamente. De éstos, en el 2000 se trataron por vía anaerobia 38.010.140,50 kg DBO/año (6,3%) y en el 2004 se trataron 42.762.528,28 kg DBO/año (6,6%). El factor de emisión para los cálculos de producción de metano utilizado fue de 0,6 kg CH<sub>4</sub>/kg DBO, propuesto por el IPCC. De acuerdo con la guía de las buenas prácticas del IPCC, las emisiones de metano provenientes del tratamiento de las aguas residuales domésticas están en función del volumen de desechos generados y de un factor de emisión que caracteriza la medida en que tales desechos generan CH<sub>4</sub>:

Emisiones de CH<sub>4</sub> = (ROT • FE) – RM

Dónde:

*ROT = Residuo orgánico total en aguas residuales, (kg DBO/año)*

*FE = Factor de emisión medio para las aguas residuales domésticas, (kg CH<sub>4</sub>/kg DBO)*

*RM = Metano recuperado y/o quemado en antorcha, (kg CH<sub>4</sub>)*

Las Directrices del IPCC sugieren un valor por defecto de 0,25 kg de CH<sub>4</sub>/kg de Demanda Química de Oxígeno DQO. Las aguas residuales domésticas sin tratar tienen comúnmente un valor de DQO (mg/l) que es 2 a 2,5 veces mayor que el de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO (mg/l); así que, es preciso convertir el valor de BB<sub>0</sub> basado en la DQO en un valor basado en la DBO, multiplicando el primero por un factor por defecto de 2,5. Por lo tanto, es una buena práctica usar un valor por defecto de 0,25 kg de CH<sub>4</sub>/kg de DQO o un valor por defecto de 0,6 kg de CH<sub>4</sub>/kg de DBO.

**Tabla 2. Cálculo de Emisiones CH<sub>4</sub> Por Tratamiento de Aguas Residuales**

Módulo de Residuos / Categoría	2002		2004	
	Gases Efecto Invernadero		Gases Efecto Invernadero	
	CH <sub>4</sub>	GgCO <sub>2</sub> eq	CH <sub>4</sub>	GgCO <sub>2</sub> eq
<b>Total</b>		9019,36		9963,89
<b>A. Residuos Sólidos</b>				
Residuos sólidos dispuestos en tierra.	392,22	8236,56	430,869	9048,25
<b>B. Aguas Residuales</b>		391,40		457,82
Tratamiento de aguas residuales domésticas y comerciales	14,4	302,4	15,46	324,66
Tratamiento de aguas residuales industriales	4,24	89,00	6,341	133,16

Fuente: Adaptado de IDEAM<sup>5</sup>

Las emisiones totales en CO<sub>2</sub> equivalentes del Módulo de residuos para los años 1990, 1994, 2000 y 2004, muestran una tendencia creciente; exceptuando las emisiones provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, que presentan un leve descenso entre 1990 y 1994. Este comportamiento puede explicarse, en principio, por la aplicación de la metodología

<sup>5</sup> (IDEAM, 2004)

utilizada. Para el primer inventario se utilizaron descargas de aguas residuales industriales con base en productos (datos estimados), mientras que para el inventario 2004 se tiene información con descargas medidas (medición de flujos y caracterización de aguas residuales).

## **6. OPORTUNIDADES DE MITIGACIÓN PARA COLOMBIA.**

Un alto porcentaje de lagunas de estabilización son usadas en nuestro país, como referencia se tiene que para el departamento de Cundinamarca de 27 municipios que pertenecen a la cuenca del río Bogotá que cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales 22 son lagunas de oxidación (Aireadas y Anaerobias). En esta jurisdicción se presentan varios lugares donde las caracterizaciones evidencian fuertes incrementos de los caudales tratados, sobrepasando ampliamente los caudales de diseño de los sistemas de tratamiento en función.

Madrid, Zipaquirá, Cajicá, chía y Tocancipá son municipios donde hace años atrás superan los volúmenes de agua residual para que sus lagunas operen bajo condiciones normales. Son lugares que por pertenecer al anillo metropolitano de la ciudad de Bogotá, se han convertido en áreas fuertes para desarrollo industrial y con ello el incremento de las poblaciones, consecuentemente han incrementado ampliamente el volumen de sus vertimientos.

La situación se torna crítica, porque en estos municipios se ubican zonas residenciales muy cerca de las lagunas de estabilización, las cuales operan con sobrecarga, en común tienen estos sistemas de tratamiento que tienen remanentes sin tratar y que sus sistemas de tratamiento producen olores muy fuertes, acentuados en días de lluvia o en ciertas épocas del año. Los vientos llevan estos olores precisamente hacia las viviendas, que por falencias la planeación en la ocupación del territorio, se encuentran ubicadas en zonas muy próximas y por ende las comunidades constantemente viven afectadas por los molestos olores que de las plantas emergen.

