



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.
Vol 9. N° 27
Octubre 2016
www.eumed.net/rev/delos/27

EVALUACIÓN DEL USO DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS: EL CASO DE MALLASA

José Manuel Ramos Sánchez¹
Bolivia

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
Résumé	3
1. Introducción	3
2. Revisión de literatura	6
2.1 Marco institucional y legal	7
2.2 Principios básicos en la gestión de un relleno sanitario	7
2.3 Reacciones y cambios físicos, químicos y biológicos	9
2.4 Hundimientos y asentamientos diferenciales	9
2.5 Importancia de la cobertura	10
2.6 Procesos de conversión de la materia orgánica	10
3. Materiales y métodos	10
4. Desarrollo	11
4.1 Cierre del relleno sanitario	11
4.2 Infraestructura y Equipamiento	11
4.3 Controles posteriores al cierre del relleno sanitario	12
4.4 Mantenimiento de vías de acceso e infraestructura del relleno sanitario	12
4.5 Mantenimiento de la capa de cobertura cuando existen agrietamientos	12
4.6 Reforestación del las celdas antiguas y estabilizadas	12
4.7 Producción de líquidos y gases	14
4.8 Fallas en los rellenos sanitarios	14
4.9 Tratamiento de los Gases de Relleno	15
5. El caso del relleno sanitario de Mallasa	15
5.1 Caracterización de los residuos sólidos	16
5.2 Tratamiento de lixiviados mediante el método UASB	16
6. Conclusiones	20
7. Recomendaciones	21
8. Bibliografía	22

¹ M.Sc. en Desarrollo Rural con enfoque territorial por la Universidad de Córdoba (España), M.A. en Agroecología por la Universidad internacional de Andalucía. Doctor con mención Internacional en Recursos Naturales y en Gestión Sostenible por la Universidad de Córdoba. Ha realizado diversos intercambios y estancias a nivel de Master, Doctorado y Post-Doctorado en universidades norteamericanas, europeas, asiáticas y actualmente reside en La Paz, Bolivia, donde investiga sobre temas del Medio ambiente Andino y sus tecnologías agronómicas.

RESUMEN

Dentro de las alternativas viables para la disposición final de los residuos sólidos municipales, y conforme a las condiciones actuales de diversos países latinoamericanos se cuenta con el método de relleno sanitario, destinado a la ejecución de las diversas operaciones que se demandan para una segura disposición final de los residuos sólidos municipales. En este documento como estudio de caso se estudia un escenario sin la utilización del biogás, como elemento regulador de la temperatura del afluente y un escenario en el que se utiliza el biogás, obteniéndose resultados diferentes para el caso de la remoción microbiológica. Como conclusión se mostrará que la remoción no se vería afectada por el uso o no uso del biogás. Así mismo se tratará de encontrar información primaria y secundaria sobre el tema y a partir de ello mostrar un *compendium* de buenas y malas prácticas o ejemplos en el manejo de suelos y ambiente aéreo de un relleno sanitario tan relevante en Bolivia y en Iberoamérica, como es el de Mallasa y obtener conclusiones para su sucesor de Alpacoma.

Palabras claves: Biogas, relleno sanitario, contaminación del aire, Bolivia.

ABSTRACT

Within those viable alternatives for the disposal of municipal solid waste, and under the current conditions of various Latin American countries resources there is the method of landfill, for the implementation of the various operations that are demanded for safe disposal of municipal solid waste. This document presents a case study , offering one scenario without the use of biogas where it is studied as a regulator temperature tributary and a scenario in which the biogas is used to yield different results for the case of microbiological removal. In conclusion it shows that removing would not be affected by the use or non-use of biogas. Also we will try to find primary and secondary information on the subject and from this display a compendium of good and bad practices or examples in soil management and air environment of a landfill will be shown, as relevant in Bolivia and Latin America, as the Mallasa landfill is to draw conclusions for its Alpacoma successor.

Key words: Biogas, landfill, air pollution, Bolivia.

RÉSUMÉ

Dans les alternatives viables pour l'élimination des déchets solides municipaux, et dans les conditions actuelles de divers pays d'Amérique latine, il y a des solutions de rechange à la méthode de la mise en décharge, pour la mise en œuvre des différentes opérations qui sont exigées pour l'élimination sans danger des déchets solides municipaux. Ce document présente un cas de étude et un scénario sans l'utilisation du biogaz est étudié comme un affluent de la température du régulateur et un scénario dans lequel le biogaz est utilisé pour donner des résultats différents pour le cas de l'élimination microbiologique. En conclusion, il montre que l'élimination ne serait pas affectée par l'utilisation ou la non-utilisation du biogaz. Aussi, nous allons essayer de trouver des informations primaires et secondaires sur le sujet et cet écran un recueil de bonnes et de mauvaises pratiques ou des exemples dans la gestion des sols et de l'environnement de l'air d'une décharge aussi pertinente en Bolivie et en Amérique latine, tout comme la Mallasa et d'en tirer des conclusions pour son successeur de Alpacaoma.

Mots-clés: Biogas, décharge, pollution de l'air, Bolivie.

1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población urbana y de los servicios ligados a estos se ve seriamente afectada por el crecimiento urbano, y uno de ellos es sin duda el Servicio de Aseo Urbano, el cual esta integrado por la recolección, barrido, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales.

En este caso la disposición final de los residuos sólidos es la última etapa del Sistema de Aseo Urbano de cualquier ciudad y está íntimamente relacionada con la preservación del ambiente, así como con la salud de la población, por lo que se le debe tratar y controlar mediante un sistema adecuado que minimice los impactos negativos hacia el entorno ecológico.

No obstante, aunque prevalece la práctica del "tiradero o basurero a cielo abierto" en la mayoría de las ciudades de Bolivia. Tal práctica, que consiste en el depósito incontrolado de residuos sólidos directamente en el suelo, estimula la contaminación del aire, agua y suelo, así como genera problemas de salud pública y de marginación social.

Dentro de las alternativas viables para la disposición final de los residuos sólidos municipales, y conforme a las condiciones actuales del país y de otros en la región se cuenta con el método de relleno sanitario. El relleno sanitario es el método empleado para la correcta disposición de los residuos sólidos, por lo que como toda obra de ingeniería éste tiene que ser planeado y diseñado previamente para asegurar su correcta construcción y operación.

