

15
2es



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**"CONTROL AMBIENTAL DEL RELLENO
SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS"**

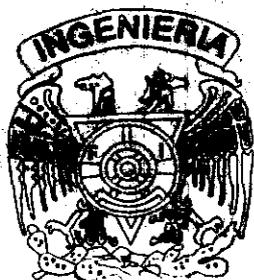
T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

REYNALDO CRUZ RIVERA

Director: Dra. Ma. Teresa Orta Ledesma

274903



México. D.F.

Octubre 1999

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

PASINACION

DISCONTINUA.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/113/98

Señor,
REYNALDO CRUZ RIVERA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DRA. MA. TERESA ORTA LEDESMA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"CONTROL AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS"

- I. INTRODUCCION
- II. MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS
- III. MONITOREO AMBIENTAL EN LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
- IV. ASPECTOS CONTEMPLADOS PARA EL MONITORIEO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.
- V. ASPECTOS GEOHIDROLOGICOS Y METEREOLÓGICOS CONTEMPLADOS EN EL MONITOREO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.
- VI. ACTIVIDAD Y RESULTADOS DE LOS MONITOREOS EN EL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universidad a 29 de marzo de 1999.
EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO
GERGMB



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL,
TOPOGRAFICA Y GEODESICA
JEFATURA

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM,
P r e s e n t e .

A continuación me permito someter a su atenta consideración la relación de sinodales que se le ha autorizado al señor **REYNALDO CRUZ RIVERA** con número de cuenta: 9019027-2, para que pueda presentar su Examen Profesional de la carrera de **INGENIERO CIVIL**.

PRESIDENTE: M.I. GABRIEL MORENO PECERO

VOCAL: DRA. MARIA TERESA ORTA LEDESMA

SECRETARIO: M.I. HUMBERTO GARDEA VILLEGAS

1ER. SUPLENTE: LUIS ARMANDO DIAZ-INFANTE DE LA MORA

2DO. SUPLENTE: M.I. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 23 de septiembre de 1999.
EL JEFE DE LA DIVISION


M.I. GABRIEL MORENO PECERO

AGRADECIMIENTOS:

A LA **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO** POR HABERME DADO LA OPORTUNIDAD DE FORMARME COMO PROFESIONISTA Y SER PARTE DE LOS UNIVERSITARIOS DE ESTE PAÍS.

A LA **FACULTAD DE INGENIERIA** Y A TODOS AQUELLOS PROFESORES QUE ME BRINDARON SUS CONOCIMIENTOS CON LOS QUE HE LOGRADO PERCIBIR LA VIDA DESDE UN PUNTO DE VISTA DIFERENTE.

AL **INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM**, QUE ME BRINDÓ TODAS LAS FACILIDADES PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO Y EN ESPECIAL A LA DRA. MA. TERESA ORTA LEDESMA POR HABER CONFIADO EN MI Y DARME LA OPORTUNIDAD DE TRABAJAR EN LA SECCIÓN DE INGENIERIA AMBIENTAL DEL MISMO INSTITUTO.

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE ESCUELA Y DE TRABAJO, POR HABERME BRINDADO SU AMISTAD Y POR QUE GRACIAS A ELLOS HE APRENDIDO A TENER UNA ACTITUD FRENTE A LA VIDA Y ME HA SIDO POSIBLE LLEGAR A ESTE MOMENTO TAN IMPORTANTE.

AL M.I. JORGE SÁNCHEZ GÓMEZ PRESIDENTE DE LA AMCRESPAC POR EL APOYO Y LOS CONSEJOS TAN VALIOSOS QUE ME HA DADO.

A TODO EL PERSONAL DE ICA-SETASA EN NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS POR EL APOYO Y LAS FACILIDADES BRINDADAS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

DEDICATORIA:

A MIS PADRES CON TODO EL CARÍÑO DEL MUNDO, POR QUE ME HAN APOYADO INCONDICIONALMENTE PARA LA REALIZACIÓN DE MIS ESTUDIOS, POR QUE ME ENSEÑARON A LUCHAR CONTRA LA ADVERSIDAD, A NO DARME POR VENCIDO, A LOGRAR TODO LO QUE ME RPOONGO Y PRINCIPALMENTE POR INCULCAR EN MI LA HONRADEZ, EL RESPETO Y EL AMOR A LA FAMILIA.

¡ MUCHAS GRACIAS !

A MIS HERMANOS, POR QUE SIEMPRE HAN CONFIADO EN MI, POR QUE SIEMPRE HAN ESTADO CONMIGO Y POR QUE SON LA CAUSA DE QUE YO SIGA ADELANTE PARA NUNCA DEFRAUDARLOS.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS DE LAS QUE HE APRENDIDO A VIVIR, A SOÑAR, A TRABAJAR, A TRIUNFAR Y A FRACASAR; SON TANTAS QUE NO LAS PODRÍA MENCIONAR A TODAS, PERO SIEMPRE LAS RECORDARE CON GRAN APRECIO.

CONTENIDO

	Pág.
- GLOSARIO DE TÉRMINOS	I
- LISTA DE FIGURAS	III
- LISTA DE TABLAS	IV
- RESUMEN	VI
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	2
1.1.1 Problemática existente	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Alcances y limitaciones	4
CAPÍTULO II.- EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	5
2.1 El manejo de los residuos sólidos municipales en México	6
2.1.1 Generación y recolección	9
2.1.2 Barrido y limpieza de vías públicas	12
2.1.3 Transferencia y transporte	13
2.1.4 Caracterización de la basura	15
2.1.5 Tratamiento de los residuos sólidos	17
2.1.6 Disposición final de los residuos sólidos	23
2.2 El caso de Nuevo Laredo, Tamaulipas	26
2.2.1 Generación y recolección	32
2.2.2 Barrido y limpieza de vías públicas	33
2.2.3 Transferencia y transporte	34
2.2.4 Caracterización de la basura	34
2.2.5 Tratamiento de los residuos sólidos	34
2.2.6 Disposición final de los residuos	34
CAPÍTULO III.- MONITOREO AMBIENTAL EN LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.	36
3.1 Problemática ambiental generada por los residuos sólidos municipales	37
3.2 Normatividad vigente en materia de monitoreo ambiental en sitios de disposición final.	38
3.2.1 Estados Unidos	39
3.2.2 Alemania	41
3.2.3 México	42
3.3 Monitoreo ambiental	44
3.3.1 Monitoreo ambiental en sistemas de manejo de residuos sólidos municipales.	45
3.3.2 Objetivos del monitoreo ambiental	46

3.3.3 Criterios de monitoreo.	46
3.3.4 Parámetros de monitoreo aplicables a instalaciones para el manejo de residuos sólidos.	47
3.3.5 Desarrollo del monitoreo ambiental en México.	48
3.3.6 La celda de control como sistema de monitoreo ambiental en los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales.	51
3.3.7 El monitoreo ambiental en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.	53
CAPÍTULO IV.- ASPECTOS CONTEMPLADOS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.	56
4.1 Funcionamiento del laboratorio	59
4.2 Implantación del programa de monitoreo	61
4.3 Composición de los residuos sólidos	62
4.4 Lixiviados	63
4.5 Generación de biogás	65
4.6 Partículas aerotransportables	70
4.6.1 Partículas suspendidas totales	71
4.6.2 Partículas viables	72
4.7 Radioactividad	74
4.8 Ruido	75
CAPÍTULO V.- ASPECTOS GEOHIDROLÓGICOS Y METEOROLÓGICOS CONTEMPLADOS EN EL MONITOREO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.	76
5.1 Aspectos contemplados en la normatividad vigente	78
5.1.1 Aspectos hidrológicos	78
5.1.2 Aspectos geológicos	78
5.1.3 Aspectos hidrogeológicos	79
5.2 Situación del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.	79
5.3 Justificación del cumplimiento con los requisitos establecidos	80
5.3.1 Hidrología	80
5.3.2 Geología	80
5.3.3 Hidrogeología	81
5.4 Análisis de las condiciones hidrogeológicas del relleno en estudio con respecto a las normas ambientales existentes.	83
CAPÍTULO VI.- ACTIVIDADES Y RESULTADOS DE LOS MONITOREOS EN EL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.	86
6.1 Modificaciones a normas existentes e innovaciones de procedimientos para el monitoreo ambiental en sitios de disposición final.	87
6.2 Caracterización de los residuos sólidos.	88

6.2.1 Cuarteo de los residuos sólidos	89
6.2.2 Preparación de la muestra para análisis de laboratorio	91
6.2.3 Capacidad de campo	91
6.2.4 Selección y cuantificación de subproductos	93
6.2.5 Determinación de humedad relativa	94
6.2.6 Determinación del % de materia orgánica	95
6.2.7 Determinación de Nitrógeno total	96
6.2.8 Determinación del % de Carbono	97
6.2.9 Determinación del % de Hidrógeno	97
6.2.10 Determinación del % de Oxígeno	98
6.3 Muestreo y análisis de biogás	99
6.4 Muestreo y análisis de lixiviados	99
6.5 Muestreo de partículas aerotransportables	100
6.5.1 Partículas totales	100
6.5.2 Partículas viables	100
6.6 Radioactividad	109
6.7 Ruido	110
CAPÍTULO VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	117
- ANEXO I	A1
- ANEXO II	A29

GLOSARIO DE TERMINOS

- 1.- *Residuos sólidos municipales.*- Son aquellos residuos derivados de las actividades urbanas, resaltando aquellos que son producidos en fuentes como: casas habitación, mercados, vía pública, parques públicos, restaurantes y otros comercios en donde los residuos que se producen no se consideran peligrosos.
- 2.- *Relleno sanitario.*- Es un método de disposición de desechos sólidos sobre un espacio controlado de terreno, realizado sin crear molestias o riesgos a la salud pública y al ambiente. Tomando en cuenta principios de ingeniería, los desechos se colocan, se esparcen en capas uniformes, se compactan y finalmente, al concluir cada día de operación, se cubren con una capa de tierra (cubierta diaria). A cada porción de desechos confinados se le denomina área. Los residuos compactados y sellados con el material de cubierta forman un cuerpo que se le denomina celda de confinamiento.
- 3.- *Macroelda.*- Es el cuerpo formado por capas que a vez se forman por celdas de confinamiento; el tamaño de la macroelda depende del número de celdas de confinamiento que la formen.
- 4.- *Sistema de manejo de residuos sólidos.*- Se denomina sistema de manejo de los residuos sólidos a la relación entre los siguientes procesos: generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, tratamiento y disposición final.
- 5.- *Monitoreo ambiental.*- Es el conjunto de actividades que tienen como objetivo mantener la operación segura y correcta de las diferentes instalaciones para el manejo de residuos sólidos, con el fin de hacerlas ambientalmente compatibles.
- 6.- *Programa de monitoreo ambiental.*- Es una lista de actividades cronológicamente establecida en el que se marcan las actividades y los tiempos en los que se realizarán, con el fin de establecer un control ambiental en sitios cuyas actividades representen un riesgo para la salud pública.
- 7.- *Lixiviados.*- Líquido que se produce como resultado de la degradación de la parte orgánica de los residuos sólidos y que se deposita por lo regular en las partes inferiores del relleno sanitario o tiradero a cielo abierto.
- 8.- *Biogás.*- Gas que se produce como resultado de la degradación de la parte orgánicas de los residuos, debido a su composición cierta parte tiende a salir por la parte superior y otra a migrar por la parte inferior o de manera lateral; en ciertas proporciones es altamente explosivo.
- 9.- *Caracterización de los residuos sólidos.*- Es la determinación de las características físicas, químicas y bacteriológicas de los mismos, por métodos de laboratorio y de campo.

10.- *Partículas aerotransportables.*- Aquellas partículas que debido a sus características físicas poseen un tamaño tan pequeño (diámetro aerodinámico) que les permite suspenderse en el aire, siendo este uno de los factores que determinan su acceso y depósito en los diferentes sitios del aparato respiratorio.

LISTA DE FIGURAS

	TITULO	PAGINA
1.-	Diagrama que muestra las relaciones entre los elementos funcionales de un sistema de manejo de residuos sólidos municipales.	8
2.-	Porcentaje de participación en la generación de residuos sólidos municipales.	10
3.-	Producción per cápita de basura en México.	11
4.-	Sistema de transferencia de los residuos sólidos municipales.	15
5.-	Tamaulipas.	27
6.-	Zona fronteriza de Tamaulipas.	28
7.-	Clima del estado de Tamaulipas.	30
8.-	Hidrología del estado de Tamaulipas.	31
9.-	Población de Nuevo Laredo, Tamaulipas.	32
10.-	Fases de un programa de monitoreo ambiental.	44
11.-	Laboratorio "in situ" del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.	60
12.-	Principales subproductos que componen los residuos sólidos municipales.	62
13.-	Problemas provocados por la generación de lixiviados en un vertedero incontrolado.	65
14.-	Fases de generación de biogás en rellenos sanitarios.	66
15.-	Problemas generados por la migración de biogás en un sitio de disposición final no controlado.	70
16.-	Toma de muestras en el frente de trabajo, con residuos sólidos municipales de tres estratos económicos (Medio, Alto y Bajo) y de las zonas de comercio (C).	89
17.-	Molino micronizador modelo 150, para la preparación de muestra para análisis de laboratorio.	A34
18.-	Gato hidráulico para simular la carga que sufren los residuos sólidos en el interior de un relleno sanitario.	A36

LISTA DE TABLAS

	PAGINA
TITULO	
1.- Normas oficiales mexicanas que rigen la caracterización de los residuos sólidos municipales en México.	15
2.- Composición porcentual por zonas de los residuos sólidos municipales.	17
3.- Problemas que causan los residuos sólidos.	38
4.- Normatividad EPA para la clausura de rellenos sanitarios.	39
5.- Programa de monitoreo ambiental en rellenos sanitarios alemanes.	41
6.- Normas y técnicas utilizadas en un programa de monitoreo ambiental de instalaciones para el manejo de residuos sólidos.	42
7.- Programa de monitoreo ambiental.	61
8.- Características de los lixiviados.	64
9.- Composición del biogás en rellenos sanitarios de países industrializados.	67
10.- Compuestos orgánicos traza en el biogás crudo del relleno sanitario Mountain (E.U.).	67
11.- Normas mexicanas y sus modificaciones para el control del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.	88
12.- Procedimientos propuestos para ser empleados en el control del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.	88
13.- Peso de la muestra en los tres muestreos.	90
14.- Resultados de la determinación del peso volumétrico en los tres muestreos.	90
15.- Peso de las muestras para la selección y cuantificación de los residuos sólidos en los tres muestreos.	90
16.- Resultados de la determinación de la capacidad de campo en los tres muestreos.	91
17.- Resultados de la capacidad de campo en el tercer muestreo.	92
18.- Resultados de la selección y cuantificación de subproductos en el primer muestreo.	93
19.- Resultados de la selección y cuantificación de subproductos en los muestreos dos y tres.	94
20.- Resultados de la determinación del % de Humedad relativa en los tres muestreos.	94
21.- Resultados de la determinación del % de Materia orgánica en los tres muestreos.	95
22.- Resultados de la determinación del % de Nitrógeno total en los tres muestreos.	96
23.- Resultados de la determinación del % de Carbono en los tres muestreos.	97

TITULO	PAGINA
24.- Resultados de la determinación del % de Hidrógeno en los tres muestreos	98
25.- Resultados de la determinación del % de Oxígeno en los tres muestreos	98
26.- Resultados de las partículas suspendidas totales (segundo monitoreo).	100
27.- Resultados del cultivo No. 1 en Agar de Mac Conkey, para la proliferación selectiva de coliformes.	102
28.- Resultados del cultivo No. 2 en Agar de Dextroza Sabouraud, para el cultivo de hongos y levaduras .	102
29.- Resultados del cultivo No. 3 en Agar de Sal y manitol, para el aislamiento de estafilococos patógenos.	103
30.- Resultados del cultivo No. 1 para la proliferación selectiva de coliformes.	103
31.- Resultados del cultivo No. 2 para el cultivo de hongos y levaduras	104
32.- Resultados del cultivo No. 3 para el aislamiento de estafilococos patógenos.	104
33.- Resultados del monitoreo microbiológico nocturno al momento de aplicar la técnica de cuarteo de residuos sólidos en el taller (tercer muestreo).	105
34.- Resultados del cultivo No. 1 en Agar de Mac Conkey, para la proliferación selectiva de coliformes (tercer muestreo).	105
35.- Resultados del cultivo No. 2 en Agar de Dextroza Sabouraud, para el cultivo de hongos y levaduras (tercer muestreo).	106
36.- Resultados del cultivo No. 3 en Agar de Sal y manitol, para el aislamiento de estafilococos patógenos (tercer muestreo).	106
37.- Resultados del cultivo No. 4 en Agar selectivo para Candida según Nickerson, para el cultivo de hongos y levaduras (tercer muestreo).	107
38.- Resultados del cultivo No. 5 en Agar Centrimida, para la proliferación selectiva de Pseudomona sp. (tercer muestreo).	107
39.- Resultados de la medición de microorganismos en el aire en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.	108
40.- Límites según p. Boutin para partículas biológicas aerotransportables.	108
41.- Resultados de las mediciones de radioactividad.	110
42.- Medición de ruido en el frente de trabajo (primer muestreo).	110

RESUMEN

Este trabajo de tesis se ha elaborado como uno de los resultados del proyecto realizado por el II-UNAM en conjunto con SETASA (Servicios de Tecnología ambiental, S.A.) empresa filial de ICA (Ingenieros Civiles Asociados) la cual esta prestando un servicio integral de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos municipales a la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas. El proyecto se realizó en el relleno sanitario operado por SETASA en dicha ciudad.

El objetivo de tal proyecto fue realizar un control ambiental en el relleno y determinar la eficiencia o en su caso la deficiencia operativa en cuanto a la protección del ambiente y de la salud humana, mediante el monitoreo de la degradación de los residuos sólidos en el relleno, es decir, con el estudio cuantitativo y cualitativo de los lixiviados, del biogás y de los residuos sólidos que se disponen en ese lugar, amén de estudiar la calidad del aire dentro de las instalaciones y la influencia de los diferentes parámetros meteorológicos en la degradación de los residuos sólidos municipales.

Las metodologías que se emplearon en el desarrollo del proyecto, tema de este trabajo van desde la investigación bibliográfica hasta muestreos de campo, pues debido a que existe muy poca información acerca de monitoreos ambientales en este tipo de sitios, se tuvo que adaptar e incluso idear nuevas metodologías de muestreo y análisis convirtiendo a este proyecto en el primer monitoreo ambiental integral que se realiza en un relleno sanitario de manera formal en México.

Los resultados obtenidos son muy interesantes, ya que muestran el comportamiento de agentes impactantes como el lixiviado, el biogás y el aire, además de conocer el tipo de características físicas y químicas de los residuos dispuestos en un relleno joven, es decir, con pocos años de operación con condiciones meteorológicas tan especiales como las de esa ciudad fronteriza.

En el primer capítulo se muestra un panorama general de la problemática que significan los residuos sólidos municipales en la actualidad, así como los objetivos y alcances de este trabajo.

En el capítulo II se exponen los componentes de un sistema de manejo de residuos sólidos acentuando la función e importancia que tiene cada uno de sus componentes, y la descripción de este sistema en la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

En el capítulo III se abordó el tema del monitoreo ambiental, poniendo de manifiesto la importancia que tiene esta actividad para el cuidado del ambiente, así como la normatividad que se aplica en otros países y en México en cuanto al monitoreo ambiental; además se dan a conocer: las definiciones, los objetivos, los parámetros y criterios de un monitoreo ambiental para su óptimo desempeño.

En el capítulo IV se listan y explican los diferentes parámetros que se tomaron en cuenta para el monitoreo ambiental en Nuevo Laredo, Tamaulipas resaltando los peligros que representan y las razones por las que fueron escogidos de otros parámetros para ser incluidos en este control ambiental.

El capítulo V trata sobre la investigación bibliográfica que se realizó acerca de los antecedentes geológicos y geohidrológicos del lugar, con el fin de justificar la falta de pozos de monitoreo aguas arriba y aguas abajo del sitio; esta investigación se realizó a partir de los estudios geológicos y de geotecnia que se realizaron previos a la construcción del sitio, además de la indagación de datos meteorológicos realizados recientemente.

En el capítulo VI se enuncian las actividades y los resultados de los monitoreos hechos en el relleno sanitario; además de exponer modificaciones hechas a las normas existentes y la aportación de metodologías en varias actividades.

El capítulo VII expone las conclusiones y recomendaciones a las que se llegan en este trabajo respecto al monitoreo ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas; las recomendaciones van enfocadas al seguimiento de este tipo de actividades en otros sitios de disposición final, así como al mejoramiento de las actividades operativas en el relleno sanitario para propiciar una degradación más rápida de los residuos ahí dispuestos y al mejor tratamiento de los impactantes generados en el relleno para que su afectación al ambiente sea lo menos apreciable posible.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Históricamente, el ser humano ha sido un transformador, el cual en los principios de la historia modificaba de manera consciente e inconsciente su ambiente, esto se realizaba por ejemplo cuando abría una senda a fuerza de recorrer varias veces el mismo camino, o la construcción de armas y vestimentas, la utilización de palos y piedras, y tantas otras actividades que nuestros antepasados requerían hacer para sobrevivir en aquellas condiciones naturales adversas.

Estas transformaciones al ambiente apenas eran perceptibles pero aún así la huella de su paso se marcaba por los residuos que dejaban, es decir, la mayoría de las cosas que, de una o de otra manera había utilizado. De esta manera la transformación de la naturaleza por la mano del hombre y la generación de residuos sólidos comienzan y esta última se vuelve una actividad importante en el desarrollo del ser humano. De hecho, esa transformación de la naturaleza de la que se ha hablado, es lo que al final de cuentas constituye el llamado "avance" de nuestra civilización.

Al transcurrir el tiempo y con los grandes desarrollos en la tecnología y su aplicación a la industria, es como el ser humano incrementa su capacidad transformadora y con ello aumentan sus probabilidades de existencia, por lo que tiene como consecuencia un acelerado crecimiento de la población mundial y el incremento de urbanización consecuente.

Todos estos cambios en la forma de vida modifican sus patrones de consumo, pues en la actualidad ya no existe la acción de consumir y después desalojar, si no que ahora

existe un complejo sistema funcional de generación, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final.

Ahora nuestra sociedad es un ente consumidor de bienes y productor inagotable de residuos sólidos, todo ello provoca problemas de contaminación ambiental y como consecuencia graves problemas de salud pública y socio – políticos inclusive.

Por lo anteriormente dicho es de vital importancia buscar y aplicar de manera correcta los métodos de ingeniería más eficientes en los sitios de disposición final que es en donde a final de cuentas terminan los residuos que ya no tienen ningún valor para nosotros. La correcta aplicación de esos métodos permitirá tener un control de los efectos contaminantes provocados por la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Por lo tanto es de gran importancia agregar a las tradicionales actividades efectuadas en las diferentes fases del manejo de los residuos sólidos, aquellas que permitan cuantificar y evaluar los impactos ambientales generados por este manejo con el fin de realizar el abatimiento de los efectos ambientales adversos, y evitar en lo mayor posible las alteraciones al entorno.

1.1.1 Problemática existente

En nuestro país la infraestructura disponible para el manejo de residuos sólidos ha sido rebasada por la generación de los mismos, ya que hemos adquirido una cultura consumista, además de tener una alta tasa de crecimiento demográfico con lo cual se agrava el problema. Lo anteriormente dicho se ajusta muy bien a las principales ciudades de nuestro país como son: el Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey; estas tres ciudades cuentan con sistemas de aseo urbano en los que existen el almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en sus diferentes formas, y a pesar de ello se encuentran agobiadas por el problema de la basura.

Existen otros estados en donde se cuenta con sistemas de manejo de residuos sólidos, pero la mayoría de las ciudades y municipios en el país realizan el manejo de residuos sólidos municipales sólo en las etapas de recolección y disposición final de los mismos.

Según datos de la Secretaría de Desarrollo social (SEDESOL, 1997) se generan 80,746 t/d de residuos sólidos en la República Mexicana, y de ellos se recolecta el 80% según indicadores de la Organización Panamericana de Salud (Tejeda, 1996).

El resto de los residuos se dejan en barrancas, ríos y demás lugares inadecuados para su disposición final; de ese 80% recolectado en el país el 70% se disponen en "tiraderos a cielo abierto", donde no se tiene ningún control, lo cual ocasiona efectos adversos al medio (Asociación Mexicana para el Control de Residuos Sólidos y Peligrosos, Asociación Civil, AMCRESPAC, 1994). Es este tipo de disposición final con la que se

han tenido graves consecuencias para el ambiente, contaminando el agua, el suelo y el aire, así como en la salud de los habitantes que viven en las cercanías de los tiraderos.

Los principales efectos directos son la emanación de gases que provocan malos olores e incendios, la generación de lixiviados que contaminan el suelo y los mantos acuíferos y también la proliferación de fauna nociva. Lo anterior se evitaría si se fomentara el empleo del relleno sanitario como método de disposición final, con el fin de confinar los residuos sólidos adecuadamente, minimizando los efectos adversos al ambiente.

La adecuada construcción, operación y control de los rellenos sanitarios conduce a una clausura del mismo que no representará un problema a futuro.

El método del relleno sanitario es la mejor opción en países en desarrollo para disponer la basura, en nuestro país resulta ser la opción más viable, y por ello es que debemos diseñar, construir, operar, clausurar y monitorear los rellenos sanitarios con estricta calidad, evitando así, los deterioros al ambiente y lograr que los ciudadanos tengan una mejor imagen del sistema de manejo de residuos sólidos municipales, para que haya confianza y no oposición en la construcción de este tipo de instalaciones.

1.2 Objetivos

Objetivo general: Realizar el monitoreo ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas con el fin de conocer los impactos que producen sus actividades al ambiente, así como para conocer la calidad de los compuestos que se generan por la degradación de los residuos sólidos.

Objetivos específicos:

- 1.- Establecer la importancia del control ambiental en un relleno sanitario.
- 2.- Determinar las características generales del relleno sanitario, en cuanto a:
 - Caracterización de la Basura
 - Generación de Lixiviados
 - Generación de Biogás
- 3.- Establecer un programa de monitoreo ambiental en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

1.3 Alcances y limitaciones

La intención que persigue el desarrollo del presente trabajo, es la de revisar lo que se ha hecho en México en materia de monitoreo ambiental, ya que aunque se trata del caso específico del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas; se pretende establecer un modelo general para que se implemente un programa de monitoreo ambiental en otros rellenos sanitarios de México y con ello se lleve a cabo un buen control en dichos lugares, esperando con ello el mínimo impacto de estas obras civiles al ambiente.

CAPÍTULO II

EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

2.1 El manejo de los residuos sólidos municipales en México

Se puede decir que el manejo de los residuos sólidos municipales en nuestro país es el reflejo del grado de urbanización que se ha alcanzado.

En nuestro territorio desde tiempos prehispánicos, afirma el padre Francisco Javier Clavijero, que bajo el gobierno de Moctezuma Xocoyotzin, en la ciudad de Tenochtitlan había un excelente manejo de los residuos sólidos, ya que existían más de un millar de personas que se encargaban de recoger la basura en las calles.

Además no había en la ciudad ni una sola tienda de comercio que estuviera fuera de la zona destinada para el mercado, por lo que no se podía tampoco vender ni comprar fuera de esos lugares ya establecidos para ese tipo de actividad, y por consecuencia nadie comía en las calles, ni se tiraban cáscaras ni despojos en la vía pública. Se dice en las crónicas, que los servicios urbanos de limpia y recolección de basura estaban mejor organizados que en la actualidad, además de que los habitantes de esa ciudad estaban educados a no tirar desperdicios en la calle, por lo que se decía que el suelo estaba tan limpio que no ensuciaba el pie desnudo de quien transitaba por aquellas calles de la antigua Tenochtitlan. (Deffis Caso, "La basura es la solución", 1989).

Fue a partir de la llegada de los españoles y con ellos, sus malos hábitos, cuando el manejo de los residuos sólidos se volvió arbitrario y con una gran falta de planeación, creando con esto problemas de salud pública, contaminación ambiental, económicos y de carácter social. El problema persistía y no fue sino hasta el año de 1787 cuando el

Virrey Revillagigedo hizo las primeras reglamentaciones municipales acerca del manejo de los residuos sólidos en México.

Estas sirvieron para reglamentar el barrido y regado de calles, estableciendo que la basura fuera recogida y transportada por carros tirados por mulas.

Esta determinación se toma debido a que las calles se volvieron prácticamente intransitables por el desaseo y la falta de limpieza; había basura y los caños estaban llenos de lodos pestilentes. En casi todas las calles se veían muladares o basureros ya que la gente "educada" al estilo europeo estaba acostumbrada a tirar la basura en la vía pública sin importar si existía alguien que recogiera los desperdicios. (Deffis Caso, "La basura es la solución", 1989).

Ya en el año de 1824 las reglamentaciones tomadas por Revillagigedo se dejaron de aplicar, por lo que el entonces Coronel Melchor Múzquiz, jefe superior político interino de su provincia establecía nuevas reglamentaciones.

En ellas entre otras cosas se penaliza a quienes tiren basura en la vía pública y se establece un sistema de recolección de basura muy parecido al que se maneja en la actualidad (en las delegaciones del D.F. y en ciertas ciudades y localidades del país)

En esas reglamentaciones se describe la manera en que carros numerados tirados por bestias recorrían mañanas y tardes las calles de la ciudad. Estos hacían sonar una campana para avisar que podían salir a depositar sus residuos en los carritos destinados para ello, los encargados de la recolección debían aguardar un tiempo razonable para que los vecinos depositaran su basura en los carros, esto se realizaría en las paradas designadas.

Una vez llenos los carros se trasladaban a las afueras de la ciudad en donde depositaban la basura en tiraderos al aire libre. Lo anterior fue el primer sistema de manejo de residuos sólidos municipales en México y además, la primera vez en que se penaliza a quienes tiraran la basura en la vía pública.

Conforme el tiempo transcurría y las ciudades iban creciendo el manejo de los residuos sólidos se hacía cada vez más complejo, pues para 1884 el servicio de limpia en la capital del país contaba con el sistema de limpia más completo, contaba con 83 carros, 43 pipas y 136 mulas distribuidas en las ocho inspecciones de policía.

Es así como los sistemas de manejo de residuos sólidos municipales se han ido formando en nuestro país; se toma como ciudad clave para esta formación la capital del país, ya que es ahí en donde se han dado los grandes avances en materia de manejo de residuos sólidos municipales, pues es la que más problemas tiene con la disposición de sus residuos sólidos.

En la actualidad se denomina manejo de los residuos sólidos a una relación entre los siguientes procesos:

- ◆ Generación.
- ◆ Almacenamiento.
- ◆ Recolección.
- ◆ Transferencia y Transporte.
- ◆ Tratamiento.
- ◆ Disposición final.

Todos los elementos funcionales de un sistema de manejo de residuos sólidos municipales y sus diferentes relaciones se muestran en la figura 1:

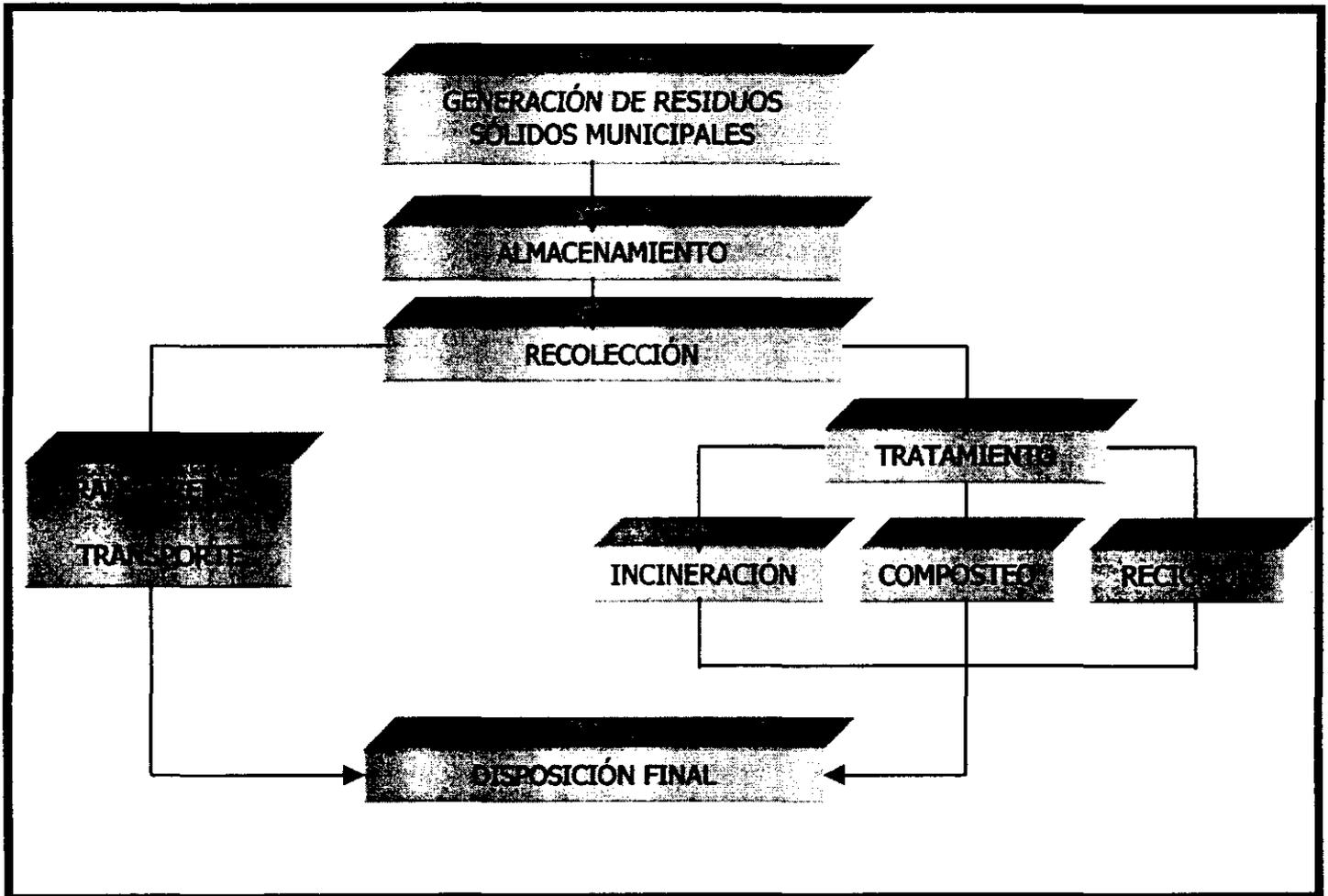


Fig. 1 Ejemplo de las relaciones entre los elementos funcionales de un sistema de manejo de residuos sólidos municipales

Fuente: Diagrama generado en este estudio.

El adecuado manejo de los residuos sólidos municipales en las manchas urbanas contribuye al mejoramiento de la salud pública. Este adecuado manejo es el resultado de las correctas relaciones interdisciplinarias entre diferentes áreas del conocimiento, como las ciencias políticas, la planificación urbana y la demografía, las comunicaciones, ingeniería y ciencias de los materiales, entre otras.

A continuación se presenta una descripción genérica que identifica y caracteriza cada uno de los elementos funcionales de dicho sistema.

2.1.1 Generación y recolección

Cabe aclarar que este trabajo trata sobre los residuos sólidos municipales no peligrosos, los cuales se componen de aquellos residuos generados en los comercios, los domicilios, la vía pública y en los servicios de transporte, y que también son llamados residuos municipales.

El proceso de la generación de los residuos municipales se inicia con el consumo de bienes o productos que al ser utilizados para el fin con el cual fueron creados, después de ello resultan residuos que pierden valor, y que generalmente ya no pueden ser utilizados para el mismo fin, lo que presupone un deseo de eliminarlo.

Esta generación por tanto es la producción de materiales orgánicos e inorgánicos a los cuales el ser humano generalmente no le atribuye ningún valor ni deseo de conservarlo. En lo que se refiere a los residuos sólidos municipales o urbanos, las fuentes generadoras de estos son los domicilios, con una participación muy importante; se estima que actualmente el 50% de los residuos sólidos municipales proviene de los domicilios, el 38 % de los comercios y servicios, y el resto por áreas públicas y otros (DGSU, 1998) como se muestra en la figura 2.

Cabe señalar que un 13% de la basura que se genera en el país pertenece al D.F. y si agregans los 19 municipios conurbados que conforman la zona metropolitana se tiene cerca del 25 %, del total, lo cual nos da una idea del terrible problema que tiene que manejar la capital del país día con día.