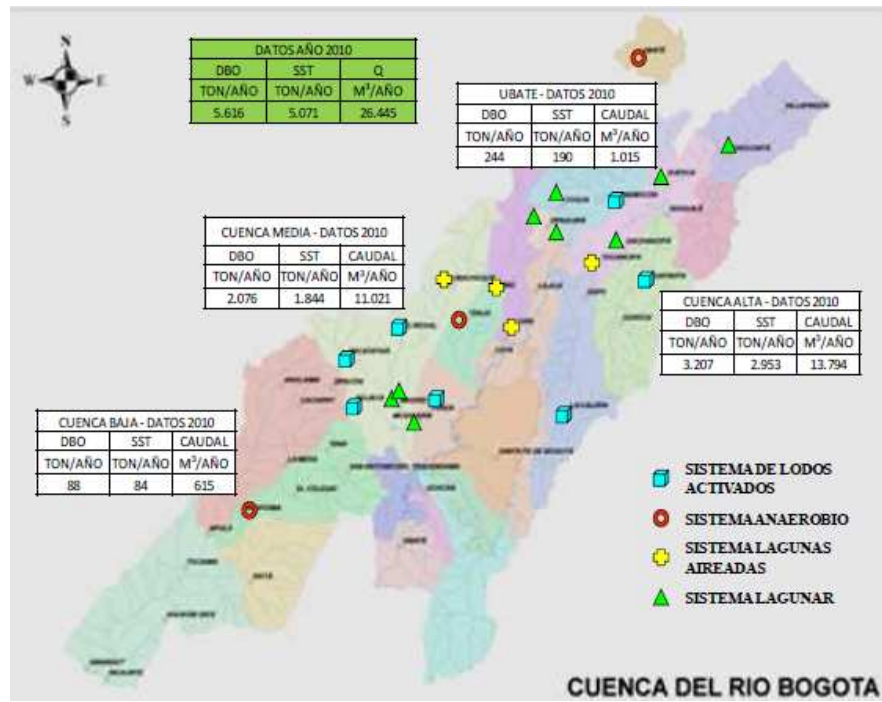
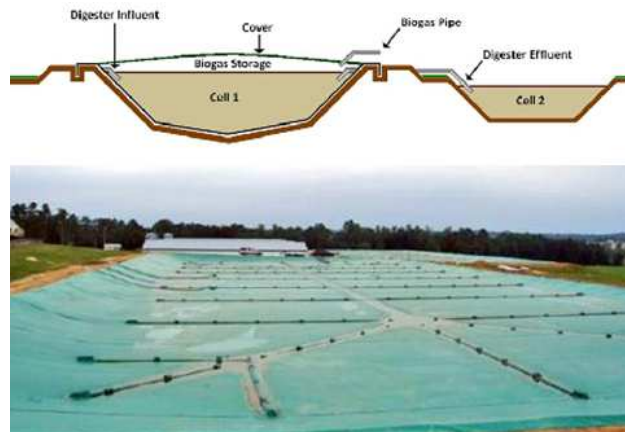


Ilustración 2 PTAR's en Cuenca Río Bogotá

## 7. SISTEMAS DE CUBIERTA PARA CAPTURA DE GASES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Ilustración 3. Sistema de recubrimiento por geomembranas



Fuente: (Layfield, 2011)

El uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización es considerado como un costo efectivo y práctico modo de tratar las aguas residuales municipales e industriales. Estos sistemas, diseñados con tiempos de residencia de seis días aproximadamente pueden remover efectivamente de un 60 a 80% por ciento  $DBO_5$ . Pero estos sistemas además de sus bondades poseen algunas desventajas como la producción de olores y emisiones de gases efecto invernadero. Por ello se ha pensado en el cubrimiento de lagunas para realizar recolección de gases y quemarlos para reducir olores generados por altas concentraciones de sulfatos y emisiones de gases efecto invernadero de importancia como el metano que en algunos casos dada su alta tasa de producción puede ser aprovechado para producir energía.

Un método desarrollado en los últimos años, para lograr la captura de gases en lagunas de oxidación y biodigestores ha sido el sistema de cubiertas. El principal componente del Biogás allí colectado es el metano que a la vez es el gas que le

confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración del CH<sub>4</sub> en el.

Metano (CH<sub>4</sub>) es un hidrocarburo también es un gas de efecto invernadero potente y abundante (GEI), que lo convierte en un importante contribuyente al cambio climático, especialmente en el corto plazo (es decir, 10 a 15 años). El Metano además de ser emitido en tratamientos anaerobios de aguas residuales se emite durante la producción y el transporte de carbón, gas natural y petróleo. Las emisiones también resultan de ganado y otras prácticas agrícolas y de la disposición de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios.

El metano es el segundo más abundante GEI después de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contabilización de 14 por ciento de las emisiones globales. Aunque se emite metano a la atmósfera en pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub>, su potencial de calentamiento global (es decir, la capacidad del gas para atrapar calor en la atmósfera) es 23 veces mayor. Como resultado, actualmente las emisiones de metano contribuyen en más de un tercio del calentamiento antropogénico de hoy. Se estima que cerca del 7% de emisiones de metano global son generados en procesos de tratamiento de agua residual.