Por todo lo anterior se puede decir que el relleno sanitario constituye el componente de mayor relevancia dentro dichos sistemas en cualquier ciudad. Ahora bien, actualmente se plantea la necesidad de implantar sistemas alternativos como el reciclaje en origen o en su etapa final del ciclo que absorban los volúmenes crecientes de residuos, desplazando el uso del relleno sanitario por considerarlo arriesgado para el ambiente. Sin embargo, diversas experiencias en el mundo han demostrado que este sistema forma parte integrante de las soluciones alternativas planteadas, dado que existen residuos que no pueden ser reciclados y/o que no tienen un uso específico.

Ante este panorama surge la necesidad de cubrir un rubro de vital importancia para consolidar los esfuerzos aplicados a la implementación de los sistemas de relleno sanitario, tal como es la gestión de los productos contaminantes producidos y en la gestión del óptimo funcionamiento de los sistemas de relleno sanitario, así como del aprovechamiento máximo del espacio disponible, la minimización de los posibles efectos negativos hacia el ambiente y la salud de la población y la seguridad de los mismos operadores.

Como riesgos o efectos negativos de estos procesos de acumulación encontramos la transformación de la materia orgánica junto con las infiltraciones del agua de lluvia, que disuelven y arrastran a su paso elementos contaminantes, generando lixiviados con alto grado de contaminación. Otro agente contaminante puede ser la emisión de gases como el metano, producidos por la descomposición de la materia orgánica. Tanto el uno como el otro no pueden ser vertidos sin una previa adecuación, de manera que de tal tratamiento, el cual es una exigencia que debe estar enmarcada en la normativa y de estos esfuerzos y experiencias, adaptadas a Bolivia, se dará una exposición y análisis en este documento.

La operación del relleno sanitario en el caso del de Mallasa, situado en las inmediaciones de la ciudad de La Paz estuvo a cargo del operador privado CLIMA SRL, bajo la supervisión de SIREMU (Sistema de regulación y supervisión municipal del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz (GAMLP), con peculiares datos de generación y recolección de residuos y productos de la ciudad de La Paz (Clima SRL, 2002).

De acuerdo al estudio de caracterización de residuos realizado por Clima SRL el año 1996, la ciudad de La Paz generaba per cápita 0,543 kg/hab-día, siendo la densidad suelta de los residuos sólidos 262 kg/m³. Actualmente en el relleno sanitario de Mallasa se disponen en promedio, 430.54 toneladas métricas diarias de las cuales el 80 % corresponden a residuos sólidos domésticos y el 20% a residuos sólidos especiales que provienen de industrias, hospitales y otros. El 100% de los residuos sólidos recolectados por el servicio de recolección y transporte eran dispuestos en relleno, como tratamiento como ser recuperación, re-uso y reciclaje de los residuos sólidos. Posteriormente con la apertura del relleno sanitario de Alpacoma se procedió al cierre del de Mallasa en Julio de 2005 (Arratia, 2009).

En este contexto los Estudios de Evaluación de Impactos Ambientales, ex-ante, intermedias y ex-posts, se han convertido en uno de los principales requisitos dentro de los

proyectos de desarrollo, y los Rellenos Sanitarios de la ciudad de La Paz son obras que sin duda amerita este tipo de estudio, con el cual se facilitará la toma de decisiones futuras, permitiendo considerar alternativas viables. En el caso del de Mallasa se procederá a su estudio dado que actualmente su ciclo vital se encuentra en cierre, por lo que facilitará una evaluación final de este tipo de espacios.

Es por ésta razón que el diseño, construcción y operación del Relleno Sanitario de la Municipalidad de Mallasa, necesita un Estudio de la Evaluación de Impacto Ambiental por medio del cuál se pretenda comprender de manera integral las posibles interrelaciones de los sistemas biofísicos y factores sociales, sus posibles respuestas ante el proyecto con el objeto de optimizarlo mediante la prevención, mitigación o compensación de los efectos adversos, a fin de prevenir posibles daños.

Como antecedente en una investigación realizada sobre el Relleno Sanitario de Mallasa (Arratia, 2009) analizó la instalación un reactor anaerobio. Tomando este referente en el tratamiento anaeróbico de un relleno sanitario se expondrá como una alternativa para el tratamiento que puede materializarse a partir de la puesta en marcha de una columna de material acrílico de flujo ascendente, sin ningún tipo de material de soporte para retener la biomasa.

Adicionalmente se estudiará un escenario sin la utilización del biogás, como elemento regulador de la temperatura del afluente y un escenario en el que se utiliza el biogás, obteniéndose resultados diferentes para el caso de la remoción microbiológica. Como conclusión se mostrará que la remoción no se vería afectada por el uso o no uso del biogás.

Ante este panorama surgen varias cuestiones:

- Revisando los documentos, los resultados obtenidos del Estudio de la Evaluación de Impacto Ambiental del Relleno Sanitario permitieron deducir que hubo una construcción y operación del Relleno de forma sustentable?.
- Mediante el Estudio de la Evaluación de Impacto Ambiental ¿Se puede determinar de forma cualitativa y cuantitativa los impactos producidos al ecosistema por la construcción y operación del Relleno Sanitario?.
- ¿El Estudio de la Evaluación de Impacto Ambiental permite mitigar, corregir, compensar y prevenir los impactos negativos de la zona?.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la eficacia de de la disposición final de residuos sólidos municipales, a través de este método. Además de establecer lineamientos prácticos para lograr una eficiente operación de dichas instalaciones, a fin de minimizar los efectos negativos a la salud pública y al ambiente.

Se espera que los responsables de operar estos sistemas cuenten con las herramientas necesarias para la planeación, control y monitoreo de los rellenos sanitarios y brindar así una fuente de consulta que sirva de apoyo para la toma de decisiones durante la ejecución de las

diversas operaciones que se demandan para una segura disposición final de los residuos sólidos municipales.

Mediante este texto se tratará pues de encontrar información primaria y secundaria sobre el tema y a partir de ello mostrar un *compendium* de buenas y malas prácticas o ejemplos en el manejo de suelos y ambiente aéreo de un relleno sanitario tan relevante en Bolivia y en Iberoamérica, como es el de Mallasa y obtener conclusiones para su relleno sanitario sucesor de Alpacoma.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA, 2010) la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en 2010 era de 1.745.280 ton a nivel nacional (87% áreas urbanas y 13% rurales), con una Producción Per Cápita (PPC) domiciliaria que variaba entre 0,53 kg/hab/día (ciudades capitales metropolitanas) y 0,2 kg/hab/día (rural). El 34% de la población nacional era atendida por un servicio de aseo, con cobertura promedio de recolección en ciudades capitales del 86%. El 45% (785.376 ton) era dispuesta en rellenos sanitarios (3,1% de los municipios), el 18% (314.150 ton) en botaderos controlados (6,1% de los municipios) y el 37% (645.754 ton) en botaderos a cielo abierto (90,8% de los municipios, de los cuales el 30% está próximo a cuerpos de agua utilizados para consumo humano y riego).