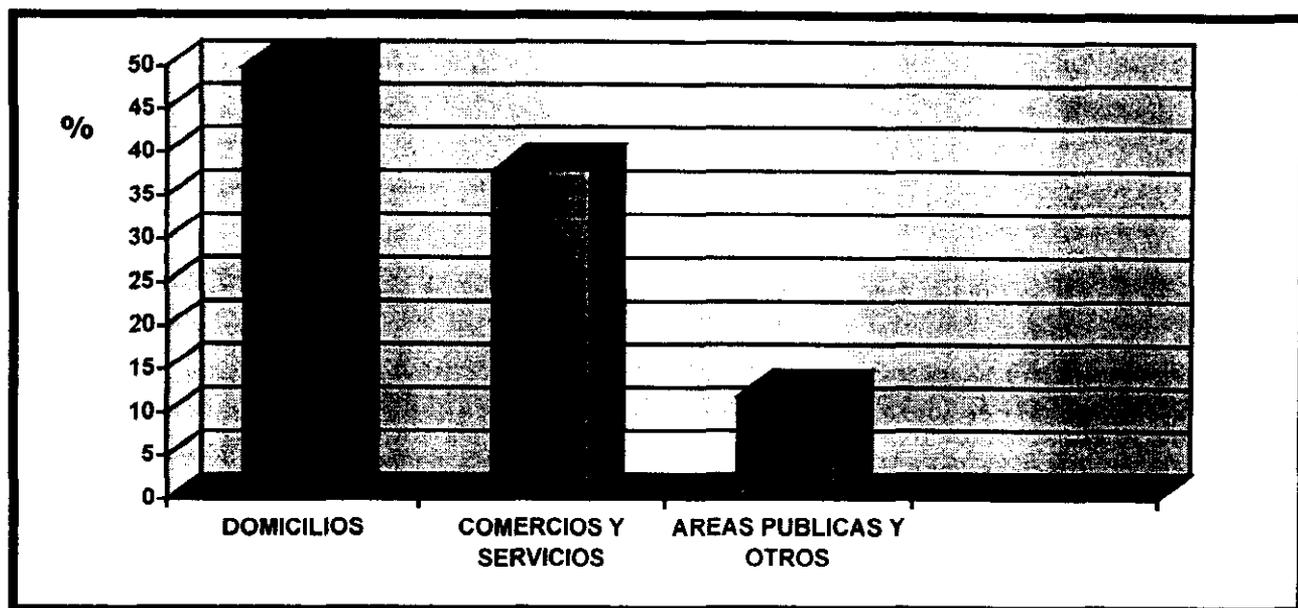


Figura 2.- Porcentaje de participación en la generación de residuos sólidos municipales en el D.F.
Fuente: Manejo y Control de Residuos Sólidos en la Ciudad de México, D.G.S.U., Abril, 1998.

La generación depende de muchas condiciones y varía conforme el lugar que se trate, ya que por lo general, en las provincias la familia es una unidad productora de bienes, pero en las ciudades estas familias son ya una unidad de consumo donde dependen cada vez más de productos industrializados, los cuales gracias a los medios de publicidad y a la mercadotecnia causan gran impacto y aumento en el consumo de bienes, y por lo tanto, de residuos sólidos municipales.

Por otro lado influyen también en la generación de residuos sólidos municipales el tipo de cultura y el nivel económico del lugar, ya que al tener ingresos elevados se posibilita a las personas a la adquisición de un mayor número de bienes de consumo y unido a esto la falta de una cultura recicladora y reutilizadora provoca que la cantidad de residuos sea mayor.

Es por ello que se tiene una mayor generación de residuos sólidos municipales en los niveles económicos más altos y con acceso a productos empacados y envueltos, esta producción de residuos sólidos es menor en los estratos económicamente más bajos, ya que su generación es mayoritariamente de materia orgánica como resultado de no tener acceso a ciertos productos empacados o envueltos.

Así pues, se puede observar en la figura 3 que la generación de basura per cápita en el país desde 1950 es la siguiente:

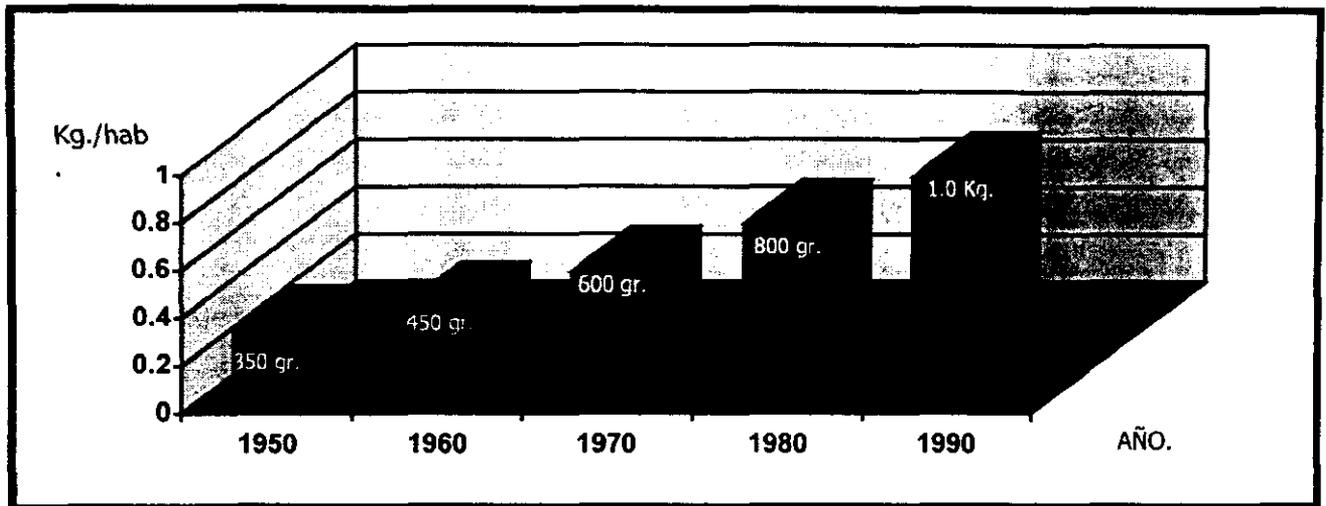


Figura 3.- Producción per cápita de basura en México.
Fuente: INARE, 1997.

En lo que respecta a la recolección, se debemos establecer su finalidad básica, la cual es la recolección de residuos sólidos para preservar la salud de la población.

Esto se logra al evitar la formación de tiraderos clandestinos a cielo abierto, los que son un medio propicio para la proliferación de fauna nociva y otros vectores transmisores de una gran cantidad de enfermedades para el ser humano. Hasta donde es sabido, la medida más efectiva para el control de vectores es el saneamiento básico de la vía pública, a través de la remoción de materiales orgánicos biodegradables, lo cual es de suma importancia en áreas de clima cálido.

La recolección es la parte del sistema de manejo de residuos sólidos, en la que la parte gubernamental competente entra en acción. La recolección no sólo es la recogida de los residuos sólidos en el lugar en el que se generan (domicilios, áreas públicas, comercios y otros), sino que también le corresponde el acarreo de los residuos sólidos hasta el lugar donde serán dispuestos de manera definitiva.

Este paso corresponde a una estación de transferencia o a un sitio de disposición final. Cabe aclarar que se practica el vaciado del camión recolector en una estación de transferencia cuando la distancia que hay del lugar en donde la capacidad del vehículo recolector se agota, hasta el sitio de disposición final es muy larga.

Así también por razones económicas y de eficiencia para algunas ciudades no es recomendable que los camiones recolectores viertan directamente en el sitio de disposición final. Por otro lado, es practicado el vaciado directo del camión al sitio de disposición final cuando la distancia antes mencionada no es muy larga. En este trabajo en cuanto al sistema de residuos sólidos es pertinente mencionar que se hará mención

del que se maneja en la ciudad de México, ya que debido a sus grandes necesidades su sistema es el que ha servido de modelo a las demás ciudades del país.

En la ciudad de México se utilizan cuatro tipos de recolección de los residuos sólidos:

- *De esquina o parada fija:* En este método los usuarios llevan sus depósitos al vehículo recolector, previo aviso que se hace por una campana, el camión espera cierto tiempo hasta que se han recolectado todos los residuos de los habitantes de esa calle.
- *De acera:* Aquí el personal de limpia toma los recipientes que han sido colocados sobre la acera y descarga los residuos dentro del camión recolector, después regresa los recipientes de donde los tomó.
- *Intradomiciliario:* En este método el personal de limpia se introduce a la fuente de generación, toma los recipientes con residuos y los vacía dentro del camión recolector, volviendo a dejar los recipientes donde fueron tomados.
- *Por contenedores:* Este método utiliza recipientes de gran capacidad llamados contenedores, los cuales son colocados en áreas públicas concentradas, tales como mercados, plazas, parques, etc. El camión recolector con un mecanismo especialmente diseñado para ello levanta los contenedores y los vacía en su interior.

A pesar de utilizarse los anteriores métodos para la recolección, se llevan a cabo malas prácticas de recolección, como la que se hace con "carritos" que pasan casa por casa recolectando los residuos sólidos. Cuando la capacidad de su "carrito" se agota se dirigen a una parada específica en donde un camión recolector espera para que varios de esos "carritos" puedan llenar el camión recolector.

Este último lleva su carga a las estaciones de transferencia. Esta mala práctica es empleada en varias ciudades en el país e incluso esos "carritos" en algunas ciudades o poblaciones del interior del país, aún están tiradas por bestias de carga (esto es en el caso en el que la superficie de las calles sea de terracería).

2.1.2 Barrido y limpieza de vías públicas.

El barrido y la limpieza de las vías públicas es una de las partes más importantes del saneamiento de cualquier ciudad.

Como se ha mencionado, las vías públicas junto con otras actividades en una ciudad contribuyen con el 12% del total de los residuos sólidos municipales, por lo que de su cabal limpieza depende la imagen urbana de una ciudad.

Esta acción de mantener un buen saneamiento evita que los excrementos de animales callejeros y la basura doméstica que se encuentran tirados por la vía pública produzcan

efectos dañinos, esto por la falta de cultura y educación de los transeúntes que tiran la basura en las vías públicas.

Por otra parte, la basura acumulada en las vías públicas puede entorpecer e incluso destruir la infraestructura vial, de alcantarillado, eléctrica, de comunicaciones e incluso provocar accidentes. Si se acumula se puede obstruir el drenaje pluvial y causar inundaciones; si hay pedazos de metal en las vías públicas éstas se pueden dañar, incrementando los costos de mantenimiento de la infraestructura vial y en las demás mencionadas.

La ciudad del país que cuenta con una infraestructura muy completa en lo que se refiere a limpieza urbana es la ciudad de México, ya que debido a sus dimensiones necesita de esos servicios completos para mantener su infraestructura vial, de alcantarillado y eléctrica en buen estado. Para la limpieza urbana en la Ciudad de México se divide esta tarea en dos partes, por un lado, las delegaciones realizan un barrido manual y mecánico de 17,000 Kilómetros de vialidades primarias, secundarias, locales y colectoras, mientras que a la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) le compete exclusivamente la limpieza de la llamada Red Vial Primaria (integrada por 9 vías rápidas, 23 ejes viales, 10 avenidas principales y 6 accesos carreteros).

La DGSU ejecuta las acciones de barrido manual y mecánico de 350,000 Kilómetros anuales, atendiendo de manera paralela el lavado del mobiliario urbano, el retiro de propaganda comercial no autorizada, la eliminación de pintas y grafitis, el lavado de pasos peatonales y vehiculares, el retiro de organismos muertos y el control de fauna nociva.

Una vez recolectadas las acumulaciones de residuos sólidos (ya sea por que se ha agotado la capacidad de la unidad o por que se ha terminado su ruta) los vehículos transportan los residuos sólidos a la estación de transferencia que le ha sido asignada.

Existe una supervisión en ruta y en sitio para verificar la atención y seguimiento en la estación para el cubicaje y tiro de residuos.

Cabe aclarar que la composición de los residuos sólidos que son retirados de las vías públicas se componen principalmente de materia orgánica (animales muertos, hojas secas, arbustos, etc.) , envases de metal y de vidrio, envolturas y piedras de diferentes tamaños.

2.1.3 Transferencia y transporte.

Las estaciones de transferencia son un eslabón intermedio en el manejo de los desechos sólidos, que consisten en instalaciones sanitarias que permiten transferir (mediante gravedad o utilizando equipos mecanizados) los residuos del vehículo recolector a otro vehículo con mayor capacidad de carga, de tal forma que disminuyan

los tiempos y los costos de la recolección de los desechos, así como el tiempo de transporte al sitio de disposición final (ver figura 4).

Con este objeto y con el de reducir el impacto ambiental de los tiraderos irregulares dispersos en la ciudad que se trate, se implementan este tipo de estaciones de transferencia. En las ciudades pequeñas o poblaciones no muy grandes es muy común que los mismos camiones recolectores viertan su carga en los sitios de disposición final, ya que la distancia que hay entre el lugar de recolección (lugar donde se agota la capacidad de la unidad recolectora) y el sitio de disposición final es relativamente corto, por lo que no requieren de estaciones de transferencia.

Sin embargo en ciudades tan densamente pobladas como las ciudades de Monterrey, Guadalajara, la Ciudad de México y en otras que ya van creciendo enormemente como la ciudad de Tijuana, requieren de estaciones de transferencia para hacer más eficiente su sistema de manejo de residuos sólidos.

Las estaciones de transferencia en sí son la columna vertebral del sistema de manejo de los residuos sólidos, por lo que cualquier mal funcionamiento en ellas puede ser una de las causas que provocan serios problemas; por ejemplo el congestionamiento de camiones recolectores en las entradas de las estaciones de transferencia, lo cual implica un tiempo de espera formados en filas puede ayudar a disminuir la cobertura de recolección diaria.

Este tipo de problemas sumado a tantos otros puede contribuir a que las personas de las zonas afectadas tiren sus residuos sólidos en la vía pública creando con ello tiraderos clandestinos, que finalmente repercuten en la cantidad de basura que tendrá que recoger la autoridad competente en la vía pública y generando deterioros al medio y a las personas que habiten en las cercanías.

La ciudad de México es la ciudad con más estaciones de transferencia en operación y que maneja de una forma más adecuada los residuos sólidos en el país, cuenta con 13 estaciones de transferencia ubicadas estratégicamente en 12 delegaciones políticas, mediante las cuales se transportan diariamente 9,000 toneladas diarias de residuos sólidos, tanto a las plantas de selección y aprovechamiento como a los sitios de disposición final.

Como ya se mencionó el sistema de estaciones de transferencia tiene como propósito el reducir los grandes recorridos de los vehículos recolectores a los sitios de disposición final; de esta manera, los residuos son transferidos a unidades de mayor capacidad denominados Transfers o tractocamiones que los transportan a esos sitios.

Las estaciones de transferencia al igual que los sitios de disposición final deben cumplir con ciertas características que aseguren que no representarán un foco de contaminación para el ambiente, ya que al manejar residuos sólidos los operadores están expuestos a partículas y microorganismos dañinos para el ser humano, por ello,

es que son monitoreados con cierta periodicidad para asegurar la salud de las personas que laboran en las instalaciones así como alas personas vecinas del lugar.

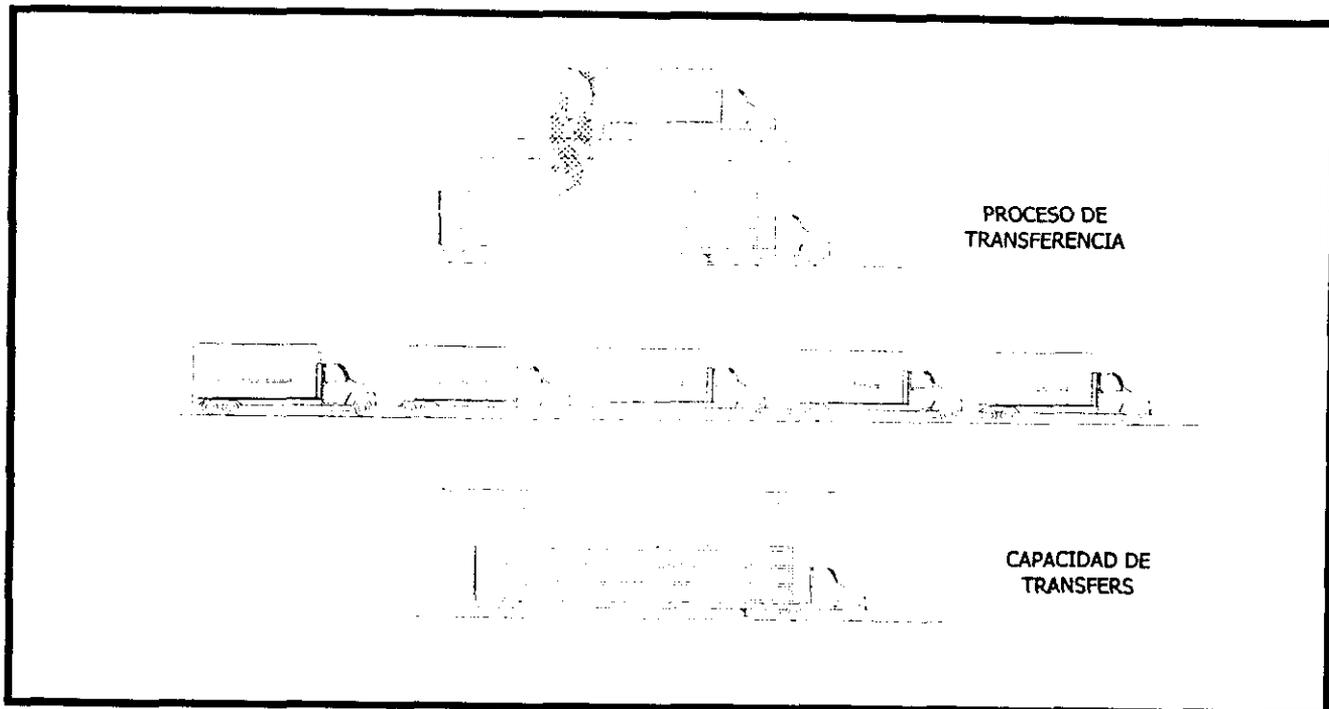


Figura 4.- Sistema de Transferencia de los Residuos Sólidos Municipales.

2.1.4 Caracterización de la basura.

La caracterización de los residuos sólidos municipales, es de vital importancia para las diferentes tomas de decisiones en la proyección y el diseño de los sistemas de manejo y disposición final de los residuos sólidos, por lo que debe tenerse mucho cuidado con este parámetro desde la selección de la muestra hasta el análisis estadístico de los resultados. Las normas que rigen la caracterización física y química de los residuos sólidos se muestran a continuación.

Tabla 1.- Normas oficiales mexicanas que rigen la caracterización de los residuos sólidos municipales en México.

PARAMETRO	NORMA
* Método de cuarteo	NOM-AA-015-1985
* Determinación de humedad	NOM-AA-016-1985
* Peso volumétrico "in situ"	NOM-AA-019-1985
* Determinación de Materia orgánica	NOM-AA-021-1985
* Selección y cuantificación de subproductos	NOM-AA-022-1985
* Determinación de Nitrógeno total	NOM-AA-024-1985
* Preparación de muestras en el laboratorio.	NOM-AA-052-1985
* Determinación de la generación	NOM-AA-061-1985
* Determinación de la relación C/N	NOM-AA-067-1985
* Determinación de hidrógeno a partir de la materia orgánica	NOM-AA-068-1985
* Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica	NOM-AA-080-1985

La finalidad de los diferentes estudios para la caracterización de los residuos sólidos es generar información cuantitativa y cualitativa, sobre la cantidad y características físico-químicas y bacteriológicas de los residuos sólidos municipales dispuestos en los rellenos sanitarios.

Así como para determinar la generación per cápita, el peso volumétrico, el porcentaje de materiales recuperables, % de materia orgánica y los diferentes porcentajes de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno de los residuos sólidos.

Estos análisis permiten fundamentar conclusiones y adecuaciones de alternativas de disposición final de los residuos sólidos municipales y en el caso concreto del relleno sanitario mejorar su operación.

Para la realización de esta caracterización, es necesario realizar las siguientes operaciones:

- a. Muestreo en el frente de tiro del relleno sanitario.
- b. Cuarteo de los residuos sólidos.
- c. Determinación del peso volumétrico "in situ"
- d. Preparación de muestra para análisis de laboratorio.
- e. Selección y cuantificación de subproductos.
- f. Determinación del % de material biodegradable.
- g. Determinación del Nitrógeno total.
- h. Determinación del % de O₂ en materia orgánica.
- i. Determinación del Carbono.
- j. Determinación del Hidrógeno.

los diferentes procedimientos de las operaciones antes mencionadas, se enuncian en el anexo de este trabajo.

Más de un procedimiento para realizar las operaciones anteriores, han tenido que ser modificadas, debido a que el caso de estudio así lo requiere.

En este caso el cambio más importante estuvo en el proceso de muestreo y cuarteo hasta llegar a la preparación de la muestra para análisis de laboratorio, ya que no fue necesario hacer un estudio de generación de residuos sólidos del municipio de Nuevo Laredo, ya que ese estudio se realiza para el diseño de un relleno sanitario o el de una planta de separación de subproductos, pero en este caso el relleno sanitario ya está en operación y en ese estudio no se contempla una pepena previa a la disposición final y con ello la diferencia que hay entre los residuos sólidos que se recolectan de los que se disponen.

Es por ello, la toma de la muestra de residuos sólidos no se hizo del estudio de generación y se utilizó una método más coherente con la realidad del relleno sanitario en estudio.

Este método consiste en muestrear una cantidad cercana a 500 Kg. de residuos sólidos en el frente de trabajo, esta cantidad de muestra debe mantener las mismas proporciones que tiene la cantidad total de residuos sólidos que son dispuestos diariamente en el relleno sanitario, con esto la muestra a caracterizar es más representativa de lo que se está disponiendo.

Cabe mencionar que este tipo de estudios son relativamente novedosos, pues sólo se han realizado para algunos de los rellenos sanitarios de la ciudad de México como: Bordo Poniente y Prados de la Montaña. Aunque en estos rellenos sanitarios se ha seguido el procedimiento dictado por las NOM-AA-61 y NOM-AA-15.

A nivel nacional sólo no se tiene un estudio de caracterización de residuos sólidos, sólo acerca de los subproductos producidos. Estos resultados se presentan en la tabla 2 en la que presenta la composición porcentual de los residuos sólidos municipales en nuestro país, cabe aclarar que esta tabla es sólo una aproximación, ya que si es problemático hacer el estudio para una sola localidad es mucho más para el país en su conjunto.

Tabla 2.- Composición porcentual por zonas de los residuos sólidos municipales
Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1991-1992, México, 1993.

SUBPRODUCTOS	FRONTERIZA	NORTE	CENTRO	SUR	ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO
Cartón	3.01	4.28	4.16	4.51	3.000 - 4.016
Residuos finos	4.68	9.71	6.28	6.37	0.977 - 1.000
Hueso	0.52	0.59	0.94	0.61	0.678 - 1.410
Hule	0.71	0.78	0.9	0.31	0.342 - 1.400
Lata	3.13	2.46	2.1	2.8	1.261 - 1.590
Material ferroso	0.51	0.46	0.86	1.37	0.640 - 0.591
Material no ferroso	0.22	0.57	0.45	1.00	0.050 - 0.584
Papel	11.36	9.17	8.8	6.90	11.020 - 14.907
Pañal desechable	4.96	2.59	2.79	4.01	1.996 - 5.320
Plástico película	2.68	3.79	3.32	3.96	2.800 - 3.771
Plástico rígido	2.8	2.38	1.96	2.38	2.154 - 2.550
Residuos de jardín	15.35	7.48	6.95	7.88	5.164 - 7.700
Residuos alimenticios	25.72	37.56	38.20	41.06	40.740 - 42.010
Trapo	2.52	1.94	2.00	1.25	1.560 - 1.660
Vidrio de color	3.98	3.36	2.86	3.95	2.149 - 2.900
Vidrio transparente	4.22	4.27	4.15	4.28	3.410 - 4.789
Otros	13.63	8.61	14.36	9.23	3.442 - 2.609
Totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000 - 100.000

2.1.5 Tratamiento de los Residuos Sólidos.

El objetivo principal del tratamiento de los residuos sólidos es aumentar la eficiencia en los diferentes sistemas de manejo, la recuperación de materiales reutilizables y la conversión de los subproductos en energía. Existen más de un tipo de tratamiento para los residuos sólidos y son los que se enuncian a continuación:

a) *Tratamiento preventivo.*- El cual consiste en tratar los residuos sólidos una vez llegados a la estación de transferencia con diferentes sustancias, las cuales sirven para mitigar los malos olores, controlar el nacimiento de moscas y demás fauna nociva.

También al descargar los camiones recolectores su carga a los transfers son puestos en marcha sistemas de aspersión, que impiden que las partículas aerotransportables sean esparcidas por todas las instalaciones y que además migren fuera de ellas, provocando un serio riesgo de contaminación e infección para la población que vive en las cercanías de la estación de transferencia.

Las nuevas tendencias ambientales de reciclaje y reuso de los RSM recomiendan que dichos residuos sean tratados previamente de forma que puedan ser retirados de los residuos todos aquellos productos que puedan ser reutilizados o reciclados. Los productos que pueden ser reciclados son el papel, cartón, plásticos, envases tetra-brik, metales y la fracción orgánica mediante una fermentación controlada para la fabricación de mejoradores de suelos agrícolas (Composta).

b) *Tratamiento para selección y aprovechamiento.*- Este método de tratamiento es el primer paso antes del proceso de reciclaje de residuos sólidos, el cual tiene cada vez más aceptación por sus ventajas económicas, sociales y sanitarias sobre los métodos convencionales.

En diversas ciudades del país y del mundo, los residuos sólidos son trasladados de las estaciones de transferencia a plantas de selección y aprovechamiento de residuos sólidos.

Las plantas tienen como objetivo el recuperar los materiales útiles contenidos en los residuos sólidos a fin de prolongar la vida útil del relleno sanitario y además, por que el valor monetario de esos materiales útiles es alto, por lo que forma parte del modo de vida de muchas familias. Este tratamiento sigue del tratamiento preventivo antes descrito, y consiste principalmente en separar los diferentes subproductos de que se componen los residuos sólidos, la separación se pueden clasificar de la siguiente manera:

b.1) *Separación en el origen:* Este tipo de separación por su naturaleza se realiza en los domicilios, comercios y demás fuentes generadoras de los residuos sólidos municipales, existe en casi todas sus formas, aprovechando que los residuos sólidos no han sido contaminados, llegando separados a las plantas separadoras en donde son vendidos los subproductos, uniéndose a los que allí se obtienen y haciendo más fácil la introducción de subproductos a un proceso de reciclaje.

b.2) *Separación intermedia:* Esta es la separación más practicada en nuestro país, ya que al mismo tiempo que los trabajadores de limpia recolectan los residuos sólidos los separan en diferentes tipos, siendo el cartón, vidrio, aluminio, y fierro los más comunes, ya que ellos saben el valor que tienen esos subproductos en el mercado del reciclaje.

También este tipo de separación consiste en descargar los residuos sólidos municipales de los transfers en las tolvas de las plantas de selección y aprovechamiento que a su vez descargan a bandas transportadoras, en donde a los lados de las bandas hay personas que separan manualmente los subproductos útiles.

También en este tratamiento existen sistemas de aspersión y extracción de aire, con los cuales se busca proteger la salud de las personas que laboran en las instalaciones y de los que viven a las afueras de las mismas.

b.3) Separación en los sitios de disposición final: Aquí es donde los pepenadores trabajan separando manualmente de las descargas de los transfers que no descargaron en las plantas de selección y aprovechamiento, esta práctica se realiza principalmente en los países en vías de desarrollo, y en condiciones infrahumanas, aunque tiende a desaparecer como ha sucedido en los países industrializados.

b.4) Separación automatizada: Este sistema no requiere de separación manual, si no por sistemas totalmente automatizados que realizan la separación, este sistema se ha desarrollado principalmente en los países industrializados ya que requiere de altas inversiones y costos de operación, lo que hace difícil su aplicación en países subdesarrollados.

c) Tratamiento para producción de composta.- Este tratamiento consiste en la digestión bacteriana de los residuos sólidos, la cual no es otra cosa que la descomposición biológica de la materia orgánica con el fin de obtener un humus orgánico estabilizado. El tratamiento consiste en someter a la parte orgánica de los residuos sólidos a la acción bioquímica de los microorganismos, de manera controlada técnicamente, con el objeto de estabilizar la parte de fácil biodegradación.

La descomposición puede realizarse en condiciones aeróbicas, es decir, en presencia de oxígeno o en ausencia de éste. Las condiciones aerobias son las más recomendables por la reducción de tiempo que existe. Este proceso no presenta problemas derivados de olores y gases.

El resultado es un buen enriquecedor de suelos que puede utilizarse en tierras agrícolas, viveros o en los mismos jardines y áreas verdes de la ciudad que utilice este proceso.

d) Compactación .- Este sistema de tratamiento de residuos sólidos municipales, es en esencia una planta de prensado que tiene como misión principal la confección de paquetes de muy alta densidad con los RSM o con rechazos de planta de selección de RSM.

Un ejemplo es el Sistema Imabe el cual asemeja una fabrica ó instalación industrial lo cual aumenta la aceptación publica de su instalación. Que tiene por objetivo el enfardar los RSM o los rechazos de RSM antes de colocarlos en vertederos controlados, con ello se extiende la vida del vertedero; desde el punto de vista económico se consigue

colocar entre un 80 a 120 % mas de residuos en el mismo espacio que con el sistema convencional, compactando los RSM entre 1000 a 1200 Kg./m³. para los RSM todo uno y entre 750 a 950 Kg./m³ para los rechazos de una planta de selección de RSM, mediante el compactado con el sistema Imabe.

También se evita la dispersión de residuos ligeros (papeles, plásticos) por el viento; la nave cerrada evita los efectos de los vientos fuertes sobre la basura. La descomposición de los RSM todo uno se vuelve más lenta. La generación de gas y lixiviados es significativamente menor que en un vertedero convencional porque el contacto entre la humedad y el residuo se reduce al máximo.

Este tipo de tratamiento disminuye la concentración de compuestos orgánicos biológicos en el lixiviado de los vertederos y en el caso de los rechazos de planta de selección, los elimina completamente. Los problemas de hundimientos en los vertederos se reducen, por la mayor densidad y consistencia de los paquetes.

Evita los vectores de contaminación, puesto que a pájaros, roedores, perros, etc. les resulta casi imposible comer de los paquetes de RSM, debido a su muy alta densidad de compactación. Se necesita menos material de cobertura (solo 20 cm. de tierra por capa de 5 paquetes de altura); la reducción de volumen de los residuos implica un 70 a 75 % menos de cobertura diaria. Frecuentemente solo es necesario cubrir la parte superior de la pila de balas, dejando el frente descubierto. El frente de trabajo (120 paquetes ó 200 m²) expuesto es más pequeño que un vertedero convencional.

Un vertedero seco de paquetes de RSM tiene menos problemas que uno convencional ante condiciones climáticas extremas (estaciones lluviosas).

Mejora el control de las operaciones en el vertedero; al reducir el área abierta se asegura la eliminación de recolecciones furtivas y el trafico de vehículos queda limitado a la zona de trabajo.

El compactado es totalmente compatible con la recuperación para el reciclaje de materiales, así como la eliminación de elementos peligrosos para el enfardado.

El transporte del material enfardado se simplifica y se reducen las necesidades de maquinaria en el vertedero.

El compactado reduce y compacta los residuos voluminosos(muebles, colchones, puertas, bidones, palets, etc.) transformándolos en paquetes que pueden ser llevadas al vertedero ó utilizadas como combustible.

En situaciones especificas el compactado de RSM puede ser totalmente compatible con otros sistemas de tratamiento y eliminación de residuos (recuperación, incineración, etc.) y formar parte de una estrategia de gestión de residuos integral.

El sistema Imabe por ejemplo consta de una cinta transportadora metálica que efectúa la función de recepción de los residuos y a su vez alimenta de forma dosificada una prensa continua automática. La capacidad y dimensiones de esta planta están en función de las necesidades específicas de cada instalación.

Una prensa embaladora es una maquina que usa la fuerza de un cilindro hidráulico para compactar los residuos ó materiales reciclables en una cámara de diseño especial a alta presión. El fardo producido es un paralelogramo comprimido que puede ser apilado, almacenado ó transportado. Sus dimensiones son: 1,1 m. de ancho por 1,1 m. de alto por 2 m. de largo.

Particularmente el sistema Imabe compacta los RSM o sus rechazos con una presión específica de compactación de 20 Kg./cm². , dándoles a los mismos una muy alta densidad de 850 a 1200 Kg./m³. y una estabilidad geométrica de los paquetes perdurable aun rompiendo los cinchos de alambre que rodean y sujetan el fardo.

El sistema compactador esta compuesto por una ó más unidades que pueden procesar de 25 a 40 ton./hora cada una dependiendo del modelo y tamaño de la maquina.

El área de operación de este tipo de tratamiento debe ser una nave que contemple una zona de descarga de los residuos, la zona de compactación y una zona de post - compactación para cargar los paquetes de RSM a los vehículos que los transportan al vertedero controlado.

* La construcción debe incluir:

- Paredes y suelo de concreto.
- Sistemas contra incendios.
- Ventilación.
- Drenaje del suelo y sistema de lavado.
- Foso de instalación para la cinta alimentador.

El sistema requiere de un cargador frontal polivalente(Carretilla) para empujar los residuos sobre la cinta transportadora y para cargar los paquetes terminados en los vehículos de transporte.

En el caso de las compactadoras del Sistema Imabe disponen de un sistema de atado automático con alambre de acero, para asegurar la integridad del fardo.

Tanto la cinta de alimentación como la prensa se ubican en fosos y superficies comunicados a una red de drenaje de evacuación de líquidos contaminados. Estos líquidos son evacuados hacia una balsa impermeable para su control y tratamiento. La compactación de RSM todo uno por el Sistema Imabe produce la expulsión de líquidos escurridos procedentes de la humedad de la fracción orgánica de los mismos.

La producción de estos líquidos escurridos es variable y esta en función de la composición y de la humedad de los RSM.

En conclusión podemos decir, que el fardo de RSM o de rechazo, es una unidad de transporte que puede ser cargada y transportada cómodamente ya sea por ferrocarril, carretera ó barco.

En este punto radican posibilidades notables y el tratamiento por compactación se ha convertido en una optima opción en la gestión de los RSM ya que el numero de vertederos existentes lejos de crecer tienen que disminuir.

Este tipo de tratamiento se utiliza comunmente en Europa, y un ejemplo lo fue el traslado de varios paquetes de RSM desde Madrid hasta Santander (400 Km.) se dejaron a la intemperie y se efectuó por científicos de la Universidad Menéndez Pelayo de Cantabria una observación metódica de las mismas comprobando después de doce meses que tanto el deterioro de su estructura, como la actividad biológica manifestada habían sido insignificantes. No se observo producción de lixiviados (pese a la pluviometría intensa de la zona) ni gases u olores que evidenciaran degradación.

Los paquetes en cuestión tampoco atrajeron insectos ni pájaros, aunque en una oportunidad fueron atacadas por cabras que habían invadido la zona y que intentaron extraerles material, sin conseguirlo.

En la cara superior nacieron plantas de un verde muy intenso que evidencian la presencia de oxígeno, la formación de un mantillo de composta y la mayor penetración del agua de lluvia en esta superficie que aportaría la humedad necesaria para las plantas.

En la actualidad existen en tanto en España como en otros países de la Unión Europea y en la Unión de Estados Independientes (ex URSS) numerosas instalaciones de prensado de RSM, lo cual demuestra la aceptación del tipo de tratamiento, por los entes responsables de la eliminación de los RSM. Este sistema puede ser empleado en estaciones de transferencia, tomando en cuenta que los camiones recolectores urbanos de basura son unidades caras de mantenimiento y personal, además de que si la distancia al vertedero es mayor de 15 Km. resulta más económico una estación de transferencia con tratamiento de compactado donde el camión recolector pueda vaciarse y volver a la recolección de forma inmediata.

No solo se evita así el costo de los empleados por un viaje donde no trabajan si no que también se ahorra el desgaste y maltrato al camión recolector por el viaje al vertedero. En este caso la planta de embalado de RSM puede estar ubicada a una distancia intermedia entre el vertedero y el conglomerado urbano donde se realiza la recolección.

Para el transporte de los paquetes al vertedero se pueden utilizar camiones más sencillos con un solo conductor para hacer el viaje. La optimización económica solo se

puede conseguir cuando se logra un óptimo de la carga manteniendo las medidas y pesos permitidos para los vehículos, transportando el máximo peso con el mínimo precio.