### **7.1 EL METANO PRESENTE EN EL BIOGÁS COLECTADO PUEDE SER USADO EN CUATRO FORMAS.**

El primer uso del gas metano es quemarlo para generar calor. El biogás colectado por medio de cubierta puede utilizarse para aumentar el combustible entregado a calderas y otros dispositivos de combustión de gas. El uso del biogás generado en el tratamiento de aguas residuales para generar calor puede reducir significativamente los requerimientos de combustible en algunas aplicaciones.

El segundo uso común para el biogás es generar electricidad por medio del uso un generador de energía o dinamo.

Una tercera opción para la colección es quemar el gas. El Cubrimiento de las lagunas, mediante la implementación de un sistema de o flama permite que el gas pueda someterse a combustión, el quemado de gas es un efectivo mecanismo de control de olores. Sin embargo la mayor intención de quemar gas como el metano es obtener bonos de carbono a través de la reducción de emisiones en países como el nuestro. Quemando el metano un potencial gas efecto invernadero que normalmente es liberado a la atmosfera tiene un significativo efecto positivo para el medio ambiente ya que este gas disminuiría significativamente el atrapamiento de calor en la atmosfera y cuando su uso es ser aprovechado por combustión o generación de energía, se convierte además en un sustituto de combustibles fósiles.

Y por último otra opción de la colección de biogás en sistemas de cubierta es colectorarlo, limpiarlo y comprimirlo para poder ser transportado y vendido para ser aprovechado en equipos que funcionen con este tipo de gas como combustible, esta es una alternativa viable siempre y cuando la cantidad de gas a colectorar esté en grandes cantidades, que aseguren.

La producción de metano Ocorre principalmente en los sistemas que Basados en la digestión anaerobia, es decir esto ocurre en lagunas en la cuales prevalece la ausencia de oxígeno, o en algunas lagunas facultativas. La digestión anaerobia es lograda específicamente por bacterias anaeróbicos que convierten los sólidos contenidos en las aguas residuales en “biogás”; que es metano y dióxido de carbono principalmente. El biogás ha sido un combustible valorado por sus propiedades e incluso aprovechado para generar electricidad como el caso de la moderna Planta de tratamiento en Melbourne, Australia.

Ilustración 4. Geomembrana en acción



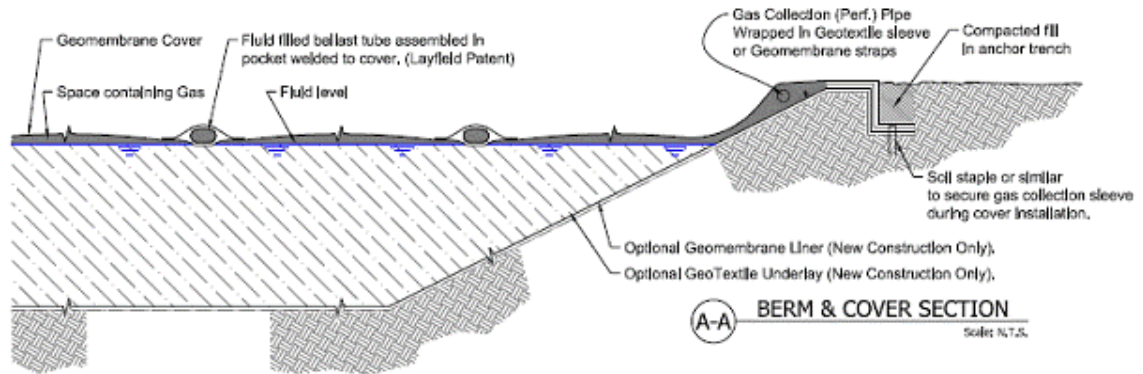
Fuente: (Layfield, 2011)

De acuerdo con la agencia para la protección del medio ambiente en estados unidos EPA, el metano es 21 veces más efectivo en el atrapamiento de calor en la atmosfera que el dióxido de carbono durante 100 años (Glover, 2009). Por ellos es que cualquier esfuerzo por disminuir su emisión es tan importante.

Se ha informado que las cubiertas impermeables ayudan reducir el olor de los estanques aplicados en el sector agrícola para el tratamiento de estiércol y efluentes de granjas en un 95% (Nicolai et al., 2004 y Bicudo et al., 2004). El valor es por lo general no cubre el 100% porque en la laguna es necesario remover periódicamente la cubierta para la agitación y el bombeo para remover el estiércol.

El sistema ha sido ampliamente aplicado con éxito en industrias como la lechera y cárnica, en países como Estados Unidos y Canadá, y en el sector palmero en Colombia, debido a los altos contenidos de cargas orgánicas en los efluentes a tratar de estas industrias, el sistema ha permitido una alta eficiencia en el tratamiento, y una mitigación enorme frente a la producción de emisiones y olores de estos desechos.

Ilustración 5 Layfield Desing<sup>6</sup>.



Fuente: (Layfield, 2011)

## 7.2. ELEMENTOS ESENCIALES PARA UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE GASES.

- 1) Sistema de Salida del Biogás: Este está ubicado en la parte de arriba de la carpa, es un acople en PVC que va sellado a la geomembrana y que puede ser de 2" pulgadas como mínimo para la salida de biogás, de allí se conectará la tubería de polietileno de alta densidad para la conducción del biogás hasta donde va a ser utilizado.
- 2) Sistema de Conducción del gas: Este se hace con tubería de polietileno de alta densidad desde 2" pulgadas en adelante dependiendo de la cantidad de gas a coleccionar, con una serie de trampas y válvulas hasta el lugar donde vaya a ser utilizado, ya sea en calderas, lámparas, refrigeración, en una dinamo, etc.

