



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**“MATERIAL SINTÉTICO DE COBERTURA PARA RSU EN RELLENO  
SANITARIO”**

**PROYECTO TERMINAL IN EXTENSO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA: INGENIERÍA  
SANITARIA**

**PRESENTA**

**ING. JUAN CARLOS HERNÁNDEZ PARRODI**

**TUTOR: DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ**

**MÉXICO D.F., AGOSTO 2011.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **CONTENIDO**

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
Residuos Sólidos Urbanos (RSU) .....	3
Residuos de Manejo Especial (RME).....	3
Residuos Peligrosos (RP).....	3
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
General .....	5
Específicos.....	5
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
Marco Legal aplicable .....	6
Etapas del manejo de los RSU .....	8
Definiciones .....	9
<b>PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>12</b>
Desarrollo .....	12
Diagrama de Flujo .....	20
Recomendaciones .....	21
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
<b>ANÁLISIS .....</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>3</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>4</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Los residuos son aquellos materiales cuyo poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso contenidos en recipientes y que pueden ser susceptibles de recibir tratamiento o disposición final, conforme a lo establecido por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

Los residuos se clasifican en:

### ***Residuos Sólidos Urbanos (RSU)***

Son aquellos desechos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la Ley como residuos de otra índole.

### ***Residuos de Manejo Especial (RME)***

Son aquellos desechos producidos por grandes generadores, sin que tengan características de peligrosidad o ser RSU. Se clasifican en:

Residuos de las rocas o de los productos de su descomposición, residuos de servicios de salud, con excepción de los biológicos-infecciosos, residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de insumos, residuos de los servicios de transporte generados en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias, aduanas, los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, residuos de tiendas departamentales o centros comerciales, residuos de la construcción, mantenimiento y demolición, residuos tecnológicos provenientes de la industria informática, electrónica, vehículos automotores y otros que determine la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y las entidades federativas.

### ***Residuos Peligrosos (RP)***

Son aquellos desechos que poseen alguna característica de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos (código CRETIB) que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

Durante su proceso natural de descomposición, los residuos producen un líquido comúnmente denominado "Lixiviado", líquido formado parcialmente por el agua pluvial infiltrada entre ellos, la humedad que naturalmente contienen y las sustancias generadas en su proceso de descomposición en un relleno sanitario. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Si el Lixiviado no se controla puede dispersarse por el suelo e infiltrarse hasta llegar a contaminar los mantos acuíferos.

Así mismo, durante la descomposición natural de los residuos se produce un gas comúnmente denominado "Biogás", mezcla de gases constituida por Metano  $CH_4$  en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y Dióxido de Carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como Hidrógeno, Nitrógeno y Sulfuro de Hidrógeno, originado por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y otros factores en un ambiente anaeróbico. Este gas puede tener importantes impactos sobre el medio ambiente y salud de la población al ser liberado directamente a la atmósfera.

Debido a la importancia del control del Biogás y Lixiviado es necesario que los residuos reciban una disposición final adecuada, que es la última etapa de su ciclo de vida. La disposición final se define como la acción de depositar permanentemente los residuos en sitios e instalaciones, cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas. Las prácticas tradicionales sin control han dado lugar a la aparición de tiraderos a cielo abierto, que constituyen un foco de contaminación ambiental y riesgo para la salud de la población.

Un sitio adecuado para disponer los RSU es el relleno sanitario que es una obra de infraestructura que, siguiendo los requisitos que marca la norma oficial mexicana correspondiente, aplica métodos de ingeniería para evitar la contaminación del suelo, agua y aire que provocan los productos, Lixiviado y Biogás, de la descomposición de los residuos.

De manera muy breve y general, en un relleno sanitario se colocan los residuos en capas compactadas, cubiertas generalmente con un material natural inerte (arcilla), utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogeneización y compactación. Antes de la colocación de los residuos, el suelo se prepara para prevenir la infiltración del Lixiviado y Biogás provenientes de la descomposición de los residuos, utilizando materiales naturales perfectamente bien compactados o materiales sintéticos. Al mismo tiempo se construyen obras de control y monitoreo, como pozos de venteo y quemadores para captar y tratar el Biogás, así como también se construyen colectores de Lixiviado. Esta infraestructura se utiliza cuando se prevén ingresos de más de 10 toneladas de residuos al día.

La degradación biológica de los residuos depende del grado de compactación, composición, humedad y temperatura, entre algunos otros factores. Es por eso que para favorecer esta descomposición y a su vez, eliminar la presencia de aves, roedores e insectos, evitar la migración del Biogás, Lixiviado y el exceso de humedad, logrando una temperatura adecuada y sobre todo evitando daños al ambiente, es muy importante la cobertura diaria de los RSU en un relleno sanitario.

Como se mencionó anteriormente, en un relleno sanitario se cubren los RSU comúnmente con material natural inerte. Este tipo de cobertura implica diversas actividades para su correcta ejecución, como lo son: Corte, carga y acarreo del material; colocación, extendido y compactación y remoción, carga, acarreo y colocación, en algunos casos, para ser utilizado nuevamente. Estas actividades conllevan la utilización de maquinaria, vehículos de volteo, operadores de maquinaria y vehículos y combustibles. Todos estos insumos económicos pueden ser reducidos de manera considerable utilizando un material de cobertura sintético que permita cubrir los RSU temporalmente. Es importante aclarar que este tipo de cobertura debe ser aplicado únicamente en los taludes temporales formados en las franjas de operación diaria en un relleno sanitario, que serían cubiertos y posteriormente descubiertos para recargar la siguiente franja de operación. Es decir, no se debe aplicar para cubrir los taludes finales de las plataformas de una celda.

## **OBJETIVOS**

### ***General***

La colocación de material natural inerte para cubrir los RSU en un relleno sanitario conlleva costos que podrían reducirse considerablemente al ser reemplazado por un material sintético que permita cubrir los RSU temporalmente. Lo anterior considerando que las condiciones climáticas, físicas y situación operativa del sitio deben ser susceptibles a su implementación cumpliendo con la normatividad ambiental aplicable.

### ***Específicos***

1. Establecer un procedimiento para la implementación de lonas de uso rudo como material de cobertura de RSU en un relleno sanitario.
2. Implementar el procedimiento por un periodo de 12 meses en el Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.
3. Obtener los resultados con respecto al comportamiento entre el volumen de la generación de lixiviado, la precipitación en el sitio de disposición final y el volumen de precipitación infiltrada en los RSU durante el periodo de utilización de las lonas.
4. Analizar los resultados obtenidos para evaluar la implementación de las lonas de uso rudo como material de cobertura en un relleno sanitario.