Las demandas de servicio de gestión de residuos han superado la capacidad técnica y financiera de muchos municipios del país, generando deficiencias recurrentes e incluso derivando a veces en colapsos ambientales, especialmente en las ciudades capitales de departamento. En materia de sostenibilidad financiera, de los 327 municipios del país, sólo 54 (17%) cobraban los servicios a través de tasas de aseo, cubriendo los montos recaudados entre el 40% y el 60% de los costos operativos. La diferencia entre ingresos y costos operativos es generalmente subvencionada por el presupuesto municipal. En la mayoría de los casos, el servicio de recolección y transporte presenta problemas de baja calidad del servicio y falta de equipamiento (por ejemplo, contenedores) en cantidad y calidad suficiente. Respecto a disposición final, en ciudades como El Alto y Cochabamba, los sitios de disposición han superado su tiempo de vida útil o se encuentran en su última fase (uno a tres años de vida útil remanente).

A nivel nacional, se recuperaba el 4,6% de los RSU (3,7% reciclables y 0,9% orgánicos). Esto es realizado principalmente por segregadores, mediante esquemas de recolección puerta a puerta y centros de acopio. Sólo el 1,5% de los municipios cuenta con reglamentos para el aprovechamiento de RSU y sólo en 15 municipios (4,6%) se implementan proyectos de aprovechamiento de RSU (OPS/CEPIS, 2002).

2.1 Marco institucional y legal

La Constitución Política del Estado Plurinacional (2009) establece que los proyectos de tratamiento de RSU son competencia concurrente del nivel central y de las entidades territoriales autónomas. El aseo urbano, manejo y tratamiento de residuos sólidos son competencia exclusiva de los gobiernos autónomos municipales en el marco de su jurisdicción.

La Ley Marco de Autonomías y Descentralización “Andrés Bólvarez” (2010) asigna las siguientes competencias concurrentes: al nivel central, formular el régimen y las políticas para el tratamiento de residuos sólidos, industriales y tóxicos; a los Gobiernos Autónomos Departamentales (GAD), reglamentar y ejecutar en su jurisdicción el régimen y las políticas de residuos sólidos, industriales y tóxicos.

La prestación de los servicios es responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Municipales (GAM). En este caso existen dos modalidades de administración de los servicios de aseo: administración directa y administración descentralizada autónoma. La administración directa incluye diversas formas de gestión:

- directa, ejercida por los gobiernos municipales a través de una jefatura o unidad dependiente y aplica a municipios con poblaciones intermedias y menores. El servicio se realiza a través de la contratación de personal de limpieza con bajos salarios;
- y tercerizada, a través de la contratación de empresas privadas o microempresas unipersonales que prestan el servicio de recolección, transporte y disposición final.

La modalidad autónoma se realiza a través de una estructura organizacional especializada generalmente descentralizada y autónoma de la administración central municipal. Esta incluye tres formas de gestión:

- directa, cuando la propia Entidad Municipal de Aseo (EMAS) realiza los servicios;
- tercerizada a través de la contratación de empresas o microempresas privadas, generalmente para la atención de las zonas periurbanas de las ciudades;
- concesionada a empresas privadas.

2.2 Principios básicos en la gestión de un relleno sanitario

Se considera oportuno resaltar las siguientes prácticas básicas para la construcción, operación y mantenimiento de un relleno sanitario:

- Supervisión constante durante la construcción con la finalidad de mantener un alto nivel de calidad en la construcción de la infraestructura del relleno y en las operaciones de rutina diaria, todo esto mientras se descarga, recubre la basura y compacta la celda para conservar el relleno en óptimas condiciones.
- Desviación de las aguas de escorrentía para evitar en lo posible su ingreso al relleno sanitario.

- Considerar la altura de la celda diaria para disminuir los problemas de hundimientos y lograr mayor estabilidad.
- El cubrimiento diario con una capa de 0,10 a 0,20 metros de tierra o material similar.
- La compactación de los RSM con capas de 0,20 a 0,30 metros de espesor y finalmente cuando se cubre con tierra toda la celda. De este factor depende en buena parte el éxito del trabajo diario, pues con él se puede alcanzar, a largo plazo, una mayor densidad y vida útil del sitio.
- Lograr una mayor densidad (peso específico), pues resulta mucho más conveniente.
- Control y drenaje de percolados y gases para mantener las mejores condiciones de operación.
- El cubrimiento final de unos 0,40 a 0,60 metros de espesor se efectúa con la misma metodología que para la cobertura diaria; además, debe realizarse de forma tal que pueda generar en una mejor integración con el paisaje.

Según la Guía Ambiental Para Rellenos Sanitarios (2010) se concretan las interrelaciones entre el proyecto y el medio ambiente por medio de una matriz de calificación de impactos, para lo cual, se establecen los criterios que determinan el tipo y grado de severidad del impacto ambiental en términos cualitativos.

El botadero de basura es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades.

La segregación de subproductos de la basura promueve la proliferación de negocios relacionados con la reventa de materiales y el comercio ilegal. Ello ocasiona la depreciación de las áreas y construcciones colindantes; asimismo, genera suciedad, incremento de contaminantes atmosféricos y falta de seguridad por el tipo de personas que concurren a estos sitios.

En la actualidad, el hecho de que los municipios abandonen sus basuras en botaderos a cielo abierto es considerado una práctica irresponsable para con las generaciones presentes y futuras, así como opuesta al desarrollo sostenible. En cambio el relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública cuando es bien gestionada; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni normalmente después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Como ha quedado señalado en la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control (Caicedo, 2006).

En cuanto al relleno sanitario mecanizado es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc.

Como rellenos sanitarios más usuales encontramos los siguientes:

- *Relleno sanitario semimecanizado.* Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de RSU en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación.
- *Relleno sanitario manual.* Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen –menos de 15 t/día–, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término *manual* se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutada con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

2.3 Reacciones y cambios físicos, químicos y biológicos

Los residuos depositados en un relleno sanitario presentan una serie de cambios físicos, químicos y biológicos de manera simultánea e interrelacionada. Estos cambios se describen a continuación a fin de dar una idea de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados.