---

<sup>6</sup> (Layfield, 2011)

- 3) Válvula contra presiones: El Biogás que en ciertos momentos no es aprovechado se puede descargar por medio de una válvula de seguridad que evite sobre presiones.
- 4) Trampa de agua y Ácido Sulfhídrico: El biogás es una mezcla gaseosa de metano ( $\text{CH}_4$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) con pequeñas proporciones de Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y en ocasiones Ácido Sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) por ello es aconsejable purificar el gas un poco para obtener mejores resultados energéticos y para proteger los equipos de la corrosión producida por las trazas de ácido. El  $\text{H}_2\text{O}$  puede causar problemas de obstrucción, el ácido sulfhídrico causa oxidación y malos olores y el Dióxido de Carbono le resta poder calorífico. La presencia de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en el biogás puede restringir su uso, ya que repercutirá negativamente en una corriente baja del equipo y causar emisiones de  $\text{SO}_x$  en la combustión térmica del gas. Además, la presencia de  $\text{H}_2\text{S}$  puede conducir a problemas de salud y seguridad industrial; así como causar una condición potencial de molestia para la comunidad. Para tal fin en el mercado se encuentran además filtros percoladores Biológicos que limpian el biogás.

Para evitar lo anterior y como seguridad en el Sistema se colocan una serie de trampas denominadas:

Trampa de Ácido Sulfhídrico

Trampa o Filtro de Dióxido de Carbono

Trampa de Agua

Trampa de Llama

De esta forma se puede utilizar en calidad de gas natural o metano sin ningún riesgo.

- 5) Trampa o filtro de CO<sub>2</sub>: Dos terceras partes contienen lechada de cal (Hidróxido de calcio), el Biogás que viene del Sistema Encarpado y que reacciona al pasar por la lechada produce calcio y elimina el CO<sub>2</sub>.
- 6) Llaves de paso: Estas llaves sirven para controlar el paso de gas en caso tal de que no se esté utilizando o se vaya hacer una reparación.
- 7) Sistema para Desagüe de las Lagunas Encarpadas: Para hacer mantenimientos de estas, se ubica en la parte del fondo.
- 8) Medidor de Gas: Este se instala para medir la cantidad de gas producido en el Sistema Lagunar.
- 9) Geomembranas. polietileno virgen de alta densidad, estabilizado con aditivos de calidad. Poseen una alta resistencia química, inigualable impermeabilidad, excelente resistencia a los rayos ultravioleta debido a su acción con el negro humo. Flexibilidad para instalarse y aceptar el manejo necesario para permitir operaciones de termofusión en sus diferentes modalidades, lo que se traducirá en una excelente impermeabilidad.

Es el método más económico y rentable para proteger embalses, estanques o pequeña presas que estén construidas sobre y con retenciones de tierra de modo que el uso de la geomembranas se traduce en evitar la fuga de agua por lixiviación hacia el suelo. Ideales para trabajos pesados, contener y almacenar agua, agricultura, acuacultura, lagos artificiales, invernaderos, protección contra corrosión y erosión, cubierta para transporte, cortinas contra el polvo y el medio ambiente.

Espesores:

L-20 0,51 mm de espesor, color negro vida útil a la intemperie 8-10 años

L-30 0,75 mm de espesor, color negro vida útil a la intemperie 12-15 años

L-40 1,00 mm de espesor, color negro vida útil a la intemperie 15-20 años

## 8. APLICACIONES INTERNACIONALES.

### 8.1 APLICACIÓN DE TRATAMIENTO DE CUBIERTAS FLOTANTES EN SANTA CRUZ DE LA SIERRA (BOLIVIA).

**Ilustración 6.** Aplicación de tratamiento de cubiertas flotantes en Santa Cruz de la sierra (Bolivia).



Fuente: SAGUAPAC 2008

El tratamiento de aguas residuales se realiza en cuatro plantas de tratamiento del tipo lagunas de estabilización: Las Lagunas Norte 1 denominada también lagunas Norte Viejas, las Lagunas Norte 2, Norte Nuevas 3, las Lagunas Este y las Lagunas del Parque Industrial (Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - SAGUAPAC, 2008).

Debido al crecimiento de la población, se necesitó ampliar la capacidad de las mismas, no se contaba con la superficie disponible para su expansión, construyendo nuevas lagunas, lo que llevo a la optimización a las existentes, para ello se contempló la cobertura de las lagunas anaerobias, buscando reducir la generación de olores a las poblaciones cercanas, adicionalmente se buscó colectar gas metano, buscando reducir la emisión de gases de efecto invernadero,

obteniendo bonos de carbono a través del MDL impulsado por el protocolo de Kioto.

Dentro de los impactos positivos el mayor está dado por la cobertura de las lagunas anaerobias, que impidió la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero y la consecuente emisión de olores.