2.1.6 Disposición final de los residuos sólidos.

Existe un gran problema por la disposición de los residuos sólidos municipales de manera definitiva en lugares que afectan al ambiente y a la salud pública, por lo que estas prácticas han casi desaparecido en los países industrializados, pero en los países en vías de desarrollo y principalmente en poblaciones rurales aún se disponen los residuos sólidos municipales de manera inadecuada, los diferentes tipos de disposición final se describen a continuación:

a) Vertido a corrientes de agua o al mar.- Esta mala práctica consiste en el lanzamiento de los residuos sólidos a las corrientes de agua, lagos o mares, esto es inaceptable debido al desequilibrio ecológico que produce, sobre todo por la adición excesiva de nutrientes y carga orgánica. Además de ser un contaminante para los seres del ecosistema, producen serios daños a la salud humana si se vierten a cuerpos de agua de donde el ser humano toma el vital líquido, o donde el cuerpo de agua es utilizado para recreación. Por lo anterior, en la actualidad es inaceptable este tipo de disposición final de los residuos sólidos.

b) Botadero a cielo abierto.- Este método por desgracia aún se utiliza en nuestro país y en otras poblaciones del mundo, se ha tratado de eliminar al ver que representa un serio factor de contaminación al ambiente. Esta práctica se ha reglamentado hasta llegar al método del relleno sanitario, el cual es el menos riesgoso en materia de protección ambiental.

También se recurre a este método, cuando en alguna ciudad o población su sistema de recolección tiene problemas para cubrir la totalidad de los residuos sólidos generados por la población, por lo que la parte desatendida tira sus residuos sólidos en vías públicas o en lugares que no están destinados para ello, comenzando así un botadero a cielo abierto.

c) Quema al aire libre.- Esta es una mala práctica que se trata de erradicar en nuestro país, ya que se ha detectado que esa práctica provoca serios daños al ambiente, afecciones a los habitantes de las cercanías y altos índices de contaminación al aire. De la misma manera que en los botaderos a cielo abierto, este método se sigue utilizando en poblaciones que no cuentan con un sistema de manejo de residuos sólidos bien establecido. También se presenta accidentalmente en botaderos a cielo abierto, donde al comenzar la producción de biogás se puede dar una mezcla flamable, la cual puede encenderse con la menor colilla encendida de cigarro que se arroje por accidente, o por un relámpago que caiga.

d) *Alimentación de animales.*- Este método debe prohibirse ya que si son alimentados con residuos orgánicos crudos los animales domésticos, existe un alto riesgo de transmisión de enfermedades al hombre, además de significar un riesgo a los mismos animales. Puede darse este tipo de disposición final para residuos sólidos orgánicos, si se tiene un control, como por ejemplo para los residuos de restaurantes y hoteles.

e) *Incineración.*- Este proceso de tratamiento de los residuos sólidos consiste en la combustión controlada en hornos especializados para transformar los residuos sólidos en materiales inertes e inofensivos, reduciendo al mismo tiempo, su peso a un 15% y su volumen a 20% de los originales. Este es el tratamiento más costoso, ya que demanda una alta inversión inicial y grandes gastos de mantenimiento y operación; especialmente en países de clima húmedo y con altas precipitaciones, donde se hace necesario el uso de combustibles para auxiliar la quema de los residuos sólidos. En la actualidad los incineradores de basura permiten la recuperación de energía de la combustión usada en la producción de vapor de agua, que acciona turbogeneradores para la producción de energía eléctrica, la que es distribuida para el uso industrial o doméstico.

f) *Pirólisis.*- Consiste en el tratamiento de los residuos sólidos por calentamiento a altas temperaturas sin flama, baja presión y en una atmósfera pobre de oxígeno, formando los siguientes compuestos orgánicos: H₂, CO, CH₄, carbono fijo, metales y aceite combustible con un alto poder calorífico. La cantidad de los compuestos anteriores depende de la composición de los residuos sólidos que sean sometidos a este proceso, sobre todo depende de la humedad de los residuos sólidos, de los factores de temperatura, presión, duración del proceso y velocidad de transferencia de calor en la cámara pirólítica.

Este proceso presenta muchas ventajas sobre los demás procesos de tratamiento de residuos sólidos, la desventaja principal reside en que demanda altas inversiones iniciales así como de operación, por lo que su utilización a escalas industriales es aplicada sólo en países muy industrializados como en Alemania.

g) *Relleno sanitario.*- Esta es una técnica de eliminación de residuos sólidos que consiste en un depósito, compactación y cubierta con tierra, en ciclos diarios.

Otra definición más completa es la que refiere al relleno sanitario como un método de disposición de desechos sólidos sobre un espacio controlado de terreno, realizado sin crear molestias o riesgos a la salud pública y al ambiente. Tomando en cuenta principios de ingeniería, los desechos se colocan, se esparcen en capas uniformes, se compactan y finalmente, al concluir cada día de operación, se cubren con una capa de tierra (cubierta diaria). A cada porción de desechos confinados se le denomina área, compactados y sellados con el material de cubierta, se le denomina como celda de confinamiento.

Se puede mencionar que la cubierta diaria es lo que más distingue a un relleno sanitario de un basurero a cielo abierto; ya que esta reduce la proliferación de pepenadores,

fauna nociva, reduce los malos olores y proporciona una imagen limpia del sitio de confinamiento.

El relleno sanitario representa la mejor opción para la disposición final de los residuos sólidos según se observan las siguientes ventajas:

- Menor inversión inicial que con otros métodos.
- Reducidos costos de operación y mantenimiento.
- Posibilidad de recuperar el gas metano como fuente alterna para la generación de energía.
- Recuperación de terrenos estériles o improductivos en áreas recreativas o reforestadas.

Es necesario aclarar que el método de relleno sanitario presenta también ciertas desventajas:

- Existe dificultad para obtener un terreno con las características necesarias para un relleno sanitario (profundidad del manto freático, zona de recarga, ubicación respecto a zonas de fracturación, características del suelo, vida útil, ubicación respecto a cuerpos de agua, drenaje y topografía).
- Hay una gran necesidad de supervisión para cumplir con los ciclos cotidianos de relleno.
- Existe el riesgo de contaminación de los mantos freáticos si no se diseña o construye adecuadamente el relleno sanitario.
- Por lo regular los asentamientos al clausurar el relleno sanitario no se hacen esperar y con ello dificultan la reutilización del área como área recreativa.

Existen básicamente tres maneras de construir un relleno sanitario, las cuales son:

1) *Método de Trinchera.*

Este método se utiliza normalmente en terrenos planos, teniendo la seguridad que las aguas freáticas se encuentran a suficiente profundidad para no ser contaminados.

El método consiste en abrir zanjas o trincheras a intervalos que sean adecuados para la estabilidad de los taludes, y a profundidades del orden de 2 a 3 m., con apoyo de equipo mecánico; cabe señalar que la profundidad de las trincheras está limitada por la profundidad de las aguas freáticas y por la dureza del terreno, pudiendo tener en ocasiones hasta 7m. de profundidad. La tierra sobrante de la excavación de la trinchera es colocada a las orillas de la trinchera para ser utilizada mas tarde como material de cubierta.

Una vez hecha la zanja o trinchera, se depositan los residuos sólidos en el fondo de la misma, se extienden y se compactan con equipo mecánico. Finalmente se cubre con el

material producto de la excavación, con un espesor de 15 a 20 cm., compactándola con el mismo equipo, todo esto en ciclos diarios.

2) *Método de Área.*

Este método se utiliza en cualquier tipo de terreno, sean oquedades, inicios de cañadas, depresiones y en terrenos planos que por su condición geológica y la superficialidad de las aguas freáticas impida la excavación de trincheras.

El método consiste en hacer celdas de dimensiones determinadas por la generación diaria de residuos sólidos, depositando los residuos sobre un talud, compactándolos y cubriéndolos con tierra previamente arrimada a la zona de trabajo, de la misma manera que en el método de trincheras, sólo que en este caso las celdas se van yuxtaponiendo en sentido transversal o longitudinal.

3) *Método combinado.*

Este método es el más frecuentemente utilizado, por ser el más versátil. Tiene la posibilidad de iniciar con el método de trincheras y seguir después de haber alcanzado el nivel de terreno natural con el método de área.

En la actualidad se trata de disponer los residuos sólidos municipales de la manera más adecuada para no tener repercusiones en un tiempo futuro, los métodos más controlados y modernos que existen hasta ahora son el relleno sanitario y la incineración. La disposición final de los RSM es la última parte de un sistema de manejo de residuos sólidos municipales, esta eliminación de los RSM se ha efectuado hasta ahora como se ha mencionado por medio de dos sistemas básicos: El relleno sanitario y la incineración, además de la Pirólisis que es otra forma de incineración.

2.2 El caso de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

El estado de Tamaulipas cuenta con una superficie territorial de 79,829 km², es uno de los seis estados mexicanos que colindan con EUA. Al norte tiene una frontera de 370 km. con el estado de Texas, el río Bravo es la línea divisoria. Al este, en el Golfo de México, tiene 420 km. de litoral (figura No.5), la mitad del cual está formado por un sistema de lagunas de agua salobre. Al oeste colinda con el estado de Nuevo León y al sur con los estados de Veracruz y San Luis Potosí. Comunica con todos ellos a través de una extensa red carretera y ferroviaria.

Cd. Victoria, capital del estado, se encuentra a 769 km. de la ciudad de México, a 700 km. de Guadalajara y a 287 km. de Monterrey.

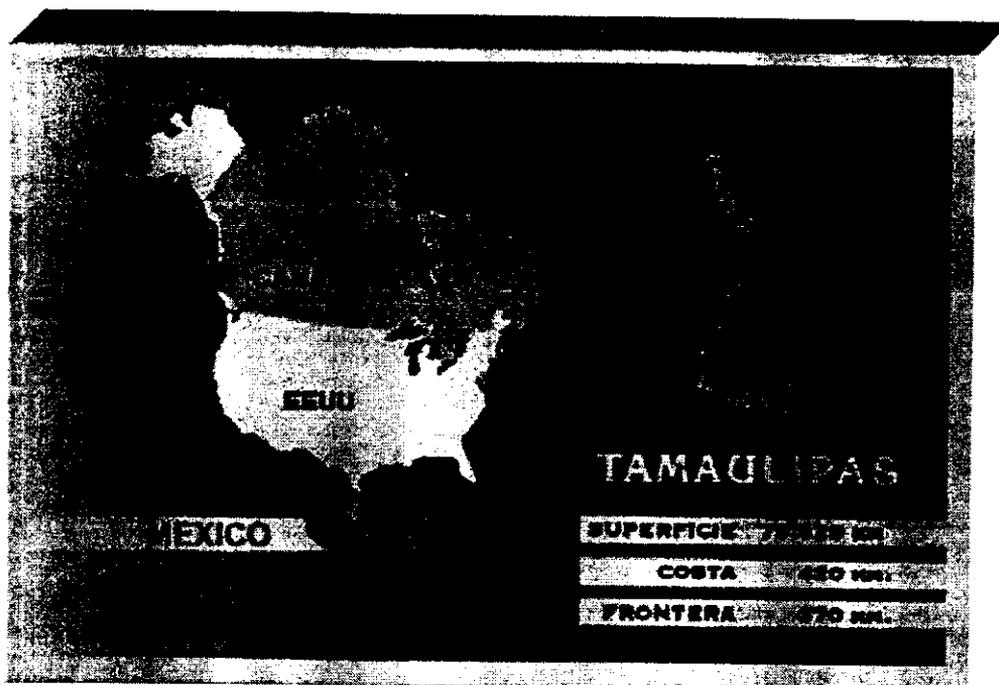


Figura No 5.- Tamaulipas

Tamaulipas está constituido políticamente por 43 municipios, su capital es Ciudad Victoria, situada en el centro de la entidad. Para 1990, el XI Censo General de Población y Vivienda registró una población de 2'249,581 habitantes, concentrándose en su mayor parte en 11 municipios.

La distribución de población tiene mayor densidad en tres zonas geoeconómicas: la fronteriza, formada por 10 municipios contiguos al río Bravo; la conurbada del sur, integrada por los municipios de Altamira, Tampico y Cd. Madero; y la del centro, en la que Ciudad Victoria, Mante y San Fernando son las ciudades con mayor número de habitantes.

En lo que se refiere al municipio de Nuevo Laredo, este ha experimentado un importante crecimiento de población en las últimas décadas. Entre 1950 y 1995 prácticamente se ha quintuplicado. Lo anterior obedece a la significación que en este período ha tenido en el desarrollo de sus actividades productivas.

Proyecciones del año 2000 a 2010.

Actualmente Nuevo Laredo cuenta con una población de más de 335,000 habitantes y la proyección estimada prevé para el inicio del nuevo milenio un crecimiento que lo llevaría a una cifra cercana a los 400,000.

La zona fronteriza en el estado concentra el 45.3% de población estatal y la caracteriza un dinámico crecimiento económico y demográfico. Factor importante de este

dinamismo es el intenso tráfico comercial entre México y EUA realizado a través de 12 puentes internacionales, puentes que constituyen la mitad de los cruces entre estos países. En la zona se da también un gran desarrollo de la industria maquiladora y una extensa actividad agrícola, que se beneficia con los sistemas de riego derivados de las presas Marte R. Gómez y La Falcón. Sus principales ciudades son Matamoros, Reynosa y Nuevo Laredo (Figura No. 6).

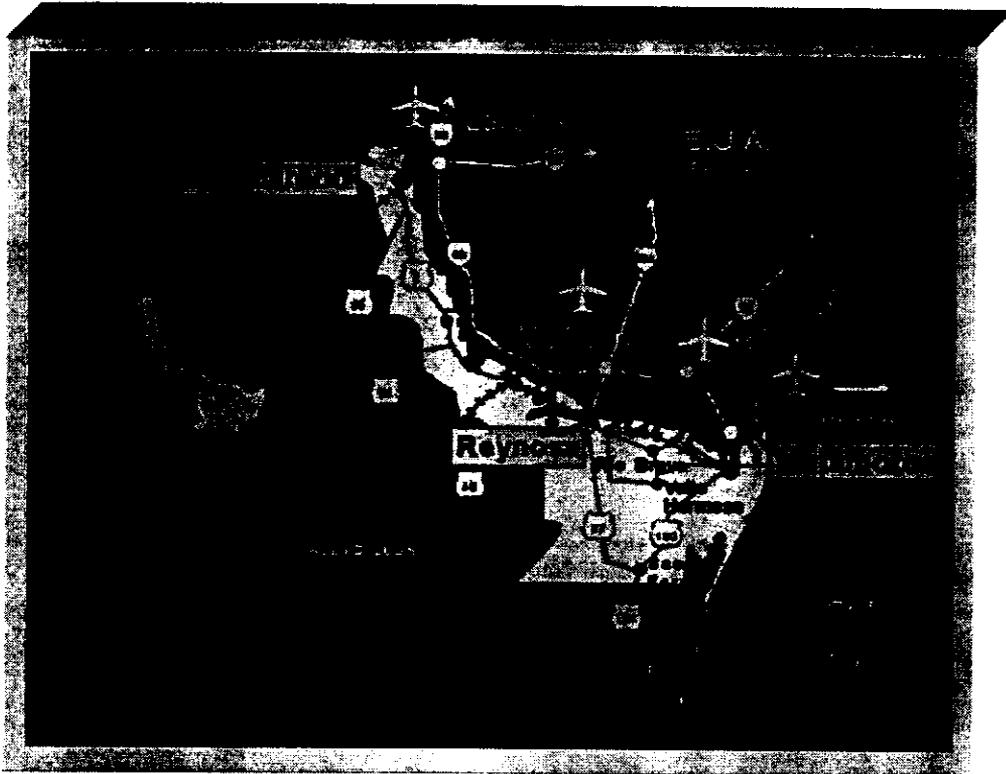


Figura No. 6.- Zona fronteriza de Tamaulipas.

Nuevo Laredo es el acceso primario de la entrada para todo México, situada en la carretera americana de la cacerola apenas 90 kilómetros del norte de Monterrey, la ciudad industrial más grande de México, y apenas al otro lado del Río Bravo (Río Grande) de Laredo, Texas.

- *Situación Geográfica*

La ciudad de Nuevo Laredo se encuentra ubicada a 27°, 30', latitud norte y 99°, 33', longitud oeste del Meridiano Internacional de Greenwich.

- *Límites*

El municipio se encuentra situado en la parte noroccidental del estado de Tamaulipas y limitada al norte y al este con el estado de Texas de la Unión Norteamericana, teniendo como línea divisoria el Río Bravo, al noroeste y sur con el estado de Nuevo León y al sur y sureste con el municipio de Guerrero, Tamaulipas.

- *Area que ocupa el municipio*

Extensión territorial del municipio, 1,209.06 Km². ; área urbanizada 43.80 Km². y el territorio restante es usufructuado por ejidatarios y propietarios privados.

Altura media sobre el nivel del mar: 125.48 m.

- *Flora y Fauna*

La vegetación se caracteriza por el predominio de un matorral espinoso llamado mezquite, que es un arbusto del género *prosopis*, que alcanza una altura de 1 a 4 m.; nopalera (cactáceas), así como árboles de tipo del ébano (*pithcellobium*) y huizache (acacia). Abunda un pastizal submontado de diversos géneros y de poca altura, propio de los climas semisecos cálidos y semicálidos. La fauna es muy variada, sustentando en sus terrenos a casi todas especies de animales domésticos y entre los salvajes se encuentran el venado, jabalí, coyote, gato montes, tejón, armadillo, tortuga, tlacuache, conejo, liebre, zorrillo, entre los más importantes. Igualmente hay en la región numerosas aves carnívoras y canoras, como el gavilán, cuervo, zopilote, lechuza, aguililla, urraca, perdiz, paloma, faisán, zenzontle, cardenal, calandria y otras varias.

- *Geología*

El municipio y ciudad, se encuentran asentados en un llano interrumpido por lomeríos bajos, con pendientes suaves en el poniente y el sur. Geológicamente, la superficie está integrada por rocas sedimentarias de los períodos terciarios y cuaternario, predominando la existencia de suelos de tipo eoceno en su mayoría arenosos. El subsuelo tiene textura de migajón arcilloso o arcilla, derivados de rocas del mismo tipo y también calcáreas de color amarillento y rojizas, que afloran en la lomas más abruptadas. También existe otro tipo de suelo y subsuelo derivado de las vías pluviales en la proximidad del Río Bravo y sus afluentes.

- *Clima y Precipitaciones Pluviales*

Seco con invierno prolongado y extremo y semi - seco en una pequeña zona (Figura No. 7). En verano hay temperaturas altas y escasa precipitación pluvial. En el verano los meses más cálidos son los de junio, julio, agosto, con temperatura máxima de 40 a 46 grados centígrados y en invierno los más fríos son enero, febrero y diciembre, con temperaturas mínimas oscilando entre 1 y 6 grados centígrados bajo cero. El clima del resto del año es agradable, con una temperatura media anual entre 22.7 y 24.9 grados centígrados. La precipitación pluvial media anual de 454.2 mm.

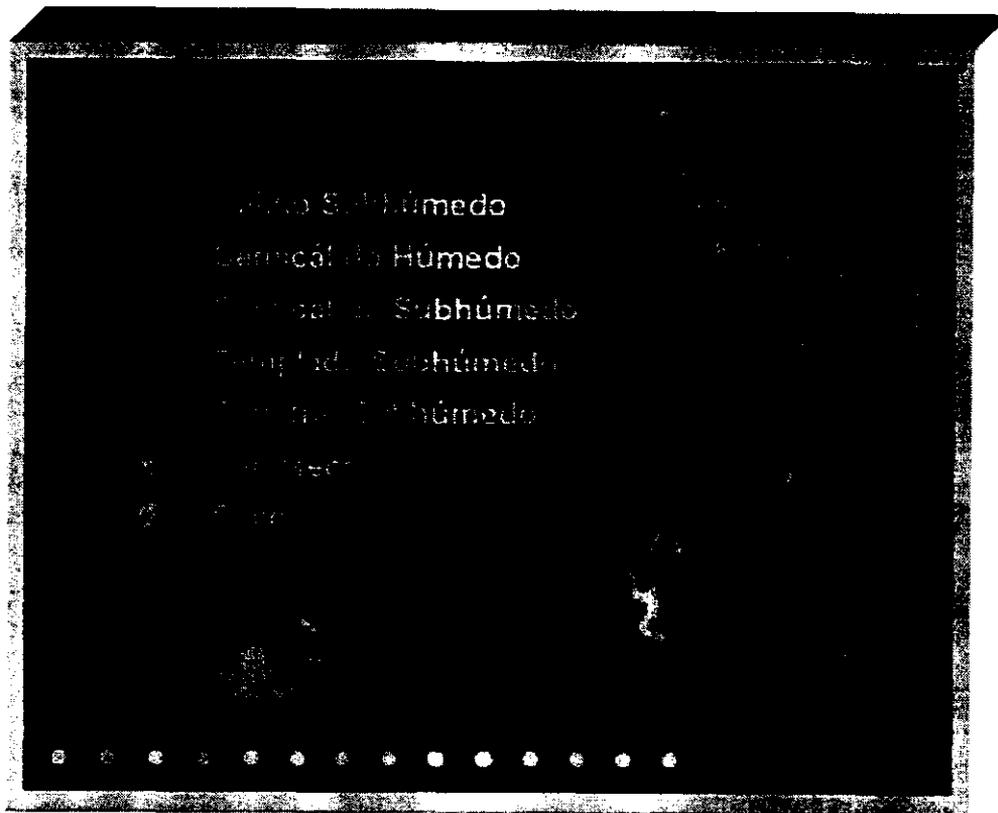


Figura No. 7.- Climas del estado de Tamaulipas.

- *Hidrografía*

Su sistema hidrográfico pertenece a la vertiente del Golfo de México y depende de la cuenca del Río Bravo, que sirve como línea divisoria de México y los Estados Unidos de Norteamérica. Existen otras corrientes de corto curso con bajo caudal esporádico en época de lluvias, que son el Arroyo del Coyote al sur y el Arroyo las Alazanas al noroeste (Figura No.8). En el subsuelo se localizan escasos mantos subterráneos de agua salada, en condiciones no potables, ni utilizables para fines agrícolas o ganaderos.

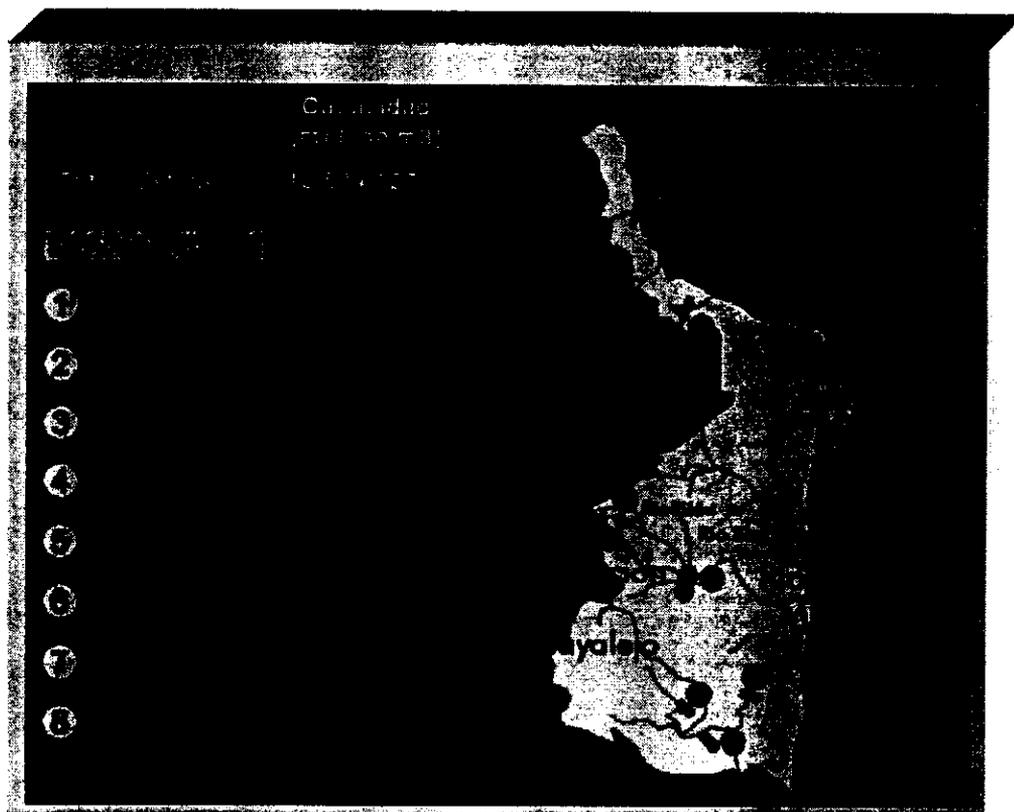


Figura No. 8.- Hidrología del estado de Tamaulipas.

- *Población*

El municipio cuenta actualmente con una población de 335,000 habitantes (Figura No. 9), este municipio dada su posición geográfica y a su desarrollo tiene ciertas particularidades en cuanto a la población llamada flotante que no se cuenta en el censo.

POBLACION DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.

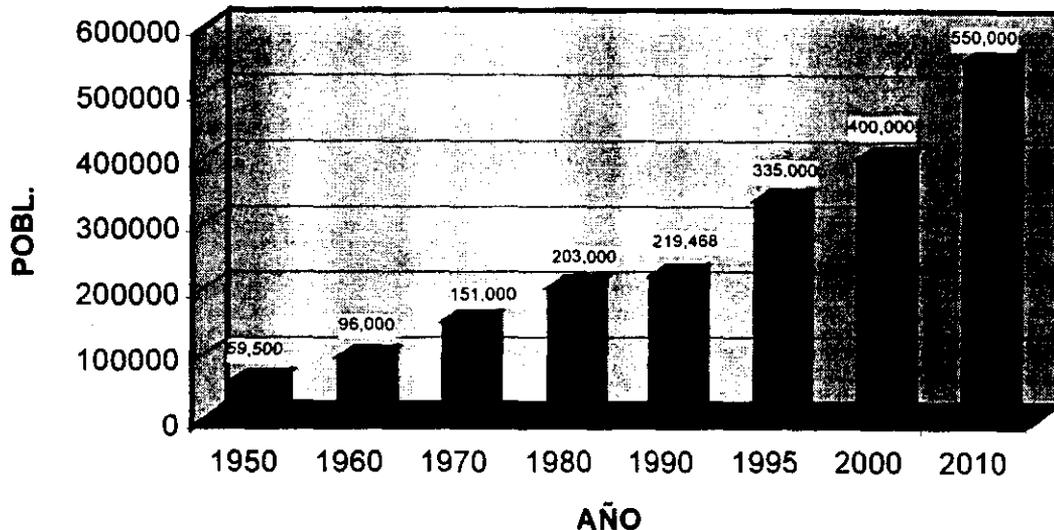


Figura 9.- Población de Nuevo Laredo, Tamaulipas.
Fuente: INEGI

2.2.1 Generación y Recolección.

El municipio de Nuevo Laredo, Tamaulipas genera aproximadamente 400 Ton./día misma cantidad que puede variar debido a las características de su población, ya que al ser un municipio fronterizo existe una importante generación de residuos sólidos por parte de una población flotante que varía durante todo el año.

La primera concesión en el país de un servicio integral de aseo público para el municipio de Nuevo Laredo fue otorgada a una empresa privada que es Servicios de Tecnología Ambiental, S. A. (SETASA) mediante un concurso en abril de 1994 en el que participaron empresas nacionales y extranjeras.

El sistema de trabajo de esta empresa consiste en dotar a la ciudad de un servicio moderno y eficiente que cubra el 100 % de la demanda, mediante la planeación, inversión, instalación y operación del sistema y la interacción y trabajo conjunto con las autoridades, representantes de la sociedad y especialmente con el público usuario.

Las actividades de barrido y recolección dieron inicio en el mes de julio de 1994 y la disposición final en el relleno sanitario, en noviembre del mismo año. A la fecha se han dispuesto en el relleno sanitario alrededor de 425 mil toneladas de basura (Chávez, 1998).

En la segunda etapa se contó con un equipo para aprovechamiento de llantas y a través de un convenio con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM se está instalando un laboratorio con el objeto de implantar un programa de monitoreo ambiental y de los parámetros relacionados con lixiviados y biogás, con un modelo escala uno a uno en el que se puedan desarrollar investigaciones para su aplicación en otros estados del país.

El municipio de Nuevo Laredo tiene la obligación de prestar el servicio de recolección domiciliaria. La mayoría de los reglamentos de limpieza establece que la basura generada en comercios e industrias sea responsabilidad de los propios generadores, contratando el servicio de la municipalidad o de una empresa privada. La concesión otorgada a SETASA provee de un servicio al municipio, al que cobra por tonelada recolectada; la recolección de residuos de empresas y comercios se le cobra a cada generador, con tarifas revisadas por las autoridades del mismo municipio. Los servicios se hacen por separado, con equipos diferentes; nunca se mezclan residuos domiciliarios con industriales y comerciales. Por ello la empresa realiza una recolección domiciliaria de 320 Ton./día de residuos sólidos, con equipo especializado (vehículos compactadores de carga trasera y contenedores en zonas de difícil acceso).

2.2.2 Barrido y limpieza de las vías públicas.

En este rubro SETASA comenzó las actividades de barrido en el mes de Julio de 1994. Actualmente se da un servicio de barrido manual y mecánico de las principales calles y avenidas del municipio con una longitud cubierta de 200 Km/día.

Esta operación se realiza mediante equipo especializado, el cual consiste en dos barredoras mecánicas y personal que realiza el barrido de manera manual. El servicio se brinda durante las noches, que es el horario más conveniente para realizar esta actividad por razones de afectación a la vialidad y de seguridad en caso de accidentes a los empleados de SETASA.

Una parte muy importante del sistema de barrido y limpieza de las vías públicas en el municipio de Nuevo Laredo es el compromiso que tiene y hace notar SETASA por realizar de la manera más eficiente su trabajo, ya que se realizan recorridos de inspección en las vialidades más importantes del municipio comunicando a su central cualquier acumulación de residuos sólidos en la vía pública y animales muertos para que sean retirados de ese lugar y se confinen en el relleno sanitario que está a su cargo.

2.2.3 *Transferencia y transporte.*

En el caso del municipio de Nuevo Laredo, Tamaulipas debido a que la distancia entre las fuentes generadoras de los residuos sólidos y el relleno sanitario no es muy grande, no existe la necesidad de utilizar estaciones de transferencia. Por lo que los camiones recolectores directamente transportan su carga en el sitio de disposición final que es el relleno sanitario que está a cargo de SETASA.

2.2.4 *Caracterización de la basura.*

En la actualidad la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas no se cuenta con ningún estudio de caracterización de sus residuos sólidos, todas aquellas obras e instalaciones destinadas al manejo de los residuos sólidos se han diseñado con parámetros estadísticos de estudios hechos en otros países, o extrapolando los resultados que se han tenido en estudios hechos en el D.F. Es por ello que parte de este proyecto de control ambiental es obtener la caracterización de los residuos sólidos de esta ciudad fronteriza.

2.2.5 *Tratamiento de los residuos sólidos.*

En el municipio de Nuevo Laredo, Tamaulipas el tratamiento de los residuos sólidos es realizada de manera informal siendo el *Tratamiento para selección y aprovechamiento* el que predomina en dos de sus formas:

- *Separación en el origen.*- El cual es realizado principalmente por los habitantes que saben del valor monetario que representan sus residuos en el mercado del reciclaje, los subproductos que son recuperados son: las latas de aluminio, botellas de vidrio y papel.
- *Separación intermedia.*- Este tipo de separación es realizada por el personal que opera los camiones recolectores, estas personas separan latas de aluminio, cartón y botellas de vidrio, los cuales son vendidos por peso en centros de acopio informales. Por su cercanía con la frontera los subproductos son canalizados a plantas de reciclaje en los Estados Unidos de Norteamérica.

2.2.6 *Disposición final de los residuos sólidos.*

Nuevo Laredo, Tamaulipas cuenta con un sistema integral de aseo público concesionado operado por Servicios de Tecnología Ambiental S.A. (SETASA). Este sistema se encarga de recolectar, manejar y disponer los residuos sólidos que sean generados en el municipio, por lo que diariamente son dispuestos 400 toneladas en un relleno sanitario que cumple con la normatividad y cuenta con manifiesto de impacto ambiental aprobado por las autoridades, ubicado en un área de 22 Ha. para una vida útil estimada para 15 años.

Este relleno sanitario utiliza el método combinado para disponer los residuos sólidos y para la prestación del servicio cuenta con instalaciones dentro del predio del relleno sanitario, tales como: caseta de control de acceso; oficinas; talleres para el mantenimiento de los equipos; servicios para empleados; áreas recreativas; áreas de estacionamiento para empleados, visitantes y para el parque vehicular; caminos de acceso; báscula; celdas para recepción de residuos; lagunas para evaporación de lixiviados; planta de bombeo para lixiviados; laboratorio de control; áreas verdes, galumbrado y cerca perimetral.

CAPÍTULO III

MONITOREO AMBIENTAL EN LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.

3.1 Problemática ambiental generada por los residuos sólidos municipales.

El gran desarrollo industrial que la humanidad ha podido alcanzar y el crecimiento consecuente de las ciudades, además de su gran poder de consumo en el mundo entero, han creado grandes problemas de orden ecológico. Con una velocidad menor ha sido posible el conocimiento de la relación que existe entre la salud pública y el daño al ambiente, incluyendo por supuesto a la salud animal y vegetal.

Ahora es posible saber que no se puede tratar un problema ambiental considerando a los diferentes elementos como el aire, el agua y el suelo por separado. Es decir, si hay contaminación de residuos sólidos no sólo repercutirán en la contaminación del suelo, si no que también influye en las características del suelo, del aire y tal vez del agua.

Los efectos adversos que provocan los residuos sólidos que son dispuestos sin ningún control pueden afectar la salud humana a través del consumo de agua contaminada, o por contaminación del aire y de manera indirecta a través de la cadena alimenticia. Así también la procreación de ratas, moscas y otros vectores dañinos para el medio.

En la actualidad para resolver de mejor manera los problemas creados por los residuos sólidos, los programas de salud pública así como los programas de prevención y control de la contaminación incluyen:

- Un reconocimiento de problema
- Definición de las fuentes generadoras
- Causas del problema

- Selección e implantación de las soluciones apropiadas.

además de que los problemas son tratados de manera que se contemplen todos los daños posibles a los componentes del ambiente, teniendo con ello soluciones integrales que beneficien más a la salud humana y al ambiente en general.

En general los residuos sólidos pueden generar ciertos problemas, los cuales de una manera objetiva se dividen en diferentes formas de impacto al ambiente. En la tabla 3 se puede observar este tipo de afectaciones:

Tabla No. 3.- Problemas que causan los residuos sólidos .

FACTOR	EFECTOS
<input type="checkbox"/> IMAGEN URBANA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Afectación de la infraestructura vial (carpeta asfáltica, banquetas, guarniciones, mobiliario urbano, etc.) ▪ Incremento de accidentes ▪ Deterioro de la infraestructura de drenaje. ▪ Incremento del mantenimiento a los servicios complementarios.
<input type="checkbox"/> SERVICIO DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Queja pública ▪ Aumento en la frecuencia de recolección ▪ Horarios de recolección más frecuentes ▪ Deterioro en la infraestructura de recolección por un uso mayor. ▪ Baja en la eficiencia del servicio.
<input type="checkbox"/> AMBIENTE Y SALUD PÚBLICA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emisión de contaminantes físicos, químicos y biológicos, que afectan el aire, el suelo y el agua. ▪ Daños a la salud humana y de animales domésticos y silvestres.

3.2 Normatividad vigente en materia de monitoreo ambiental en sitios de disposición final.

Actualmente en el mundo existe una creciente inquietud en lo que se refiere a equilibrio ecológico; pues en algunos países ya se ha creado un marco jurídico, donde a través de la legislación se proponen bases que ayuden a proteger el ambiente y la salud de los seres humanos, al mismo tiempo que establecen las políticas para lograr un desarrollo sustentable.

Este marco jurídico ha sido tomado por muchos países, adaptando a sus propias condiciones este marco jurídico, y persiguiendo el mismo fin, ya que hasta ahora se está entendiendo que el desarrollo de la humanidad no debe dejar de lado la protección del ambiente, ya que de ser así, ese desarrollo significaría la destrucción de la misma especie humana.

A continuación se presentan bosquejos de la normatividad existente en materia de monitoreo ambiental, en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, en algunos países con diferente nivel de desarrollo.

3.2.1 Estados Unidos

En este país la legislación respecto a los residuos sólidos municipales es más completa, ya que existen normas editadas por la EPA (Environmental Protection Agency) las cuales van desde lineamientos para llevar a cabo un programa de monitoreo ambiental, hasta aquellas normas que regulan la clausura de rellenos sanitarios, y donde también toman en cuenta el monitoreo ambiental.

El Código Regulatorio de California (CCR) es conocida, por ser una de las más rigurosas de este país, hecho que queda justificado por las grandes inversiones involucradas y por el interés de autoridades y particulares en la preservación y mejora ecológica del entorno. Por ello es que las autoridades en el D.F. se han apegado a esta normatividad para realizar diferentes actividades, como la clausura del relleno sanitario de Prados de la Montaña en el D.F. y su consiguiente monitoreo ambiental.