## **ANTECEDENTES**

### ***Marco Legal aplicable***

En México se cuenta con leyes y normas, relacionadas con el medio ambiente, en los tres niveles de gobierno: Federal, Estatal y Municipal.

#### *Nivel Federal*

- La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Art. 115. Establece que la prestación de los servicios públicos de Limpia, Recolección, Traslado, Tratamiento y Disposición Final de Residuos es responsabilidad del municipio.
- La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Art. 134. Prevención y control de la contaminación del suelo por residuos. Art. 135. Ordenación urbana, servicio de limpia y sitios de disposición final. Art. 137. Autorización del funcionamiento de sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Art. 138. Acuerdos para mejorar e implementar sistemas de recolección, traslado, tratamiento y disposición final. Art. 139. Contaminación por Lixiviado. Art. 141. Biodegradación de RSU.
- La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Reglamenta las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en lo referente a la protección ambiental, en materia de prevención y gestión de los residuos. Establece también las bases para principios de valorización, responsabilidad compartida, manejo integral, criterios de gestión integral, mecanismos de coordinación entre entidades, mercado de subproductos, prevención de la contaminación de sitios, establecimiento de medidas de control y seguridad, entre otras. En su artículo 10 señala que los municipios tienen a su cargo las funciones de gestión integral de RSU.
- Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Contienen la información, requisitos, especificaciones y metodología, que para su comercialización en el país, deben cumplir los productos o servicios a cuyos campos de acción se refieran. Son de observancia obligatoria. La NOM-083-Semarnat-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

#### *Nivel Estatal*

- Ley Estatal de Prevención y Gestión Integral de Residuos. Puede o no existir dentro de la entidad en cuestión.
- Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Puede o no existir dentro de la entidad en cuestión.
- Reglamento de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Puede o no existir en la entidad en cuestión.

### *Nivel Municipal*

- Bando Municipal. Generalmente consideran una fracción referente al servicio de limpia en alguno de sus capítulos.
- Reglamento del Servicio de Limpia Municipal. Puede o no existir dentro del municipio en cuestión.
- Ordenamientos municipales. Puede o no existir dentro del municipio en cuestión.

Por otra parte, México cuenta también con Normas Mexicanas (NMX), que no son de observancia obligatoria, son de carácter técnico y tienen el objetivo de estandarizar los procedimientos relacionados con los estudios de caracterización de los residuos sólidos. Por lo general son requerimientos para todo proyecto u obra de ingeniería de esta índole solicitados por las diferentes dependencias gubernamentales con las que se encuentre relacionado.

Dado que el contenido del presente documento está orientado hacia los RSU dispuestos en el Relleno Sanitario del Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, se tratará únicamente la legislación ambiental mexicana que esté directamente relacionada con la operación de rellenos sanitarios de RSU a nivel municipal.

Por lo tanto, cada municipio tiene a su cargo las funciones del manejo integral de los RSU, la formulación de los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los RSU, la emisión de los reglamentos de observancia general, el control de los RSU, la prestación del Servicio Público de Limpia, la autorización de concesiones y permisos para el manejo integral de los RSU, la creación y registro en un padrón a los grandes generadores, la verificación del cumplimiento de la ley e imposición de sanciones, entre otras.

### *NOM-083-SEMARNAT-2003*

Como anteriormente ya se había abordado, la cobertura de RSU en un relleno sanitario es uno de los aspectos más relevantes y determinantes que se deben considerar al momento de evaluar la operación de un sitio de disposición final y verificar su cumplimiento con la normatividad ambiental aplicable.

La Norma Oficial Mexicana **NOM-083-SEMARNAT-2003** en su numeral 7 especifica lo siguiente:

#### *7. Características constructivas y operativas del sitio de disposición final.*

*7.2. Se debe garantizar la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el sitio de disposición final. Una vez que los volúmenes y la edad de los residuos propicien la generación de biogás y de no disponerse de sistemas para su aprovechamiento conveniente, se procederá a su quema ya sea a través de pozos individuales o mediante el establecimiento de una red con quemadores centrales.*

*7.3. Debe construirse un sistema que garantice la captación y extracción del lixiviado generado en el sitio de disposición final. El lixiviado debe ser recirculado en las celdas de residuos confinados en función de los requerimientos de humedad para la descomposición de los residuos, o bien ser tratado, o una combinación de ambas.*

*7.4. Se debe diseñar un drenaje pluvial para el desvío de escurrimientos pluviales y el desalojo del agua de lluvia, minimizando de esta forma su infiltración a las celdas.*

*7.7. Se debe controlar la dispersión de materiales ligeros, la fauna nociva y la infiltración pluvial. Los residuos deben ser cubiertos en forma continua y dentro de un lapso menor a 24 horas posteriores a su depósito.*



Con base en los lineamientos anteriores se resume que los RSU dispuestos en todo relleno sanitario deberán ser cubiertos diariamente de tal manera que se controle lo siguiente:

- Presencia de fauna nociva.
- Infiltración de agua pluvial a la celda de disposición final.
- Migración de biogás a la atmósfera.
- Migración de lixiviado a zonas sin impermeabilización.
- Dispersión de materiales ligeros y RSU.

Lo anterior puede lograrse utilizando material natural o sintético para cubrir los RSU, siempre y cuando se realicen adecuadamente las actividades necesarias para su correcta colocación.

### ***Etapas del manejo de los RSU***

Básicamente, el proceso de manejo de los RSU se resume en 5 etapas principales:

- **Generación:** Es la etapa en donde nace el residuo. Es decir, el momento en el que algún objeto, material o producto es desechado. Este tipo de residuo puede ser de carácter domiciliario, comercial, industrial o proveniente del Servicio de Limpia municipal.
- **Recolección:** Consiste en la etapa de la captación de los residuos y puede ser de diferentes tipos: intra-domiciliario, de acera o en contenedores.
- **Transporte:** Consiste en la etapa del traslado de los residuos recolectados hacia un lugar de tratamiento, transferencia o de disposición final.
- **Tratamiento:** Es la etapa en la cual se procesan los residuos para poder ser recuperados e incorporados nuevamente como materia prima en sus respectivas cadenas de producción. Algunos tratamientos pueden ser la separación, el compostaje, la trituración, el enfardamiento y compactación para la elaboración de pacas, entre algunos otros.
- **Disposición Final:** Es la última etapa del proceso. En esta etapa se confinan los residuos que no fueron susceptibles a ser recuperados y por lo tanto ya no podrían ser incorporados a su cadena de producción. Un sitio de disposición final es el Relleno Sanitario.