La reducción de olores generados, crea un impacto positivo sobre la población de unidades vecinales cercanas. El área del proyecto se encuentra en una zona totalmente intervenida antrópicamente.

#### **8.1.1 Objetivos del proyecto**

- Mejorar la situación sanitaria en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, mediante la optimización de la capacidad de tratamiento de aguas residuales de las plantas existentes.
- Responder a la necesidad del crecimiento de aguas residuales, provenientes del servicio de alcantarillado.
- Reducir los olores generados por las lagunas anaerobias de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Colectar y quemar el gas metano generado en las lagunas anaerobias de las plantas de tratamiento, a fin de reducir su efecto invernadero y contribuir al mecanismo de desarrollo limpio propuesto en el protocolo de Kyoto.

**8.1.2 Cobertura de lagunas anaerobias.** La realización de la cobertura de las lagunas anaerobias, permite controlar los olores a partir de la colocación de una geomembrana, que impide la emisión de gases a la atmósfera. Además, al cubrir

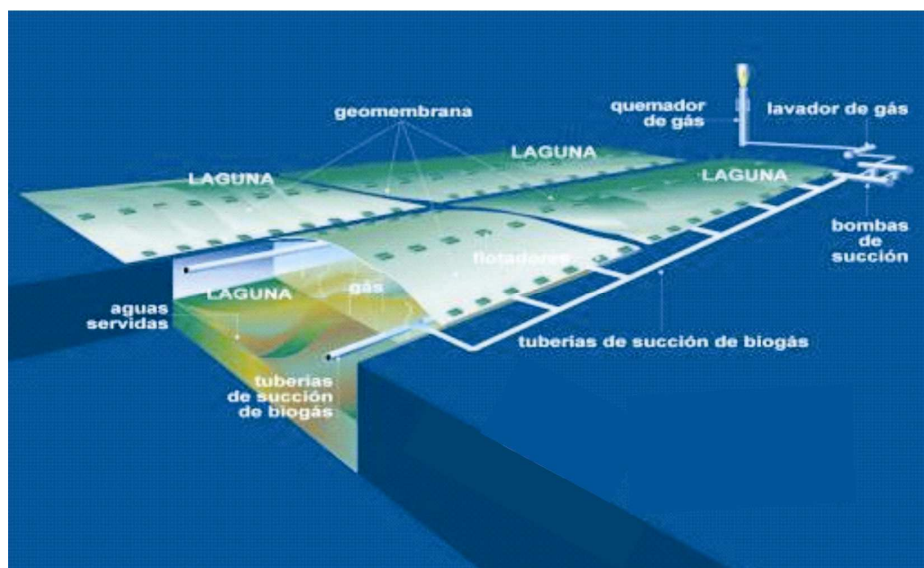
las lagunas anaerobias fue posible recoger y quemar el gas metano producido por el proceso.

### 8.1.2.1 Funcionamiento de las lagunas

- Lagunas anaerobias; seguido por
- Lagunas facultativas; seguido por
- Lagunas de maduración.

Las lagunas están cubiertas de una manera adecuada usando geomembranas resistentes a los gases generados. Incluyen la colección del gas y su quemado en antorcha, así como la colección del agua lluvia, a partir de un sistema que poseen las geomembranas para evitar que el agua de tormentas dañe el sistema. La geomembrana resistente a los gases formados en el proceso anaerobio.

Ilustración 7. Características de la cobertura



Fuente: SAGUAPAC 2008

- Geomembrana de cobertura: polietileno de alta densidad, de textura lisa de color apropiado a los rayos solares, con espesor de 1,5 mm, en base a resinas, su densidad debe ser igual o mayor a 0,94 g/cm<sup>3</sup>.
- Flotadores: polietileno de 0,3 x 2,0 m, encapsulado con geomembrana lisa de 0,75 mm de espesor.
- Tubos para estabilizar la geomembrana, el tubo para estabilizar la geomembrana de polietileno de alta densidad de 4" de diámetro.
- Tubos para captura de gases, para captura de gases de la laguna, tubos PVC, con perforaciones de 1" de diámetro.

**8.1.2.2 Captura y Quema de Biogás en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas.** El proyecto contribuye a mejorar la capacidad de las plantas de tratamiento, con la incorporación de otros componentes adicionales a la instalación de cubiertas en las lagunas anaerobias. En este sentido se responde a la necesidad de tratar mayor flujo de aguas residuales, proveniente de la expansión de los servicios de alcantarillado de la ciudad. Como parte complementario al tratamiento de las aguas residuales como medida para evitar la emisión de gases propios de la actividad que dañan al medio ambiente y para evitar las molestias de los vecinos de la plantas de tratamiento.

Las lagunas anaerobias correspondientes a las plantas de tratamiento fueron cubiertas con geo membrana (polietileno de alta densidad (HPDE de 1.5 mm), un sistema flotadores y de tubos de sujeción y tuberías de colección de biogás que transportan el gas a 2 quemadores, los cuales realizan el quemado de estos gases disminuyendo las emisiones.