En la tabla 4 se presenta la normatividad EPA para clausura de rellenos sanitarios que es utilizada en el estado de California y en algunos otros, y que por su rigurosidad se utilizó como marco normativo específico en la clausura del relleno sanitario "Prados de la Montaña" en el D.F. siendo esta la primera experiencia mexicana apegada a una rigurosa normatividad.

Tabla 4.- Normatividad EPA Para Clausura De Rellenos Sanitarios

ASPECTO CONTEMPLADO POR LA NORMA	IDENTIFICACION DE LA NORMA
PASOS E INFORMACIÓN PARA EL PLAN DE CLAUSURA	TITULO 14 CCR SECCION 18261.3
PLAN DE CLAUSURA FINAL	TITULO 14 CCR SECCION 18262
REQUERIMIENTOS TECNICOS ESPECIFICOS DEL PLAN DE CLAUSURA	TITULO 14 CCR SECCION 17760 TITULO 14 CCR SECCION 17783 TITULO 14 CCR SECCION 2597
REPORTE DE ESTABILIDAD DE TALUDES	TITULO 14 CCR SECCION 17777
ESTABILIDAD DE TALUDES Y PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN	TITULO 14 CCR SECCION 18261.3 (a)(7)(H)
ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CUBIERTA FINAL	TITULO 14 CCR SECCION 18261.3 (a)(7)(D) TITULO 23 CCR SECCION 2581 (a)
MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	TITULO 14 CCR SECCION 17774
PLAN DE MANTENIMIENTO POSTCLAUSURA	TITULO 14 CCR SECCION 18265
PLAN DE RESPUESTA A EMERGENCIAS POSTCLAUSURA	TITULO 14 CCR SECCION 17766
CONTROL DE LIXIVIADOS	TITULO 14 CCR SECCION 17781 TITULO 23 CCR CAPITULO 15 SECCION 2543 TITULO 23 CCR CAPITULO 15 SECCION 2546b TITULO 23 CCR CAPITULO 15 SECCION 2559
MONITOREO Y CAPTACIÓN DE BIOGAS	TITULO 14 CCR SECCION 17258
MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS	TITULO 14 CCR ARTICULO 3.4 TITULO 23 CCR ARTICULO 5 CAPITULO 15

Aparte del CCR se encuentra el reglamento sobre residuos sólidos de la USEPA donde en el volumen 40 del "Federal Register", en las partes 240 la 259. En la parte 258 se marcan algunos lineamientos para llevar a cabo un programa de monitoreo ambiental, y a continuación se muestran las subpartes C,E y F y los puntos que las componen:

Subparte C.- Criterios para la operación

c.3 Control de vectores de enfermedades

c.4 Control de gases explosivos

c.5 Contaminación atmosférica

c.8 Prevención de la contaminación de aguas superficiales

Subparte E.- Monitoreo de aguas subterráneas y acciones correctivas

Este apartado es de cumplimiento obligatorio para todos los rellenos sanitarios. Sin embargo, hace una excepción para quienes puedan probar, con certificaciones de especialistas en geología o geotécnica, que no existirá posibilidad alguna de migración de contaminantes. Se establecen las reglas bajo las cuales se aplicará esta parte del reglamento a los sitios que ya están en operación, otorgando plazos hasta de 5 años según el riesgo potencial que representan para la salud; se agrega que el monitoreo se iniciará con las operaciones y que se llevará a cabo durante toda su vida útil, la clausura y las dos fases de la postclausura.

e.1 Sistema del monitoreo

e.2 Muestreo y análisis de aguas subterráneas

1.- Muestreo.

2.- Establecimiento de la calidad de fondo

3.- Número de muestras y análisis estadístico

4.- Variaciones de calidad de fondo

e.3 Monitoreo de detección (análisis de cuando menos 62 parámetros)

e.4 Monitoreo de evaluación

Subparte F.- Criterios de clausura y postclausura

f.2 Requisitos de clausura.

1.- Mantener la integridad de la cubierta final.

2.- Operación y mantenimiento del sistema de control de lixiviados.

3.- Monitoreo de aguas subterráneas.

4.- Función continua del sistema de control de gases.

3.2.2 Alemania

La legislación de este país establece cuáles son los parámetros que se deben monitorear durante todo el proceso de operación y clausura de un relleno sanitario; a continuación en la tabla 5 se presentan estos parámetros y sus frecuencias de muestreo en operación y clausura.

Tabla 5.- Programa de monitoreo ambiental en rellenos sanitarios alemanes

PARAMETRO	FRECUENCIA EN OPERACION	FRECUENCIA EN CLAUSURA
1.- Datos Meteorológicos		
-Precipitación	Diario	Periódicamente
-Intensidad de la precipitación	Diario	Periódicamente
-Temperatura (max. y min.)	Diario	Periódicamente
-Dirección e intensidad del viento	Diario	Periódicamente
-Evaporación (con lisímetro o con datos de la humedad del aire)	Diario	Periódicamente
2.- Datos de emisiones		
-Cantidad de lixiviados	Diario	Periódicamente
-Composición de lixiviados	Periódicamente	Cada 6 meses
-Cantidad de aguas superficial en las áreas cubiertas o terminadas	Diario	Periódicamente
-Composición del agua superficial	Periódicamente	-----
-Emisiones de gases	Periódicamente	-----
-Olores	Periódicamente	-----
3.- Datos de la celda del relleno		
-Estructura y composición	Diario	-----
-Compactación	Cada año	Cada año
4.- Datos del agua subterránea		
-Caracterización del agua	Cada mes	Cada 6 meses
-Evaluación del agua	Mínimo cada 6 meses	Cada 6 meses

3.2.3 México

En nuestro país se están realizando grandes esfuerzos por desarrollar una normatividad que regule el impacto de los diferentes agentes contaminantes que provienen de las instalaciones para el aseo urbano y principalmente de los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales. En la tabla 6 se presentan las normas y las técnicas utilizadas para el monitoreo ambiental en las instalaciones para el manejo de residuos sólidos municipales.

Tabla 6.- Normas y técnicas utilizadas en un programa de monitoreo ambiental de instalaciones para el manejo de residuos sólidos.

IMPACTANTES	PARAMETROS	TECNICAS	NORMAS
PARTICULAS EN EL AIRE	-PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES	MUESTREO DE ALTO VOLUMEN	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCAM-02-ECOL-93 LIMITE MAXIMO PERMISIBLE: 275 mg/m ³
	-MICROORGANISMOS EN AIRE	MUESTREADOR CON IMPACTADOR ANDERSEN	NO EXISTE
BIOGAS	- COMPOSICION (CH ₄ ,CO ₂ , N ₂ Y O ₂)	CROMATOGRAFIA DE GASES	NO EXISTE
	- EXPLOSIVIDAD - TOXICIDAD (H ₂ S)	LECTURA DIRECTA	NO EXISTE
RUIDO	- RUIDO	LECTURA DIRECTA	NOM-011-STPS-1993
LIXIVIADOS	- PARAMETROS FISICOQUÍMICOS		NOM-AA-4 DET. DE SOL SEDIM. NOM-AA-7 DET. DE LA TEMP. NOM-AA-8 DET. DEL pH NOM-AA-12 DET. DE OXIG. DIS. NOM-AA-20 DET. DE SOL. TOT. NOM-AA-30 DET. DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIG. NOM-AA-34 DET. DE SOL. TOT(TOT, TOT VOL. DIS TOT, Y DIS VOL.) NOM-AA-36 DET. DE ALCAL. TOT NOM-AA-38 DET. DE TURBIEDAD NOM-AA-72 DET. DE DUREZA TOT. NOM-AA-73 DET. DE NITROG. TOT. NOM-AA-93 DET. DE COND. ELECTRICA
	- BACTERIOLOGICO		NOM-AA-42 DET. DE NMP DE COLIF. TOT. Y FECALES. NOM-AA-102 DET. DETECCION Y ENUMER. DE COLIF. TERMOTOLERANTES Y E. COLI PRESUANTIVAS.
	- METALES PESADOS		NOM-AA-93 ANALISIS POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA

Para complementar las normas antes mencionadas, el 6 de Marzo de 1996, se presentó la NOM-084-ECOL-1995, la cual establece los requisitos para el diseño, construcción, operación e incipientemente el monitoreo de un relleno sanitario. Esta norma marca las pautas a seguir para implementar un programa de monitoreo en un relleno sanitario; menciona las técnicas y la frecuencia de monitoreo, dando gran importancia a la protección del agua subterránea, pero marca también otros parámetros complementarios como son: ruido, partículas aerotransportables, radioactividad, biogás y lixiviados. A continuación se presentan las tablas en las que se indican los

parámetros, equipos, técnicas y periodicidad utilizadas en el monitoreo ambiental que marca la NOM-084-ECOL-1995.

Monitoreo de biogás

El monitoreo del biogás se realizará conforme al siguiente cuadro:

PARAMETRO	EQUIPO	TECNICA	FRECUENCIA
COMPOSICION DEL BIOGAS (CH ₄ , CO ₂ , N ₂ Y O ₂)	CROMATOGRAFO DE GASES	CROMATOGRAFIA DE GASES	MENSUAL
EXPLOSIVIDAD Y TOXICIDAD	EXPLOSIMETRO DIGITAL	LECTURA DIRECTA DE CAMPO	DIARIA
FLUJO	FLUJOMETRO	LECTURA DIRECTA DE CAMPO	DIARIA

Monitoreo de lixiviados y acuifero

El monitoreo de estos dos factores tiene como objetivo el verificar el estado de los acuiferos aguas arriba del relleno y aguas abajo, observando si han sido o no contaminados por los lixiviados; en el cuadro siguiente se observan los parámetros, equipos, técnicas y frecuencias dictadas en esta norma para realizar el monitoreo:

PARAMETRO	EQUIPO	TECNICA	FRECUENCIA
pH	POTENCIOMETRO	LECTURA DIRECTA DE CAMPO	TRIMESTRAL
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y OXIGENO DISUELTO	CONDUCTIMETRO	LECTURA DIRECTA DE CAMPO	TRIMESTRAL
OXIGENO DISUELTO	OXIMETRO	LECTURA DIRECTA DE CAMPO	TRIMESTRAL
METALES PESADOS (Ag, Pb, Cd, As, Hg, Ni, Cr)	ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCION ATOMICA CON ACCESORIOS	ABSORCION ATOMICA	TRIMESTRAL
DBO, DQO	EQUIPO Y MATERIAL DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACION DE DQO Y DBO	DILUCIÓN FILTRACIÓN	TRIMESTRAL

Monitoreo de partículas aerotransportables

Este monitoreo debe tomar en cuenta las especificaciones marcadas en el siguiente cuadro:

PARAMETRO	EQUIPO	TECNICA	FRECUENCIA
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (g/m ³)	EQUIPO PARA MUESTREO DE ALTO VOLUMEN	MUESTREO DE ALTO VOLUMEN	SEMANAL
PARTICULAS VIABLES -HONGOS -SALMONELLA -COLIFORMES FECALES	EQUIPO ANDERSEN PARA MUESTREO DE PARTÍCULAS VIABLES, EQUIPO Y MATERIAL DE LABORATORIO PARA DETERMINACION DE UFC/m ³	MÉTODO ANDERSEN PARA MUESTREO DE PARTÍCULAS VIABLES Y MÉTODO ANALITICO DE LABORATORIO PARA CONTEO DE UFC/m ³	SEMANAL

Monitoreo de ruido, radiactividad y parámetros ambientales

Este monitoreo debe tomar en cuenta las especificaciones marcadas en el siguiente cuadro:

PARAMETRO	EQUIPO	TÉCNICA	FRECUENCIA
RUIDO	SONOMETRO	SEGUN MANUAL	DIARIA
RADIATIVIDAD	CONTADOR TIPO GEIGER	SEGUN MANUAL	DIARIA
PARAMETROS METEREOLÓGICOS -PRECIPITACIÓN -HUMEDAD RELATIVA (%) -DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO -TEMPERATURA AMBIENTE	ESTACION METEREOLÓGICA	LECTURA DIRECTA DE CAMPO	DIARIA

Se puede concluir que en la actualidad, en nuestro país se está destinando mucho tiempo y recursos al estudio de los agentes impactantes de un relleno sanitario en cualquiera de sus etapas, pero más importante en la etapa de clausura, ya que es cuando los desechos enterrados en el relleno han tenido la suficiente degradación como para afectar al ambiente de manera más drástica con la migración de biogás, el efecto invernadero por la emisión de biogás, incendios, envenenamiento del suelo y de los mantos freáticos, entre otros si no es controlado adecuadamente. Además de que ese daño puede repercutir directamente en el ser humano, cuando la fuente de abastecimiento de agua es de origen subterráneo. En este caso cobra mayor importancia el monitoreo ambiental en los sitios de disposición final de residuos sólidos.

3.3 Monitoreo ambiental.

El monitoreo ambiental se diseña e implanta con el fin de conocer y predecir tendencias de los contaminantes, provocadas por una actividad determinada, los cuales pueden afectar la salud y el bienestar de los seres humanos.

El monitoreo ambiental contempla la evaluación y el seguimiento tanto del agua, como del suelo y del aire. En nuestro país los primeros programas de monitoreo ambiental se diseñaron por necesidad, por ello es que al principio existían solamente programas para monitorear la calidad del agua. Posteriormente por la necesidad de saber la calidad del aire se monitoreo éste último, en tiempos recientes se han monitoreado aquellas instalaciones que tengan que ver con el manejo de residuos sólidos y en virtud de que este trabajo trata de el manejo de los residuos sólidos, atenderemos este tipo de monitoreo ambiental.

Las autoridades respectivas requieren de la información que puede proporcionar un monitoreo ambiental, ya que con ella se pueden establecer las políticas a seguir en el otorgamiento de permisos para efectuar actividades que produzcan cambios en el ambiente, con el objetivo de promover un desarrollo sustentable.

Se debe aplicar el monitoreo ambiental en un relleno sanitario para los siguientes casos:

- Dentro del estudio de impacto ambiental, para establecer las condiciones iniciales y ser tomados como referencia.
- Construcción de la infraestructura.
- Operación de las instalaciones.
- Clausura del sitio.
- Postclausura.

cabe aclarar que los parámetros que se midan en cada periodo pueden ser diferentes, lo cual depende de las actividades que se estén realizando. A continuación en la figura 10 se exponen las etapas de un programa de monitoreo ambiental:

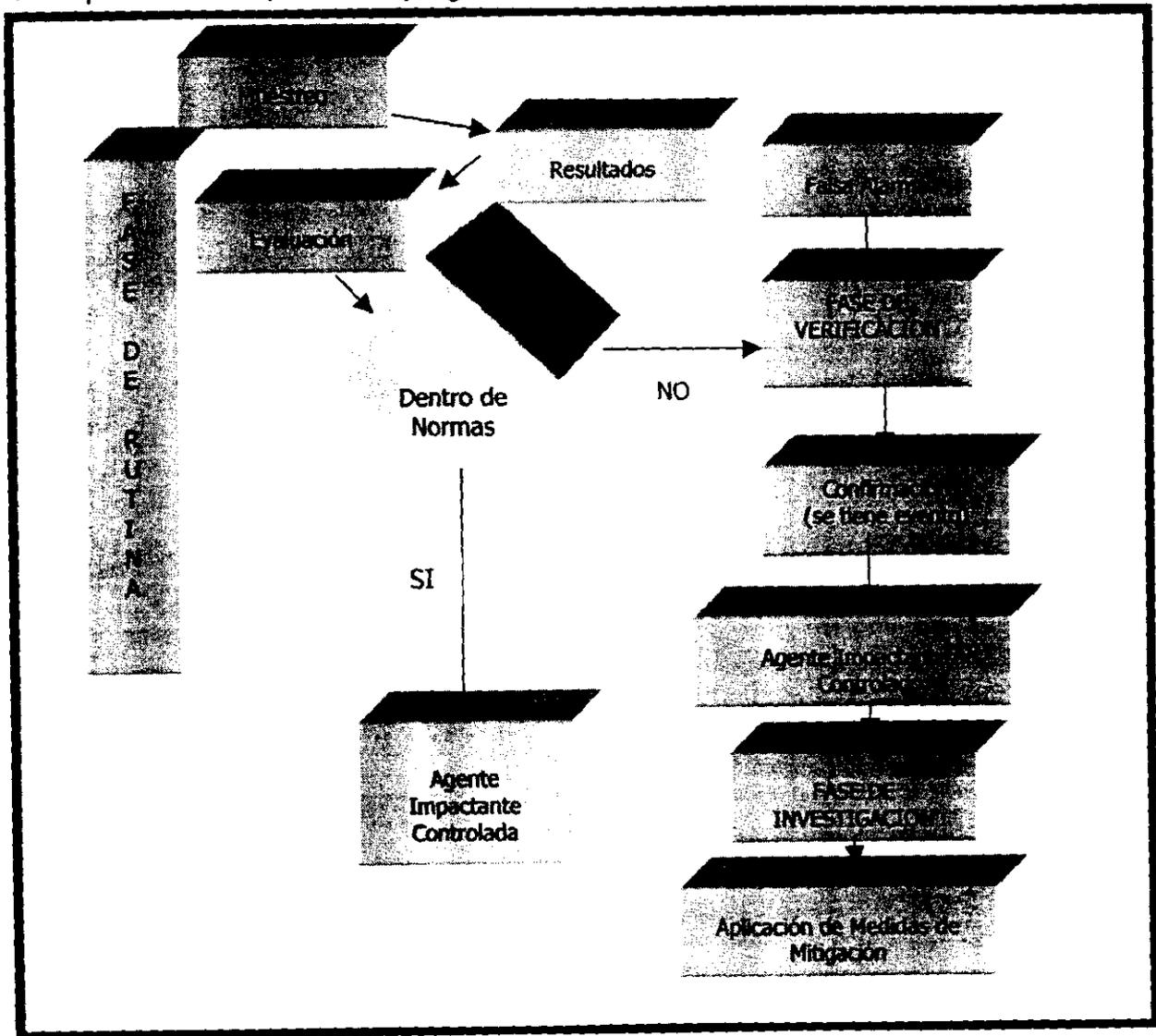


Fig. 10.- Fases de un Programa de Monitoreo Ambiental.
Fuente: Modificado de Christensen (1991).

En el diagrama anterior se presenta la fase de rutina que se sigue en un programa de monitoreo ambiental, en ella el programa se inicia con el muestreo, el cual proporcionará una serie de datos, los cuales se evaluarán por medio de diferentes métodos estadísticos para saber si se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas correspondientes.

En el caso de no contar con los límites máximos permitidos se acudirán a normas o límites extranjeros o a propuestas de normas, las cuales serán sustentadas por pruebas previas. Si los agentes impactantes están fuera de los límites máximos permisibles se inicia la fase de verificación, para saber si fue una falsa alarma o si se está fuera de control en la emisión del contaminante; si es así será necesario realizar la fase de investigación, que permite adoptar las medidas más adecuadas para controlar el agente impactante en cuestión. En el campo de la disposición de los residuos sólidos municipales no es extraña esta condición, por lo que una vez que se han identificado las alteraciones que ha tenido el entorno y la salud, estas deben ser cuantificadas; ésto será realizado al evaluar los datos recopilados a lo largo de un periodo.

3.3.1 Monitoreo ambiental en sistemas de manejo de residuos sólidos municipales.

Con anterioridad (capítulo II) se ha hablado de las diversas instalaciones que componen un sistema de manejo de residuos sólidos municipales, pero para que dichas instalaciones operen adecuadamente, se han creado Programas de Monitoreo ambiental que permitan tener un control en la emisión de los diferentes impactantes ambientales, según lo establecido en la normatividad existente. Los resultados obtenidos en la aplicación de este tipo de programas, han permitido establecer medidas preventivas y correctivas, mismas que hacen posible mantener los aspectos ambientales como prioritarios para quienes son responsables en la toma de decisiones.

Se puede definir al monitoreo ambiental como: Sistema continuo de observación de medidas y evaluaciones de las emisiones de los diferentes impactantes, que generan los sistemas de manejo de residuos sólidos para propósitos definidos, el monitoreo es una herramienta importante en el proceso de evaluación de impactos ambientales y en cualquier programa de seguimiento y control ambiental. Se puede considerar al monitoreo ambiental como un sistema de administración, que conlleva a un control de la emisión de impactantes que se generan en el manejo de residuos sólidos.

El control de que hablamos se lleva a cabo en los diferentes elementos que componen un sistema de manejo de residuos sólidos (ver figura 1), y se logra mediante programas de monitoreo ambiental, los cuales se estructuran tomando en cuenta las características y ubicación de los sitios de disposición final, estaciones de transferencia y plantas de tratamiento.

En cada etapa del manejo de residuos sólidos (ver figura 1), se manifiesta el uso del factor humano, así como el uso de cierta infraestructura, por lo que es prioritario mantener en buen estado la salud del personal y de la población circundante;

complementando en forma simultanea el cuidado de las instalaciones para que éstas operen en óptimas condiciones, minimizando la emisión de impactantes e implementando medidas de higiene que se implementan de acuerdo a los resultados que generan las actividades del monitoreo.

3.3.2 *Objetivos del monitoreo ambiental.*

Según lo mencionado anteriormente los objetivos del monitoreo ambiental se pueden definir como sigue:

- a) Mantener la operación segura y correcta de las diferentes instalaciones para el manejo de residuos sólidos, eliminando riesgos de afectación al ambiente y la salud pública.
- b) Determinar condiciones presentes en el lugar, antes del emplazamiento de la infraestructura.
- c) Llevar una relación de los cambios provocados por la emisión de impactantes desde que opera la instalación.
- d) Utilizar los datos recopilados para validar y calibrar modelos ambientales.
- e) Realizar predicciones a corto y largo plazo, en lo referente a la emisión de impactantes.
- f) Optimizar la actividad y la relación costo – eficiencia de cualquier predicción.
- g) Establecer un control de la forma de operar la instalación, con el fin de hacerla ambientalmente compatible.
- h) Determinar si los dispositivos de control funcionan de acuerdo a su diseño.

3.3.3 *Criterios de monitoreo.*

Existen varios criterios para determinar la logística de un programa de monitoreo, en especial, para las instalaciones relacionadas con el manejo de residuos sólidos, la logística seguida será tomando en cuenta los siguientes criterios:

- a) *De acuerdo al tipo de instalación:* Estación de transferencia, planta de selección de subproductos y sitios de disposición final en operación o clausurados.
- b) *De acuerdo a la ubicación de la instalación:* Tipo de asentamientos colindantes, aspectos climatológicos, condiciones geológicas y topográficas y características de la zona de amortiguamiento.
- c) *De acuerdo a la cantidad y el tipo de residuos sólidos manejados:* Residuos sólidos municipales, especiales o industriales.
- d) *De acuerdo a la eficiencia de la operación:* Procedimientos operativos, de supervisión y/o de mantenimiento y limpieza.

3.3.4 *Parámetros de monitoreo aplicables a instalaciones para el manejo de residuos sólidos.*

Para poder cumplir con los objetivos del monitoreo ambiental, se debe distinguir entre los diferentes tipos de instalaciones del sistema de manejo de residuos sólidos municipales, con la finalidad de poder aplicar mejor las diferentes técnicas de monitoreo y control ambiental, por lo que a continuación se mencionan los diferentes parámetros tomados en cuenta en cada tipo de instalación.

a) Estaciones de transferencia.

La operación en este tipo de instalación se enfoca básicamente a la optimización de la recolección y transporte de los residuos sólidos, a través de la transferencia de residuos de vehículos recolectores a vehículos de mayor capacidad. Tal actividad es fuente de generación de polvos, microorganismos, ruido, olores y otros agentes físicos, químicos y biológicos, que pueden afectar directamente al ser humano, o bien dispersarse sobre los elementos del ambiente. Por tal motivo, los impactantes y parámetros que evalúan en dicha infraestructura son los siguientes:

- ♠ *Partículas aerotransportables.*- Partículas suspendidas totales y partículas viables.
- ♠ *Ruido.*
- ♠ *Radioactividad.*
- ♠ *Meteorología.*- Temperatura, humedad relativa así como velocidad y dirección del viento.

b) Plantas de selección de subproductos.

La generación de impactantes debida a la operación efectuada en estas instalaciones es similar al de las estaciones de transferencia, debido a que sólo hace referencia al movimiento que debe efectuarse para poder seleccionar a aquellos residuos que puedan ser reciclados; sin embargo, la diferencia radica en que en dichas operaciones el personal que labora se encuentra directamente expuesto a la percepción de impactantes, por lo que se le da una mayor relevancia. De donde se concluye que los parámetros a determinar para este tipo de instalaciones sean los mismos, sólo que aumenta la frecuencia del monitoreo.

c) Sitios de disposición final en operación.

Al considerar estos sitios se hace referencia a grandes extensiones de terreno abiertas, donde opera maquinaria pesada para la cobertura y compactación de los residuos sólidos. Esta instalación trae como consecuencia la generación de lixiviados producidos por el paso del agua a través de los residuos sólidos, y de biogás producto de la degradación biológica de la parte orgánica de los residuos sólidos, además de los

impactantes citados, que tienen su origen en el emplazamiento y manejo de los residuos, por lo tanto, los impactantes y parámetros a evaluar son:

- ◆ Biogás.- Composición, explosividad y temperatura.
- ◆ Lixiviados.- Parámetros físico – químicos en campo, compuestos orgánicos y metales pesados; así como microorganismos patógenos.
- ◆ Partículas aerotransportables.- Partículas suspendidas totales y partículas viables.
- ◆ Ruido.
- ◆ Radiactividad.
- ◆ Meteorología.- Temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

d) Sitios de disposición final clausurados.

En estos sitios, se lleva a cabo un seguimiento para determinar el comportamiento de los residuos depositados en función del tiempo. Para lograr lo anterior, se evalúan los mismos parámetros que en un sitio en operación, pero con una frecuencia menor.

3.3.5 Desarrollo del monitoreo ambiental en México.

En el mundo entero la principal preocupación es el desarrollo, en función de las necesidades de los individuos preservando el equilibrio ecológico, con el fin de evitar el agotamiento de los recursos naturales y la degradación de los ecosistemas, para lo cual es necesario establecer políticas normativas al respecto. En respuesta de ello en la ONU se realizó la conferencia de las Naciones Unidas del Ambiente Humano en 1972, después de lo cual se estableció en Estocolmo "The Global Environmental Monitoring System Programme" (GEMS), cuyo objetivo fundamental es el de obtener los datos e información necesaria para ser intercambiada y evaluada, con el fin de poder establecer las políticas y planear toda la administración ambiental internacional.

En nuestro país los primeros programas de monitoreo se establecieron para conocer la calidad del agua y la calidad del aire, a través de redes de monitoreo en las grandes ciudades.

En 1974 se estableció la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, con el fin de conocer las necesidades de agua de la población, en cuanto al consumo, así como por el interés de preservar los recursos hidráulicos nacionales y poder establecer una medición continua y sistemática en los principales cuerpos de agua. Actualmente la información acerca de la calidad del agua proviene de la Red de Monitoreo de la Comisión Nacional del Agua (CNA). También los datos que proporciona la SEDESOL abarca información acerca del monitoreo que se sigue de diversos cuerpos de agua naturales y artificiales, costas, estuarios, etc.

Los primeros monitoreos de carácter ambiental que se realizaron en la ciudad de México datan del año de 1951, cuando se instaló un laboratorio, del cual surgió el actual

Laboratorio Central del Control de la Calidad del Agua (LCCCA) de la Dirección General de Control Hidráulico, en el que se han establecido los Sistemas de Información y Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVCA) y del Agua Residual Renovada.

En relación a la calidad del aire, en 1973 la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), con participación del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, elaboró un proyecto en el que se pretendía llevar a cabo un estudio completo de la contaminación atmosférica. Este proyecto se realizó en México, D.F.; Monterrey, N.L.; y en Guadalajara, Jal.

El estudio de la calidad del aire se realizó entre abril de 1975 y febrero de 1977. En 1972 se instaló y puso en operación la Red Manual de Monitoreo Atmosférico y en el año de 1986 la Red Automática, junto con la red meteorológica conforman actualmente el Sistema de Monitoreo Ambiental de la Zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), la cual cuenta con 25 estaciones manuales y 32 automáticas, distribuidas en las 16 delegaciones políticas del D.F. y en 17 municipios conurbados del Estado de México.

En materia de residuos sólidos, el monitoreo ambiental no existía en nuestro país de una manera formal, además de no otorgársele la importancia que realmente tiene, incluso las personas encargadas del manejo de los residuos sólidos eran personas improvisadas que desconocían los procesos que se daban dentro y fuera del relleno sanitario, incluso recurrían a libros para buscar información acerca de los fenómenos que se presentaban en las instalaciones que manejaban. Se tiene conocimiento de que en la década de los 80 se tomaron muestras de lixiviados para saber su composición, pero se realizaba sin buscar algo específico, siendo aun así un monitoreo ambiental, es decir, aunque no se contara con un programa de monitoreo en forma.

El mayor desarrollo se dio en la ciudad de México, debido a la conjunción de diversos factores, en primer lugar a que el manejo de los residuos que generaba la urbe se volvía más difícil, ya que la ciudad crecía desmesuradamente, además de la constante preocupación de los habitantes cercanos a los rellenos sanitarios y por la protesta y exigencia de la ciudadanía para resolver el problema del mal manejo de los sitios de disposición final, y de las demás instalaciones donde se manejaban residuos sólidos como las estaciones de transferencia. Esto era provocado por que los habitantes de la ciudad de México sentían que sus instalaciones de manejo de residuos sólidos no proporcionaban seguridad, ante la posibilidad de generar focos de infecciones o criaderos de fauna nociva.

Al igual que en la ciudad de México, en las demás grandes ciudades del país se iniciaron monitoreos incipientes, mientras que en el D.F. se establecían las bases para desarrollar programas de monitoreo en el relleno sanitario de Santa Fe y posteriormente con un mayor conocimiento de lo que se hacía, en el relleno sanitario de "Prados de La Montaña", donde como una gran innovación su clausura se apegó a la normatividad del estado de California de los Estados Unidos, y con ello llevó a cabo programas

altamente elaborados y planificados para realizar monitoreos ambientales y garantizar la buena operación de la instalación, y en la postclausura asegurar que los impactantes ambientales que el relleno sanitario genere no representarán ningún peligro para la salud humana ni para la del medio. Se apunta que precisamente fue el intercambio de conocimientos y experiencias con otras naciones lo que dio la pauta a un sistema de monitoreo profesional, ya que se realizaron visitas a otros países en donde ya se gestionaba el control de los residuos sólidos y peligrosos.

De lo anterior se pudo constatar que estaban trabajando bajo el esquema de medir algunos agentes impactantes ambientales con equipos específicos y en forma desarrollada.

Después de la clausura de "Prados de La Montaña" bajo estrictas normas ambientales y observar los importantes datos que este procedimiento proporcionó, se prosiguió a monitorear las estaciones de transferencia. Al mismo tiempo que se realizaba un programa de monitoreo para el relleno de Santa Catarina y el de Bordo Poniente; este último por sus características tan especiales ha recibido especial atención, además de que será el único relleno sanitario de la Ciudad de México, pues el de Santa Catarina se planeaba clausurar en Agosto de 1998 (actualmente sigue operando), con lo que Bordo Poniente recibirá las 11,420 Ton. diarias de residuos sólidos que produce la ZMCM.

Retomando el tema del monitoreo ambiental en los sitios de disposición final, se puede mencionar que a principios de 1987 con el relleno sanitario Santa Fe y principalmente con la apertura de Prados de La Montaña se inicia el monitoreo ambiental en el país en este tipo de instalaciones, monitoreos que después se amplían a mantos acuíferos y se complementa con otras actividades que se realizan dentro del relleno sanitario los cuales fueron de los primeros parámetros que se midieron y que son entre otros el ruido, polvos, partículas viables y totales, etc. La caracterización de lixiviados se considera como fundamental en un monitoreo ambiental de un sitio de disposición final, además de la caracterización y cuantificación de biogás y actualmente el monitoreo de los mantos acuíferos.

Al principio se contaba con poca infraestructura para llevar a cabo el monitoreo ambiental en las grandes ciudades del país, pero conforme los resultados dieron fe de que este tipo de actividades eran necesarias y útiles, la infraestructura fue creciendo, hasta que en la actualidad se cuenta en las principales urbes del país con equipo y personal altamente calificados para realizar este tipo de actividades.

La trascendencia del desarrollo del monitoreo ambiental en México radica principalmente en que:

- a) En la actualidad, se tiene el poder de obtener información confiable sobre la situación en la que operan las instalaciones del manejo de residuos sólidos, y el nivel de confiabilidad de las mismas es alta.

- b) Actualmente existe una base sólida en materia de monitoreo ambiental, con ello se podrá implementar mejoras en los sistemas ya establecidos.
- c) Con los programas de monitoreo ambiental, es posible corroborar cómo una instalación ambientalmente compatible, presenta una confiabilidad operacional mayor a la que ofrece una instalación que omite el criterio formado gracias a los mismos programas (tomando como referencia la normatividad ambiental).

En suma, el desarrollo de la actividad del monitoreo ambiental permite, el desarrollo de criterios rectores de planeación, diseño y de operación que, bien instrumentados, pueden compatibilizar ambientalmente hablando, instalaciones y servicios en el sistema de manejo de residuos sólidos municipales de las principales ciudades de nuestro país.

Además de que se están realizando monitoreos en poblaciones medias y planificando el sistema de manejo de residuos sólidos en poblaciones que no contaban con un sistema formal, y que incrementan día con día su población, y por tanto el problema de los residuos sólidos.

3.3.6 La celda de control como sistema de monitoreo ambiental en los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales.

Desde un punto de vista ambiental, el componente de más relevancia dentro de un sistema de manejo de residuos sólidos, es sin duda alguna el sitio de disposición final de los residuos sólidos municipales. Debido a la estrecha relación que guarda con respecto al saneamiento ambiental y a la preservación de la salud pública que realiza, al disponer los residuos que genera el hombre en las grandes ciudades.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el monitoreo ambiental en un sitio de disposición final de residuos sólidos es determinante para su correcta operación, e incluso el monitoreo ambiental continua en la etapa de postclausura; las actividades que se llevan a cabo en un programa de monitoreo ambiental garantizan que este tipo de instalaciones no representen en la actualidad o en un futuro algún riesgo para la salud humana o para el ambiente en su conjunto. Los sistemas y dispositivos de que se vale el monitoreo ambiental para realizar sus objetivos en los sitios de disposición final se pueden listar de la siguiente manera:

- a) Sistemas de captación y medición de Biogás
- b) Sistemas de captación y medición de Lixiviados
- c) Sistemas de Medición de Asentamientos
- d) Sistemas de medición de temperaturas
- e) Dispositivos para toma de muestras de residuos sólidos
- f) Estaciones meteorológicas
- g) Celdas de control

Este último tipo de sistema utilizado por el monitoreo ambiental en los sitios de disposición de residuos sólidos se ha implementado en los últimos años, dado que existe gran dificultad en simular el comportamiento de un relleno sanitario a escala piloto, con el propósito de conocer, estudiar y analizar los procesos físicos, químicos y biológicos que se dan en una obra de este tipo.

Por lo que se hace necesario conocer mediante una celda de control a escala natural el desarrollo de este tipo de procesos, con la finalidad de dar a los rellenos sanitarios un uso más racional, mejorando tanto su operación como sus sistemas de control y monitoreo ambiental.

En este tipo de sistemas se instalan diferentes sistemas de control para los diversos impactantes que generan los residuos sólidos dispuestos en estos sitios, tales como los sistemas de captación de lixiviados, sistemas de venteo, quema o medición de biogás, además de instalar dispositivos que midan las variaciones en la composición química, física y biológica de los residuos sólidos "in situ" y conservando sus características nativas.

En la actualidad, alrededor del mundo entero se están implementando este tipo de sistemas de control y monitoreo ambiental. En Bolivia y en Chile se han implementado las celdas de control como tales, y en E.U. es común que en estos sitios de disposición final de residuos sólidos se equipen campos de experimentación, es decir, una parte del relleno sanitario la instrumentan para monitorear los procesos que se desarrollan en las celdas diarias a lo largo del tiempo. La práctica de la celda de control se realiza con la finalidad básica del control de migración del biogás y de consecuentes explosiones en las vecindades de los rellenos sanitarios, así como para acelerar la estabilización de los residuos sólidos y optimizar la recuperación de energía mediante la colección y aprovechamiento del biogás.

La conceptualización de la celda de control ha sido el resultado de un largo proceso de experimentaciones, las cuales partieron de un concepto básico que se aplica a los fluidos. Este concepto establece que, a nivel piloto, los lisímetros son dispositivos que sirven para simular con un alto grado de aproximación, el comportamiento del viaje de un fluido a través de un cierto medio. Con anterioridad se había estado experimentando con lisímetros dentro y fuera de los laboratorios, utilizando sustratos empacados en el propio sitio de experimentación, tratando de reproducir las condiciones "in situ"; o también se realizaba con sustratos extraídos del medio por experimentar, con el fin de mantener las características originales.