2.4 Hundimientos y asentamientos diferenciales

En el relleno sanitario se suelen producir hundimientos (asentamientos uniformes o fallas) que son el problema más obvio y fácil de controlar con una buena compactación; además, asentamientos diferenciales en la superficie, que con el tiempo originan depresiones y grietas de diversos tamaños, lo que causa encharcamientos de agua y un incremento de lixiviados y gases. Estos problemas dependen de la configuración y altura del relleno, del tipo de desechos enterrados, del grado de compactación y de la precipitación pluvial en la zona.

2.5 Importancia de la cobertura

El cubrimiento diario de los residuos y la cobertura final del relleno sanitario con tierra es de vital importancia para el éxito de esta obra. Ello debe cumplir las siguientes funciones:

- Minimizar la presencia y proliferación de moscas, de otros insectos y aves.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humos y malos olores.
- Disminuir la entrada de agua de lluvia a la basura y la salida de lixiviados.
- Orientar los gases hacia los drenajes para evacuarlos del relleno sanitario.
- Darle al relleno sanitario una apariencia estética aceptable.
- Servir como base para las vías de acceso internas.
- Permitir el crecimiento de vegetación.

2.6 Procesos de conversión de la materia orgánica.

Todos estos procesos pueden ser agrupados en cuatro fases, que se producen simultáneamente durante la degradación anaerobia del material orgánico, que son: *hidrólisis*, *acidogénesis*, *acetogénesis* y *metanogénesis*.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevará a cabo partiendo de:

- Los materiales entregados por el Siremu y otros organismos mediomambientales dependientes del Ministerio de Medio Rural y Tierras. En particular se estudiará el Manifiesto ambiental y su Plan de cierre.
- Tras su tratamiento y de acuerdo a permisos municipales se procedió a realizar una visita de campo autorizada por el SIREMU para la observación de las instalaciones y los procesos de producción del Relleno sanitario de Mallasa, dependiendo de la fecha concedida por el mismo SIREMU.
- Anteriormente y durante el proceso de estudio en campo ordenado en esta propedeútica se procede a un estudio exhaustivo de las fuentes secundarias y la información relevante sobre la materia en base a todas estas informaciones. El contenido de este estudio sirve de base para esta tesis y se corresponde con el contenido de este artículo.
- Finalmente se procedió a realizar un análisis comparativo para exponer resultados, conclusiones y recomendaciones válidas y replicables en Bolivia, como aquel de Alpcoma y de otros países donde se deseen implementar estos sistemas de gestión de RSU.

4. DESARROLLO

Con un plan de operación, es lógico pensar que es posible hacer más eficiente el manejo diario del relleno sanitario y establecer con claridad el orden adecuado en la construcción de las celdas, sean estas trincheras o plataformas para el método de área. El objetivo será utilizar la mayor cantidad de área del sitio seleccionado para la disposición de residuos sólido y compactarlos en el menor espacio posibles, minimizar recorridos de acarreo de material de cobertura, y construir infraestructuras adecuadas para la vida útil del relleno sanitario.

En este caso se deben registrar los residuos sólidos que entran en el relleno sanitario, y esto es para cuantificar la cantidad de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario. Esto se puede hacer a través de la balanza llevando un control en (Tn/día) o mediante la capacidad de los vehículos que se utilizan para la recolección de los residuos (m³/día).

Se pueden aplicar diferentes estilos de descarga y de colocación de los desechos sólidos. Depende mucho si se trata de un relleno sanitario manual o un relleno con compactación mecanizada. Los trabajos para obtener un relleno seguro y una prolongada vida útil siguen una metodología.

4.1 Cierre del relleno sanitario

Se diseña el cierre del relleno sanitario para cuando finalice su vida útil, tomando en cuenta su conformación final, estabilidad de taludes, mantenimiento, monitoreo y control de contaminantes, así como su uso final. El diseño de cierre del relleno sanitario, deberá incluir el aprovechamiento que se le dará al sitio, una vez concluida su vida útil, el cual estará acorde con el uso permitido, prohibiéndose instalar edificaciones en general.

4.2 Infraestructura y Equipamiento.

Cuando se cierra un relleno sanitario, no hay necesidad de la mayoría del equipamiento y de la infraestructura. La balanza se puede sacar y trasladar al nuevo relleno o a otro lugar donde se la necesita; lo mismo los vehículos. Si el relleno dispone de luz y agua potable, esto se puede cancelar (salvo en el caso que exista otra infraestructura como, por ejemplo, una planta de lombricultura, que lo necesitaría).

La planta de tratamiento de las aguas lixiviadas y las chimeneas de evacuación de gas, además los dispositivos de incineración del gas de relleno (si hay) se necesitarán durante algunos años más. Se recomienda guardar una bodega con las herramientas que se necesitan para el mantenimiento de la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas (Hilbert, 2009):

Los sistemas de control y monitoreo de biogás, lixiviados y contaminación de aguas superficiales y subterráneas requieren de una atención continua, lo mismo que el sistema de

drenaje pluvial y el control de la erosión, el período de post-clausura podría comprender un tiempo de 20 a 30 años.

4.3 Controles posteriores al cierre del relleno sanitario.

Se debe realizar los siguientes controles después del cierre del relleno sanitario:

- Estabilidad de taludes: La configuración de los taludes definitivos del relleno, deberá definirse de acuerdo a los lineamientos, que marque un análisis de estabilidad de taludes, realizado previamente
- Levantamiento topográfico del terreno.
- Asentamientos y derrumbes (Control visual, una vez por año).
- Fugas del gas de relleno fuera del área (en rellenos grandes y en rellenos medianos cercanos de áreas pobladas, eso se debe controlar entre 2 y 4 veces por año durante los 5 primeros años después del cierre del relleno).
- Estado de la reforestación sobre el cuerpo del relleno, en los taludes y alrededor.

El estado de las plantas es un buen indicador de si hay fugas de gas. Como el metano tiene un impacto asfixiante sobre muchas plantas, tanto en la atmósfera como en el suelo, un sitio con considerable menor densidad de vegetación indica una fuga de gas.

4.4 Mantenimiento de vías de acceso e infraestructura del relleno sanitario.

Posterior al cierre del relleno sanitario se debe realizar el mantenimiento de las vías principales, de forma de poder acceder a las celdas y verificar que no existan agrietamientos, así mismo poder acceder a la infraestructura que funcionara durante muchos años (aproximadamente 20 años) posteriores al cierre, como canales pluviales, drenes de captación y conducción de lixiviados, planta de tratamiento de lixiviados, y chimeneas en las plataformas de residuos sólidos. Este mantenimiento deberá ser mínimamente 1 vez al año, en preferencia antes de las épocas de lluvia, para mitigar cualquier contingencia en el relleno sanitario ya cerrado.