**8.1.2.3 Componentes de las Estaciones de Destrucción de Metano<sup>7</sup>.** Las componentes de las estaciones de destrucción de metano son:

---

<sup>7</sup> (Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - SAGUAPAC, 2008)

**a) Cubiertas flotante.** La cubierta flotante está conformada por polietileno (geo membrana) de alta densidad (HPDE), con un espesor de 1.5 mm (60 mil), de textura lisa y color apropiado a los rayos solares; asegurada perimetralmente en el dique de las lagunas y afirmada con un conjunto de flotadores y tubos de sujeción, con una red de tuberías de colección de biogás apoyadas sobre el borde superior del perímetro de cada laguna.

**Ilustración 8. Cubierta flotante**



Fuente: SAGUAPAC 2008

**b) Red de aspiración y bombeo del biogás.** Los componentes del conjunto de aspiración y bombeo son los siguientes:

- Tuberías de aspiración,
- Pool de succión
- Lavador de gas (solo para la planta del Parque Industrial)

La red de aspiración de cada PTAR se conecta a centrales de aspiración; las mismas que está conformadas por soplantes montadas en el sitio de emplazamiento de cada antorcha.

Ilustración 9. Red de aspersión de cada PTAR



Fuente: SAGUAPAC 2008

### c) Antorchas de Alta Temperatura <sup>8</sup>

Las antorchas instaladas son del tipo cerradas, diseñadas para operar a alta temperatura, con tiempo de residencia mayor a 0.5 segundos. Si bien cada antorcha fue fabricada para un caudal máximo (500 Nm<sup>3</sup>/h para la estación Norte y 1000 Nm<sup>3</sup>/h para la estación Este), pueden adaptarse a caudales variables originados por la despresurización de las lagunas. Las medidas exteriores de las antorchas son 6,5 y 7,5 metros de altura total (500 y 1000 Nm<sup>3</sup>/h), diámetro exterior de 1,4 y 1,7 metros respectivamente. Están facultadas para operar con gas húmedo y corrosivo, incluyen un sistema de control y seguridad de alta confiabilidad, están interconectados a un sistema de supervisión continua, pueden instalarse en lugares apartados, sin operadores calificados y tienen operación estable aún en condiciones atmosféricas adversas (lluvia y viento). Presentan mantenimiento simple.

El caudal mínimo de trabajo de las antorchas es de 80 y 60 Nm<sup>3</sup>/h de biogás (con 45% CH<sub>4</sub>) y máximos de 500 y 1000 Nm<sup>3</sup>/h de biogás (con 65% CH<sub>4</sub>) para cada

---

<sup>8</sup> (Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - SAGUAPAC, 2008)

equipo respectivamente. El contenido mínimo de metano para garantizar adecuada combustión será de 35% aproximadamente. La temperatura de combustión puede regularse entre 900 y 1250 °C (tras la fase de arranque).

Los principales elementos de cada antorcha son:

- La cámara de Combustión,
- Sistema de soporte,
- Entrada de biogás,
- Entrada de aire,
- Pilotos de encendido,
- Tablero de control,
- Sensor de temperatura y
- Sistema de control de presión.



**Ilustración 10. Antorcha de alta temperatura**

Fuente: SAGUAPAC 2008

**8.1.2.4 Obtención bonos de carbono.** El sistema de cobertura de lagunas anaerobias, sumado al sistema de captación de gas, permitió colectar y quemar el gas metano generado. Esta reducción de gases de efecto invernadero permitió la inserción del proyecto dentro del mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de Kioto.

## **8.2 MELBOURNE- AUSTRALIA.**

A partir del 2004 la ciudad de Melbourne ubicada al sureste de Australia concentró el tratamiento de sus aguas residuales en un solo método basado en lagunas de estabilización, el cual anteriormente lo realizaba mediante lechos filtrantes y lechos de hierba filtrantes, durante todo el año está en funcionamiento el sistema de las lagunas, en función de las estaciones eventualmente recurren a los otros dos métodos para garantizar el efectivo tratamiento. La moderna planta que hoy trata cerca del 60% de las aguas domésticas y comerciales de la ciudad por medio de un extenso tren de lagunas, 10 en total, principalmente de tipo anaerobio y aerobio, que ocupa un área total de 10500 hectáreas.

La planta de tratamiento de occidental en Werribee atiende alrededor de 1,6 millones de personas en los suburbios de centrales, norte y oeste. Los orígenes de la planta se remontan a 1888, cuando una Comisión real en salud pública de Melbourne llevó a una propuesta para el desarrollo de una granja de aguas residuales para el tratamiento de residuos de Melbourne. Previamente, aguas residuales de Melbourne fueron recogidas en alcantarillas abiertas y vertidas en el río Yarra y Hobsons Bay.

La planta es de aproximadamente 10.500 hectáreas en la zona y es líder mundial en innovación técnica y ambiental. Algunos de los efluentes tratados son

utilizados como agua reciclada por clientes locales. El resto se descarga a la Bahía de Port Phillip bajo una licencia de la autoridad de protección de medio ambiente del estado de Victoria (EPA Victoria).