La utilización de lisímetros para simular, estudiar y evaluar el comportamiento real de un relleno sanitario fue corta y sólo fueron intentos de simulación, ya que era muy difícil igualar no solo las condiciones físicas, climatológicas y ambientales a que está expuesta una obra de esta naturaleza, sino también las condiciones de vecindad entre las propias celdas de confinamiento, por ello es que se hizo necesaria la introducción de el concepto de la celda de control, como una especie de lisímetro a escala natural,

trabajando en condiciones reales, que permita no solo investigar el comportamiento del relleno sanitario para generar parámetros de diseño, sino también llevar a cabo el monitoreo del mismo, para evitar posibles riesgos de contaminación ambiental en el presente o en el futuro; además de conocer algunos detalles importantes acerca de los procesos de estabilización que se dan dentro de la celda.

3.3.6 El Monitoreo ambiental en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

Como resultado de las reuniones que tuvieron representantes de la empresa SETASA y del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se realizó una propuesta de investigación orientada al control integral del Relleno Sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas. Las actividades que se plantean en esta investigación incluyen la información básica y recomendaciones prácticas para que como consecuencia, la operación del Relleno Sanitario se vincule a un alto desarrollo tecnológico en materia de disposición final de residuos sólidos, además de aprovechar la experiencia que se genere con este programa para que se aplique a otros Rellenos Sanitarios existentes, e incluso aquellos que estén en la fase de diseño, dentro y fuera del país.

La propuesta final de este programa de investigación, contempla la implementación y puesta en marcha de un programa de monitoreo ambiental en el Relleno Sanitario de Nuevo Laredo, con el que serán monitoreados parámetros específicos que permitan evaluar por un lado el comportamiento del sitio de disposición final, y por otro, tener un seguimiento de los impactantes generados por la estabilización de los residuos sólidos.

Este programa de investigación generará datos del Relleno Sanitario en estudio en las etapas iniciales de su operación, así como datos de los parámetros que contemplan las normas vigentes en materia de residuos sólidos municipales, para que con ello se lleve un control estricto del Relleno y se pueda garantizar su óptimo funcionamiento, además de verificar que no produzca más contaminantes que los permitidos por las normas vigentes, y en caso de que no existan límites máximos permitidos para la generación de algún contaminante, proponer los mismos, para que en un futuro sean tomados como referencia en otros sitios de disposición final actuales o en diseño, dentro o fuera del territorio nacional.

El objetivo principal de este programa de investigación es: Diseñar e iniciar un programa de control y monitoreo ambiental del Relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

Los alcances del programa de investigación se enuncian a continuación:

- a) Selección y registro de parámetros que ayuden a evaluar y predecir el comportamiento del Relleno Sanitario.
- b) El monitoreo de los impactantes que se generen como producto de la estabilización de los residuos sólidos dispuestos en el sitio.

c) Los monitoreos iniciales serán hechos por personal del II-UNAM en colaboración con SETASA, pudiendo establecer en el futuro la supervisión por parte del Instituto de Ingeniería.

Las actividades que se realizaron en el programa de investigación, se llevaron a cabo por el Instituto de Ingeniería en conjunto con personal que opera en el relleno sanitario de SETASA, las cuales se pueden resumir a continuación:

- Se realizó una revisión de la normatividad vigente en materia de residuos sólidos municipales, así como de normas internacionales para definir los parámetros y su periodicidad.
- Utilizando como referencia las normas vigentes, se realizó el estudio de caracterización de la basura, este estudio comprendió el análisis físico y químico de los residuos sólidos que son depositados en el Relleno Sanitario de Nuevo Laredo.
- Planteamiento del diseño y construcción del laboratorio "in situ", así como determinar el equipo y material necesario para equipar el laboratorio, con el fin de que se realicen las pruebas necesarias para realizar el programa de monitoreo ambiental propuesto.
- Se supervisó el equipo y la operación del laboratorio ya construido, así como al personal mínimo necesario.
- Se elaboró un plan de monitoreo ambiental, en el que se determinaron los impactantes a medir, la frecuencia de este tipo de mediciones, el número de muestras y la forma del muestreo, todo lo anterior con la finalidad de que el monitoreo fuera más eficiente y lo menos costoso posible, para que sirviera de referencia a futuros monitoreos en sitios similares.
- Se hicieron calibraciones de ensayos, de pruebas y análisis, con la finalidad de observar si era necesario capacitar a las personas en la utilización del equipo para que realizaran los muestreos.
- Después se realizaron campañas de muestreos en campo y análisis en el laboratorio del Instituto de Ingeniería, para determinar los parámetros de impactantes medidos y determinar que tan peligrosa es la operación del Relleno Sanitario de Nuevo Laredo.
- En cuanto a los muestreos y análisis hechos en campo se buscaron para el biogás su producción, explosividad y migración, para el aire el contenido de partículas viables y totales, y para los parámetros meteorológicos la precipitación,

humedad relativa, dirección y velocidad del viento y temperatura ambiente. Lo anterior para obtener datos que nos indiquen el grado de estabilización de los residuos sólidos en el Relleno Sanitario.

- Las pruebas en el laboratorio del Instituto de Ingeniería se enfocaron principalmente al muestreo y análisis de lixiviado (cantidad y parámetros fisicoquímicos) y de biogás (composición y toxicidad).

CAPÍTULO IV

**ASPECTOS CONTEMPLADOS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL
DEL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.**

La importancia que tiene un monitoreo ambiental en un relleno sanitario es muy grande, ya que a través de ello se puede comprender lo que sucede dentro del relleno sanitario después de concluir las operaciones de compactación y de cobertura de los residuos y de la conformación de las celdas de confinamiento; este conocimiento rige el diseño, la construcción, la operación, la clausura y postclausura de un relleno sanitario.

Los parámetros contemplados en un programa de monitoreo son determinantes para el conocimiento de los procesos que se llevan a cabo dentro de las celdas de confinamiento, y más aún, el nivel de impacto que tiene el relleno sanitario en el ambiente. Esto con el fin de saber que tan buenas son las actividades operativas del relleno sanitario, para el medio como a las mismas personas que laboran en él; para que con esto se aplique las medidas preventivas o correctivas según sea necesario en beneficio de la salud humana y del medio.

Un monitoreo ambiental permite conocer detalladamente los procesos biológicos de mayor importancia, que suceden en el interior, tales como:

- a) La cantidad y calidad de los residuos sólidos dispuestos.
- b) La disolución de materiales orgánicos e inorgánicos por el agua.
- c) Cantidad y calidad de los lixiviados.
- d) La difusión del biogás a través de las celdas.
- e) La calidad del biogás que se genera.
- f) La calidad del aire dentro y en las cercanías del relleno.

El monitoreo ambiental en un relleno sanitario contempla parámetros muy diversos, ya que es de suponerse que la estabilización de los residuos sólidos en el interior de un relleno sanitario depende de muchos factores, tales como la humedad que se infiltra a las celdas de confinamiento, el tipo de residuo de que se trate, el grado de compactación que tengan, la cantidad de humedad que contengan, la presencia de materiales inhibidores, el movimiento del agua dentro de las celdas, la temperatura y tantos otros que aun no se descubren, pero que al parecer no tienen tanta importancia como los antes mencionados. Debido a las múltiples relaciones que existen entre los diferentes factores que intervienen para la estabilización de los residuos sólidos es prácticamente imposible predecir lo que pasará en un relleno sanitario, y más difícil es generalizar el comportamiento de uno para el resto de los rellenos sanitarios que se encuentran en una cierta área o región; en general se puede establecer que las reacciones químicas y biológicas en un relleno sanitario, aumentan con la temperatura y la cantidad de humedad presente en los residuos sólidos dispuestos, alcanzando un límite superior en cada caso.

También algunas características de los residuos sólidos dispuestos pueden intervenir en la degradación y estabilización de los mismos, tales factores físicos, químicos y biológicos dependen de la propia naturaleza de los residuos sólidos, de entre la cuales, se enuncian los siguientes:

- a) *Tamaño y morfología.*- Este factor es muy importante, ya que dependiendo del tamaño y la forma será el volumen que ocupe en el relleno sanitario, y además la cantidad de humedad y aire que pueda almacenar, con lo que contribuye a la degradación aerobia o anaerobia según sean sus características.
- b) *Peso volumétrico y composición.*- El factor de la composición es de mucha importancia para los diferentes procesos que suceden dentro del relleno sanitario, ya que dependiendo de la composición química del residuo será la calidad del lixiviado y el biogás; el peso volumétrico que alcancen los residuos sólidos en el relleno sanitario también influye, pues entre más compactos estén, los procesos de estabilización y degradación se vuelven más lentos.
- c) *Porcentaje de material biodegradable.*- Esta característica por obvias razones tiene una trascendencia muy grande, ya que este es el tipo de material que se degrada de manera casi inmediata, y que además genera una gran cantidad de lixiviado dentro de las celdas de confinamiento, incluyendo la producción de biogás, por lo que su cantidad determina la cantidad y calidad de los impactantes que se generen dentro del relleno sanitario por la estabilización de los residuos sólidos.
- d) *Humedad.*- La humedad que contengan los residuos sólidos desde el origen de su generación es de gran importancia, por que entre más humedad tengan más rápida será la generación de lixiviados, además de que la cantidad aumentará notablemente.

Por otro lado las características propias del sitio de disposición final influyen de manera directa en los procesos de estabilización y degradación de los residuos sólidos, como las características propias del material de cubierta, temperatura media del ambiente, altura de precipitación, grado de humedad en el aire, velocidad y dirección del viento; por estas características propias del sitio es que ningún relleno sanitario es igual a otro, ya que demasiados factores intervienen en su funcionamiento dentro y fuera.

Para poder determinar los parámetros que se incluirán dentro de un programa de monitoreo ambiental en un relleno sanitario, es necesario conocer los procesos por los cuales los residuos sólidos se degradan y lo que esta degradación produce, además de los factores que intervienen. Este proceso se inicia cuando los componentes orgánicos biodegradables de los residuos sólidos municipales empiezan con la descomposición bacteriana tan pronto como son dispuestos en el relleno sanitario; de manera inicial la degradación bacteriana ocurre en condiciones aerobias debido a que cierta cantidad de oxígeno queda atrapado en los residuos sólidos y también en la tierra con que son revueltos, sin embargo, esta fase es muy corta en duración y la descomposición a largo plazo ocurre en condiciones anaerobias. La fuente principal de organismos aerobios y anaerobios responsables de la degradación, es el suelo usado como material de cubierta de los residuos previamente compactados.

Al ocurrir los procesos antes mencionados comienzan los cambios dentro de las celdas de confinamiento, con la producción de lixiviados y de biogás, además de ocurrir la descomposición de la materia ciertos asentamientos diferenciales en el relleno sanitario ocurren a lo largo del tiempo.

4.1 Funcionamiento del laboratorio

Es muy importante contar con un laboratorio de análisis de residuos sólidos "in situ", es decir, en el mismo relleno sanitario, o lo más cerca de él, para que se tengan con gran oportunidad los resultados de los análisis y con ello se pueda evaluar más oportunamente el estado en el que se encuentra la calidad del ambiente en el relleno sanitario, y con esto poder aplicar las medidas preventivas o correctivas correspondientes.

En el caso del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas se ha diseñado y construido un laboratorio para realizar análisis de residuos sólidos y de los productos de su degradación, por lo que también tiene la capacidad de analizar lixiviados y biogás (ver figura 11). Este laboratorio cuenta con las siguientes áreas:

- a) Preparación de muestra para análisis
- b) Físicoquímicos
- c) Microbiología
- d) Oficinas

En el monitoreo ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas se realizaron varias pruebas en este laboratorio, y algunas en el laboratorio del II-UNAM. A continuación se presenta el croquis del laboratorio que se diseñó de manera conceptual por parte del II-UNAM y que construyó SETASA.

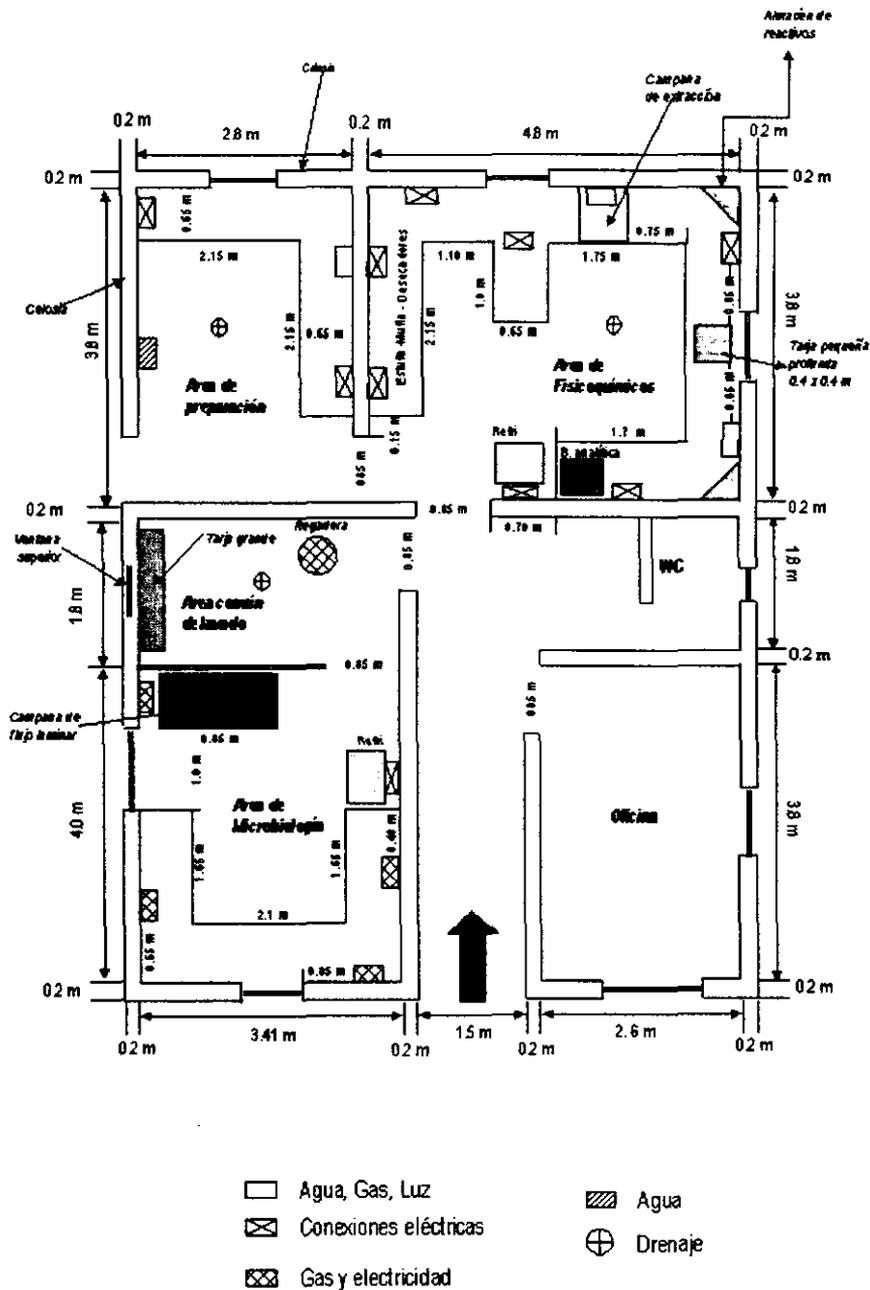


Figura No.11.- Laboratorio "in situ" del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

4.2 Implantación del programa de monitoreo.

En la tabla 7 se resumen, los parámetros de control a medir, metodología empleada, frecuencia de medición, equipos y dispositivos necesarios para los muestreos del estudio "Control Ambiental del Relleno Sanitario de Nuevo Laredo Tamaulipas".

Tabla 7. Programa de Monitoreo Ambiental.

Parámetros	Norma	Técnica analítica	Equipo de medición	Periodicidad
Lixiviados				
pH	NOM-AA-8	lectura directa	potenciómetro	Trimestral
Conductividad eléctrica	NOM-AA-93	lectura directa	conductímetro	Trimestral
Oxígeno disuelto	NOM-AA-12	lectura directa	oxímetro	Trimestral
DQO Total y soluble	NOM-AA-28	Dilución-filtración	Met. Tradicional y met. HACH	Trimestral
DBO5 Total y soluble	NOM-AA-30	Dilución-filtración	Equipo y mat. De lab.	Trimestral
Metales pesados:	NOM-AA-51	absorción atómica	espectrofotómetro de AA	Trimestral
Arsénico (As)				Trimestral
Cadmio (Cd)				Trimestral
Cromo (Cr)				Trimestral
Hierro (Fe)				Trimestral
Mercurio (Hg)				Trimestral
Pomo (Pb)				Trimestral
Biogás	No existe norma			
Flujo		lectura directa	flujómetro	
Migración		lectura directa	exposímetro/analizador de gases	
Explosividad		lectura directa	explosímetro digital	
Composición:		cromatografía de gases	cromatógrafo de gases y/o analizador de gases de campo	Bimestral
CH4				Bimestral
CO2				Bimestral
O2				Bimestral
N2				Bimestral
Partículas aerotransportables				
Suspendidas totales	NOM-CCAM-02-ECOL-93	muestreo de alto volumen	muestreador de alto volumen	Semanal
aerotransportables viables	No existe	muestreo con impactador	muestreador Andersen	Semanal
Microorganismos indicadores				
Coliformes	No existe	Andersen y análisis microbiológico		Semanal
Streptococcus sp.	No existe			Semanal
Pseudomona aeruginosa	No existe			Semanal
Hongos y levaduras	No existe			Semanal
Parámetros meteorológicos				
Humedad		lectura directa	equipo para medición en campo	Diario
Temperatura				Diario
Precipitación				Diario
Vel y direc del viento				Diario
Otros				
Ruido		lectura directa	sonómetro	Semanal
Radioactividad		lectura directa	contador tipo Geiger	Semanal
Solvente clorado	fotoinizada			
Caracterización de la basura				
Tamaño	NMX-AA-22-1985			Bimestral
Peso volumétrico	NMX-AA-19-1985			Bimestral
Humedad relativa	NMX-AA-16-1984			Bimestral
Carbono	NMX-AA-67-1985			Bimestral
Hidrógeno	NMX-AA-68-1986			Bimestral
Oxígeno	NMX-AA-80-1987			Bimestral
Nitrógeno Total		Jackson (Suelos)		Bimestral
% material biodegradable	NMX-AA-21-1985			Bimestral

4.3 Composición de los residuos sólidos

Un aspecto muy importante dentro del monitoreo ambiental de un relleno sanitario lo es la composición de los residuos que son dispuestos, ya que ésta composición es determinante para la degradación de los residuos, y por lo tanto para la generación de lixiviados y biogás. Es de imaginarse que los residuos sólidos no son del mismo tipo en toda la república, pues mucho tienen que ver las actividades económicas, el clima y la época del año entre otros aspectos; por lo que no es posible generalizar la composición de los residuos sólidos de una región con otra.

La composición de los residuos varía principalmente en la cantidad de ciertos subproductos que componen al total, es decir, en algunos lugares el porcentaje de materia orgánica respecto a otra puede ser muy baja, así como la cantidad de plásticos y empaques, lo que nos da una idea acerca del tipo de desarrollo económico que tiene ese lugar. Además la composición puede variar aunque se trate del mismo sitio debido a la época del año, ya que no consumimos el mismo tipo de cosas al principio o fin de año que en el verano, esta variación influye mucho en la degradación de los residuos sólidos, pues entre más materiales sintéticos estén presentes en los residuos sólidos menos rápida será la degradación de los mismos.

Otro punto a favor del conocimiento de la composición de los residuos sólidos, es que, con un buen conocimiento de esta composición es posible implementar programas de producción de composta o de construcción de plantas de selección y aprovechamiento de subproductos, generando con ello alguna utilidad de los residuos que en general se cree que no sirven más. En la figura 12 se muestran los principales subproductos que componen a los residuos sólidos que se disponen en los rellenos sanitarios.



Figura 12.- Principales subproductos que componen los residuos sólidos municipales.

En el caso de Nuevo Laredo, Tamaulipas la composición de los residuos formó parte del control ambiental, pues al parecer debido a las características propias del lugar los residuos presentan una composición típica de las ciudades fronterizas del norte del país.

4.4 Lixiviados.

La generación de lixiviados es un aspecto muy importante que debe ser tomado en cuenta al proyectar, diseñar, construir, operar, clausurar e incluso en la etapa de postclausura de un relleno sanitario, ya que los efectos adversos que puede significar son muchos y de gran peligro para la salud humana y la del ambiente. Es por ello que debe ser tomado en cuenta para el diseño de un buen programa de monitoreo ambiental, pues de lo que se trata es de controlar con la mayor eficiencia los procesos que suceden en el interior del relleno sanitario.

Lixiviar se puede definir como la acción de percolación de un líquido, generalmente agua, que por medio de disolución separa los componentes solubles que se encuentran en los residuos sólidos dispuestos en las celdas de confinamiento de un relleno sanitario, o en un tiradero a cielo abierto.

La generación de los lixiviados se debe principalmente a la percolación del agua de precipitación a través de los residuos sólidos confinados en el relleno sanitario, el agua al ser el disolvente universal (cualquier cosa que entra en contacto con el agua es disuelto en cierto grado) y al percolarse, arrastra y disuelve muchos de los componentes de los residuos sólidos, algunos son orgánicos y son fácilmente lixiviados, algunos metales toman mucho tiempo en lixivarse pero aún estos producen lixiviado. Por lo tanto los dos elementos necesarios para generar lixiviados en un relleno sanitario es el agua y los residuos sólidos.

La cantidad de lixiviado, así como sus características dependen de las condiciones propias del lugar, del clima, de la geografía e hidrología, además de que también dependen del tipo, composición y morfología de los residuos sólidos dispuestos. En general las características de los residuos sólidos determinan la de los lixiviados, ya que los lixiviados pueden adquirir la misma composición química del residuo disuelto, y en algunos casos, al combinarse con otras composiciones químicas volver al lixiviado en un producto altamente nocivo para el ambiente.

Casi siempre se da un sinnúmero de combinaciones entre los mismos lixiviados, por lo que el resultado es un líquido altamente contaminante dada la concentración de materiales absorbidos, como metales pesados, coliformes fecales, ortofosfatos, nitratos; sulfatos, fósforo, nitrógeno amoniacal, DBO; sólidos sedimentables, suspendidos y volátiles; alcalinidad, conductibilidad eléctrica, temperatura y pH, entre otros como puede verse en la tabla 8. La concentración y sus componentes dependen de la edad del relleno sanitario, a continuación se muestra un cuadro en el que se pueden apreciar

los componentes y concentraciones típicas de las sustancias encontradas en algunos lixiviados.

Tabla No. 8.- Características de los Lixiviados

Fuente: G. Tchobanoglous, H. Theisen. R. Eliassen, "Desechos Sólidos", CIDINT, Venezuela 1986.

PARAMETRO	RANGO MG/LT.	VALORES TÍPICOS
DBO ₅	2,000 - 30,000	10,000
COT	1,500 - 20,000	6,000
DQO	3,000 - 45,000	18,000
Sólidos totales Suspendidos	200 - 1,000	500
Nitrógeno Orgánico	10 - 600	200
Nitrógeno Amoniacal	10 - 800	200
Nitratos	5 - 40	25
Fósforo Total	1 - 70	30
Ortofosfatos	1 - 50	20
Alcalinidad como CaCO ₃	1,000 - 10,000	3,000
pH	5.3 - 8.5	6
Dureza Total como CaCO ₃	300 - 10,000	3,500
Calcio	200 - 3,000	1,000
Magnesio	50 - 1,500	250
Potasio	200 - 2,000	300
Sodio	200 - 2,000	500
Cloro	100 - 3,000	500
Sulfatos	100 - 1,500	300
Hierro Total	50 - 600	60

La mayor preocupación acerca de los lixiviados en un relleno sanitario, es el hecho de que puedan emigrar fuera de la vecindad del relleno y contaminen los mantos acuíferos, esta contaminación se debe a que los lixiviados aportan materia orgánica, metales pesados y sustancias peligrosas; en general, los efectos que pueden presentar los cuerpos de agua que han sido contaminados por los lixiviados son los siguientes:

- Agotamiento del oxígeno disuelto.
- Proliferación de virus y bacterias.
- Aumento en el contenido de metales, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, etc.
- Aumento de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- La calidad de vida se deteriora, debido a las sustancias peligrosas que pueden entrar en la cadena trófica y afectar de manera indirecta la salud humana.

Debido a que el cuidado de los mantos acuíferos es el principal objetivo del monitoreo y del control ambiental de un relleno sanitario en lo que respecta a los lixiviados como se ilustra en la figura 13, y que las características del lixiviado puede cambiar a través del tiempo, debido a la calidad y cantidad de agua que percola a través del relleno, es muy importante tener en cuenta cuales son las fuentes principales del agua en un relleno sanitario.

- a) *Residuos sólidos.*- La mayoría de los residuos sólidos no son secos, contienen 40% de humedad en promedio, lo que contribuye a aumentar la cantidad de agua dentro de los residuos sólidos confinados. En muchos casos la humedad queda atrapada en recipientes como las latas, o en algunas otras ocasiones los residuos orgánicos contienen gran contenido de humedad, además de que en algunos casos en los rellenos sanitarios se aceptan confinar lodos o líquidos.

- b) *Humedad del suelo.*- La humedad del suelo del relleno sanitario puede variar con las diferentes estaciones del año, además la textura del suelo es capaz de afectar la cantidad de agua del mismo y su control es difícil, existe la posibilidad de que si en el momento de la disposición final el suelo y los residuos sólidos están saturados, se puede calcular con mayor facilidad la cantidad de lixiviados por generarse.
- c) *Agua subterránea.*- Este tipo de aportación sucede cuando los residuos sólidos son dispuestos en mantos acuíferos o en lugares en donde el nivel de aguas freáticas es muy superficial.

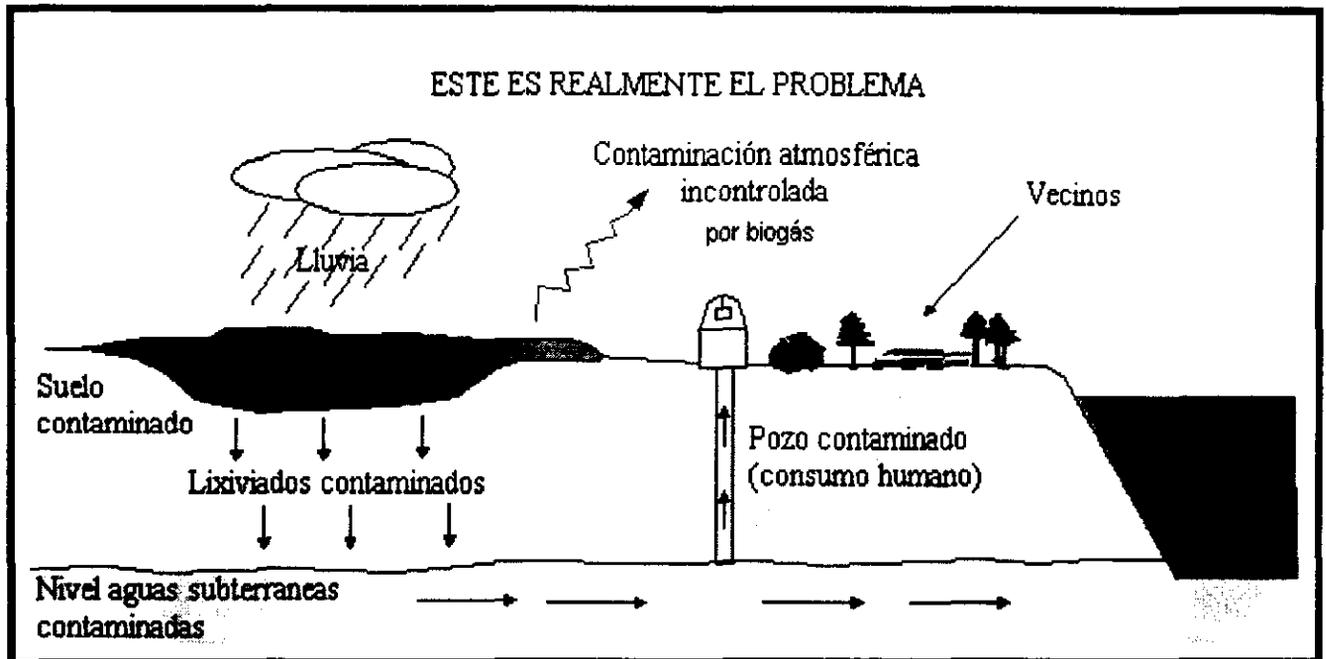


Figura 13.- Problemas provocados por la generación de lixiviados en un vertedero incontrolado.

En conclusión, se puede decir que la generación de lixiviados es un aspecto de gran importancia que hay que tomar muy en cuenta al diseñar un programa de monitoreo, para poder controlar este problema, es por ello que para el control ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas éste es un aspecto de primer orden para ser monitoreado.

4.5 Generación de biogás.

Después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario, la materia orgánica sufre un proceso de biodegradación, produciendo una mezcla de gases potencialmente peligrosos conocida como biogás. El biogás se produce en un relleno sanitario por un proceso de digestión de los materiales orgánicos contenidos en los

residuos sólidos municipales. La estabilización biológica de los residuos sólidos en un relleno sanitario normalmente involucra una serie de cambios que van desde los procesos aerobios de descomposición a los anaerobios.

La transición de la descomposición aerobia a la anaerobia y la producción de metano se efectúa en cuatro fases como se muestra en la figura 14. La primera fase de la descomposición bacteriana ocurre en presencia de oxígeno (fase aerobia), el cual quedó atrapado en el interior del relleno. Esta fase es relativamente corta debido a que las cantidades de oxígeno son limitadas. Los gases sintetizados en esta etapa consisten principalmente en dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua. La segunda fase comienza cuando las condiciones se tornan anaerobias; los aerobios obligatorios mueren y los microorganismos facultativos se convierten en anaerobios. El principal gas producido es el CO_2 y, en menor cantidad el Hidrógeno (H_2). La tercera fase se caracteriza por la aparición gradual de metano (CH_4). La concentración de CH_4 se estabiliza y es relativamente constante (en el intervalo de 40% a 60%) en la cuarta y última fase.

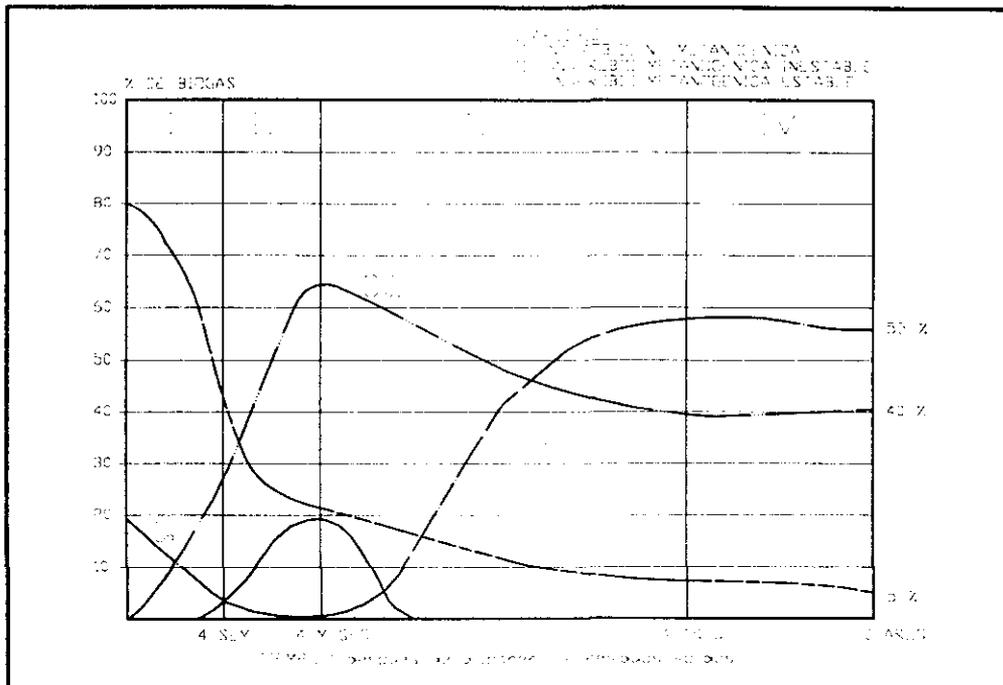


Figura 14.- Fases de generación de biogás en rellenos sanitarios.
Fuente: "Memorias del Curso Internacional de Rellenos Sanitarios y de seguridad"

También en la fase anaerobia, se producen compuestos variados de azufre y carbono, reducidos a concentraciones traza (sulfuros, ácidos orgánicos volátiles, respectivamente). El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es el compuesto predominante en el gas crudo del relleno sanitario.

Bajo descomposición metanogénica, las concentraciones de CH₄ y CO₂ (y otros elementos constitutivos del gas) dependen de varios factores, incluyendo la composición de los residuos sólidos y la presencia de humedad para disolver al CO₂. En el caso de rellenos sanitarios de países industrializados, la proporción típica de CH₄ a CO₂ es de 40:60 a 60:40. A continuación en la tabla 9 se presenta la composición típica del biogás de los rellenos sanitarios en países industrializados:

Tabla No 9.- Composición del biogás en rellenos sanitarios de países industrializados
Fuente: "Memorias del Curso Internacional de Rellenos Sanitarios y de seguridad"

COMPONENTE	% COMPONENTE (EN SECO)
Metano	47.5
Dióxido de carbono	47.0
Nitrógeno ^a	3.7
Oxígeno	0.8
Parafinos hidrocarburos	0.1
Hidrocarburos cíclicos y aromáticos	0.2
Hidrógeno	0.1
Sulfuro de hidrógeno	0.01
Monóxido de carbono	0.1
Compuestos restantes ^b	0.5

^a La presencia de nitrógeno y de O₂ en el gas podría deberse a escapes en el sistema de control de gases o debidos al ingreso de aire dentro del relleno sanitario.

^b Los compuestos traza incluyen: dióxido de sulfuro, benceno, tolueno, cloruro de metileno, tetracloroetileno y sulfuro de carbonilo en concentraciones superiores a 50 ppm.

El biogás también contiene compuestos orgánicos volátiles que pueden haberse dispuesto con los residuos sólidos, lo cual es mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 10.- Compuestos orgánicos traza en el biogás crudo del relleno sanitario Mountain (E.U.), 1980.
Fuente: "Memorias del Curso Internacional de Rellenos Sanitarios y de seguridad"

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
Dicloroetileno	5.2
Tricloroetileno	10.4
Cetona de isobutilo metílico	5.1
Clorobenceno	0.4
Tolueno	4.0
Tetracloroetileno	4.5
Etilbenceno	4.0
Xileno	2.3

Debido a que el biogás es el resultado de una serie de procesos biológicos que se dan dentro de las celdas de confinamiento, cuya generación depende de diferentes factores, tales como:

- a) *Cantidad de materia orgánica contenida en los residuos sólidos.*- Entre mayor sea el contenido de material orgánico, mayor será la cantidad de biogás generada.

- b) *Tiempo*.- Este factor interviene al estar relacionado con la velocidad de descomposición de los residuos.
- c) *Temperatura*.- Las bacterias encargadas de la degradación de los residuos sólidos requieren de temperaturas estables.
- d) *Humedad*.- Este factor es de mucha trascendencia, ya que en los casos de una escasa humedad o de una saturación completa, se provoca una lenta degradación de los residuos sólidos.
- e) *Oxígeno*.- Dependiendo de la cantidad del oxígeno presente, será la fase en la que estén los procesos biológicos, y por lo tanto el contaminante que este generando, por ejemplo en la fase aerobia (presencia de oxígeno) se produce más CO_2 , y en el caso contrario se produce CH_4 .
- f) *Peso Volumétrico*.- Este factor es consecuencia de la compactación que se tenga en los residuos sólidos ya confinados, entre más compactos estén más lenta será la degradación de los residuos.
- g) *pH*.- El óptimo es de 7, aunque de 6 a 8 es el rango típico para la producción de metano.

La razón principal por la que la generación de biogás debe ser tomada en cuenta en el diseño de un programa de monitoreo, y en los rellenos sanitarios en general, es por el problema de migración de biogás. En condiciones normales los gases producidos en el relleno sanitario se emiten a la atmósfera mediante difusión molecular, gradientes de presión y temperatura desarrollados debidos a las variaciones en las biodegradaciones de los residuos sólidos del relleno sanitario.