4.5 Mantenimiento de la capa de cobertura cuando existen agrietamientos.

Se deberá elaborar un programa de mantenimiento de post-cierre del relleno sanitario para todas las instalaciones del relleno sanitario. También se debe elaborar un programa de mantenimiento de la cubierta final, para reparar hundimientos provocados por la degradación de los residuos, así como los daños por erosión de escurrimientos pluviales y eólica.

4.6 Reforestación del las celdas antiguas y estabilizadas.

La arborización de un relleno sanitario es un tema muy importante. Se debe comenzar con este trabajo durante la construcción del relleno y continuar durante todo el periodo operativo.

Después del cierre final, se deben sembrar plantas de la región adecuadas sobre todas las celdas cerradas o sobre la colina artificial entera. La arborización del relleno sanitario ayuda considerablemente a minimizar daños ambientales; además, contribuye a estabilizar los taludes y disminuye la cantidad de las emisiones. El eucalipto, el cedro o el pino pueden también ser utilizados para producir los palos y estacas necesarios en la construcción de chimeneas.

El cerco vivo es muy importante, ya que en muchos sitios no existe una barrera natural. Se recomienda plantar un cerco vivo de 30 –50 m de ancho, usando arbustos en los bordes y árboles más altos en el centro. Con el cerco vivo, se puede desviar los vientos y se reduce considerablemente la molestia causada por malos olores. Ciertos materiales usados comúnmente en el hogar y que son depositados en los rellenos sanitarios, pueden contener químicos peligrosos. A continuación se resumen algunos:

- Detergentes para lavar ropa, quitamanchas y otros productos conteniendo solventes pueden poseer: tricloroetileno, benceno, tolueno y cloruro de metileno.
- La naftalina contiene diclorobenceno.
- El esmalte para uñas puede contener: xileno, dibutilftalato y tolueno.
- Los plásticos usados normalmente pueden contener: cloruro de vinilo, polietileno, formaldehído y tolueno.

También pueden encontrarse metales pesados en los desechos urbanos:

- Los productos electrónicos como TV y radios, el vidrio, las cerámicas, los plásticos, los materiales de bronce y los aceites usados pueden contener **plomo**.
- Las baterías de níquel-cadmio, los plásticos, los productos electrónicos, el lavavajillas, el lavaropas, los pigmentos, el vidrio, las cerámicas, los aceites usados y el caucho contienen **cadmio**.
- Las baterías, las lámparas fluorescentes, los restos de pinturas, los termómetros, los pigmentos de tintas y los plásticos pueden contener **mercurio**.

Los límites de los factores contaminantes se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Límites de los factores contaminantes:

Factor a Monitorear	Frecuencia	Parámetros a Monitorear	Límites Permisibles
Lixiviados	Semestral	pH	No se cuenta límites permisibles de acuerdo a norma vigente
		DQO, DBO	
		OD: Oxígeno Disuelto	
		Metales Pesados	
		Conductividad Eléctrica	
		Amoniaco	
		Nitratos	
		Nitritos	

Factor a Monitorear	Frecuencia	Parámetros a Monitorear	Límites Permisibles
Gases	Bimensual	Composición de Biogás: CH ₄ , O ₂ , N ₂	No se cuenta límites permisibles de acuerdo a norma vigente
Contaminación aguas superficiales	Semestral	pH	Límites del RMCH
		DQO, DBO	
		OD: Oxígeno Disuelto	
		Metales Pesados	
		Conductividad Eléctrica	
		Amoniaco	
		Nitratos	
		Nitritos	
Contaminación aguas subterráneas	Semestral	pH	Límites del RMCH
		DQO, DBO	
		OD: Oxígeno Disuelto	
		Metales Pesados	
		Conductividad Eléctrica	
		Amoniaco	
		Nitratos	
		Nitritos	

Fuente: Arratia, O. (2009).

4.7 Producción de líquidos y gases

Al depositarse los residuos en los rellenos, éstos comienzan a descomponerse mediante una serie de procesos químicos complejos. Los productos principales de la descomposición son los **líquidos lixiviados** y los **gases**.

4.8 Fallas en los rellenos sanitarios

El fin del recubrimiento inferior de un relleno sanitario es evitar todo contacto entre los residuos y el suelo y las capas freáticas. Sin embargo, tanto la capa arcillosa como el recubrimiento plástico pueden romperse. La arcilla es vulnerable a los químicos que están presentes en la basura, como el benceno, ya que por difusión puede atravesar una capa arcillosa de 91,4 cm en aproximadamente 5 años. (Environmental Research Foundation, 1989) La membrana plástica también es vulnerable a sustancias químicas que puedan encontrarse en los residuos urbanos. Por ejemplo, la naftalina degrada el polietileno de alta densidad (PEAD) y otras sustancias no tan nocivas como la margarina, el vinagre o el lustre para zapatos pueden debilitarlo y finalmente romperlo (Environmental Research Foundation, 1989).

El sistema de recolección de lixiviados también presenta sus problemas. Se ha visto que puede fallar por taparse con barro o fango, por el desarrollo de microorganismos en las cañerías, por reacciones químicas que generan la precipitación de minerales en los caños o simplemente que los caños ya debilitados por acción de los químicos pueden romperse por la presión de toneladas de basura sobre ellos. (Environmental Research Foundation, 1989). También puede

generarse contaminación a través de la cubierta protectora, la cual puede ser atacada por la erosión, raíces de árboles, actuación de animales y rayos ultravioletas.

Por último, debido a la acumulación de metano, que forma una mezcla explosiva con el oxígeno presente, suelen ocurrir incendios accidentales en los rellenos sanitarios. Al entrar en combustión las sustancias depositadas se pueden liberar compuestos químicos como dioxinas, metales pesados, óxidos de nitrógeno, material particulado y numerosos compuestos orgánicos volátiles. A propósito de esto, la USEPA identificó a los incendios a cielo abierto en los rellenos sanitarios como una de las 5 principales fuentes de dioxinas en los Estados Unidos. (Luscombe y Costner, 2001).

4.9 Tratamiento de los Gases de Relleno

Recientemente, y por la capacidad del metano de incidir en el efecto invernadero, se está promoviendo la quema de los gases emitidos por los rellenos tal y como ocurre en el caso del relleno sanitario de Mallasas. Como se mencionó más arriba, el gas emitido por los rellenos sanitarios contiene metano, dióxido de carbono, compuestos orgánicos no metánicos y sustancias tóxicas como el mercurio. Vale la pena destacar que aunque se quemen los gases generados en los rellenos sanitarios, este proceso no evita la emisión de sustancias tóxicas a través de las chimeneas, aunque la transformación de metano en dióxido de carbono puede ser visto como un mal menor por la capacidad menor en términos de contaminación del segundo gas (Mejía Mendoza, 1999).