#### **Ilustración 11. Sistema de lagunas en Australia**



Fuente: MELBOURNE 2004

Una importante actualización de la planta (completada en 2005) ha reducido significativamente la cantidad de nitrógeno en el efluente tratado que es dado de alta a la Bahía de Port Phillip y aumentó significativamente la cantidad de agua reciclada de alta calidad disponible. También ha mejoró la capacidad de captura de biogás para generar electricidad, reducir considerablemente el olor y las emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso. La planta de tratamiento occidental es también un refugio de decenas de miles de aves y es uno de los humedales más importantes del mundo.

La primera etapa de la planta es anaeróbica, bajo estas condiciones las bacterias que remueven la materia orgánica en el agua produce fuertes y molestos olores además de considerables emisiones de gases efecto invernadero el cual es capturado como Biogás para generar energía que abastece la planta.

Los sistemas desarrollados para la captura de gases en esta planta de tratamiento fueron logrados por compañías de ingeniería canadienses,

especializadas en investigación, diseño e instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales en los fríos climas de las ciudades norteamericanas, como; GTI (geomembrane technologies investigation) y ADI Limited. (DeGarie, y otros, 2009).

En WSP Melbourne hay tres sistemas de lagunas (115 East, 25 west y 55East que están en uso, cada una maneja aproximadamente 120,000m<sup>3</sup>/d. la fase anaerobia de 115 east fue cubierta en con membrana flotante de polietileno, que recolecta entre 5000 y 12000m<sup>3</sup>/d los cuales son utilizados. (Hodgson y Paspaliaris, 1996,) citado por (DeGarie, y otros, 2009).

Si bien la planta de Melbourne no es comparable con alguna ubicada en Colombia, por sus dimensiones y caudales que trata, si es un experiencia que arroja muchas nociones técnicas de lo que podría ser una aplicación a menor escala, es decir WSP Melbourne es una de las experiencias mejor implementadas mundialmente, en sistemas de lagunas de estabilización y en lo que respecta a coberturas flotantes para recolección de gases en sistemas de digestión anaerobia, por tanto los detalles técnicos allí aplicados aportan importantes elementos para implementar en nuevos proyectos y asegurar eficiencia y calidad, ya que las compañías que intervinieron en las construcción de la cubierta, son las que han desarrollado los grandes avances en materiales y los mecanismos de operación del sistema al punto de conseguir la más alta eficiencia.

DeGarie (2000) describe el sistema de cubierta flotante usado para la sección anaeróbica de las lagunas 25 West y 55 east de la planta de tratamiento en Melbourne. La cubierta está compuesta de tres capas: la primera hecha de membrana de alta densidad y resistente a UV para recolección de Biogás (Seaman® XR5) en la parte superior, luego tiene una capa de aislamiento y flotación; 12.5 mm de espuma de polietileno (Polyfoam), el cual esta soldado con una capa base de polietileno de alta densidad, diseñado por GTI. Las medida de

esta cubierta son de uno 171 \* 200 m en 25 west y 214 \* 200m en 55east, lo cual da una idea del gran tamaño de planta, que gracias a la cubierta que colecta el Biogas de esta sección de la planta, logra generar unos 6000 kW de electricidad 8-16 horas al día, los 365 días del año. La cubierta está anclada al perímetro de la laguna y sostenida hacia abajo por tubos pesados.

La composición del gas allí colectado es:

Metano (CH<sub>4</sub>) **80%**

Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) **10 %**

Nitrógeno (N<sub>2</sub>) **5%**

Sulfato de Hidrogeno H<sub>2</sub>S **0.5%**

Agua (H<sub>2</sub>O) **4.5%**

### **8.3 CONSIDERACIONES TÉCNICAS EN SISTEMAS DE CUBIERTA PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.**

Basado en las experiencias internacionales de coberturas para lograr captura de gases efecto invernadero los diseños de las cubiertas deben considerar los siguientes aspectos:

Deben ser instalados evitando suspender la operación de los sistemas, manteniendo el servicio y no causar contaminación durante la implementación.

- Los materiales usados en las cubiertas deben ser resistentes y estables
- Deben requerir bajo mantenimiento, y cuando lo requiriera deben ser fáciles de lograr.
- Deben Permitir fluctuaciones en los niveles de agua en la laguna.
- Deben ser capaces de drenar la precipitación.
- Los materiales deben asegurar una larga vida útil y soportar altas presiones.

- Deben maximizar la colección de Biogás, Facilitando el flujo del biogás colectado.
- Si la captura de gases tiene la intención de generar energía, el sistema no puede tener limitaciones y debe ser capaz de coleccionar las cantidades durante periodos picos de demanda de energía.
- En la actualidad se cuentan con sistemas automatizados para tener control y maximizar el aprovechamiento de Biogás

**Ilustración 12. Sistema de tea**



Fuente: <http://education.melbournewater.com.au>

**Ilustración 13. Sistema de Geomembrana de recubrimiento**



Fuente: <http://education.melbournewater.com.au>

## CONCLUSIONES

Las lagunas de estabilización son importantes fuentes de emisiones de GEI por lo cual es necesario optimizar su funcionamiento para abatir la emisión de GEI.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con condiciones técnicas para realizar una digestión anaerobia, son apropiadas para realizar captura de biogás, si este no se genera en las condiciones ideales para propiciar un sistema de generación energético debería llevarse a cabo solo por evitar la generación de malos olores y la reducción significativa de emisiones de metano, el cual compone el aproximadamente el 70% del Biogás recolectado y es un potencial gas de efecto invernadero.