En el caso del relleno sanitario activo, el biogás primeramente migra debido a los gradientes de presión, es decir, a la presión interna que normalmente es mayor a la presión atmosférica y el gas generalmente se mueve desde el relleno sanitario donde es generado hacia áreas de menor presión mediante difusión y flujo convectivo (conducido por presión) a lo largo de trayectorias de poca resistencia. Otros factores que influyen en el movimiento del biogás incluyen la absorción de los gases en componentes líquidos o sólidos y la generación ó consumo de un componente gaseoso a través de reacciones químicas o de la actividad biótica.

El alcance hasta el cual el biogás migra lateralmente en vez de hacerlo de forma vertical depende de dónde estén localizadas las trayectorias de poca resistencia. La cantidad de migración en la dirección lateral depende en parte de la permeabilidad del suelo adyacente al relleno sanitario.

Si se escapa el biogás del relleno sanitario de una manera incontrolada, puede acumularse (por que su peso especifico es menor que el aire) en estructuras cerradas,

sótanos, instalaciones de servicio subterráneas, instalaciones próximas o en otros lugares cerrados, próximos o dentro y fuera del sitio (ver figura 15). Una explosión potencial existe cuando el biogás se acumula en espacios cerrados en concentraciones explosivas (de 5 a 15% de metano por volumen) y si se presenta una fuente de ignición, además de que también el biogás puede ser corrosivo, dependiendo del porcentaje de CO₂ que contenga, tenemos con ello razones más que suficientes para conocer y controlar la emisión de biogás de un relleno sanitario.

La migración del biogás está basado como ya se mencionó en las características del relleno y del biogás en general, ya que el metano que es el gas predominante, es más liviano que el aire, tienen un peso molecular de 16.4 y una densidad de 0.7169 gr./lt. por lo que tiende a elevarse, además este gas no es soluble en agua. El dióxido de carbono es por el contrario más pesado que el aire, y por ello tiende a moverse hacia abajo, asociándose con el agua y produce un ácido carbónico débil. Para predecir la migración del biogás debemos tener en cuenta que se moverá por el camino de menor resistencia; el biogás migra por difusión en un área de alta concentración a un área de baja concentración. El biogás puede migrar al exterior del relleno sanitario de forma vertical, es decir, a través del suelo y de las grietas que pudieran existir; también puede migrar de forma lateral a través de la textura del suelo adyacente al relleno cuando la migración vertical esta restringido, este movimiento lo hará hasta que una abertura vertical permita salirse al exterior.

El control de la migración del biogás en un relleno sanitario puede efectuarse por dos procesos:

- *Sistemas de control pasivos*
- *Sistemas de control activos*

dependiendo de la cantidad y calidad del biogás se puede controlar la generación de biogás ventilándolo o quemándolo, pero si la calidad y la cantidad de biogás que se genera es buena, puede haber la posibilidad de utilizar la generación de biogás para generar energía eléctrica. Por lo que el monitoreo de la concentración de biogás, durante las diferentes edades del relleno sanitario, es muy importante, pues por medio de ello es posible contar con la información necesaria para determinar su factibilidad como fuente de energía; así como para determinar los periodos de mayor producción que serán así mismo, los periodos de mayor riesgo ambiental por la migración de biogás fuera de la vecindad del relleno sanitario, además de saber cuando es posible tener la mayor recolección de biogás para su recuperación y aprovechamiento.

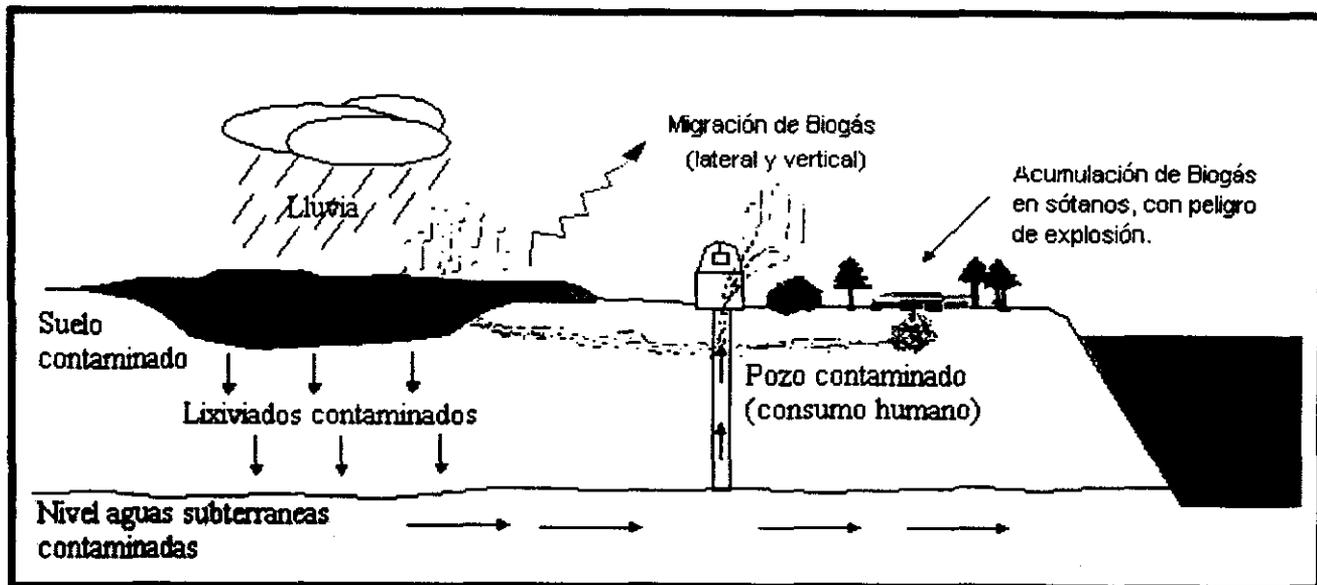


Figura 15.- Problemas generados por la migración de biogás en un sitio de disposición final no controlado.

4.6 Partículas aerotransportables

El monitoreo de la calidad del aire es un aspecto muy importante que no puede olvidarse para un programa de monitoreo ambiental, pues debido a las actividades operativas del relleno sanitario son desprendidas múltiples partículas de los residuos sólidos, las cuales van desde polvos hasta microorganismos muy pequeños que pueden ser respirables y tornarse en un grave riesgo para el propio personal que labora dentro del relleno, como para aquellas personas que viven en las zonas aledañas al predio.

La importancia que tiene este tipo de monitoreo reside en que debido a que el grado de penetración y retención de partículas en el sistema respiratorio es una función directa del tamaño aerodinámico de éstas, es necesario conocer la distribución del tamaño de las partículas suspendidas totales (PST) ya que la fracción inhalable (0-15) μm de diámetro puede tener efectos directos en la salud.

El tamaño de las partículas (diámetro aerodinámico), es uno de los factores que determinan su acceso y depósito en los diferentes sitios del aparato respiratorio. Del total de partículas suspendidas solamente pueden penetrar en el aparato respiratorio aquéllas con tamaños entre los 200 y los 0.5 micrómetros; éstas constituyen la denominada "fracción inspirable". Las partículas pertenecientes a la fracción inspirable pueden ser agrupadas de acuerdo con el sitio del aparato respiratorio hasta que penetran, y en el cual, con mayor probabilidad se depositarán. De esta manera, la fracción inspirable se divide en las fracciones extratorácica, traqueobronquial y pulmonar o alveolar (Restrepo, 1992).

Por las actividades propias de los rellenos sanitarios se generan polvos y partículas en las etapas de construcción y operación, debido a las excavaciones que se hacen, así como, cuando se maneja el material de cubierta para los residuos; los microorganismos se incrementan en la etapa de operación en el momento que descargan los vehículos recolectores, las toneladas de desechos que se manejan son considerables al igual que la influencia de vehículos en el frente de trabajo por lo que se alcanzan niveles de aerotransportables que se pueden considerar muy altos, por lo anteriormente mencionado es necesario hacer estudios de PST dentro y en los alrededores de los rellenos sanitarios.

La contaminación microbiana del aire es muy variada dependiendo del grado de contaminación de la atmósfera, de la temperatura, de la precipitación, del carácter geográfico del lugar, humedad y de otros factores. Cuanta más basura, polvo, humo y hollín hay en el aire, tanto mayor es la concentración de microorganismos. Cada partícula de humo o de hollín tiene la propiedad de absorber en su superficie gran cantidad de microorganismos como virus, hongos, levaduras y bacterias que causan serios problemas de salud pública si no están bien controlados.

El propósito de determinar estos parámetros es medir la exposición del personal que labora en estos sitios, con el fin de proteger su salud mediante medidas preventivas de operación.

Es por ello que para el proyecto este aspecto formó parte importante del programa de monitoreo del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas. Cabe señalar que esta es la primera vez que se realiza este tipo de monitoreo en este tipo de sitios en particular, por lo que no se tenía nada documentado acerca de los procedimientos ni de los resultados esperados, por lo que en las primeras fases del monitoreo no se registran resultados, pero al modificar la metodología se registran buenos resultados que indican el tipo y la cantidad de partículas totales y viables que se encuentran en este tipo de lugares.

4.6.1 Partículas suspendidas totales

Para el muestreo de partículas aerotransportables totales se utilizó un muestreador de alto volumen (Muestreador de partículas suspendidas PM10, es decir, que retiene todas aquellas partículas de un tamaño mayor de 10 micrómetros). Se siguió el procedimiento para la calibración de los equipos de medición y el método de medición que marca la NOM-035-ECOL-1993 que se encuentra en el anexo 1.

Los principales componentes del muestreador de alto volumen son: a) un soporte donde se coloca el medio filtrante, b) el medio filtrante, que es de fibra de vidrio y se coloca con la parte más rugosa hacia abajo, este se pone a peso constante previamente y se identifica con un número de folio; c) un gráfico circular con el cual se controla el tiempo y flujo de operación del equipo y d) un ajustador de flujo.

El muestreador succiona a través del filtro una cantidad de aire atmosférico durante un periodo de tiempo determinado. Este último es variable y depende de las condiciones y de la actividad que se desarrolle en el sitio que se desea monitorear.

Por ejemplo, en el exterior de una planta seleccionadora de residuos sólidos y para sitios de disposición final de residuos clausurados se monitorea durante periodos de 8 h (Dirección General de Servicios Urbanos). Para el interior de la planta seleccionadora los periodos de tiempo son relativamente cortos (5 – 15 minutos). Cabe mencionar que las condiciones de operación del equipo y tiempos de exposición deben adaptarse a cada sitio en particular.

La velocidad del flujo y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de partículas hasta de 10 micrómetros de diámetro, dependiendo de la velocidad del viento y su dirección.

4.6.2 Partículas viables (microorganismos en el aire)

Este tipo de partículas son muy importantes para ser tomadas en cuenta en el monitoreo ambiental de este tipo de sitios, ya que como se ha mencionado párrafos arriba pueden significar un peligro grave a la salud de los que laboran dentro de las instalaciones del relleno sanitario, e incluso a las que viven en los alrededores.

El propósito de determinar estos parámetros es medir la exposición del personal que labora en estos sitios, con el fin de proteger su salud mediante medidas preventivas o correctivas en las actividades operativas del relleno sanitario, por ello es que en este estudio se eligieron los cinco puntos de muestreo: oficinas, comedor, taller mecánico, frente de trabajo y camino de acceso al relleno sanitario (200 m, antes de entrar al relleno).

A continuación se presentan lagunas características de la patogenicidad de los microorganismos que se monitorearon en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

Patogenicidad estreptocócica.

Los estreptococos se presentan con mayor frecuencia, como parásitos y patógenos de las vías respiratorias. Los síntomas dependen no sólo del proceso de infección agudo si no también de sus complicaciones. El carácter clínico de la enfermedad depende de la importancia relativa de las diversas consecuencias de la infección; aunque siendo en apariencia diferente, en esencia provocan la misma enfermedad. Frecuentemente la infección se extiende a las amígdalas, o puede localizarse primariamente en ellas ocasionando amigdalitis clínica; puede extenderse a los senos craneales o al oído medio produciendo sinusitis y por extensión al pulmón, produciendo bronconeumonía estreptocócica.

Hongos y levaduras

Se observa en la naturaleza gran diversidad de hongos y levaduras, algunos son unicelulares, otros multicelulares, para los propósitos de este trabajo sólo se mencionaran algunos casos que se incluyen dentro de los microorganismos aerobiológicos.

Se ha visto que por lo general el micelio reproductor de algunos hongos suele proyectarse al aire para formar un micelio aéreo y dar lugar a cuerpos reproductores o esporas. El modo de transmisión es en este caso aéreo, y se adquiere por respiración, inhalación o ingestión.

La género *Nocardia* sp. Se ha observado en diversos procesos patológicos, incluyendo afecciones pulmonares llamadas a veces "seudotuberculosis", provoca abscesos profundos, se ha detectado en México.

Otro género que se ha encontrado en el aire es *Aspergillus* sp. y aunque se ha observado que tienen poca virulencia ya que provocan infección pulmonar en el hombre, infecciones del oído externo. Los hongos, por lo general de la especie *Rhizopus*, parecen tener muy poca virulencia y ser capaces de invadir los tejidos sólo cuando la resistencia general disminuye notablemente. La enfermedad suele comenzar en las vías respiratorias, principalmente en la nariz, en donde las esporas germinan y el crecimiento del micelio invade las mucosas y se extiende hacia los senos adyacentes y cavidad orbitaria. El hongo parece tener afinidad especial por las arterias, penetrando hacia la luz para producir trombosis e infarto, y puede alcanzar el sistema nervioso central por vía de las arterias oftálmica y carótida interna para producir meningoencefalitis.

Coliformes.

En las últimas décadas se han desarrollado estándares microbiológicos para clasificar la calidad del aire, basados exclusivamente en la presencia de coliformes fecales y totales como organismos indicadores de contaminación fecal. La presencia de coliformes no necesariamente significa que habrá incremento en la manifestación de enfermedades ya que intervienen numerosos factores que dependen principalmente de las condiciones locales, por esto se requieren investigaciones epidemiológicas relacionadas con la protección humana para evaluar los riesgos que sean atribuibles a la contaminación atmosférica.

El grupo de los coliformes se ha tomado desde antaño como uno de los principales indicadores de contaminación por bacterias intestinales su presencia en cualquier medio, sólido, líquido o gaseoso representa un riesgo para la salud humana.

Cándida albicans

Estos hongos se encuentran comúnmente en boca, vagina y tubo digestivo en personas normales; suele provocar infecciones superficiales en la mucosa bucal, áreas intertriginosas y uñas, se conoce la candidiasis pulmonar, y las infecciones localizadas a veces dan por resultado una infección generalizada por diseminación hematógena, especialmente en huéspedes debilitados por alguna otra enfermedad.

La candidiasis de las mucosas se conoce como afta y es micosis de la mucosa de la boca, es el tipo que se observa con mayor frecuencia, notablemente más común en lactantes y niños que en adultos. La sequedad de la boca, junto con el coma parece favorecer la infección. En ocasiones, puede diseminarse a otras mucosas y a la piel, desarrollándose una erupción cutánea generalizada y lesiones intertriginosas; estos casos son mortales.

La candidiasis de las vías respiratorias, presenta dos formas, la forma leve de bronquitis crónica, que se caracteriza por disnea, y tos febril, en tanto que la forma grave semeja la tuberculosis y suele ser mortal.

Pseudomona aeruginosa

El género *Pseudomona* incluye unas 30 especies que en su mayor parte se encuentran en el agua, la suciedad y en cualquier sitio donde haya materia orgánica en descomposición. Las bacterias fluorescentes son miembros de este género *Pseudomona fluorescens* es la especie mejor conocida y la única patógena para el hombre, se desarrolla en todos los medios ordinario, requiere condiciones aerobias; no obstante, en medio anaerobio hay cierto desarrollo.

4.7 Radioactividad

Este parámetro ha cobrado gran importancia en los monitoreos ambientales de los últimos años, pues debido al gran desarrollo tecnológico y la utilización de materiales hechos con compuestos radioactivos, principalmente aquellos que son utilizados en hospitales y farmacias, además de algunas industrias. Para este monitoreo la finalidad era detectar niveles altos de radioactividad debido a la disposición de residuos provenientes de hospitales, farmacias, industrias, etc. Lo cual se supone no debe suceder, ya que, este relleno sanitarios sólo es de residuos municipales. Además, la importancia que representa el no tener un relleno sanitario con altos niveles de radiación en la frontera es de gran importancia debido a los problemas legales que pudiera representar lo anterior.

4.8 Ruido

El ruido es un factor que normalmente es tomado en cuenta para los monitoreos ambientales de industrias y espacios cerrados, ya que debido a las actividades de cada lugar esos niveles sonoros pueden ser tales, que representen un riesgo para las personas que laboran en la misma. Los peligros que representan van desde ser molestos hasta niveles en los que la integridad auditiva de los empleados, personas que frecuentan el lugar e incluso aquellas que viven en las cercanías, son seriamente amenazadas.

Este tipo de parámetro como ya se mencionó siempre se ha medido en lugares cerrados, en este caso se realiza para ver si se justifica el monitorear este parámetro en sitios de disposición final.

CAPITULO V

**ASPECTOS GEOHIDROLOGICOS Y METEREOLÓGICOS
CONTEMPLADOS EN EL MONITOREO AMBIENTAL DEL RELLENO
SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.**

La finalidad principal de los rellenos sanitarios es, la de disponer adecuadamente los residuos sólidos municipales que la sociedad genera, además de que al hacerlo garantiza la salud pública al retirar de las calles, comercios y de los domicilios los residuos que se generan a diario, esta disposición debe realizarse de una manera correcta para que el relleno sanitario no represente los mismos riesgos que un botadero a cielo abierto. Debido a que el relleno sanitario dispone los residuos sólidos enterrándolos, se puede entender que en este tipo de sitios existe el peligro de que en el caso de un mal diseño, una mala construcción, operación o de una mala clausura del relleno sanitario, e incluso de la combinación de todas estas situaciones, exista un impacto tal que pueda causar graves daños al ambiente y por lo tanto a las personas que laboran en el mismo sitio y en general a la salud pública.

Dentro del ámbito de la ingeniería civil, se sabe que toda obra que se construya por el hombre provocará un impacto en el ambiente, ya sea benéfico o perjudicial, pero la tarea del ingeniero civil es la de aminorar los perjuicios y aumentar los beneficios que de la construcción de esa obra se pueda obtener. La evaluación cuantitativa y cualitativa de ese tipo de efectos se miden con estudios de tipo ambiental, con los que se determina el grado en el que una obra está afectando al ambiente, con el fin de evitar problemas de salud humana, o incluso graves afectaciones al medio que tarde o temprano repercutirán en la salud humana.

Es por ello que parte de este monitoreo ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas contempla el estudio de las condiciones geohidrológicas y meteorológicas del sitio, con el fin de determinar si representa un riesgo para los mantos acuíferos o no, amén de justificar la falta de pozos de monitoreo de acuíferos,

aguas arriba y aguas abajo del sitio. Las actividades que se realizaron para poder conocer la situación en la que se encuentra este relleno sanitario respecto de la normatividad vigente se efectuó basándose en el estudio de geotécnica que se realizó para la construcción del sitio, además de investigación bibliográfica y de un recorrido de campo, es por ello, que se presenta en un capítulo aparte de aquellas actividades experimentales que se dan a conocer en el siguiente capítulo.

5.1 Aspectos contemplados en la normatividad vigente.

En 1994 la empresa RUST SAISA llevó a cabo los trabajos de exploración previa para la construcción del relleno sanitario, documentados en el reporte "Investigación de campo, muestreo de campo y resultados de los análisis del relleno sanitario, Nuevo Laredo, Tamaulipas". Desde el punto de vista geológico e hidrogeológico se fundamentó la ubicación del sitio, a través de los resultados de los trabajos de campo y análisis geotécnicos de laboratorio.

NORMA VIGENTE:

"NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES"

Para la ubicación de un relleno sanitario, dicha normativa establece los siguientes criterios:

5.1.1 Aspectos hidrológicos (Capítulo 3.2.2)

(3.2.2.1) Se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.

(3.2.2.2) El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se debe ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.

(3.2.2.3) La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 m (mil metros) como mínimo y contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.

5.1.2 Aspectos geológicos (Capítulo 3.2.3)

(3.2.3.1) Debe estar a una distancia mínima de 60 m (sesenta metros) de una falla activa que incluya desplazamiento en un periodo de tiempo de un millón de años.

(3.2.3.2) Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, es

decir, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.

(3.2.3.3) Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.

5.1.3 Aspectos hidrogeológicos (Capítulo 3.2.4)

(3.2.4.1) En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea $< 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$.

(3.2.4.2) En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales granulares, se debe garantizar que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea $< 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$.

(3.2.4.3) La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.

5.2 Situación del relleno sanitario de Nuevo Laredo.

Con base en lo documentado en el reporte de la exploración geológica e hidrogeológica, hecho por RUST SAISA en 1994, y en lo observado en el recorrido del campo a principios de septiembre de 1998, se pudo constatar lo siguiente:

El relleno sanitario de Nuevo Laredo se sitúa en la llanura costera del Río Bravo, en el kilómetro 10 de la carretera estatal a Piedras Negras, a 5.8 kilómetros hacia el oeste del río. El sitio está a una elevación de 150 a 160 metros sobre nivel del mar, es decir, un poco más arriba del nivel promedio de la ciudad.

En la zona aparentemente no hay actividad tectónica significativa en la época reciente, y por las condiciones geomorfológicas en la superficie original tampoco existen peligros de procesos geológicos dinámicos, como hundimientos superficiales, deslizamientos y erosión.

La superficie original del lugar es uniformemente plana, con una pendiente de aproximadamente 2 a 4 % hacia el noreste. Antes existían tres rutas superficiales para el escurrimiento de agua de lluvia, los cuales cruzaban el sitio de oeste a este,

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

sin embargo, éstas ya se modificaron por la construcción de la celda 1 y por las excavaciones de la celda 2 y el montículo de material para cubierta.

El basamento rocoso es mayoritariamente de areniscas que se encuentra a profundidades que van desde 17.4 m hasta 20.7 m debajo de la superficie, aproximadamente.

El suelo natural sobre el basamento está formado típicamente por arcillas y arcilla limosa o limo arcilloso, y hay también arena de grano fino con arcilla y lentes de limo. Estratigráficamente estos suelos forman unidades de arcilla y limo arcilloso, sobreyacentes en la arena arcillosa con horizontes de limo.

Hasta la profundidad del basamento rocoso (aprox. 18 m) no se encontró acuífero alguno, es decir, el nivel freático permanente se encuentra más abajo de este nivel, probablemente muy por debajo de la roca firme.

En algunos lugares los horizontes de arena y limo contienen mantos colgados de aguas salinas, sin embargo, estos niveles provisionales no tienen relación alguna con el acuífero profundo.

5.3 Justificación del cumplimiento con los requisitos establecidos

5.3.1 Hidrología

Aunque la documentación de la exploración previa no tiene referencia respectiva, se supone que al definir la ubicación del sitio se habían examinado los desbordamientos del Río Bravo y - debido a la distancia de 5.8 km. - se había excluido la posibilidad de la inundación del lugar.

El sitio no está en zona de pantanos ni se presenta nivel freático elevado, y tampoco existen cuerpos de agua superficiales a menos de 1000 metros de distancia del perímetro.

En las investigaciones hidrológicas para la ubicación se habían examinado solamente los últimos tres años (1991-1993), sin embargo, debido a las condiciones geomorfológicas (superficie plana, no accidentada y con pendiente muy ligera) se puede excluir el peligro de inundación por fuertes lluvias desde aguas arriba o arrastre de material del lugar hacia aguas abajo.

De acuerdo con lo anterior, desde el punto de vista hidrológico el sitio cumple con los requisitos establecidos en dicha norma NOM-083-ECOL-1996.

5.3.2 Geología

En la zona no se detectó actividad tectónica o sísmica ni existen fallas activas.

Debido a las condiciones geomorfológicas, en la superficie original no hay peligro de taludes inestables y de movimientos de suelo por erosión, por procesos estáticos o dinámicos.

El suelo sobre el basamento rocoso es bien consolidado, firme y prácticamente impermeable, sin fallas o fracturas considerables, lo que permite excluir la posibilidad de hundimientos superficiales significativos, a causa de las cargas que presenta la operación del relleno.

De acuerdo con los anteriormente mencionado, se constata que el sitio cumple con los requisitos de geología, establecidos en la norma NOM-083-ECOL-1996.

5.3.3 Hidrogeología

En la zona y en las cercanías no hay pozos de extracción de agua subterránea somera, puesto que hasta la profundidad de 18 metros ni siquiera se encontró nivel freático permanente.

El sitio está sobre materiales granulares (arcilla, limo, arcilla limosa y arena arcillosa), no saturados, con la excepción de la arena fina con los eventuales cuerpos colgados de agua salina.

Según los resultados de las pruebas en campo y en laboratorio, llevadas a cabo durante la exploración previa por RUST SAISA, la conductividad hidráulica de las muestras de arcilla se encuentra en el rango de 10^{-7} a 10^{-9} cm/s, con la excepción de una muestra remoldeada con el valor de 2×10^{-6} cm/s.

Las normativas internacionales generalmente establecen como criterio de impermeabilidad que la conductividad hidráulica del suelo sea $k < 10^{-9}$ m/s, mientras la norma NOM-083-ECOL-1996 de México prescribe que el factor de tránsito de la infiltración sea $f < 3 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

Visto que

$$f = (k * l) / (n * d),$$

donde l es el gradiente hidráulico,

n es la porosidad del suelo,

d es el espesor de la zona no saturada,

se puede constatar que, suponiendo un gradiente hidráulico unitario, la porosidad en el intervalo de 0.33 a 0.66 (limo - arcilla) y espesores del rango aproximado de 5 a 10 metros, el criterio de la norma oficial mexicana prácticamente equivale al criterio convencional de $k < 10^{-9}$ m/s.

Considerando los resultados experimentales arriba mencionados, se puede decir que el suelo original (de arcilla) en el sitio del relleno sanitario es prácticamente impermeable, ya que las conductividades hidráulicas medidas varían entre 2×10^{-8} y

10^{-11} m/s.

Hay que notar que estos resultados no descartan que el suelo pueda tener valores de conductividad hidráulica fuera del límite de impermeabilidad. Sin embargo, en nuestro caso esto no significa ningún peligro de contaminación al acuífero profundo, como lo demuestra el siguiente cálculo:

Considerando una filtración en dirección vertical, con flujo laminar en condiciones saturadas, según la ley de Darcy la velocidad del flujo es:

$$v = k * I = k * (d + h) / d ,$$

donde k es la conductividad hidráulica del suelo;

I es el gradiente hidráulico;

d es el espesor de la zona sobre el nivel freático;

h es el nivel del agua (lixiviado) en el fondo del relleno, como carga hidráulica.

(Si $h = 0$, entonces el gradiente hidráulico $I = 1$ y así la velocidad del flujo $v = k$.)

El tiempo que se necesita para que una posible contaminación llegue hasta el nivel freático es:

$$t = d / v = d^2 / [k * (d + h)]$$

Calculando con $h = 1$ m (lo que corresponde a los niveles medidos en la celda 1 del relleno), la conductividad hidráulica será $k = 10^{-8}$ m/s, y el nivel freático esté a $d = 20$ m del fondo del relleno. Así el tiempo en que llegaría la contaminación al acuífero:

$$t = (20 \text{ m})^2 / (10^{-8} \text{ m/s} * 21 \text{ m}) = 1.9 * 10^9 \text{ s} \approx 60 \text{ años}$$

Nota 1: El tiempo en que una infiltración realmente pueda llegar hasta el acuífero, en nuestro caso seguramente es mucho mayor (probablemente hasta 10-100 veces más), debido a los siguientes:

- a) Con la compactación del suelo del fondo probablemente se alcanzó una mayor impermeabilidad general que la original del material.
- b) El nivel freático probablemente está mucho más abajo de 20 metros.
- c) Sobre el nivel freático el suelo no está saturado, lo que significa un flujo más lento en la realidad.
- d) Por el alto contenido de sólidos disueltos en el lixiviado los microporos del suelo se van colmatando, obstaculizando el libre flujo vertical.

(Considerando lo anterior, también es importante señalar que cualquier infiltración que viaje tanto tiempo y distancia es susceptible de degradación y dilución, lo que ya no representaría riesgo alguno de contaminación al acuífero.)

Nota 2: Se ve la justificación del criterio de $k < 10^{-9}$ m/s y de la recomendación de no construir rellenos en lugares donde el nivel freático está más arriba de 2 metros bajo superficie: Calculando con estos datos y con un gradiente hidráulico unitario, como cumplimiento con el requisito mínimo, el tiempo resultado es: $t^* = 2^2 / (10^{-9} * 2) = 2 * 10^9$ s \approx 63 años, sin considerar aún los puntos respectivos de la Nota 1.

Concluyendo las constataciones de este punto, se puede asegurar que el relleno sanitario de Nuevo Laredo cumple con los requisitos de hidrogeología contra la contaminación ambiental, establecidos en la norma NOM-083-ECOL-1996.

5.4 Análisis de las condiciones hidrogeológicas del relleno en estudio con respecto a las normas ambientales existentes

NORMAS EXISTENTES:

“PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-084-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA CONSTRUCCION DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS”

y

“PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-084-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MONITOREO DE UN RELLENO SANITARIO”

Para la protección y control ambiental dichas normativas establecen los siguientes criterios:

(Capítulo 21.) : Sistema de impermeabilización

(21.1) El sistema de impermeabilización será utilizado para aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m. de profundidad.

(Capítulo 23.) : Pozos de monitoreo para lixiviados

(23.1) Los sistemas de monitoreo para lixiviados deberán contar de por lo menos 3 pozos de muestreo que se sitúen uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 500 m. antes de llegar al sitio del relleno sanitario otro a 500 m. aguas abajo del sitio, y el último en el sitio del relleno.

(23.2) Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizar 2 m. dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.

(23.3) La construcción de los pozos de monitoreo para lixiviados deberán realizarse únicamente con materiales y técnicas que aseguren la no contaminación del acuífero, y podrán ser de un diámetro mínimo, que permita la introducción y recuperación del sistema muestreador debiendo ser este último resistente a la corrosión.

Por lo que la situación en el relleno sanitario de Nuevo Laredo es la siguiente respecto del cumplimiento con las normas ambientales existentes.

Además de la compactación in situ del suelo original, no se hizo impermeabilización con material importado de origen natural o sintético.

Se perforaron tres pozos de monitoreo de lixiviados dentro del área del relleno, aproximadamente a 5 metros de la celda 1, alcanzando las profundidades de 3, 6 y 10 metros, respectivamente. Ninguno de los pozos alcanzó nivel freático o cuerpo de lixiviado.

Por lo tanto, la justificación del control ambiental se da de la siguiente manera:

1. Impermeabilización

Según los estudios geológicos de RUST SAISA en el lugar no existe manto acuífero somero y el nivel del agua subterránea está mucho más abajo de 10 metros. El suelo sobre el basamento rocoso mayoritariamente se constituye de arcillas y por su baja conductividad hidráulica cumple con los requisitos de impermeabilidad.

Por lo tanto, no fue necesario la impermeabilización artificial de las celdas y la situación del fondo del relleno sanitario cumple con las normas NOM-084-ECOL-1994 y NOM-084-ECOL-1997.

2. Pozos de monitoreo

Según los resultados de las perforaciones de RUST SAISA durante la exploración geológica del sitio, en el lugar no se alcanzó nivel de agua subterránea alguno, lo que significa que aproximadamente hasta 18 metros de profundidad no existe manto acuífero, incluso el nivel del acuífero permanente probablemente está mucho más abajo.

Con base en estas observaciones es evidente que no hay flujo de agua subterránea hacia fuera del sitio. Los mantos provisionales colgados de aguas salinas tampoco pueden considerarse acuíferos, y prácticamente se puede ignorar su existencia, desde el punto de vista del objetivo del monitoreo.

Con base en lo escrito en la justificación del cumplimiento con los requisitos de hidrogeología, se ve prácticamente imposible que una contaminación alcance el

acuífero profundo. A falta de agua subterránea somera en cantidades significativas, las perforaciones costosas hasta tales profundidades no se recomiendan.

De acuerdo a los arriba mencionado, aunque se ha establecido en las normatividad vigente, en nuestro caso se ve justificable ahorrar la perforación de los pozos de monitoreo del manto acuífero aguas arriba y aguas abajo del sitio de disposición final.

CAPITULO VI

ACTIVIDADES Y RESULTADOS DE LOS MONITOREOS EN EL RELLENO SANITARIO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.

6.1 Modificaciones a normas existentes e innovaciones de procedimientos para el monitoreo ambiental en sitios de disposición final.

La aportación que el proyecto "control del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas" al conocimiento del impacto ambiental es muy grande, debido a que es la primera vez que se realiza un monitoreo ambiental en el que se contemplan: suelo, aire, residuos, subproductos generados (biogás y lixiviados) y parámetros meteorológicos. Al inicio del proyecto, se comenzó con una investigación bibliográfica de las diferentes metodologías existentes para realizar monitoreos ambientales en este tipo de sitios, lo que se encontró fue muy poco, en el ámbito internacional, y en el nacional definitivamente no se encontró nada.

La única información que existía acerca de monitoreos ambientales en nuestro país, se habían realizado en las estaciones de transferencia de la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU), por lo que se tomaron como punto de partida para el diseño del monitoreo que se llevaría a cabo en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, es importante aclarar que si bien en las normas que rigen el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios en nuestro país (NOM-AA-83 y NOM-AA-84) contemplan los monitoreos ambientales, pero no aclaran como deben realizarse. Esta es la razón por la que se hizo una búsqueda más exhaustiva para poder diseñar nuestro monitoreo.

El primer monitoreo sirvió como calibración de la metodología y ensayo de nuevos procedimientos, además que en este monitoreo se observaron diferentes deficiencias de los procedimientos que dictaban las normas mexicanas; ya en el segundo monitoreo

se experimentaron nuevos procedimientos y se repitieron aquellos que se consideraron adecuados. Para el desarrollo de aquellas actividades modificadas o nuevas se construyeron equipos que se registraban en experimentos aislados hechos por la DGSU, además de idear modificaciones y en algunos casos nuevos equipos.

En la tabla 11 se enuncian las normas que fueron modificadas y el tipo de modificación que sufrieron para ser empleadas en el proyecto. En el anexo 1 de este trabajo se encuentran las normas existentes en este ámbito y en el anexo 2 las modificaciones a las normas antes mencionadas, la descripción de procedimientos y equipos nuevos para el monitoreo.

Tabla No. 11.- Normas mexicanas y sus modificaciones para su empleo en el control del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

NORMA	MODIFICACION
NMX-AA-22 (cuantificación y selección de subproductos)	- Se modificaron el número de subproductos a separar.
NMX-AA-24 (Determinación del Nitrógeno total)	- Se modificó en su totalidad la norma
NMX-AA-52 (Preparación de la muestra para análisis de laboratorio)	- Modificación de la norma en lo que respecta al equipo utilizado para la molienda de la muestra.
NOM-AA-84 (Diseño y construcción de rellenos sanitarios y obras complementarias)	- Tiempo entre el muestreo y la preparación - Periodicidad para el monitoreo ambiental

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, también se innovaron procedimientos, los cuales se indican en la tabla 12. Estos procedimientos nuevos se presentan en el anexo 2 de este trabajo.

Tabla No. 12.- Procedimientos propuestos para su empleo en el control del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

PARAMETROS	INNOVACION
Capacidad de campo	- Metodología para su obtención con base en investigación bibliográfica y experiencia en campo. - Se utilizaron lisímetros hechos a base de tambos
Aerotransportables (Ver 6.6.2)	- Diseño y construcción de un equipo de simulación de carga, para obtener la capacidad de campo de los RSU simulando sus condiciones en el relleno - Utilización de medios de cultivo para la detección de microorganismos en el aire.
Biogás	- Utilización de un muestreador de bajo volumen para el muestreo aerobiológico - Dispositivo utilizado para la obtención de muestras y para el monitoreo.

6.2 Caracterización de los residuos sólidos.

La caracterización de los residuos sólidos se refiere a todas aquellas actividades que permiten conocer la composición química, física y morfológica de los residuos sólidos; lo anterior con la finalidad de saber cual es el comportamiento de los residuos en su fase de degradación, para evitar su impacto contaminante al ambiente.

Para esta caracterización de los residuos sólidos que se disponen en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas se siguieron los procedimientos que registran los estudios hechos por la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU), los cuales se

basan en las normas mexicanas correspondientes. A algunas de esas normas se les hicieron modificaciones como se menciona en el punto anterior, y fueron con esas modificaciones como se emplearon en este monitoreo.

6.2.1 Cuarteo de los residuos sólidos.

En los tres muestreos realizados se realizó el cuarteo de los residuos sólidos para obtener una muestra representativa de los mismos, y poder obtener sus características físico – químicas, para esta actividad se realizaron los siguientes pasos.(ver anexo1)

- a) La toma de la muestra se realizó en la noche haciendo descargar tres camiones de residuos sólidos en el frente de trabajo (de estratos Bajo, Medio y Alto y los correspondientes a las zonas comerciales) en tres montículos, de ellos se tomaron recipientes (contenedores de basura de SETASA) de manera que la muestra fuera lo más representativa posible como se muestra en la figura 16.