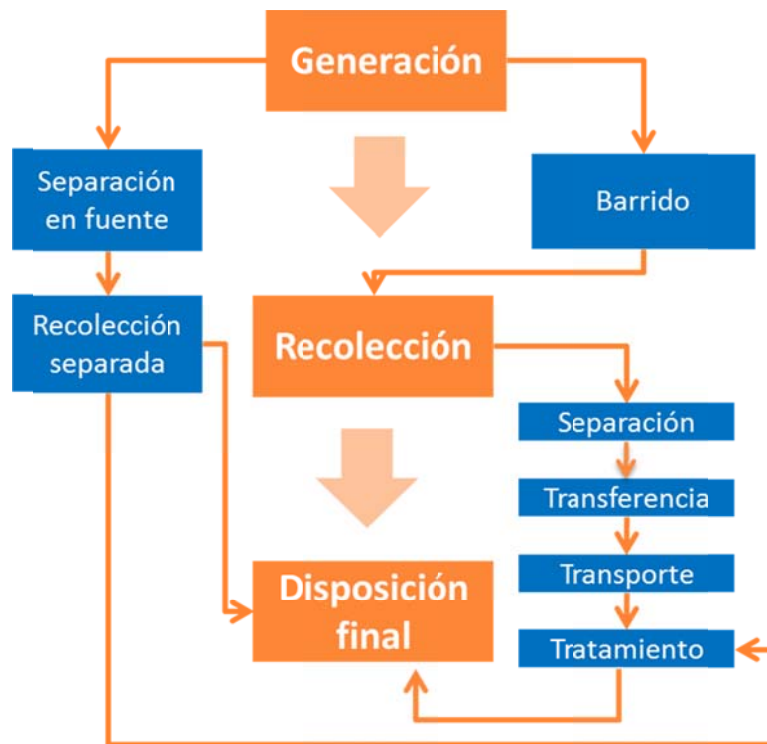


Figura 1. Manejo RSU.

## Definiciones

A continuación se definen algunos de los conceptos y tecnicismos utilizados en el presente documento.

**Afloramiento.**- Migración de lixiviado con o sin biogás hacia la superficie de la corona, talud, berma o camino en un relleno sanitario.

**Anclaje.**- Actividad que consiste en fijar las láminas de cobertura por medio de la colocación de neumáticos, material de cobertura natural o de recuperación a lo largo y ancho de sus extremos.

**Bandeo.**- Actividad que consiste en nivelar y compactar los residuos y/o material de cobertura por medio del constante desplazamiento de maquinaria pesada por encima de ellos. Esta puede ser realizada por un tractor o un cargador frontal, sobre cadenas.

**Berma.**- Espacio entre el pie de un talud y el hombro del talud de la plataforma siguiente, que sirve para la conducción del agua pluvial recibida en un talud y evitar la erosión de estos.

**Biogás.**- Mezcla de gases constituida por metano CH<sub>4</sub> en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno, originado por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y otros factores en un ambiente anaeróbico.

*Celda.*- Es la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos urbanos y material de cobertura, debidamente compactados con maquinaria especializada.

*Celda Diaria de Trabajo.*- Es el área de la celda dónde se verterán los residuos sólidos municipales durante la jornada de trabajo.

*Corona.*- Parte horizontal superior de una franja y/o plataforma.

*Cubierta Diaria.*- Capa de material natural o sintético con el cual se cubren los residuos sólidos depositados durante un día de operación, cuya finalidad es controlar las infiltraciones pluviales y emanaciones de gases y partículas, dispersión de residuos, así como el contacto de fauna nociva con los residuos confinados.

*Disposición Final.*- De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 083 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales publicada en el 2003, la disposición final es la acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

*Franja.*- Es la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta, debidamente compactados. Sus dimensiones pueden variar según el equipo o maquinaria con el que se disponga.

*Franja Diaria de Trabajo.*- Es el área de la franja dónde se verterán los residuos sólidos urbanos durante la jornada de trabajo.

*Frente de Trabajo.*- De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 083 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales publicada en 2003, el frente de trabajo es el área del sitio de disposición final en proceso de llenado que incluye la descarga, esparcido, compactado y cubierta de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

*Hombro del talud.*- Parte superior de un talud.

*Lona de Cobertura.*- Material sintético impermeable con el cual se cubren los residuos sólidos depositados durante un día de operación, cuya finalidad es controlar las infiltraciones pluviales y emanaciones de gases y partículas, dispersión de residuos, así como el contacto de fauna nociva con los residuos confinados. Se recomienda utilizar lonas de uso rudo de fibra acrílica.

*Lixiviado.*- Líquido producido durante la degradación de los residuos, formado parcialmente por el agua pluvial infiltrada entre ellos, la humedad que naturalmente contienen y las sustancias generadas en su proceso de descomposición en un relleno sanitario. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos.

*Material de cobertura.*- Material de baja permeabilidad natural o sintético utilizado para cubrir los residuos con la finalidad de impedir la infiltración del agua, la liberación de olores y gases, la generación de fauna nociva y la aireación de los residuos.

*Material de recuperación.*- Porción de material natural de cobertura que es removido antes de colocar los residuos con la finalidad de lograr la continuidad entre los residuos de las diferentes plataformas y permitir una composición homogénea dentro de la celda. Este tipo de material se encuentra mezclado con residuos.

*Pie del talud.*- Parte inferior de un talud.

*Plataforma.*- Sección formada por el conjunto de franjas conformadas a un mismo nivel.

*Pozo de biogás.*- Estructura utilizada para la captación, conducción y quema de biogás, compuesta por tambos de 200l. perforados, rellenos de piedra bola y unidos entre si, formando una torre por dentro de la celda con un quemador de biogás en la parte superior.

*Relleno Sanitario.*- De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 083 de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales publicada en el 2003, un relleno sanitario es una obra e infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales.

*Residuos Sólidos Urbanos (RSU).*- De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 083 de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales publicada en 2003. Son aquellos residuos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en las actividades domésticas, de los productos que consumen; y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de vías y lugares públicos.

*Surco.*- Zanja o canal formado por medio de maquinaria, para permitir la fijación de las lonas de cobertura. Debe de presentar un desnivel de 0.30m. de profundidad con respecto al nivel de piso de residuos.

*Talud.*- Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos de suelo con en ángulo de reposo del material del terreno que se trate respecto a la horizontal.  
Se recomienda conformar taludes de 2.5-3:1 para facilitar la instalación y remoción de las láminas de cobertura.