5. EL CASO DEL RELLENO SANITARIO DE MALLASA

Hasta su cierre el 100% de los residuos sólidos recolectados por el servicio de recolección y transporte fueron dispuestos en relleno sanitario, debido a que hasta 2005 no se contaba con ningún tipo de tratamiento intermedio como ser recuperación, reuso y reciclaje de los residuos sólidos. Los datos promedio eran los siguientes:

Tabla 2. Generación per cápita de la ciudad de La Paz

EMPRESA OPERADORA PER CÁPITA	kg/hab-día
CLIMA SRL.	0,569
Microempresas	0,459
Promedio ponderado	0,543

Fuente: Arratia, O. (2009).

La operación del relleno sanitario estaba a cargo del operador privado CLIMA SRL, bajo la supervisión de SIREMU, con los siguientes datos de generación y recolección:

Tabla 3. Generación y recolección de la ciudad de La Paz

Población	790.353 hab
Generación per cápita	0,543 kg/hab-día
Cobertura actual	429,2 kg/día
Cobertura domiciliaria	89,6 %
Generación total	515,0 kg/día

Fuente: Arratia, O. (2009).

5.1 Caracterización de los residuos sólidos.

En las Tabla 4 se presenta la composición física y otros datos de los residuos sólidos de La Paz:

Tabla 4. Composición física de los residuos sólidos

Componente Subproductos	(%)
Materia orgánica Residuos alimenticios, de jardinería, hueso, cuero, heces fecales y madera	66,19
Papel y cartón Cartón, papel impreso, blanco, de color, envoltorios, envases	5,60
Vidrio Vidrio ámbar, verde, transparente y plano	3,14
Metal Metales ferrosos, no ferrosos y latas	1,24
Plásticos Plástico rígido, tipo de película y otros	3,67
Residuos tóxicos Pañales desechables, toallas higiénicas, latas de pintura, medicinas caducas, baterías, pilas y productos químicos.	8,22
Otros Algodón, fibras sintéticas, textiles, áridos, loza, cerámica, escombros, goma y residuo	11,94
Menudo difícil de clasificar.	
TOTAL	100,00

5.2 Tratamiento de lixiviados mediante el método UASB

En cuanto a la gestión de lixiviados exponemos a continuación el método de UASB², Este consta de diversas partes y parte de la gestión de lodos producidos por los RSU. Mediante este en la parte inferior del reactor de acumulación se forma un estrato de lodo biológico, denominado manto de lodo, con características superiores de decantación y actividad biológica, favorecida por las condiciones físicas y químicas impuestas al sistema. Este lodo posee gran concentración de microorganismos activos, que degradan la materia orgánica con elevada eficiencia, a tiempos de detención hidráulica. El sistema no necesita de agitación mecánica y de aireación, exigidos habitualmente.

² La abreviación U. A. S. B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanquet o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica (Caicedo, 2006).

Este manto de lodo se mantiene estable y es capaz de resistir fuerzas de agitación relativamente altas, haciendo que el lodo permanezca en el reactor. El residuo pasa primero por este manto de lodo formado, donde la materia orgánica sufre un proceso de degradación, dando origen a la producción de biogás (mezcla de gases CH₄, CO₂, H₂S y otros), lodo mineralizado y nuevas bacterias. El efluente tratado, más los sólidos, que conforman una porción de lodo pasan al decantador localizado en la parte superior del reactor. Los sólidos decantan y retornan por gravedad al lecho del digestor mientras que los líquidos y gases son dirigidos a compartimientos distintos (Morales, 2007).

El biogás producido se dirige al compartimiento de salida de gases y su posterior aprovechamiento; entre tanto el exceso de lodo que se acumula en el fondo del reactor es retirado periódicamente. En un sistema ideal el sistema piloto sería constituido por dos tanques de plástico con capacidad de 200 lt; el primero se utiliza como colector del lixiviado del estanque de lixiviado donde se recepciona y almacena el lixiviado para su tratamiento, operado con llaves de paso a la entrada y a la salida, y el segundo tanque que se utiliza como receptor del efluente tratado que se descarga a éste, mediante tuberías de ¾" de derivación. La ubicación del reactor UASB de acrílico y su armazón se instalarían próximos a los estanques cuya edad no sobrepasaría los 10 años.

Complementario a la instalación de la columna del reactor se debe prever el sistema de transporte de lixiviado a través de tuberías de PVC, politubo, accesorios y grifería de PVC, teniendo la precaución de realizar un adecuado trabajo de plomería.

El reactor debe contar con un conducto inferior para el ingreso del afluente y un sistema de distribución del mismo, tener seis salidas intermedias como puntos de muestreo, tomados desde la base, además del conducto para la evacuación del efluente tratado en la parte superior a 190 cm de la base (Ramallo Rocha, 2002).

Posteriormente se realizaría el recubrimiento interior del recinto construido con estuco y bolsas plásticas negras, con el fin de mantener la temperatura ambiente del depósito y del lixiviado que se encontrará dentro del reactor. Además se deben instalar grifos de salida para la toma de muestras.

En su camino ascensional, el líquido pasaría por un disco perforado con orificios de 5 mm de diámetro que es colocado con la finalidad de soportar el material granular más grande, y contribuiría a mejorar la distribución del líquido ascendente.

La unidad de separación de gases estaría construida de material acrílico de que sería proyectada con la finalidad de presentar características adecuadas para la separación de sólidos y gases de la fase líquida. Para obtener la forma indicada del sedimentador - dispositivo GSS; se tiene que hacer un molde y un contramolde de madera y plástico.

Adoptando el criterio de un volumen de sedimentación de 20% del volumen útil del reactor UASB (correspondiente a 0,0021 m³), el separador GSL sería instalado a 0,125 m por debajo del nivel de agua, considerando un valor máximo (caso crítico) en la abertura entre la pared interior del

reactor y el separador. El separador GSL se construiría de acrílico, conectando una tubería PVC sanitaria de $\frac{3}{4}$ " para la salida del gas producido en la digestión anaerobia (Villacrés Pérez, 2011).

Encima del extremo superior del difusor, sería colocado un embudo invertido, con base de diámetro igual a 14 cm, dispuesto axialmente y fijado en la tapa superior de la unidad, permitiendo una abertura lateral de 2 cm.