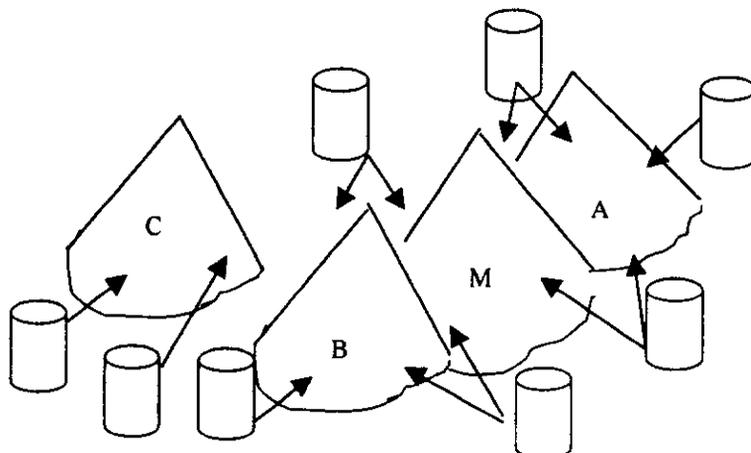


Figura 16.- Toma de muestras en el frente de trabajo, con residuos sólidos municipales de tres estratos económicos (Bajo, Medio Y Alto) y de las zonas de comercios (C).

En cada uno de los muestreos se tomaron diferentes cantidades de muestra, debido a que en el primer muestreo se experimentó la nueva variante del procedimiento en la toma de muestras, en los monitoreos posteriores la cantidad de muestra fue mayor por que se requería llenar los lisímetros.

En el primer y segundo monitoreo el empaqueo de los lisímetros se realizó hasta la mitad de su capacidad, debido a la dificultad para poder compactar al peso volumétrico requerido; ya en el tercer monitoreo el empaqueo de los lisímetros se hizo a toda la capacidad de los lisímetros, ya que se observó que la mejor manera de compactar los residuos sólidos no es por peso ni vibración, sino que por impacto (en este caso lograda por un ayudante al compactar los residuos con los pies).

Tabla 13.- Peso de la muestra en los tres muestreos.

MUESTREO	PESO NETO DE MUESTRA (KG.)
Primero	250.15
Segundo	280.40
Tercero	477.70

Estas cantidades de muestra fueron tomadas en el frente de trabajo, con la finalidad de tener una muestra que fuera lo más representativa posible, también se respetaron los porcentajes aproximados en cuanto a la composición de estos residuos sólidos buscando la misma finalidad.

- b) Después se esparcieron en el patio del taller del relleno sanitario, se vaciaron los residuos de los contenedores, así como el contenido de los contenedores adicionales que incluían la parte de los residuos sólidos provenientes de comercios. El área en el que fueron esparcidos era de aproximadamente de 4 m², una vez hecho esto, se traspalearon los residuos sólidos 2 veces y después se efectuó un primer cuarteo, de este primer cuarteo se separan 50 Kg. para la selección de subproductos y a su vez, se toman 10 Kg. para la parte utilizada para preparación de la muestra para análisis de laboratorio, se toman en total 60 Kg.
- c) De las partes despreciadas del primer cuarteo se toma la cantidad necesaria para realizar la prueba de peso volumétrico "in situ", esta cantidad es devuelta a la muestra, se vuelve a homogeneizar y con esa cantidad se llenan los lisímetros, para la prueba de capacidad de campo.
- d) De la parte despreciada del primer cuarteo se utilizaron los residuos sólidos para llenar los lisímetros a tres pesos volumétricos diferentes 200, 350 y 500 en los dos primeros muestreos, ya que para el tercer muestreo se eliminó el menor y se agregó un lisímetro empacado con un peso volumétrico de 750 Kg/m³.

En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en los tres muestreos acerca de la prueba de peso volumétrico "in situ", y de la cantidad utilizada para la cuantificación de subproductos en la tabla 15.

Tabla 14.- Resultados de la determinación del peso volumétrico en los tres muestreos.

MUESTREO	PESO VOLUMETRICO "IN SITU" (KG/M ³)
Primero	139.58
Segundo	150.37
Tercero	110.60

Tabla 15.- Peso de las muestras para la selección y cuantificación de residuos sólidos en los tres muestreos.

MUESTREO	MUESTRA PARA LA CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS (KG.)
Primero	53.75
Segundo	69.30
Tercero	77.35

6.2.2 Preparación de la muestra para análisis de laboratorio.

En los tres muestreos se realizó la molienda de los residuos sólidos para obtener la muestra compuesta para análisis de laboratorio, previa a esta operación se tuvo cuartear los 10 Kg. de muestra, de la cual se obtuvo 1 Kg. que a su vez se desmenuzó a un tamaño que aceptara el molino (aprox. 2.5 cm.), para obtener al final aproximadamente 300 gr. de muestra en una consistencia parecida a la estopa, y que se consideró cantidad suficiente para realizar las pruebas necesarias.

Esta preparación se realizó de la misma manera en los tres muestreos, la cual se encuentra en el anexo 1 de este trabajo, aunque en el primero la muestra se dejó alrededor de 12 horas a la intemperie y muy posiblemente su consistencia haya cambiado ligeramente a las condiciones originales que tenía al ser cuarteadada, por ello es que las determinaciones de los demás parámetros sean de poca certidumbre.

6.2.3 Capacidad de campo.

Como ya se mencionó en párrafos anteriores este parámetro se pudo obtener para tres pesos volumétricos en cada ocasión, en los dos primeros muestreos se realizó para 200, 350 y 500 Kg/m³, y para el tercero la prueba de capacidad de campo se pudo llevar a cabo por completo en el sitio, además de que se incluyó la determinación de la capacidad de campo para un peso volumétrico de 750 Kg./m³ y con una carga similar a la que tendrían los residuos en el fondo del relleno con 20 m. de altura, es decir con una presión de 380 Kg/cm². Lo anterior se logró con la implementación de un gato hidráulico adaptado con un manómetro para medir la presión aplicada.

El procedimiento que se siguió para la determinación de este parámetro en los lisímetros 1 y 2 fue el mismo que en el primer y segundo muestreo (ver anexo 2), en cuanto al lisímetro 3 el procedimiento sólo varía en que se colocó el lisímetro bajo la estructura de compresión y con un gato hidráulico se aplicó carga hasta obtener la presión requerida, los residuos como era de esperarse sufrieron cierta deformación que llevó al lisímetro a tener un peso volumétrico de 1,063 Kg/m³, lo que nos da una idea de que en el fondo de las celdas la basura está a un peso volumétrico muy alto, y que por lo tanto los procesos de degradación se vuelven más lentos al haber poca percolación de agua.

Los resultados de la obtención de este parámetro se muestran en la tabla 16.

Tabla 16.- Resultados de la determinación de la capacidad de campo en los tres muestreos.

MUESTREO	CAPACIDAD DE CAMPO (lt./kg)			
	P.V.=200 kg/m ³	P.V.=350 kg/m ³	P.V.=500 kg/m ³	P.V.=750 kg/m ³
Primero	1.18	1.25	1.04	NR
Segundo	3.53	1.95	0.63	NR
Tercero	NR	0.80	0.73	—

NR= No realizada

—= En espera de resultados

Tabla 17. Resultados de la capacidad de campo para el tercer muestreo.

PARAMETROS	LISIMETRO # 1	LISIMETRO # 2	LISIMETRO # 3
PESO VOLUMETRICO (Kg./m ³ .)	350	500	1063
HUMEDAD (%)	16.47	16.47	16.47
AGUA DE SATURACION (Lt.)	125.52	102.00	-
AGUA EXTRAIDA (Lt.)	90.97	58.18	-
VOLUMEN DE LISIMETRO (Lt.)	196.49	196.49	130.13
DESIDAD DEL AGUA (Kg./Lt.)	1	1	1
CAP. DE CAMPO (Lt/Kg.)	0.80	0.73	-

- En espera de información

La fórmula que se utilizó para la determinación de este parámetro en los tres muestreos es la siguiente:

$$CC = \frac{((H * PV * V / 100) + (Si - Di)) * d}{V * PV * (1 - H / 100)}$$

Donde:

- CC = Capacidad de campo de los residuos sólidos en % de Humedad/ base seca ó Kg de agua/Kg. de basura.
- Si = Volumen de agua con el que se saturó el lisímetro al inicio de la determinación, en litros.
- Di = Volumen de agua extraída del lisímetro con los drenados que se efectuaron durante la determinación, en litros.
- D = Densidad del agua en Kg./Lt.
- H = Humedad en base seca.
- PV = Peso volumétrico seco de los residuos sólidos , en Kg./Lt.
- V = Volumen del recipiente del lisímetro, en Lt.

En este tercer muestreo se observaron diferencias grandes con respecto a los resultados de los anteriores muestreos, ya que el porcentaje de humedad relativa fue mucho menor que en las ocasiones anteriores, lo que puede deberse a la estación del año en la que no hubo precipitación, además de que la muestra se componía principalmente de papel, cartón, trapo y residuos de jardín secos. También debido a la composición de los residuos en esta época del año se observaron cantidades grandes de trapo, lo que provocó que los valores de la capacidad de campo variaran.

En la determinación de la capacidad de campo del lisímetro 3 se esperan datos del agua que ha drenado, ya que en el transcurso del muestreo todavía no percolaba el agua del lisímetro.

6.2.4 Selección y Cuantificación de Subproductos.

Esta determinación se realizó de dos maneras distintas, la primera que corresponde al primer muestreo se hizo conforme a la NOM-AA-22 que se incluye en el anexo 1 con la que se obtuvieron cerca de 20 tipos de subproductos, lo que no nos decía mucho; por esa razón se redujo el número de subproductos a cuantificar separándolos en 9 grupos principales con los que observaríamos la cantidad de materiales que intervienen en los procesos de degradación y que son dispuestos en este relleno sanitario.

Como ya se mencionó, en la segunda visita de muestreo se hicieron modificaciones a la división de subproductos que la NOM-AA-22 (ver anexo 1) recomienda y en vez de dividirlos en 27 subproductos se dividen en 9 (ver anexo 2), en el tercer muestreo la cantidad de subproductos varió un poco respecto al segundo, ya que la muestra presentaba porcentajes altos de trapo, papel y residuos orgánicos que provenían principalmente de jardines, la razón de este porcentaje alto de subproductos puede deberse a la época del año. A continuación se presentan en las tablas 18 y 19 los resultados de la selección y cuantificación de subproductos en los tres muestreos.

Tabla 18.- Resultados de la selección y cuantificación de subproductos en el primer muestreo.

SUBPRODUCTOS	PRIMER MUESTREO	
	PESO (GR.)	%
- Algodón	0	0.00
- Cartón	3,200	6.06
- Cuero	270	0.51
- Residuo	13,905	26.33
- Envase de cartón encerado	690	1.31
- Fibra dura vegetal	0	0.00
- Fibras sintéticas	0	0.00
- Hueso	150	0.28
- Hule	5,245	9.93
- Lata	650	1.23
- Loza y cerámica	0	0.00
- Madera	2,770	5.24
- Material de construcción	0	0.00
- Material ferroso	685	1.30
- Material no ferroso	420	0.80
- Papel	10,670	20.20
- Pañal desechable	1,780	3.37
- Plástico rígido y de película	2,615	4.95
- Poliuretano	0	0.00
- Poliestireno expandido	250	0.47
- Residuos alimenticios	1,975	3.74
- Residuos de jardinería	4,680	8.86
- Trapo	1,995	3.78
- Vidrio de color	0	0.00
- Vidrio transparente	775	1.47
- Otros	90	0.17
TOTAL	52,815	100.00

Tabla 19.- Resultados de la selección y cuantificación de subproductos en los muestreos dos y tres.

SUBPRODUCTOS	SEGUNDO MUESTREO		TERCER MUESTREO	
	PESO (gr.)	%	PESO (GR.)	%
- Trapo	5,950	9.12	8,532	11.49
- Plástico	13,415	20.56	13,629	18.35
- Papel y cartón	17,304	26.52	16,427	22.12
- Vidrio	1,582	2.42	1,347	1.81
- Hueso	654	1.00		
- Lata	1,535	2.35	545	0.73
- Zapato	1,051	1.61	3,146	4.24
- Finos	3,704	5.68	2,794	3.76
- Pañal			3,711	5.00
- Orgánicos	20,063	30.74	24,111	32.48
TOTAL	65,258	100.00	74,242	100.00

Como se puede observar en los dos últimos muestreos la información es más comprensible en cuanto a cantidad y tipo de subproductos que son confinados en el relleno sanitario, además de que al observar el tipo de subproductos se sabe si interviene o no en la generación de lixiviados y biogás.

Para este tipo de cuantificación el procedimiento que se sigue para obtener el porcentaje en peso de cada subproducto se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = G_1/G \times 100$$

Donde:

G_1 = Peso del subproducto considerado, en gr.; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra.

6.2.5 Determinación de humedad relativa.

Este parámetro se determinó en los tres muestreos, pero el resultado del primero es poco confiable, ya que, paso mucho tiempo antes de que se pudiera hacer la determinación por lo que resulta un valor bajo, por lo que se piensa que la muestra perdió humedad en ese lapso de tiempo, además que si tomamos en cuenta el clima que era húmedo cuando se realizó el muestreo podemos pensar que el valor de este parámetro debía ser más alto. Para los muestreos posteriores el resultado es más confiable, el último resultado es bajo pero concuerda con los resultados que se obtuvieron para el flujo de biogás y peso volumétrico que también son bajos.

Tabla 20.- Resultados de la determinación del % de Humedad relativa en los tres muestreos.

MUESTREO	% DE HUMEDAD RELATIVA
Primero	12.35
Segundo	21.31
Tercero	16.62

La determinación de este parámetro se realizó siguiendo la técnica que dicta la NOM-AA-16 (ver anexo 1). Los resultados anteriores se obtienen por la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad} = \frac{G - G''}{G} \times 100$$

Donde:

H= Humedad en % ó gr. de agua/gr. de basura

G= Peso neto de la muestra

G''= Peso neto de la muestra seca, en gr.

6.2.6 Determinación del % de materia orgánica.

Este parámetro se determinó en las tres ocasiones en el laboratorio del II – UNAM utilizando para la determinación del % de materia orgánica según lo dicta la NOM-AA-21 (ver anexo 1), la cual se muestra en los anexos del segundo informe de avance. Los resultados de esta determinación se presentan en la tabla 21.

Tabla 21.- Resultados de la determinación del % de Materia orgánica en los tres muestreos.

MUESTREO	% DE MATERIA ORGANICA
Primero	57.40
Segundo	49.55
Tercero	49.58

Para éstas determinación es se presentaron las mismas faltas que para el anterior parámetro, por lo que el primer resultado es poco confiable, los dos últimos son congruentes y más confiables.

El porcentaje de materia orgánica se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Materia orgánica en \%} = \frac{(V_1 N_1 - VNF) K}{P}$$

En donde:

V₁ = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra en cm³.

N₁ = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.

V = Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra en cm³.

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso.

P = Peso de la muestra en g.

$$K = 0.69 = 0.003 \frac{1.72}{0.74} \times 100; \text{ en donde:}$$

0.003 = Níliequivalente del carbono.

0.74 = Factor de recuperación.

1.72 = Factor para convertir el % de carbono en % de materia orgánica.

F = Factor de corrección y se obtiene por la siguiente fórmula: V_0/V_B

V_0 = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en el blanco en cm^3 .

V_B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco en cm^3 .

6.2.7 Determinación de Nitrógeno total.

La determinación de Nitrógeno Total también se valuó en las tres ocasiones en el laboratorio del II – UNAM, utilizando para ello el aparato Büchi, y la metodología utilizada fue una técnica hecha para suelos pero modificada para su aplicación de los residuos sólidos, la cual se encuentra en el anexo 2 de este trabajo; los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 22.

$$\%N_t = (T - B) \times N \times 1.4/S$$

Donde:

T= ml. de ácido valorado gastados en la valoración de la muestra.

B= ml. de ácido valorado gastados en la valoración del blanco.

N= Normalidad del ácido valorado (0.1 N)

S= Peso de la muestra en gr.

En la tabla 22 se pueden observar los resultados de la determinación de este parámetro en los tres muestreos.

Tabla 22.- Resultados de la determinación del % de Nitrógeno total en los tres muestreos.

MUESTREO	% NITROGENO TOTAL
Primero	0.9255
Segundo	0.2118
Tercero	0.5565

Los resultados anteriores son muy diferentes entre sí, como se puede observar, al parecer esto sucede debido a que antes de ser molida la muestra, esta se desmenuza y con ello la muestra se disgrega por que se escoge lo que se puede cortar con mayor facilidad, y con esto se produce un sesgo en los resultados de esta determinación. Para

evitar este tipo de sesgo se podría emplear para el desmenuzado de la muestra algún tipo de licuadora .

6.2.8 Determinación del % de Carbono.

Esta determinación de basa en la NMX-AA-67 que se incluye en el anexo 1 de este trabajo. La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) está en función del % de materia orgánica (M.O.%) obtenido de acuerdo a la constante de Jackson y del % de Nitrógeno total (N%). Para determinar el contenido de carbono se multiplica el % de materia orgánica x 0.58, donde:

0.58 = constante dada por Jackson.

Por lo tanto, la ecuación para determinar la relación (C/N) es:

$$(C/N) = \frac{(M.O\%) \times 0.58}{N\%}$$

donde:

N = % Nitrógeno total obtenido según NOM-AA-24

M.O. = % Materia orgánica obtenida según norma NOM-AA-21

Los resultados de esta determinación para los tres muestreos se muestran en la tabla 23.

Tabla 23.- Resultados de la determinación del % de Carbono en los tres muestreos.

MUESTREO	% CARBONO
Primero	33.29
Segundo	28.74
Tercero	28.75

Como puede observarse en la tabla anterior los resultados son congruentes en los dos últimos muestreos, ya que en el primero la muestra fue alterada, obteniendo con ello un valor no muy confiable.

6.2.9 Determinación del % de Hidrógeno.

Esta determinación de basa en la NMX-AA-68 que se incluye en el anexo 1 de este trabajo. La determinación de este parámetro está en función del por ciento de materia orgánica obtenido de acuerdo a la constante de Jackson. Para conocer el por ciento de hidrógeno (% H) en una muestra se emplea la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{\% \text{ de materia orgánica}}{15}$$

donde:

15 = Factor de correlación que utiliza Jackson, obtenido de datos experimentales.

Por lo tanto, en la tabla siguiente se muestran los resultados de esta determinación en cada uno de los muestreos.

Tabla 24.- Resultados de la determinación del % de Hidrógeno en los tres muestreos.

MUESTREO	% HIDROGENO
Primero	3.83
Segundo	3.30
Tercero	3.31

De la misma manera que los demás parámetros que tienen que ver con el % de materia orgánica, el primer dato es poco confiable y los dos últimos corresponden y son muy parecidos.

6.2.10 Determinación del % de Oxígeno

Esta determinación es una determinación analítica donde el % de Oxígeno se obtiene interrelacionando los anteriores parámetros. Este porcentaje se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$O\% = \text{Mat. Org. \%} - (C\% + \%H + \%N)$$

Por lo que en la tabla 25 se presentan los resultados de las tres determinaciones a lo largo de las tres campañas de muestreo

Tabla 25.- Resultados de la determinación del % de oxígeno en los tres muestreos.

MUESTREO	% OXIGENO
Primero	19.35
Segundo	17.30
Tercero	16.96

Como puede observarse los tres valores son diferentes ya que en esta determinación intervienen tanto la materia orgánica como el nitrógeno total, por lo que los valores varían.

6.3 Muestreo y análisis de biogás

La generación de biogás (mezcla de gases), es producto de la biodegradación de la materia orgánica presente en los residuos sólidos. Si no es aprovechado adecuadamente, puede ser nocivo para el ambiente y para la salud pública ya que el gas acumulado, la dispersión y la migración incontroladas pueden provocar una situación potencialmente peligrosa debido a varias características del gas del relleno sanitario, tales como el riesgo de inflamación y el potencial de causar asfixia entre otras cosas; por lo cual es necesario estudiar su composición, niveles de explosividad y vías por donde actualmente esté migrando el biogás, aún en flujos y cantidades pequeñas, los riesgos del biogás, es que si se acumula, puede generar mezclas explosivas con el oxígeno del aire, así como atmósferas carentes de oxígeno, con los problemas que esto conlleva. Si se acumula y se dispersa en el ambiente deteriora la capa de ozono, ya que el metano y el bióxido de carbono, son considerados como gases de invernadero.

Para evitar los problemas anteriormente señalados en el relleno sanitario de Nueva Laredo; Tamaulipas se realizaron tres monitoreos tomando en cuenta los parámetros mencionados en el párrafo anterior; la descripción de la metodología y los resultados de este punto se exponen en el informe final del proyecto " Control ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas" cuyos datos se encuentran en las referencias bibliográficas de este trabajo.

6.4 Muestreo y análisis de lixiviados

Para la captación de los lixiviados se tienen cuatro cárcamos, desde los cuales se bombean los lixiviados a la laguna de evaporación, debido al avance operativo del relleno sanitario se encuentra totalmente terminada la macrocelda # 1, y en construcción la # 2, por lo que actualmente están en operación los cárcamos 1 y 2 almacenando lixiviados. Dadas las altas temperatura de la zona la producción de dichas corrientes son escasas. De estos últimos se evaluó la posibilidad de extraer el lixiviado para su caracterización así como de la laguna de evaporación.

La caracterización del lixiviados toma en cuenta parámetros físicos y químicos, los detalles de las actividades, así como los resultados de dicho muestreo se dan a conocer en informe final del proyecto " control ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas", ya que de la misma manera que en punto anterior estas actividades no fueron realizadas por el autor de este trabajo de tesis.

6.5 Muestreo de partículas aerotransportables.

6.5.1 Partículas totales.

Debido a que la primera etapa de los muestreos fue de calibración de la metodología y reconocimiento del sitio en estudio no se realizaron en esa etapa los monitoreos correspondientes al área de calidad del aire, se realizaron hasta el segundo y tercer muestreo en las que se monitoreo en dos puntos del relleno: el área de oficinas y el taller mecánico mismo que se encuentra frente al comedor, el criterio que se siguió para determinar estos puntos de muestreo fue el de hacerlo en las áreas en que el personal desarrolla la mayoría de sus actividades a lo largo del día.

La metodología que se siguió para la realización de este muestreo se presenta en el anexo 1 de este trabajo. Los resultados del segundo monitoreo se muestra en la tabla 26, en la que se puede apreciar que la concentración de partículas totales está muy por debajo de los límites permisibles que marca la norma correspondiente ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 hrs).

Tabla 26. Resultados de las partículas suspendidas totales (segundo monitoreo).

SITIO	TIEMPO DE MUESTREO (HR.)	PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2do. Monitoreo		
Oficina	12	45.78
Taller	20	79.41
3er. Monitoreo		
Oficina	24	5.1
Taller	24	4.55

La mayoría de los índices de contaminación atmosférica utilizados en algunos países, como Canadá y Estados Unidos, incorporan las partículas suspendidas totales, este índice representa una calificación cualitativa de la calidad del aire determinada cuantitativamente. En los Estados Unidos en sus Normas Nacionales de Calidad del Aire establecen la norma primaria de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3/24$ hrs. y la anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La norma secundaria es igualmente $150 \mu\text{g}/\text{m}^3/24$ hrs. Si comparamos los resultados con normas de otros países también se puede ver que los resultados aquí obtenidos no rebasan los límites permisibles marcados en un país vecino (Restrepo, 1992), lo cual es importante por tratarse de una ciudad fronteriza.

6.5.2 Partículas viables (microorganismos en el aire)

Como ya se mencionó en el capítulo IV, este análisis emplea un impactador de partículas viables tipo Andersen de dos etapas. Debido a que no se consiguió este muestreador en el segundo muestreo, se hizo el intento de adaptar el muestreador PM10 de alto volumen para este fin de acuerdo al siguiente procedimiento:

- a) Se colocaron cajas petri previamente identificadas con medios de cultivo selectivo para hongos y levaduras, coliformes fecales y estafilococcus patógenos, respectivamente, en el interior del muestreador.
- b) Se hizo pasar una corriente o flujo constante de aire a través de la caja Petri.
- c) Terminado el tiempo de muestreo para cada uno de los medios, éste se registró y se identificó cada caja con número de muestra, fecha, fase y datos que pudieran ser útiles para el análisis.
- d) Las cajas se colocaron en forma invertida para prevenir la condensación y se incuban a 35°C, durante un periodo de 24 – 48 hrs.
- e) Al término del periodo de incubación, se contó número de colonias de cada caja considerando que una sola bacteria cuenta como una unidad formadora de colonia.
- f) Debido a que el flujo de aire se mantuvo constante durante el muestreo a 1.16 m³/min, el volumen de aire es igual al tiempo de exposición en minutos. De esta manera el número total de UFC (Unidades Formadoras de Colonias) se divide entre el tiempo de muestreo y los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias por metro cúbico.

Los puntos de muestreo que se eligieron para el segundo monitoreo fueron cinco: oficinas, comedor, taller mecánico, frente de trabajo y camino de acceso al relleno sanitario (200 m, antes de entrar al relleno), realizando dos muestreos respectivamente.

Para la obtención de los resultados de este muestreo las actividades de incubación de muestras estuvieron a cargo del Instituto de Ingeniería y el análisis e identificación de los cultivos fueron realizados por el personal de SETASA.

Los resultados del muestreo del 12 de octubre de 1998 se dan en las tablas 27, 28 y 29.

En el medio de cultivo a base de Agar Centrimida para la proliferación selectiva de *Pseudomona sp.* en ningún caso presento crecimiento de dichos microorganismos, lo en primera instancia podría sugerir que esta especie no representa peligro en los alrededores del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamps. No obstante es conveniente realizar otro muestreo con el equipo Andersen para asegurar que no se encuentran *Pseudomonas* en los alrededores del relleno sanitario.

Como puede observarse en las tablas de la 27 a la 32 los microorganismos identificados por el método de cultivo corresponden a bacterias intestinales coliformes totales, al grupo de los estafilococos, así como al grupo de los hongos representados por levaduras y actinomicetos. Todos estos grupos ya han sido reportados en muestreos aerobiológicos (Edmonds, 1979; Piatkin, 1981; Tejeda, 1996).

La presencia de estos grupos de microorganismos, se explica por su carácter ubicuo y heterotrofia. La mayoría de especies son de vida libre, aunque las hay patógenas y parásitas, y están presentes prácticamente en todos los ambientes.

Tabla 27. Resultados del cultivo No. 1 en Agar de Mac Conkey, para la proliferación selectiva de coliformes (12/10/98).

SITIO DE MUESTREO	NO. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
Comedor M1 M2	ND ND	----- -----
Taller M1 M2	ND ND	----- -----
Oficinas M1 M2	ND 132	----- Formaciones filamentosas, color rojo pálido, centro rojizo
Frente M1 M2	ND ND	----- -----
Acceso M1 M2	ND 168	----- Colonias rosas con centro rojizo

M1= muestreo con el equipo de alto volumen, M2 = exposición directa

Tabla 28. Resultados del cultivo No. 2 en Agar de Dextrosa Sabouraud, para el cultivo de hongos y levaduras (12/10/98).

SITIO DE MUESTREO	NO. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
Comedor M1 M2	ND ND	----- -----
Taller M1 M2	1 1	Colonias incoloras Colonias incoloras con centro filamentosos oscuro.
Oficinas M1 M2	ND ND	----- -----
Frente M1 M2	1 2	Colonias aisladas de color amarillo pálido -----
Acceso M1 M2	2 450	Colonias blancas con centro verdoso Colonias incoloras, 1 cubre totalmente la caja.

M1= muestreo con el equipo de alto volumen, M2 = exposición directa

Tabla 29. Resultados del cultivo No. 3 en Agar de Sal y manitol, para el aislamiento de estafilococos patógenos (12/10/98).

SITIO DE MUESTREO	NO. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
Comedor M1	1	Colonias incoloras o blancas
M2	100	Colonias incoloras o blancas
Taller M1	ND	---
M2	ND	----
Oficinas M1	ND	----
M2	3	Colonias amarillas con aureolas pálidas
Frente M1	5	Colonias aisladas de color amarillo pálido
M2	ND	---
Acceso M1	2	Colonias blancas con centro oscuro
M2	20	Colonias rosas con centro rojizo

M1= muestreo con el equipo de alto volumen, M2 = exposición directa

En el muestreo del 13 de octubre de 1998 se empleó únicamente el muestreador de alto volumen y se vario el tiempo. Como puede verse en las tablas 30 a la 32 se logró muy poco crecimiento en todas las muestras y únicamente de colonias típicas de los grupos de coliformes, estreptococos, hongos y levaduras.

Tabla 30. Resultados del medio de cultivo No. 1, para la proliferación selectiva de coliformes (13/10/98).

SITIO DE MUESTREO	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MIN.)	NO. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
OFICINAS	1	ND	----
	2	ND	----
COMEDOR	1	ND	----
	2	ND	----
TALLER	1	ND	----
	2	4	Colonias color blanco con aureolas
FRETE	1	ND	----
	2	ND	----
	5	12	Colonias color rosa con centro rojizo
CAMINO DE ACCESO	1	ND	----
	2	2	Colonias color rosa con centro rojizo

Tabla 31. Resultados del medio de cultivo No. 2, para el cultivo de hongos y levaduras (13/10/98).

SITIO DE MUESTREO	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MIN.)	NO. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
OFICINAS	1	ND	----
	2	ND	----
COMEDOR	1	ND	----
	2	ND	----
TALLER	1	ND	----
	2	ND	----
FRETE	1	ND	----
	2	3	Colonias con centro estrellado verdosa
	5	1	Colonia extendida
CAMINO DE ACCESO	1	ND	----
	2	144	Colonias Blancas pequeñas

Tabla 32. Resultados del medio de cultivo No. 3, para el aislamiento de estafilococos patógenos (13/10/98).

SITIO DE MUESTREO	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MIN.)	NO. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
OFICINAS	1	ND	----
	2	1	Colonias amarillas pálidas
COMEDOR	1	ND	----
	2	ND	----
TALLER	1	ND	----
	2	ND	----
FRETE	1	ND	----
	2	ND	----
	5	2	Colonias Blancas aisladas
CAMINO DE ACCESO	1	ND	----
	2	ND	----

En el segundo muestreo es importante resaltar que empleando el muestreador de alto volumen se desarrollaron menos colonias en todos los casos que cuando se expusieron los medios de cultivo directo al ambiente. Lo anterior indica que este equipo no es el adecuado para hacer este tipo de análisis, por lo que se recomienda conseguir el muestreador Andersen de dos etapas específico para este tipo de análisis. Aunque los resultados obtenidos no son muy confiables sí indicaron con seguridad la presencia de microorganismos peligrosos para la salud humana, por lo cual es necesario analizar el grado de contaminación del aire generado por la instalación del relleno sanitario.

Para el tercer monitoreo los puntos de muestreo que se eligieron fueron los siguientes cuatro: oficinas, comedor, frente de trabajo y camino de acceso al relleno sanitario (200 m, antes de entrar al relleno). El procedimiento para evaluar partículas viables fue el mismo que se consiguió en el primer monitoreo. El equipo empleado fue un muestreador de bajo volumen, de la marca CBI.

En el muestreo nocturno exposición directa se observó crecimiento de todos los microorganismos monitoreados como se puede ver en la tabla 33.

Tabla 33. Resultados del monitoreo microbiológico nocturno al momento de aplicar la técnica de cuarteo de residuos sólidos en el taller (Tercer muestreo).

MICROORGANISMOS AEROBIOLÓGICOS	NO. DE COLONIAS
Coliformes Totales	64
Hongos y levaduras	31
Staphylococcus patogenos	Incontables
Pseudomona sp.	23
Candida sp.	25 y 5 hongos de otro tipo

Fecha de muestreo: 8/02/99. En este caso los medios de cultivo se expusieron directo al aire por 5 minutos.

Los resultados (tabla 34-38) empleando un muestreador de bajo volumen de marca CBI y con un flujo de 0.00556 m³/min y muestreo directo mostraron crecimiento en todos los casos de hongos y levaduras, así como de stafilococcus patógenos, en ningún caso se observó presencia de Pseudomonas y coliformes, se presentaron sólo en el comedor y acceso, por lo que respecta a candida se detecto su presencia en el frente y camino de acceso.

Tabla 34. Resultados del cultivo No. 1 Agar de Mac Conkey, para la proliferación selectiva de coliformes (Tercer muestreo).

SITIO DE MUESTREO	NO. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
Comedor M1	8	Colonias rosas, con centro rojizo -----
M2	ND	
Oficinas M1	ND	-----
M2	ND	
Frente M1	15	Colonias rosas, con centro rojizo
M2	4	
Acceso M1	ND	-----
M2	ND	

M1= muestreo con un equipo de bajo volumen, M2 = exposición directa

Tabla 35. Resultados del cultivo No. 2 en Agar de Dextroza Sabouraud, para el cultivo de hongos y levaduras (Tercer muestreo).

SITIO DE MUESTREO	No. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
Comedor M1 M2	3 10	Hongos color negro
Oficinas M1 M2	30 ND	Hongos color negro, amarillo y anaranjado
Frente M1 M2	12 36	Hongos color negro, amarillo y anaranjado
Acceso M1 M2	2 4	Hongos color negro

M1= muestreo con un equipo de bajo volumen, M2 = exposición directa

Tabla 36. Resultados del cultivo No. 3 en Agar de Sal y manitol, para el aislamiento de estafilococos patógenos (Tercer muestreo).

SITIO DE MUESTREO	No. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
Comedor M1 M2	19 14	Colonias rodeadas por un tono amarillo fosforescente
Oficinas M1 M2	ND 2	Colonias rodeadas por un tono amarillo fosforescente
Frente M1 M2	600 269	Colonias rodeadas por un tono amarillo fosforescente
Acceso M1 M2	6 8	Colonias rodeadas por un tono amarillo fosforescente

M1= muestreo con un equipo de bajo volumen, M2 = exposición directa

Tabla 37. Resultados del cultivo No. 4. Agar selectivo para *Candida* según Nickerson, para el cultivo de hongos y levaduras (Tercer muestreo).

SITIO DE MUESTREO	No. DE COLONIAS	OBSERVACIONES
Comedor M1 M2	ND ND	---- ----
Oficinas M1 M2	ND ND	---- ----
Frente M1 M2	8 8	Colonias color negro 7 hongos de otro tipo
Acceso M1 M2	7 2	Colonias color negro

M1= muestreo con un equipo de bajo volumen, M2 = exposición directa

Tabla 38. Resultados del cultivo No. 5. Agar Centrimida, para la proliferación selectiva de *Pseudomona* sp. (Tercer muestreo).

SITIO DE MUESTREO	No. de colonias	OBSERVACIONES
Comedor M1 M2	ND ND	---- ----
Oficinas M1 M2	ND ND	---- ----
Frente M1 M2	ND ND	---- ----
Acceso M1 M2	ND ND	---- ----

M1= muestreo con un equipo de bajo volumen, M2 = exposición directa

En la tabla 39 se muestra los resultados de las mediciones de microorganismos en el aire muestreados en el comedor, taller, frente, oficinas y camino de acceso.

Tabla 39. Resultados de la medición de microorganismos en el aire en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

MICROORGANISMOS AEROBIOLÓGICOS	PARTÍCULAS VIABLES (UFC/ M ³)	SITIO DE MUESTREO
Coliformes totales	144	Comedor
	540	Frente
Hongos y levaduras	54	Comedor
	1079	Oficinas
	432	Frente
	72	Acceso
Staphylococcus patógenos	341	Comedor
	21583	Frente
	251	Acceso
Candida sp.	288	Frente
	252	Acceso
Pseudomona sp	No detectado	

No existe una norma con límites permisibles para microorganismos en el aire, los resultados que se han obtenidos se comparan con el sistema de clasificación de contaminación microbiana propuesta por Boutin en 1987. Como se muestra en la tabla 40, no obstante para poder hacer alguna relación de los resultados obtenidos con este sistema de clasificación se tiene que conocer el flujo de aire que recibe el medio de cultivo con relación al número de colonias que se desarrollan.

Tabla 40. Límites según P. Boutin para partículas biológicas aerotransportables.

UFC/ M ³	CLASIFICACIÓN
0-200	No contaminado
201-800	Ligeramente contaminado
801-2500	Contaminado
2501-8000	Muy contaminado
Más de 8000	Fuertemente contaminado

Según la clasificación de Boutin el frente fue el sitio más contaminado por coliformes totales (540 UFC/ m³), Candida sp. (288 UFC/ m³), hongos y levaduras (432 UFC/ m³) y fuertemente contaminado por Staphylococcus patógenos (21583 UFC/ m³). En el comedor se localizaron concentraciones de coliformes totales, hongos y levaduras que según la clasificación de Boutin no representan mayores peligros ya el área se encuentran en el rango de no contaminada, no obstante esto no deja de representar un peligro para la salud ya que están presentes en los lugares de alimentación de gran parte del personal que trabaja en la empresa. En el caso de Staphylococcus patógenos se presenta una ligera contaminación.