*Traslape.*- Área ocupada por dos láminas de cobertura sobrepuestas con la finalidad de evitar su separación, levantamiento e infiltraciones pluviales. Traslape recomendado de 0.50m.

## **PROCEDIMIENTO**

### ***Desarrollo***

A continuación se menciona el procedimiento a seguir para la correcta implementación de lonas como material de cobertura de RSU en taludes temporales de un relleno sanitario.

### ***Horario y tiempo de colocación***

La colocación de las láminas de cobertura se realizará en función del avance de franja diario, debiendo ser colocada cuando se tengan 4m. lineales de avance de residuos descubiertos, de los cuales 0.50m. servirán para realizar su anclaje y el resto se extenderá sobre los residuos conforme el avance de la franja. El tiempo de colocación será de 1.5 h. aproximadamente con la participación de 2 ayudantes, incluyendo los anclajes superior, realizado a pala, e inferior, realizado con maquinaria.

### ***Colocación***

Después de compactar, con compactador y/o tractor, y conformar, con tractor o cargador frontal, los residuos en talud y corona de la franja de vertido, se deberá formar un surco en el hombro del talud de la franja y a lo largo de toda su extensión, inclinando la cuchilla del tractor, con una profundidad de 0.50m.

La colocación de las láminas deberá realizarse extendiéndolas a lo ancho del talud de la franja de vertido e irse desenrollando en sentido del avance de franja conforme su crecimiento.



*Imagen 1. Surco en hombro del talud. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*



*Imagen 2. Extensión de lona a lo ancho del talud. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*

### *Anclaje*

Para el anclaje superior se utilizará material de cobertura natural, que será colocado encima de la lámina y a pala, por un ayudante general. Mientras que para el anclaje inferior se utilizará material de recuperación, que será colocado y cuidadosamente bandeado por el cargador frontal o tractor. Se cubre una longitud de 0.50m. en ambos extremos de la lámina, superior e inferior.

Para los extremos laterales, también se cubrirá una longitud de 0.50m. Para el caso de las intersecciones, se dejará un traslape de 0.50m. y se fijará con neumáticos extraídos de los residuos, para el caso de la primera lámina se utilizará material de recuperación y para el caso en el que se encuentre un pozo de biogás en el talud, se utilizará material de cobertura natural que será extendido y bandeado por el tractor o por el cargador frontal, abarcando el espacio necesario para las maniobras de la máquina, según sea el caso. Posteriormente, se realizará el anclaje correspondiente al de la primera lámina.



*Imagen 3. Anclaje superior de lona. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*





*Imagen 4. Extensión de lona a lo largo del talud. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*



*Imagen 5. Continuidad de lonas. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*



*Imagen 6. Cobertura de talud con pozo de biogás. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*



*Imagen 7. Continuidad de lonas después de pozo de biogás. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*

### *Levantamiento*

Para remover las láminas de cobertura, será necesario remover el material, ya sea de recuperación o de cobertura natural, de los anclajes a pala. Posteriormente, se enrollará la lámina en sentido del avance de la nueva franja, procurando descubrir únicamente el área de franja que se va avanzando.

Levantamiento de lonas.



*Imagen 8. Levantamiento de lonas. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*



*Imagen 9. Levantamiento de lonas. Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México.*

## Diagrama de Flujo

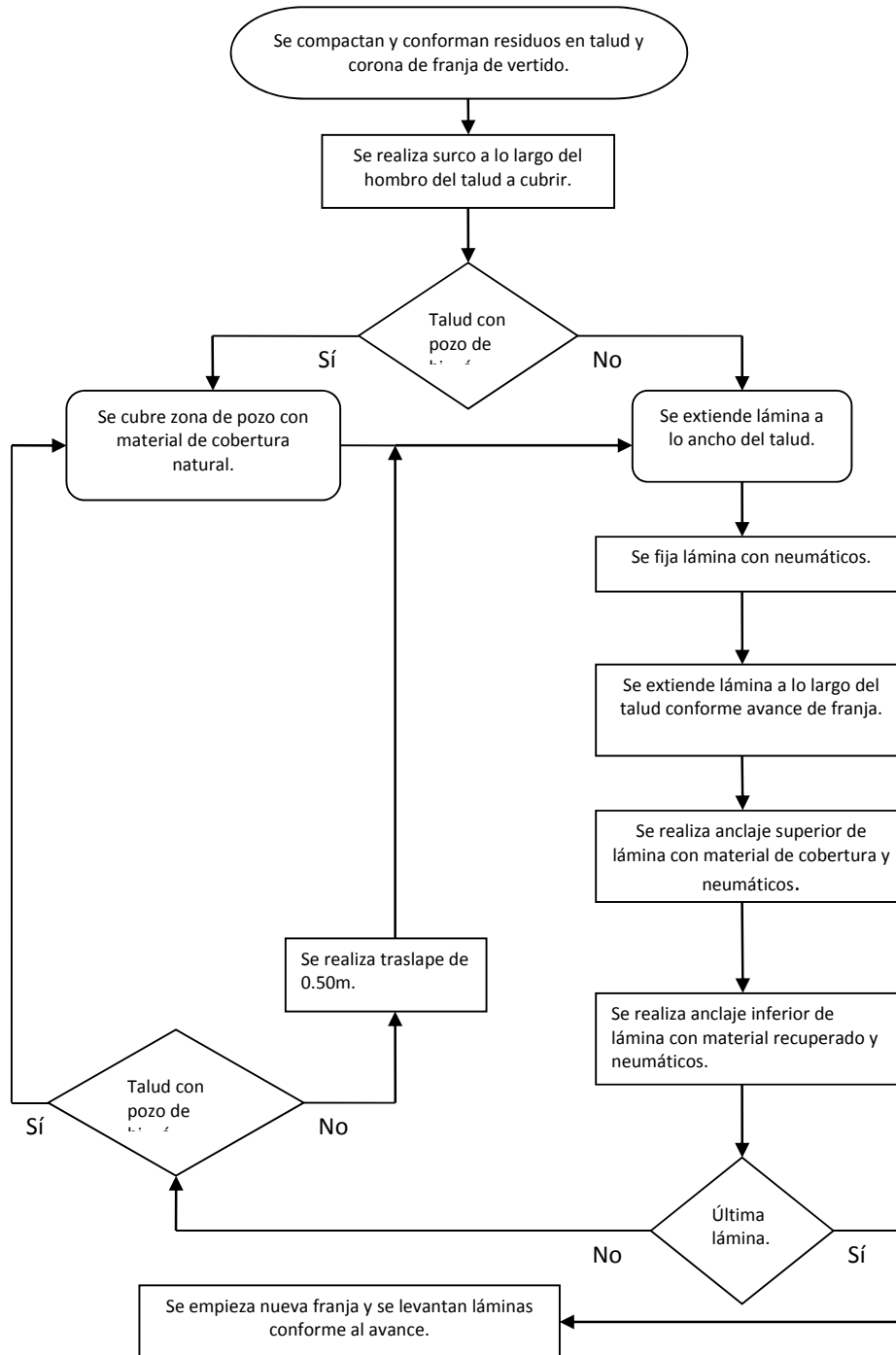


Figura 2. Diagrama de proceso.