Esta configuración permitiría la separación del flujo de gases sólidos y líquidos, cuando estaban presentes en fases bien definidas, promoviendo velocidades de flujo, en esa unidad, de cerca de 1 m/h. Este dispositivo dividiría al reactor en una parte inferior o *zona de digestión*, donde un lecho o manto de lodo es el responsable para la digestión anaerobia, y la parte superior o *zona de sedimentación*. Sus funciones principales serían:

- Recolectar el biogas que se genera en la zona de digestión.
- Permitir la sedimentación de sólidos en suspensión en la parte superior del reactor, encima del separador.
- Ayudar a mantener una baja concentración de sólidos sedimentables en el efluente.

El lixiviado sería introducido lo más uniformemente posible por el fondo del reactor, donde se encuentra con el manto de lodo que es un manto flotante de bacterias aglomeradas. El biogas producido en el manto de lodo asciende y sale de este entonces hasta alcanzar la campana de recolección en la parte superior del reactor. El lixiviado iría ascendiendo lentamente a través del reactor (con velocidades del orden de 0,20 m/h) y pasaría lateralmente entre la campana y el reactor en la zona de sedimentación, hasta alcanzar el dispositivo de salida para el efluente.

El siguiente tratamiento que recibiría el lodo sería el *drenado*, el cual tendría como objeto dejar al lodo sin agua (no seco) para facilitar la medición de su volumen. El drenado del lodo se realizaría dejando reposar el lodo durante 48 horas y retirando cuidadosamente el sobrante. El lodo pasaría por una primera etapa de limpieza mediante rastrillado para separar los residuos gruesos.

El *arranque del reactor UASB* es la etapa final del periodo de puesta en marcha y donde el reactor empieza a tratar en forma continua el sustrato hasta alcanzar una carga orgánica máxima. El arranque del reactor UASB se iniciaría inmediatamente después de la etapa de aclimatación del lodo. Esta etapa se llevaría a cabo durante 40 días, tiempo después del cual se alcanzaría la máxima carga orgánica admisible por el sistema.

En la utilización del biogás como alternativa que proporcione energía al sistema, a través del calentamiento del afluente o atemperamiento del recinto se establece que las remociones se reducen, principalmente ya que a mayor temperatura se calienta el ambiente del recinto donde se encuentra el reactor UASB.

Una vez concluida la presente investigación, se determina que la estructura completa de la PTL, con sus dimensiones y materiales debería contar con:

- a) Estructura de ingreso con un desarenador; rejilla y pozo de bombeo.

- b) Bypass.
- c) Digestor UASB1: construido en hormigón, tiene una profundidad de 4,5 m, un volumen de 36 m³, con un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente 12 horas, a una temperatura interior promedio de 20°C.
- d) Biofiltro: tanque de hormigón armado con una base útil de 2x3 m; y una altura de 3,1 m desde la tina donde se recoge el lixiviado, hasta el borde del medio filtrante.
- e) Pozo de bombeo hacia clarificador.
- f) Tanque de clarificación con su pozo de bombeo para succión de lodos: tanque circular construido en hormigón, con un diámetro de 5.5 m y una profundidad de 4.00 m.
- g) Unidad de mezcla de floculante: tanque metálico de 1000 litros de capacidad.
- h) Unidad de cloración: tanque de hormigón armado de 1,8 m de largo 0,90 m de altura.
- i) Lecho de secado de lodos: estructura a base de ladrillo y un fondo de tubería de drenaje cubierto con geotextil para la recolección del lixiviado que contiene los lodos.
- j) Sistema de bombeo para recirculación.
- k) Quemador de biogás.

Aunque exista formación de lodos en el tanque clarificador, no se consigue mayor clarificación del lixiviado con sulfato de aluminio, por lo que es necesario seguir probando otras alternativas, como por ejemplo la utilización de un polímero, ya que al realizar pruebas manuales en la PTL con Policloruro de aluminio se observa que a partir de 35 ml/lit de lixiviado se consigue buenos resultados de clarificación pero el problema en su uso está obstaculizado por sus altos costos.

En lo que respecta a la temperatura del lixiviado en el UASB en relación con la producción de biogás, mediante un análisis de regresión lineal se obtiene que la variable temperatura influye en un 75% sobre la producción de biogás³.

Con el cumplimiento de los objetivos se concluye que de este modo se logra satisfactoriamente la puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario y entre otros, para los parámetros más importantes por lo que existe una importante disminución de la carga contaminante del lixiviado. Otros parámetros que presentan diferencia significativa en su disminución son el Aluminio, Cadmio y Plomo. En porcentajes, se alcanzan

³ En el ensayo de Arratia (2009) el lixiviado fue transportado desde el estanque de lixiviados N° 2 que se encuentra en la zona 1 del Relleno Sanitario de Mallasa; este estanque estuvo cubierto con una carpa durante un periodo de 30 días. Las temperaturas del recinto donde se instaló el reactor UASB fueron: máxima de 25.8 °C y la mínima de 6.0 °C y del reactor UASB fueron: la máxima de 24.0 °C y la mínima de 6.8 °C, favorables para el arranque y desarrollo del proceso. En un periodo posterior se retiró la carpa. Las temperaturas del recinto donde se encontraba el reactor UASB fueron: temperatura máxima de 25.4 °C y la mínima de 9.0 °C y del reactor UASB la temperatura máxima de 22.8 °C y la mínima de 9.6 °C. Se evaluaron las variaciones de temperatura en correspondencia con la variación de los parámetros físico-químicos, sólidos, DBO, DQO, conductividad, pH, Nitrógeno total, zinc, hierro, manganeso, alcalinidad y análisis bacteriológicos. La eficiencia remocional microbiológica para coliformes fecales, coliformes termotolerantes y las aerobias mesófilas fueron de 88.75 %, 84 % y 76 % correspondientemente, en el escenario del uso de biogás. Se estableció que a mayores valores de DBO y DQO del lixiviado (14.000 mg/l y 51.000 mg/l), las eficiencias remocionales de estos parámetros fueron del orden de 90.14 % y 63.57 % respectivamente.

valores de disminución de la carga contaminante superiores al 80% en parámetros como plomo y cadmio.