La ejecución de mecanismos de desarrollo limpio (MDL) en la industria pecuaria de nuestro país es una alternativa excelente para el logro de la sustentabilidad de la misma. No sólo se coopera con los esfuerzos del Protocolo de Kyoto, sino que además puede ser fuente de ingresos adicionales a través de la venta de CER.

Los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), proporcionan el incentivo económico necesario para desarrollar proyectos en el sector residuos (sólidos y aguas residuales), cuando estos aseguran un componente de captura y reducción de gases efecto invernadero (GEI). Es un mecanismo ideal a disposición de países en vía de desarrollo para mejorar y optimizar fuentes generadores de gases efecto invernadero y adelantar los procesos que en saneamiento se necesitan

En la cuenca del río Bogotá se tienen sistemas de tratamiento de lagunas anaerobias y facultativas susceptibles de mejorar por cuanto presentan problemas en sobrecarga y emanación de olores además de la emanación de GEI propios de

la dinámica del tratamiento, para las cuales pueden participar de los mecanismos MDL mediante la implementación de un sistema de captura de gases.

El sistema de captura de gases hoy en día se presenta como una excelente alternativa para controlar emisiones y olores en sistema lagunares de tratamiento de aguas residuales, varios estudios sugieren que además de eso optimizan la eficiencia del tratamiento.

En Colombia se ha implementado muy poco la medición directa de gases efecto invernadero sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales lo que genera gran incertidumbre en la cuantificación de emisiones del sector, un aspecto importante para considerar en el impacto que se genera.

En la mayor parte de los municipios pertenecientes al departamento de Cundinamarca, el tratamiento de aguas residuales, lo realizan por medio de las lagunas de estabilización, con una tecnología muy básica, adicionalmente superan la carga de diseño, lo que genera que se encuentren saturadas en su funcionamiento.

Este trabajo nos permite avanzar en la proyección de trabajos, en los cuales se contemple la implementación de la captura de gases de lagunas de estabilización.

## BIBLIOGRAFÍA

Centro de Colaboracion del PNUMA en Energía y Ambiente. 2009. El Mecanismo de Desarrollo Limpio. Dinamarca : PNUMA, 2009.

Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - SAGUAPAC. 2008. Estudio Saguapac. Santa Cruz : s.n., 2008.

DeGarie, C.J., y otros. 2009. Floating geomembrane covers for odour control and biogas collection and utilization in municipal lagoons. Melbourne : Water Science and Technology, 2009.

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 2009. El Mecanismo de Desarrollo Limpio. 2009.

El Mercado de Carbono. Peña, Efrain y Bent , Lincoln. 2007. 2007, Revista Perspectiva, págs. 27-29.

Glover, Brian. 2009. Biogas Capture and Utilization: An Effective, Affordable Way to Reduce Greenhouse Gas Emission and Meet Local Energy Needs. Washington : Environmental and Energy Study Institute, 2009.

Guevara Vera, Antonio y Leon S, Gullermo. 1996. Propuesta Metodologica Evaluacion de Lagunas de Estabilizacion. Lima Peru : Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OMS, 1996.

Hernandez Paniagua, Ivan Y. y Ramirez Vargaz, Rocio. 2010. Emision Gases con Efecto Invernadero en Lagunas de Estabilizacion. Mexico D F : VII Simposio Internacional de Alcoholes y Levaduras, 2010.

IDEAM. 2004. Inventario Nacional de Emisiones. Bogota : s.n., 2004.

Layfield. 2011. LAYFIELD Environmental Systems. [En línea] Layfield, 2011.

[Citado el: 10 de julio de 2011.]

<http://www.layfieldenvironmental.com/pages/Literature/ProjectProfiles.aspx?id=5390>.

Martinez Cruz, Carlos y Quintal Franco, Carlos. 2009. Condiciones de Carga Organica, Temperatura, Precipitacion, Radiacion Solar, Sulfuros y Sulfatos en la Estratificacion de la Biomasa Algal en Lagunas de Estabilización. Yucatán : Facultad de Ingenieria, Universidad Autonoma de Yucatán, 2009.

Melbourne Water. Melbourne Water. [En línea]

[http://www.melbournewater.com.au/content/sewage/western\\_treatment\\_plant/sewage\\_treatment\\_-\\_how\\_it\\_works\\_today.asp](http://www.melbournewater.com.au/content/sewage/western_treatment_plant/sewage_treatment_-_how_it_works_today.asp).

Parra Z, Roberto, Apaza M, Grover y Agramont A, Afnan. 2010. ESTIMACION DE FACTORES DE EMISION DE GASES DE EFECTO INVERANDERO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. La paz : s.n., 2010.

Restrepo Correa, Gloria. 2009. Evaluacion y Monitereo del Sistema de lagunas de Estabilizacion del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia. Medellin : Universidad de Antioquia, 2009.