## ***Recomendaciones***

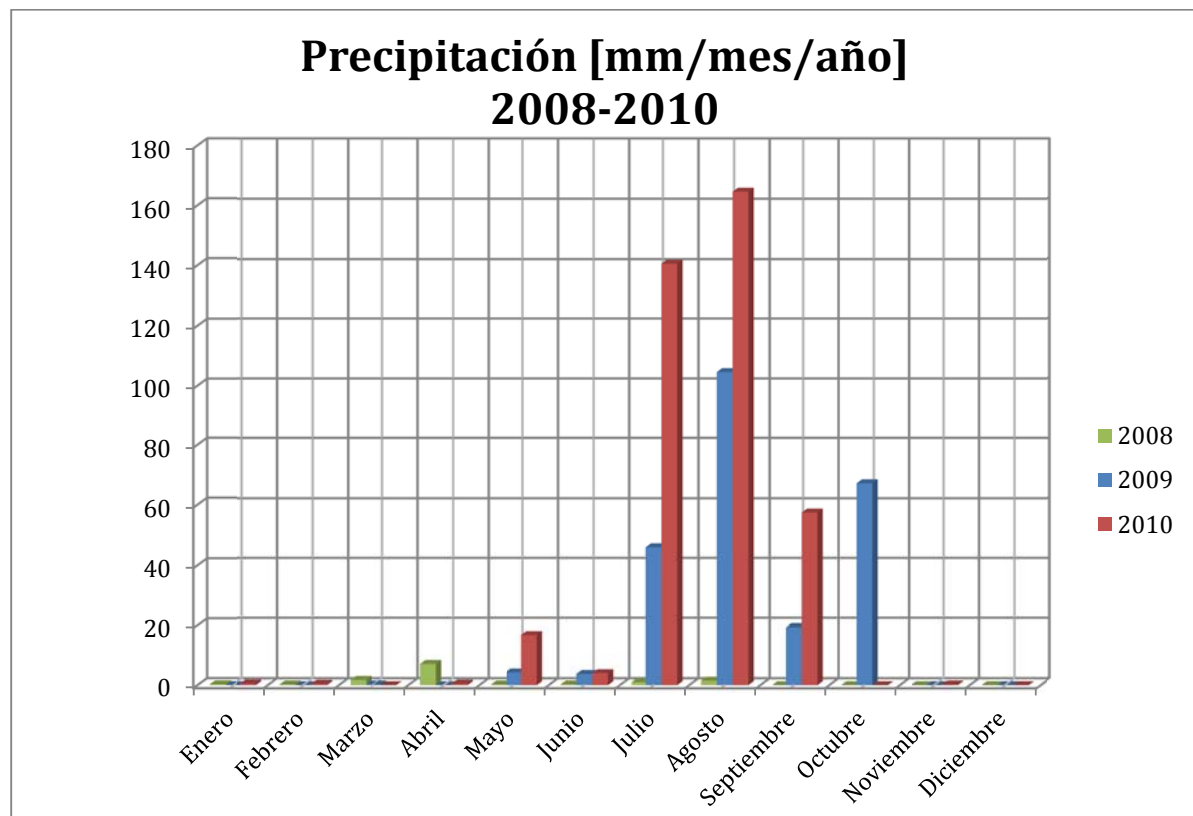
Para lograr la correcta implementación de lonas como material sintético de cobertura, se recomienda lo siguiente:

- Instruir y asignar al personal para dar cumplimiento a las actividades aquí descritas.
- Adecuar, difundir, distribuir y mantener actualizado el presente documento, ya que las condiciones de cada sitio pueden ser muy diferentes.
- Proporcionar los recursos necesarios para la correcta ejecución de las actividades aquí descritas.
- Proporcionar los insumos necesarios para la implementación de las actividades aquí descritas.
- Identificar las fallas en la colocación del material sintético de cobertura y dar instrucciones para su corrección.
- Capacitar al personal del frente de trabajo para el correcto manejo y colocación del material sintético de cobertura.
- Proporcionar al personal las herramientas, materiales y equipos de protección personal necesarios para la ejecución de las actividades descritas en el presente documento.
- Supervisar las actividades de manejo y colocación del material sintético de cobertura.
- Coordinar todas las actividades de acuerdo a lo aquí establecido.
- Establecer y ejecutar, en su caso, las acciones correctivas en las actividades que afecten el manejo adecuado y correcto del material sintético de cobertura.

## RESULTADOS

Se colocaron lonas reforzadas de PVC de uso rudo de 0.25 mm de espesor y 12 m de ancho por 17 m de largo para cubrir los RSU en los taludes temporales en operación de un relleno sanitario durante un año (Ago. 2009 – Jul. 2010). Se registró la precipitación y el volumen de lixiviado tratado durante este periodo y algunos meses posteriores para analizar la relación entre ambos durante la implementación de este material.

En la siguiente gráfica y tabla se puede apreciar la cantidad de precipitación durante los años 2008, 2009 y 2010 en el sitio.



Gráfica 1. Precipitación 2008-2010.

Tabla 1. Precipitación 2008, 2009 y 2010.