Como vimos es necesario considerar si la concentración de metano es relevante, esto usualmente se espera en rellenos bien operados, con profundidades medias superiores a los 4 m. El biogas presenta un olor característico y muy desagradable, a causa de la presencia del ácido sulfhídrico y a otros gases orgánicos que se encuentran en trazas, el resto de los gases componentes son inodoros. Se deberá mantener un estricto control del sistema de drenajes de biogas, de acuerdo al siguiente Plan:

- a) Revisión de los drenajes de biogas verificando su correcto funcionamiento.
- b) Sello correcto de los puntos de drenaje verticales o chimeneas.
- c) Quema del biogas cuando la concentración de metano en la mezcla lo permita, bajo condiciones de extrema seguridad.

En este caso la aplicación de la tecnología de tratamiento anaerobio para la degradación biológica de lixiviados, es una alternativa viable; sin embargo, es necesario ajustar dos variables en la composición de los mismos: el pH, el cual debe mantenerse en valores cercanos a 5.75 y el fósforo (P), el cual debe complementarse para garantizar los requerimientos nutricionales de los microorganismos anaerobios. El arranque de reactores anaerobios está influenciado por diversos factores como son: la composición química del agua residual, la calidad del inóculo que incluye la actividad específica, IVL (Índice Volumétrico de Lodo), granulación, contenido de SSV (Sólidos suspendidos Volátiles) etc., así como de factores como son el pH, la temperatura, los nutrientes (N, P, Co, Ni, Fe) entre otros. Los parámetros de operación, como el tiempo de retención hidráulica y el diseño del reactor juegan también un papel muy importante en el arranque y estabilización del proceso (Fajardo, 1997).

6. CONCLUSIONES

Este sistema se encuentra influenciado por diversos factores como son: la composición química del agua residual, la calidad del inóculo que incluye la actividad específica, IVL (Índice Volumétrico de Lodo), granulación, contenido de SSV (Sólidos suspendidos Volátiles) etc., así como de factores como son el pH, la temperatura, los nutrientes (N, P, Co, Ni, Fe), entre otros.

En el estudio de (Arratia, 2009) se encontró que el volumen y dimensionamiento del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB) fue diseñado de manera que permitiera operar con ritmos de 9 horas, lo que hace posible producir un caudal de 0.003 m³/h. El lodo utilizado presentaba características para una apropiada inoculación, seleccionado en función a la actividad metanogénica existente en el lodo semilla y se inocularon 10 litros de lodo. Una vez

que el reactor estuvo en funcionamiento el proceso de tratamiento se llevó a cabo a diferentes temperaturas tanto del recinto que lo contenía como del reactor mismo.

Como hemos visto la transformación de la materia orgánica junto con las infiltraciones del agua de lluvia, que disuelven y arrastran a su paso elementos contaminantes, generan lixiviados con alto grado de contaminación. La solución más adecuada es un tratamiento integral de los lixiviados, preferentemente en las instalaciones del relleno sanitario, reduciendo la carga contaminante a mínimos legales.

7. RECOMENDACIONES

En cuanto al lixiviado cubierto con una carpa durante un periodo de 30 días la literatura especializada señala que la temperatura mínima para llevar adelante un proceso anaeróbico de alto rendimiento es de 10 °C; sin embargo a la temperatura mínima de 6.8 °C se pudo evidenciar eficiencia remocional en el proceso.

Es necesario disponer de un recinto aislado que permita mantener las temperaturas en lo posible en rangos de 10°C a 30°C. De esta manera se lograrán mayores eficiencias. No se lograría obtener un lodo granulado en un periodo de corto de duración de esta etapa de arranque y puesta en marcha del reactor UASB. Normalmente se requiere un período de 6-8 meses, para que aparezca lodo granulado. Sin embargo, se observa buena eficiencia del reactor, aún sin la presencia del lodo granulado.

En la utilización del biogás como alternativa que proporcione energía al sistema, a través del calentamiento del afluente o atemperamiento del recinto se establece que las remociones de residuos se reducen, y principalmente que aquellos que tiene mayor temperatura se incrementan, siendo la opción más viable que se caliente el ambiente del recinto donde se encuentra el reactor UASB.

En cuanto al tema de los rellenos sanitarios es importante considerar que la existencia de estos puede incentivar el uso irracional e ilimitado de materias primas, que luego son descartadas. No solo se están desperdiciando las materias primas, que luego se deberán volver a extraer para la fabricación de más productos, sino que además se desperdician otros recursos necesarios para la producción, como son el agua y la energía. Otra cuestión a considerar es que un relleno sanitario puede tener un período de utilización definido, y aunque en algunos países la empresa encargada debe hacerse cargo de su mantenimiento por un periodo semejante o mayor luego de clausurado, la realidad es que los rellenos sanitarios tienen la potencialidad de generar efectos adversos en la población circundante por un tiempo más prolongado.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Arratia, O. (2009): "Proceso anaerobio aplicado al tratamiento de lixiviados (relleno sanitario de Mallasa)", Bolivia. Disponible on-line en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/arratia.pdf>
- Caicedo, F. (2006): "Diseño, Construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados", Universidad Nacional de Colombia sede Manizales especialización en ingeniería ambiental. área sanitaria, Colombia. Disponible on-line en:
<http://digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/427/1/franciscojaviercaicedomessa.pdf>
- Clima SRL (2002): Manifiesto Ambiental. Empresa Consultora INPROTEC SRL.
- Environmental Research Foundation (1989) , 18 de abril de 1989, "Clay Landfills Liners Leak in Ways That Surprise Landfill Designers"; Semanario N° 125 de "Rachel's
- Fajardo, M., (1997): "Producción de inóculos para Reactores Anaerobios", Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México D.F – México.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unam7/arranque.pdf>
- Jaramillo, J. (2002): Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. *Colombia: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (ops/cepis).*
- Hilbert, J. (2009): "Manual para la producción de Biogás", Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A.– Castelar.
- Luscombe y Costner (2001), "Zero Toxics, Sources of by-product POPs and their Elimination"; Disponible en: www.greenpeace.org/~toxics/reports/dioxinsources.pdf (18/06/2004).
- Ministerio de Medio ambiente y aguas (2010): Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos .
- Mejía Mendoza J. H. (1999): Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales. *Proyecto de grado UMSS Cochabamba – Bolivia.*
- Ministerio de Desarrollo Sostenible (2000): Ley y reglamento del medio Ambiente N° 1333.
- Mielke G. (2004): Educación Ambiental Integral. 1ª Ed. Sucre, Bolivia: Editorial Instituto Boliviano Alemán; 1997. P. 16
- Morales, C. J. (2007): Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios. *Trabajo de Grado, Especialización en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*
- OPS/CEPIS (2002): Evaluación de las condiciones ambientales y sanitarias del relleno sanitario de Mallasa, en La Paz, Bolivia. Informe técnico N° 597.