Mes	2008	2009	2010
Enero	0.25	0	0.562
Febrero	0.25	0	0.468
Marzo	1.77	0.25	0
Abril	7.09	0	0.535
Mayo	0.25	4.25	16.72
Junio	0.25	3.75	4
Julio	1.01	46.08	140.83
Agosto	1.5	104.45	164.68
Septiembre	0	19.25	57.59
Octubre	0	67.29	0
Noviembre	0	0	0.25
Diciembre	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>12.37</b>	<b>245.32</b>	<b>385.635</b>
Unidades	[mm]		
	Uso de lonas		

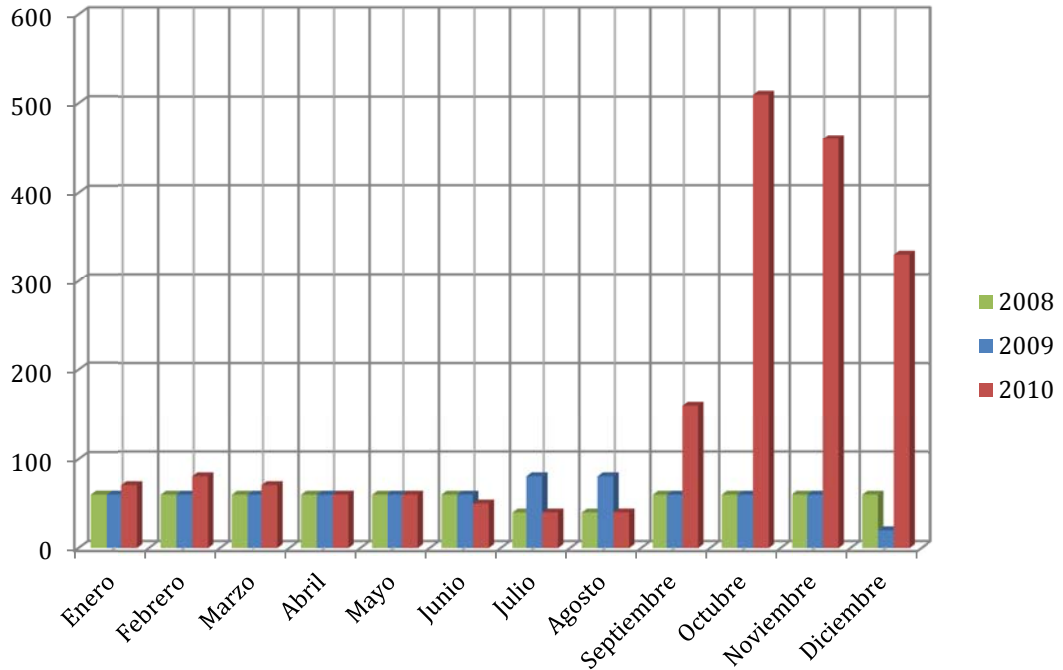
**Fuente:** Registro meteorológico del sitio y base de datos de la estación meteorológica del CCH Naucalpan.

A partir de esta información, se aprecia que la variación en la cantidad de precipitación entre los tres años ha sido muy elevada y se detecta que la implementación de las lonas como cobertura de RSU se realizó durante el periodo con mayor precipitación entre el 2009 y 2010.

A continuación se muestra el volumen de lixiviado tratado durante los años 2008, 2009 y 2010.



## Lixiviado tratado [m<sup>3</sup>/mes/año] 2008-2010



Gráfica 2. Lixiviado tratado 2008-2010.

Tabla 2. Tratamiento de Lixiviado 2008, 2009 y 2010.

Mes	2008	2009	2010
Enero	60	60	70
Febrero	60	60	80
Marzo	60	60	70
Abril	60	60	60
Mayo	60	60	60
Junio	60	60	50
Julio	40	80	40
Agosto	40	80	40
Septiembre	60	60	160
Octubre	60	60	510
Noviembre	60	60	460
Diciembre	60	20	330
<b>TOTAL</b>	<b>680</b>	<b>720</b>	<b>1930</b>

**TOTAL**

Unidades

[m<sup>3</sup>]

Uso de

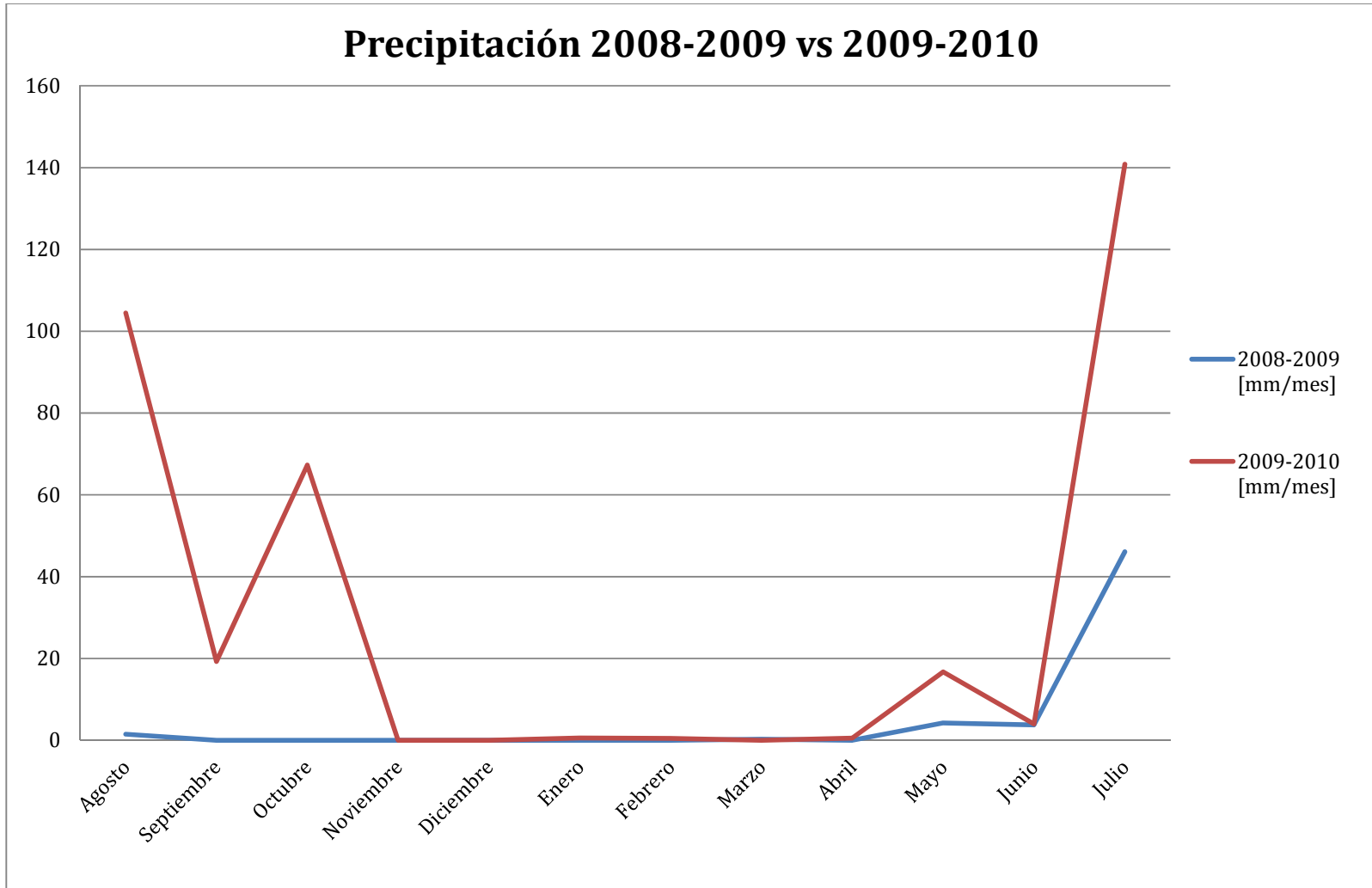
lonas

**Fuente:** Registro del volumen de tratamiento de lixiviado del sitio.

En la gráfica y tabla anteriores se observa que el volumen de lixiviado tratado aumenta considerablemente un mes después de haber implementado la colocación de lonas. Siendo un periodo aproximado de 3 meses el tiempo normal necesario, utilizando material natural inerte de cobertura, para que la migración de lixiviado ocurra de la parte superior de la celda hasta la parte inferior (en donde se encuentran los cárcamos de extracción de lixiviado), es posible concluir que la utilización de lonas aumenta la velocidad de migración de lixiviado a través de los RSU confinados.

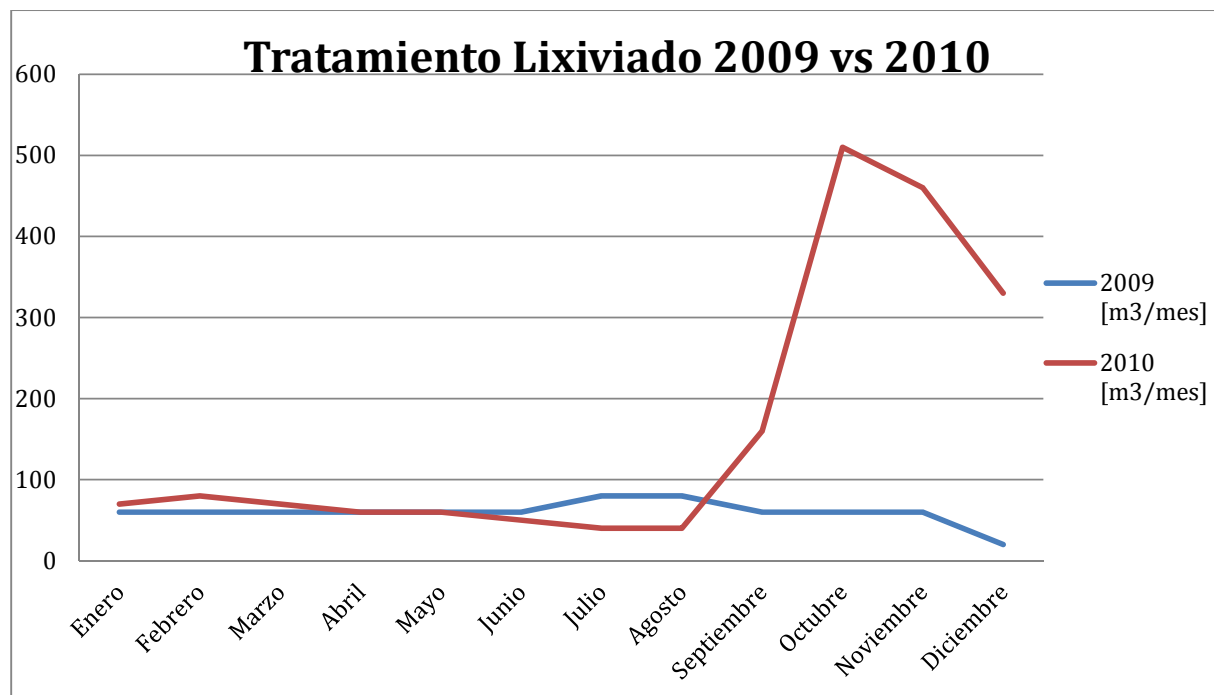
## **ANÁLISIS**

Comparando la precipitación durante el periodo en el que fueron utilizadas las lonas para cubrir los RSU con la precipitación de un año anterior, se encuentra que la precipitación durante el periodo en el que se utilizaron las lonas fue aproximadamente un 16% mayor con respecto al año anterior. Por lo tanto, se espera un incremento en el tratamiento de lixiviado de aproximadamente el mismo orden.



Gráfica 3. Precipitación 2008-2009 vs. 2009-2010.

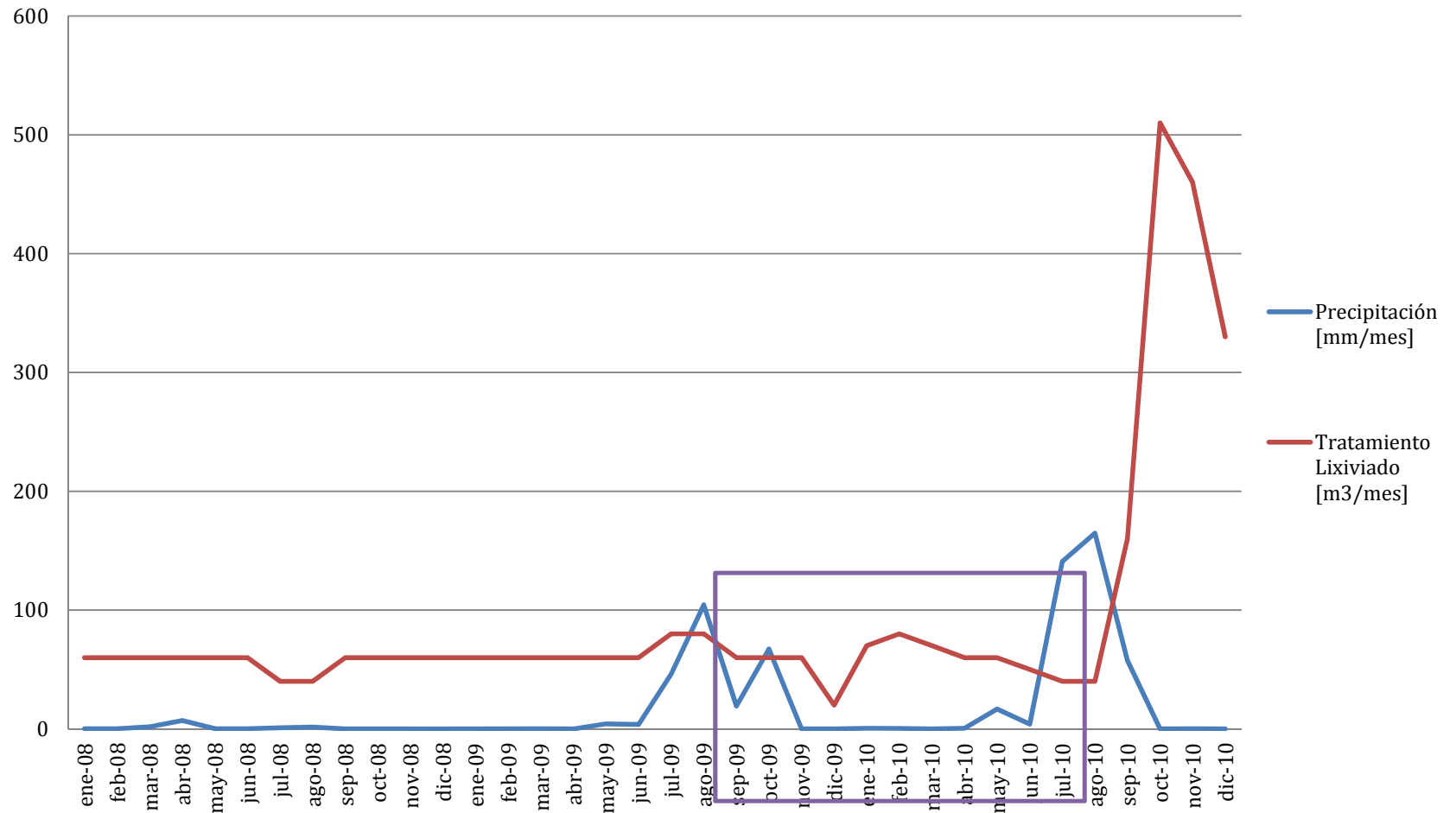
Al realizar la misma comparación para el caso del tratamiento de lixiviado se obtiene que el incremento en el tratamiento fue del 37% aproximadamente, doblando el valor esperado por el aumento en la precipitación durante ese periodo. Por lo tanto, la utilización de lonas como cobertura permite la infiltración de una mayor cantidad de agua pluvial a los RSU dispuestos en un relleno sanitario.



Gráfica 4. Tratamiento Lixiviado 2009 vs. 2010.

Si comparamos el comportamiento de la relación precipitación vs. tratamiento de lixiviado entre el periodo en el que se utilizaron las lonas y un año antes, se observa que el comportamiento utilizando material natural inerte era más o menos estable; mientras que el comportamiento utilizando lonas es más sensible a la presencia de precipitación, permitiendo una mayor infiltración de agua pluvial a los RSU y por lo tanto, generando una mayor cantidad de lixiviado a tratar. Lo anterior puede observarse con claridad en la siguiente gráfica.

## Precipitación vs Tratamiento Lixiviado 2008-2010



Gráfica 5. Precipitación vs. Tratamiento Lixiviado 2008-2010.

## CONCLUSIONES

La utilización de lonas como material de cobertura de RSU en los taludes temporales de un relleno sanitario permite una mayor infiltración de agua pluvial durante la época de lluvias, provocando un incremento en la generación de lixiviado a tratar y por lo tanto en costo de operación en el sitio. Es importante mencionar que es necesario conocer los costos implicados en las actividades de cobertura de RSU con material natural inerte para compararlos con los costos de la cobertura con lonas y así poder determinar la factibilidad de su implementación, ya que las condiciones y características de cada sitio pueden ser muy variables. Cabe mencionar también, que la colocación de lonas también tendrá un impacto en la captación y tratamiento de biogás, proliferación de fauna nociva y dispersión de materiales finos y RSU; en este análisis únicamente se consideró el tratamiento de lixiviado relacionado con la precipitación en el sitio.

Un aspecto muy relevante y positivo con respecto a la utilización de lonas como material de cobertura temporal de RSU, es que permite la cobertura de los RSU durante circunstancias desfavorables para la cobertura con material natural inerte e incluso durante alguna contingencia. Es decir, la implementación de las lonas permite y agiliza en tiempo y forma la cobertura de los RSU en un relleno sanitario en condiciones de lluvia extraordinaria, nevadas, heladas, falla de maquinaria, falla de vehículos de carga y acarreo, durante reparaciones y/o mantenimiento de los Geosintéticos, durante algún cambio necesario de frente de vertido, durante la operación de la Celda de Emergencia, etc. Una aplicación muy útil también, es utilizar estas lonas para cubrir el material natural inerte de cobertura colocado cerca del frente de vertido durante las precipitaciones, con la finalidad de evitar el exceso de humedad y permitir la cobertura de los RSU de acuerdo a la Norma.

A pesar de haberse detectado que la utilización de las lonas permite una mayor infiltración de humedad a los RSU durante la época de lluvias, aumentando considerablemente el volumen de lixiviado a tratar y por lo tanto los costos de operación. Continúa siendo una buena opción para cubrir los RSU durante la época de estiaje y/o durante contingencias y situaciones adversas a la operación normal de un relleno sanitario.

Es importante para implementar este tipo de cobertura también, diseñar las dimensiones de las franjas y plataformas de operación, según el ingreso diario y área disponible para la disposición final del relleno sanitario, de tal manera que el avance de franja no permita que una lona permanezca más de 20 días cubriendo la misma zona.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, reforma publicada DOF 14-07-2011.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, reformas publicadas DOF 28-01-2011.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, reforma publicada DOF 19-06-2007.
- Norma Oficial Mexicana-083-Semarnat-2003.
- Reglamento de Limpieza para el Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México. 2006-2009.
- Manual para la operación de rellenos sanitarios, SEDESOL, 1996.
- Guía de Cumplimiento de la NOM-083-Semarnat-2003, Semarnat-Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), 2004.
- Procedimiento Específico para la Disposición Final de Residuos Sólidos No Peligrosos, Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México. Proactiva Medio Ambiente México-Servicios de Tecnología Ambiental.
- Procedimiento Específico para la Cobertura de Residuos con Material Sintético, Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México. Proactiva Medio Ambiente México-Servicios de Tecnología Ambiental.
- Base de datos de la Estación Meteorológica ubicada en el Colegio de Ciencias y Humanidades de Naucalpan de Juárez, Estado de México.
- Registro Meteorológico, Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México. Proactiva Medio Ambiente-Servicios de Tecnología Ambiental.
- Registro de Generación y Tratamiento de Lixiviado, Relleno Sanitario de Naucalpan de Juárez, Estado de México. Proactiva Medio Ambiente México-Servicios de Tecnología Ambiental.