En las oficinas es el lugar donde se detecto el menor número de diversidad de microorganismos, no obstante, también fue el sitio en donde se encontró el mayor

número de hongos y levaduras siendo un lugar fuertemente contaminado según la clasificación de Boutin.

Por lo que respecta al camino de acceso, resulto ligeramente contaminado por *Staphylococcus* patógenos y *Candida* y escasamente contaminado por hongos y levaduras.

En ningún caso se detectó nuevamente la presencia de *Pseudomonas* excepto en el momento de aplicar la técnica de cuarteo por lo que esta actividad puede representar un peligro para la salud pública.

Los resultados que se han presentado representan a sólo el muestreo en época de invierno, estos seguramente son diferentes en cada época del año (principalmente en tiempos de altas temperaturas) por lo que se requiere hacer más muestreos durante las diferentes estaciones del año.

La gente más expuesta es definitivamente la que esta más en contacto con la basura manipulándola constantemente, por lo cual es la que debe recibir mayor orientación para el cuidado de su salud, es importante recordar que las medidas preventivas resultan ser siempre más económicas que las correctivas.

Los medios selectivos si son manejados con precaución, nos indican de una manera rápida y fácil qué microorganismos patógenos están presentes en los ambientes que se requieran monitorear.

Con el equipo Andersen se simula el mecanismo de retención de partículas en el tracto respiratorio. La concentración de partículas es determinado por el peso gravimétrico de la masa colectada en cada una de las etapas y el volumen de aire muestreado por lo que es más recomendable hacer el muestreo microbiológico con un muestreador Andersen apropiado para tal caso, no obstante se pueden aplicar sistemas alternos sencillos y más económicos como el aquí aplicado para determinar cuantos microorganismos patógenos se encuentran presentes en el aire por metro cubico.

Es importante mencionar que si bien la Norma Mexicana NOM-084.ECOL-1997 marcan la necesidad de efectuar un muestreo aerobiológico, no indican qué microorganismos son indicadores biológicos de contaminación del aire, por lo que este estudio puede tomarse como base para recomendar el análisis de microorganismos patógenos aerobiológicos, ya que los microorganismos estudiados ya son indicadores de contaminación, en aire, agua y alimentos.

6.6 Radiactividad

Como ya se ha mencionado en el capítulo IV, la importancia que tiene el monitoreo de este parámetro en los rellenos sanitarios municipales, reside principalmente en detectar la presencia de materiales radioactivos dentro del relleno, lo cual quiere decir que

alguna empresa u hospital está haciendo pasar residuos peligrosos como residuos municipales, o que el organismo operador del relleno está dejando que se dispongan ese tipo de residuos en su sitio, siendo que deben ser tratados de una manera muy especial.

En los tres monitoreos se seleccionaron tres puntos, para el monitoreo de este parámetro; camiones recolectores, frente de trabajo, lagunas de evaporación de lixiviados. El detector de radioactividad tipo Geiger (con precisión de hasta milésimas de mR/hr) marcó valores semejantes en los tres muestreos los cuales oscilan entre 0.014 mR/hr a 0.024 mR/hr. Ninguno de los resultados rebasa el nivel de seguridad máxima de exposición a radiación de 0.057 mR/hr, establecido por la Comisión Internacional de Seguridad Radiológica, ni los límites establecidos por la Comisión Nacional de seguridad Nuclear y Salvaguarda, que es de 2.5 m R/h (ver tabla 41).

Tabla 41. Resultados de las mediciones de radiactividad.

FECHA DE MUESTREO	LECTURA MINIMA	LECTURA MAXIMA
01/09/98	0.018	0.020
13/10/98	0.017	0.024
11/10/99	0.014	0.023

6.7 Ruido

Para determinación de este parámetro, se utiliza un Sonómetro Digital, este aparato mide niveles de presión acústica y consta de un micrófono que convierte los impulsos de presión en impulsos eléctricos, los cuales son amplificados por un circuito electrónico y se manifiestan en una carátula en forma analógica o digital, las unidades empleadas son los decibeles (dB).

Los principales puntos de monitoreo fueron el frente de trabajo y el área de talleres, ya que ahí en donde coinciden los vehículos recolectores y los de recolección; los resultados obtenidos se muestran en la tabla 42, como se puede observar, los resultados varían de 80 a 95 decibeles, al parecer rebasan el límites máximo indicado en la Normatividad, que es de 90 decibeles, por lo que es necesario hacer más mediciones de ruido y comprobar si el ruido generado esta rebasando el límite que marca la norma ya que de ser así se tendrán que tomar las mediada necesarias para disminuirlo y ajustarse a las normas.

Tabla. 42 Medición de ruido en el frente de trabajo (primer muestreo).

RUIDO AMBIENTAL (D B)
Variación de lecturas de 80 a 95

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del desarrollo de este trabajo se ha podido observar la importancia que tiene el monitoreo ambiental como un fuerte instrumento para llevar a cabo el control de un sitio de disposición final, esto con la finalidad de que las actividades que se realizan en las fases de construcción, operación, clausura y postclausura de este tipo de sitios sea lo menos afectante al ambiente y sobre todo a la salud pública, para que con ello se pueda disponer de los residuos sólidos municipales en lugares cada vez más seguros y no provocar que el remedio sea peor que el mismo mal.

También se ha podido abordar los diferentes rubros que abarca un monitoreo ambiental, es decir, los diferentes elementos del ambiente que son tomados en cuenta para el monitoreo, en este caso la tarea fue difícil ya que no se tenía información de monitoreos hechos con anterioridad en este tipo de sitios, por lo que se tuvo que hacer una labor de investigación en primera instancia y posteriormente la elaboración de un plan de monitoreo que sería calibrado y corregido posterior a la primera campaña; la experiencia que se recopiló en el primer muestreo fue muy grande puesto que se ajustaron los métodos y los instrumentos para los posteriores muestreos.

Al observar los parámetros que fueron monitoreados en los muestreos, podría pensarse que hicieron falta muchos, y es verdad, pero dado que una de las principales cualidades de este proyecto es el que se haga en un sitio de disposición final operado por una empresa privada, el criterio bajo el cual se escogieron los parámetros a ser monitoreados fue el de que tenían que ser los más representativos y de mayor afectación al ambiente y que se pudieran medir en campo sin la necesidad de aparatos demasiado sofisticados. Por otra parte aunque existen resultados analíticos de algunos rellenos sanitarios de la ZMCM que consideran muchos más parámetros, pero hay que

tomar en cuenta que muchos de esos parámetros no indican impacto de gran relevancia, y que la mayor de las veces no están incluidos en un estudio integral. En este estudio se ha llegado a las siguientes:

Conclusiones generales:

- Los residuos sólidos son un problema mundial al que no se le había dado la importancia debida hasta hace poco tiempo, estos se han vuelto un gran peligro para la integridad del ambiente y de la salud humana, por lo que se debe investigar y aplicar las medidas correctas para disponer los residuos de la manera más adecuada; sabiendo que el problema no sólo reside en la disposición final, si no que, proviene desde la generación, recolección, transferencia y transporte por lo que las soluciones deben ser integrales.
- El problema de los residuos sólidos municipales, es un problema de educación en nuestro país, comenzando por que nuestra población se ha convertido en una población consumista que no tiene el hábito de comprar solamente lo que necesita y que cada vez son más los productos que se venden en el mercado con excesos en sus envolturas, además que los materiales con que se hacen esas envolturas son poco degradables y por ende contaminantes por largos periodos de tiempo.
- El problema se agrava por la falta de una educación ambiental, ya que no existe un conocimiento para disponer nuestros residuos, es decir, separarlos en diferentes tipos para que sea factible su separación y aprovechamiento y con ello se reduzcan los volúmenes que van a los rellenos sanitarios; otra falta grave de educación es el no estar habituados a disponer los residuos en los lugares correctos facilitando con ello su recolección y evitando la creación de tiraderos a cielo abierto que tanto daño hacen al ambiente y a la salud humana; otra opción la constituye el reutilizar al máximo los productos y subproductos evitando con ello la compra de más artículos que serán tarde o temprano residuos.
- La importancia que tiene el correcto funcionamiento de los sistemas de manejo de los residuos sólidos es muy grande, ya que con ello se puede garantizar en buena parte la protección al ambiente y a la salud pública, pues alguna falla en el sistema podría provocar un seria afectaciones ambientales y por tanto a la salud humana; por ello la gran importancia de llevar a cabo correctamente el almacenamiento, la recolección, la transferencia y transporte, el tratamiento y la disposición final; además de que cada parte se subdivide en diversas actividades y que en el caso del tema que nos ocupa son: el diseño, la construcción, operación, clausura y postclausura de los sitios de disposición final.
- En este trabajo se ha podido demostrar la importancia del monitoreo ambiental en todas y cada una de las etapas de los sistemas de manejo de residuos sólidos, ya que es importante estar al tanto de las condiciones en que se encuentran y los cambios que se van dando en las diferentes etapas del sistema, con el fin de

observar cuantitativa y cualitativamente el efecto de las actividades al medio; adoptando medidas preventivas y en caso de sobrepasar los límites permisibles aplicar medidas correctivas.

Conclusiones específicas:

- En el control ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas se han monitoreado diferentes elementos del ambiente, tales como los residuos sólidos que se disponen en el relleno, los productos de la degradación de los mismos que son el lixiviado y el biogás, la calidad del aire dentro y en las cercanías del relleno, el ruido y la radioactividad.
- En cuanto a los resultados de tal estudio respecto a los residuos sólidos que son dispuestos en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas se observó que tienen poca humedad debido a que contienen poca materia orgánica, esto se debe a que el tipo de consumo en la frontera se asemeja mucho a la de los Estados Unidos, pues abundan los productos empaquetados; esta característica inhibe en buen grado el proceso de degradación de los residuos sólidos.
- Se llegó a la conclusión por medio de otros estudios que no existe el riesgo de que los lixiviados contaminen los mantos acuíferos, por estar muy por debajo del nivel de superficie y por las características impermeables del material de fondo y del sitio en general.
- La principal recomendación en el aspecto de la caracterización de los residuos es la de seguir haciendo las pruebas de capacidad de campo en diferentes épocas del año y con simulación de sobrecarga, para tener más datos que ayuden a comprender el comportamiento de los residuos sólidos dentro de una celda de confinamiento.
- Una recomendación en este aspecto es el recircular los lixiviados e incluso regar con agua tratada las celdas para acelerar la degradación; también se recomiendan sistemas de quema de biogás para evitar la emisión del biogás al ambiente ya que es un gas invernadero, o sistemas de aprovechamiento para generación de energía eléctrica.
- En la calidad del aire se han identificado a ciertas bacterias, hongos y virus que están en el ambiente y que pueden representar un peligro a los que laboran dentro de las instalaciones, por lo que se recomiendan medidas preventivas, tales como exámenes médicos periódicos y equipo de protección.
- Una aportación de este estudio será el que sus resultados pueden ser utilizados para inferir el comportamiento de otros sitios con condiciones similares, y extrapolar esos resultados a dichos sitios con el fin de alcanzar una mejor operación de los rellenos sanitarios y no afecten de manera drástica al ambiente.

- Otro de los grandes aportes del proyecto lo forman las diferentes modificaciones y propuestas a las normas mexicanas existentes en la materia, ya que algunas no son aplicables para el objetivo que se persigue en el monitoreo ambiental, en algunos casos por que no funcionan y en otros por no existir metodologías para obtener la medición del parámetro requerido.

También en este trabajo se presentan las siguientes:

Recomendaciones

- Dentro de las recomendaciones, se puede decir que el problema de los residuos sólidos municipales cuyo principal generador lo son las casas habitación puede disminuirse en gran medida si educamos a las actuales y sobre todo a las nuevas generaciones a comprar aquellos artículos que de verdad se necesiten, que tengan envolturas biodegradables y que puedan reutilizarse varias veces antes de ser considerados como residuos pues con ello disminuiríamos el volumen que se dispone en los sitios de disposición final; también debemos habituarlos a separar los residuos sólidos en sus diferentes tipos (orgánico, papel, vidrio y metal) para que se puedan separar de manera más fácil en las plantas de selección y aprovechamiento; y por último a tirar la basura en los lugares destinados para ello. Posiblemente los resultados de la aplicación de esta recomendación tarden en apreciarse, pero es segura, ya que el problema como se ha mencionado con anterioridad se debe a la poca educación y al poco respeto que se le tiene al ambiente, ya que no se ha entendido aun, que al deteriorarse el ambiente la subsistencia del ser humano es poco probable.
- Como recomendación se sostiene que la mejor manera de evitar efectos adversos al ambiente y a la salud por parte de los rellenos sanitarios, es monitoreándolos periódicamente y bajo un programa de monitoreo ambiental que se adapte al tipo de necesidades de cada sitio, para que con ello se puedan mejorar los criterios de diseño, construcción operación, clausurura y postclausura de los sitios de disposición final.
- La principal recomendación en el aspecto de la caracterización de los residuos es la de seguir haciendo las pruebas de capacidad de campo en diferentes épocas del año y con simulación de sobrecarga, para tener más datos que ayuden a comprender el comportamiento de los residuos sólidos dentro de una celda de confinamiento.
- Basándose en las actividades hechas en los monitoreos y en los resultados obtenidos de ellos, se puede recomendar la construcción de una celda de control dentro del relleno sanitario, para poder monitorear de manera continua la degradación de los residuos sólidos y con ello ajustar los criterios antes

mencionados, además de conocer más a fondo el comportamiento de los residuos en sus diferentes fases de degradación; para que con ello puedan ser más controlables los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales y se pueda aminorar el problema de los residuos en nuestro país.

- Se recomienda que se realicen las propuestas para la modificación de las normas que se mencionan en este trabajo y que se trabaje más por parte del organismo competente para crear nuevas normas enfocadas al monitoreo ambiental.
- Debido a que existen pocos trabajos acerca del monitoreo ambiental en sitios de disposición final y al monitoreo ambiental en general, es recomendable que se incrementen los proyectos o investigaciones acerca de este tema, ya que en la medida en la que se conozca más acerca del comportamiento de los contaminantes en el ambiente y sus afectaciones, serán mejores las medidas de remediación y el manejo de los residuos sólidos.
- También se recomienda que este tipo de temas sean tratados en foros a los que asistan las organizaciones que tienen que ver con el manejo de los residuos sólidos y con el monitoreo ambiental, para que se realicen intercambios de opiniones y resulten de ello nueva normatividad y mejores procedimientos para el manejo integral de los residuos sólidos municipales y el monitoreo ambiental en pro del ambiente y la salud pública.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "La Basura es la Solución"
Arq. Armando Deffis Caso
Edit. Concepto, S.A., 1989.
- 2.- Tesis de Grado: "El Monitoreo Ambiental como Mecanismo de Control para un Adecuado Funcionamiento de Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales"
IBQ María Guadalupe Tejeda Rosas
Ciudad Universitaria, México, D.F. 1996.
- 3.- Tesis de Grado: "Las Celdas de Control como Dispositivos para el Monitoreo Ambiental y para el Conocimiento de los Procesos de Estabilización en los Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos"
ING. Eddy Lemus Vásquez
IPN México, D.F. 1992.
- 4.- "Estadísticas del Medio Ambiente"
INEGI, México, 1994.
- 5.- "Cuaderno Estadístico Municipal, Nuevo Laredo, Tamaulipas"
Edición 1995.
INEGI
- 6.- "Use of The Water Balance Method for Predicting Leachate Generation From Solid Waste Disposal Sites" U.S. Environmental Protection Agency.
EP530/SW-168, 1975.
- 7.- "Clausura del Relleno Sanitario de Prados de la Montaña: Primera Experiencia Mexicana Apegada a una Rigurosa normatividad"
Felipe López Sánchez, Héctor J. Sámano lechuga.
Memorias del XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Volumen III, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos.
Celanese Mexicana.
México, D.F. 1996.
- 8.- "Programa de Pruebas de Campo para la utilización de Biogás en el Relleno Sanitario de Prados de la Montaña"
Gabriela Rivera de la Torre, Conrado Sarmiento Bleicher.
Memorias del XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Volumen III, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos.
Celanese Mexicana.
- 9.- "El monitoreo Enfocado Hacia el Control de los Impactantes Generados por el Manejo de Residuos Sólidos"
M.I. Jorge Sánchez Gómez, Miriam Mata García, Inés Semadeni mora.

Memorias del XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Volumen III, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos.
Celanese Mexicana.

10.- "Caracterización y Generación de los Residuos Sólidos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas."
Froilán Esquinaca Cano, José Luis Escobar Villagrán, Agustín Hernández López, Juan José Villalobos Maldonado.

Memorias del XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Volumen III, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos.
Celanese Mexicana.

11.- "Metodología para la Estimación de la Producción y Concentración de Lixiviado de un Relleno Sanitario."

Liliana Borzacconi, Iván López, Carlos Anido.

Memorias del XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Volumen III, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos.
Celanese Mexicana.

12.- "Obtención de parámetros de Ajuste para el Cálculo del Balance de Agua en Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos Peligrosos."

M.I. Jorge Sánchez Gómez, Roberto Ortega Romero, Inés Semadeni mora, J. Antonio Cedillo Velasco.

Memorias del XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Volumen III, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos.
Celanese Mexicana.

13.- Tesis de Licenciatura: "Diseño, Construcción y operación de un Relleno Sanitario"

Roberto Ramón Alvarado

Ciudad Universitaria, México, D.F. 1994.

14.- Tesis de Licenciatura: "El Reciclaje del Papel en el Valle de México"

Rocío Valdés Yañez

Ciudad Universitaria, México, D.F. 1998.

15.- "Proyecto Tipo de Relleno Sanitario"

Colegio de Ingenieros Civiles de México

Serie: Medio Ambiente, Parte I.

México, D.F. 1994.

16.- "Criterios Para el monitoreo Ambiental"

Guías Técnicas de Operación

DGSU, D.F. 1998.

17.- "Monitoreo Ambiental en Instalaciones para el manejo de Residuos Sólidos"

Consuelo Reyes Martínez, Ana Ma. Vásquez Campos, Norma Angélica Carrillo Zárate, Ricardo Rodríguez Reynoso.

DGSU, D.F. 1998.

18.- "Manejo y Control de Residuos Sólidos en la Ciudad de México"
DGSU, Dirección de Programa de Mejoramiento Urbano
México, D.F. 1998.

19.- "Obtención Experimental de Parámetros de Diseño y Operación de un Relleno Sanitario Mediante una Celda de Control"
Felipe López Sánchez, Conrado Sarmiento Bleicher
Dirección General de Servicios Urbanos
Dirección Técnica de Desechos Sólidos
México, D.F.

20.- "Cálculo del balance de Agua"
M.I. Jorge Sánchez Gómez
Revista: Residuos Sólidos y Peligrosos.
Editada por la AMCRESPAC
Tomo I, Vol. 9, Nov. – Dic. 1994.

21.- "Memorias del Curso Internacional de Rellenos Sanitarios y de seguridad"
Capítulo 8-55 Manejo del Gas del Relleno.
Argentina, 1997.

22.- "El impacto de los Residuos Sólidos Urbanos En el Medio ambiente y su Tratamiento"
Fernando Estruch Giner

23.- "Solid Wastes, Engineering Principles and Management Issues"
Tchobanoglous, G.
Mc. Graw Hill, 1977.

24.- "Handbook of Applied Hydrology"
Chow, V. T.
New York, Mac. Graw Hill.

25.- "Ingeniería y Ciencias Ambientales"
Año 10, Número 36, Mayo – Junio '98.
FEMISCA

26.- "Contaminación atmosférica bacteriana en plantas de tratamiento de basura".
Boutin (1987).

27.- "Aerobiology: The Ecological Systems Approach"
Edmonds, L. R. (1979)US/IBP SYNTHESIS SERIES 10. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.
USA. 385 pp.

28.- "Monitoreo ambiental en los sistemas de manejo de los residuos"
Curso sobre manejo, transferencia y reciclaje de residuos sólidos municipales, hospitalarios y especiales.
AMCRESPAC, 1994
UNAM, México, D.F. pp. 1-16

29.- " Microbiología (con Virología e Inmunología)"

Piatkin, D. K. y Krivoshein, S. Yu. (1981) Segunda edición. Ed. <<MIR>> MOSCÚ. Págs. 86-87 y 101-104.

30.- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.
SEMARNAP

31.- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-084-ECOL-1996, QUE LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA CONSTRUCCIÓN DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS.
SEMARNAP

32.- Informe final del proyecto " Control ambiental del relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas"
II-UNAM

Dra. M. Teresa Orta Ledesma, MC. Ignacio Monje R., MC. M. Neftali Rojas, MI. Jorge Sánchez G., MI. Gabor Kiss, Bec. Reynaldo Cruz Rivera.

ANEXO I

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

**NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985. PROTECCION AL AMBIENTE -
CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES - MUESTREO
- METODO DE CUARTEO**

PREFACIO

En la formulación de esta norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA
- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
- Dirección General de Estudios Prospectivos.
- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.
- Comisión de Ecología.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana, establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta norma.

2.- REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes;

NMX-AA-19 Protección al Ambiente - Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales - Peso volumétrico "IN SITU".

NMX-AA-22 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos.

NMX-AA-61 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales - Generación.

NMX-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Terminología.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las que se establecen en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

4.- METODO DE CUARTEO

Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio, obtenida según Norma Mexicana NMX-AA-61

4.1 Aparatos y equipo

- Báscula de piso, con capacidad de 200 Kg
- Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del No.200, para el manejo de los subproductos (tantas como sean necesarias).
- Palas curvas
- Bieldos
- Overoles
- Guantes de carnaza
- Escobas
- Botas de hule
- Cascos de seguridad
- Mascarillas protectoras
- Papelería y varios (cédula de informe de campo, marcadores, ligas, etc).

4.2 Procedimientos

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas.

El equipo requerido antes descrito, está de acuerdo con el número de personas que participan en el cuarteo.

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación según la Norma Mexicana NMX-AA-61.- En ningún caso se toma más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo.

El contenido de dichas bolsas, se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.

El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o bieldo, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D (Fig. 1), y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-22.

De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10 Kg aproximadamente de residuos sólidos para los análisis del laboratorio, físicos, químicos y biológicos, con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ", según Norma Mexicana NMX-AA-19.

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte, además se debe tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna rotura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

Se han considerado, las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo estas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Sólo en el caso de que la cantidad de residuos sólidos sea menor a 50 Kg, se remienda repetir la operación de cuarteo.

5.- MARCADO

La muestra se identifica con una etiqueta, la cual debe contener la siguiente información:

Número de folio de la cédula de informe de campo para el cuarteo, hora y fecha del envío, localidad, municipio, estado, procedencia de la muestra (estrato socioeconómico) temperatura y humedad relativa del ambiente, peso de la muestra en kilogramos, datos del responsable de la toma de muestra y observaciones.

6.- INFORME DE CAMPO: (Ver cédula en el apéndice)

En el informe debe indicar lo siguiente:

- Localidad, Municipio y Estado
- Fecha y hora del cuarteo
- Procedencia de la muestra (estrato socioeconómico)
- Condiciones climatológicas
- Cantidad de residuos sólidos tomados para el cuarteo, en Kg
- Cantidad de residuos sólidos obtenidos para la selección en subproductos, en Kg
- Datos del responsable del cuarteo
- Observaciones

7.- APENDICE

CEDULA DE INFORME DE CAMPO PARA EL CUARTEO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

No. de
Folio -----

Localidad ----- Municipio ----- Estado -----

Fecha y hora del cuarteo -----

Procedencia de la Muestra -----

Condiciones Climatológicas Imperantes Durante el Cuarteo (describa):

Cantidad de Residuos Sólidos para el Cuarteo -----Kg -----

Cantidad de Residuos Sólidos para la Selección de Subproductos -----
----- Kg ---

Cantidad de Residuos Sólidos para los Análisis Físicos, Químicos y
Biológicos -----

Responsable del Cuarteo:

Nombre:- ----- Cargo -----

Dependencia o Institución -----

Observaciones -----

8.- BIBLIOGRAFIA

* Journal of the Sanitary Engineering División.- Proceedings of the American Society of Civil Engineers.- "Sample Weinghts in Solid Waste Composition Studies".- Albert J. Klee and Dennis Carrth. August, 1970.

Rolle, G. Int. Research Group in Refuse Disposal (IRGR). Information Bulletin 22, 23.- Zurich.- 1954.

**NORMA MEXICANA NMX-AA-16-1984. PROTECCION AL AMBIENTE -
CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES -
DETERMINACION DE HUMEDAD**

PREFACIO

En la actualización de la presente norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA
 - Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
 - Comisión de Ecología
 - Dirección General de Programación de Obras y Servicios

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana establece el método llamado de Estufa que determina el porcentaje de la humedad, contenido en los residuos sólidos municipales; se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establecen en esta norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua.

2.- REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-91 Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos sólidos - Terminología.

NMX-AA-52 Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales - Preparación de muestras en laboratorios para su análisis.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

4.- OBTENCION DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según Norma Mexicana NMX-AA-52.

5.- APARATOS Y EQUIPO

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g
- Espátula para balanza

- Estufa con temperatura 423 K (150°C) con sensibilidad 1.5 K (1.5°C,) capaz de mantener una temperatura constante
- Cajas de aluminio con tapa de 250 cm³
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio

6.- PROCEDIMIENTO

6.1 Se coloca la caja abierta y su tapa en la estufa a 393 K (120°C) durante dos horas, transcurrido ese tiempo, se tapa la caja dentro de la estufa, e inmediatamente se pasa al desecador durante dos horas como mínimo o hasta obtener peso constante.

6.2 Se vierte la muestra sin compactar hasta un 50% del volumen de la caja.

6.3 Se pesa la caja cerrada con la muestra y se introduce destapada a la estufa a 333 K (60°C) durante 2 horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente. Se repite esta operación las veces que sea necesario hasta obtener peso constante (se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas la diferencia es menor al 0.01 %)

NOTA: Durante este procedimiento debe utilizarse pinzas.

7.- CALCULOS

El porcentaje de humedad se calcula con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que para obtener G y G₁ se debe restar el peso de la caja.

$$H = \frac{G - G_1}{G} \times 100$$

H = Humedad en %
G = Peso de la muestra húmeda en g
G₁ = Peso de la muestra seca en g

8.- REPRODUCTIBILIDAD

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1% en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

9.- BIBLIOGRAFIA

- Tentative Methods of Analysis of Refuse and Compost Municipal - Refuse Disposal.- Appendix A. pag. 392

- Methods of soil Analysis Agronomy No. 92-96- American Society of Agronomy. Inc. Publisher.

**NORMA MEXICANA NMX-AA-19-1985. PROTECCION AL AMBIENTE -
CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES - PESO
VOLUMETRICO "IN SITU".**

PREFACIO

En la actualización de la presente norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA
- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
- Comisión de Ecología
- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana, establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo".

2.- REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-91 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos-Terminología.

NMX-AA-15 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-muestreo-Método de Cuarteo.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

4.- DESCRIPCION DE LA OPERACION

Para determinar el peso volumétrico "in situ", se debe tomar los residuos eliminados de la primera operación del cuarteo, la cual se debe realizar según Norma Mexicana NMX-AA-15.

4.1 Aparatos y equipo

- Básculas de piso con capacidad de 200 kg
- Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 200 L
- Palas curvas
- Overoles
- Guantes de camaza

- Escobas
- Recogedores
- Botas de hule
- Mascarillas
- Papelería y varios necesarios para la operación (cédula de información de campo, marcadores, etc.)

4.6 Procedimiento

Para efectuar esta determinación, se requiere de cuando menos dos personas.

El equipo requerido antes descrito está de acuerdo con el número de personas que participen en la determinación.

Antes de efectuar la determinación se verifica que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras; así como también que la báscula esté nivelada. A continuación se pesa el recipiente vacío, tomando este peso como la tara del recipiente.

En caso dado de no conocer la capacidad del recipiente, ésta se determina a partir de las formulaciones aritméticas existentes, según sea la geometría de dicho recipiente.

A continuación, llenar el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma Mexicana NMX-AA-15; golpear el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm.

Nuevamente agregue residuos sólidos hasta el tope, teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar.

Se debe tener cuidado de vaciar dentro del recipiente todo el residuo, sin descartar los finos.

Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pasa el recipiente con estos y se resta el valor de la tara.

Cuando no se tenga suficiente cantidad de residuos sólidos para llenar el recipiente se marca en éste, la altura alcanzada y se determina dicho volumen.

5.- CALCULO

El peso volumétrico del residuo sólido se calcula mediante la siguiente fórmula

$$P_v = \frac{P}{V}$$

en donde:

P_v = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m^3

P = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m^3

Los resultados obtenidos al realizar la operación que se describe en esta Norma Mexicana, deben reportarse en la cédula de informe de campo (anexo No. 1).

6.- BIBLIOGRAFIA

Instructivo de Campo del Departamento de Desechos Sólidos de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1976.

Experiencias de campo de la Comisión de Ecología del D.D.F. y de la S.D.U.E.

7.- APENDICE

7.1 Anexo No. 1

CEDULA DE INFORME DE CAMPO PARA LA DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO- "IN SITU" DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Localidad ----- Municipio ----- Estado -----

Fecha y hora de la determinación: -----

Estrato o socio-económico muestreado: -----

Condiciones climatológicas imperantes durante la determinación -----

Capacidad del recipiente ----- m^3 -----

Tara del recipiente ----- kg -----

Capacidad del recipiente, tomada para la determinación ----- m^3 -----

Peso bruto (peso del recipiente con residuos sólidos) ----- kg -----

Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto-tara) -----

----- kg -----

Peso volumétrico "in situ", de los residuos sólidos ----- kg/m^3 -----

Responsable de la determinación:

Nombre: ----- Cargo -----

Dependencia o Institución -----

Observaciones: -----

**NORMA MEXICANA NMX-AA-21-1985. PROTECCION AL AMBIENTE-
CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-
DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA**

PREFACIO

- En la elaboración de esta norma participaron los siguientes organismos:
- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.
 - Dirección General de prevención y control de la contaminación ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
 - Dirección General de estudios prospectivos.

Comisión de Ecología.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

La presente Norma Mexicana establece el método para la determinación de materia orgánica en los residuos sólidos municipales.

2.- REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-52 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales - Preparación de muestras en laboratorio para su análisis.

NMX-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Terminología.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

4.- APARATOS Y EQUIPO

Equipo usual de laboratorio.

5.- MATERIALES Y REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser de grado analítico a menos que se indique otra cosa; cuando se hable de agua, debe entenderse agua destilada.

- Sulfato Ferroso 0.5 N.
- Dicromato de Potasio 1 N.
- Difenilamina al 1 %.

- Acido sulfúrico concentrado al 98%.
- Acido Fosfórico al 95%.

6.- OBTENCION DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene según la Norma Mexicana NMX-AA-52 y en cantidad suficiente para efectuar la determinación con dos series de cinco pruebas cada una.

7.- PROCEDIMIENTO

- 7.1 Simultáneamente correr un blanco por cada serie para obtener el factor de corrección.
- 7.2 Triturar la muestra en un mortero hasta obtener una consistencia similar al talco.
- 7.3 Pesar 0.1 g de la muestra y transferirlos a un matraz Erlenmeyer de 250 cm³ ó mayor.
- 7.4 Agregar con bureta 10 cm³ de dicromato de potasio.
- 7.5 Agregar 20 cm³ de ácido sulfúrico concentrado.
- 7.6 Agitar enérgicamente durante un minuto.
- 7.7 Dejar reposar durante 30 minutos.
- 7.8 Posteriormente agregar 100 cm³ de agua.
- 7.9 Agregar 10 cm³ de ácido fosfórico.
- 7.10 Añadir 0.5 cm³ de difenilamina.
- 7.11 Titular con sulfato ferroso 0.5 N hasta que vire de violeta oscuro a verde.

8.- CALCULOS

El porcentaje de materia orgánica se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Materia orgánica en \%} = \frac{(V_1 N_1 - VNF) K}{P}$$

En donde:

V_1 = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra en cm³.

N_1 = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.

V = Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra en cm³.

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso.

P = Peso de la muestra en g.

$$K = 0.69 = 0.003 \frac{1.72}{0.74} \times 100; \text{ en donde:}$$

0.003 = Niliequivalente del carbono.

0.74 = Factor de recuperación.

1.72 = Factor para convertir el % de carbono en % de materia orgánica.

F = Factor de corrección y se obtiene por la siguiente fórmula: V_o/V_b

V_o = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en el blanco en cm^3 .

V_b = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco en cm^3 .

9.- REPRODUCCION DE LA PRUEBA

La diferencia máxima permisible entre dos series de pruebas, no debe exceder de $\pm 2\%$ en el resultado, en caso contrario repetir la determinación.

10.- BIBLIOGRAFIA

- JACKSON, M.L.

Methods of sampling and analysis of solid wastes.

- SWISS FEDERAL INSTITUE FOR WATER SUPPLY

Section for solid wastes.

Methods of sampling and analysis of solid wastes.

CH - 8600 Düsendorf (Switzerland). 1970

- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

Manual de laboratorio de la planta industrializadora de desechos sólidos.

México, D.F., 1976.

- ING. RICARDO PEREZ HERRERA

Análisis de estudios comparativos para desechos sólidos Tesis profesional para obtener título. E.S.I.Q.I.E. I.P.N. México, D.F., 1976

**NORMA MEXICANA NMX-AA-22-1985. PROTECCION AL AMBIENTE -
CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES - SELECCION
Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS PREFACIO**

En la formulación de la presente norma participaron los siguientes Organismos:

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- Comisión de Ecología

- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los Residuos Sólidos Municipales.

2.- REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Terminología.

NMX-AA-15 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo.

NMX-B-231 Industria Siderúrgica - Cribas de Laboratorio para Clasificación de Materiales Granulares - Especificaciones.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

4.- APARATOS Y EQUIPO

- Báscula de piso capacidad de 200 Kg
- Balanza granataria con capacidad para 20 Kg y sensibilidad de 1 g
- Criba M 2.00 según Norma Mexicana NMX-B-231
- Mascarillas
- Recogedores
- Overoles
- Escobas
- Botas de hule
- Guantes de camaza

- Treinta bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.80 m y calibre mínimo de 200
- Papelería y varios

El equipo antes descrito esta en función del número de participantes en la determinación que marca esta Norma; se requiere para ello, cuando menos de dos personas.

5.- SELECCION

5.1 Obtención de la Muestra.

La muestra se extrae como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-15 y se toman como mínimo 50 Kg, que procede de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas.

5.2 Procedimiento.

Con la muestra ya obtenida como se establece en 5.1, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotar, de acuerdo con las siguiente clasificación:

- Algodón
- Cartón
- Cuero
- Residuo fino (todo material que pase la criba M 2.00)
- Envase de cartón encerado
- Fibra dura vegetal (esclerénquima)
- Fibras sintéticas
- Hueso
- Hule
- Lata
- Loza y cerámica
- Madera
- Material de construcción
- Material ferroso
- Material no ferroso
- Papel
- Pañal desechable
- Plástico rígido y de película
- Poliuretano
- Poliestireno expandido
- Residuos alimenticios (Véase observaciones)
- Residuos de jardinería
- Trapo
- Vidrio de color
- Vidrio transparente
- Otros

6.- CUANTIFICACION

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la balanza granataria y se anota el resultado en la hoja de registro.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = \frac{G_1}{G} \times 100$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G_1 = Peso del subproducto considerado, en Kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 Kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

7.- REPORTE

Los resultados se anotan, como se indica en la hoja de registro (véase apéndice).

8.- OBSERVACIONES

. Los cambios en peso durante la determinación, se deben principalmente a la liberación o admisión de humedad.

. Se recomienda efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo.

. Dentro de los residuos sólidos alimenticios se deben incluir todos aquellos residuos de fácil degradación, tales como: vísceras, apéndices o cadáveres de animales.

9.- APENDICE

HOJA DE REGISTRO DE CAMPO SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS

Localidad ----- Municipio ----- Estado -----
Fechas y hora de análisis ----- Peso de la Muestra ----- Kg
Estrato socioeconómico ----- Tara de las bolsas ----- Kg
Responsable del análisis ----- Dependencia o Institución -----

No.	SUBPRODUCTOS	PESO EN Kg	% EN PESO	OBSERVACIONES
1	ALGODON			
2	CARTON			
3	CUERO			
4	RESIDUO FINO QUE PASE LA CRIBA M 2.00			
5	ENVASE EN CARTON ENCERADO			
6	FIBRA DURA VEGETAL (esclerénquima)			
7	FIBRAS SINTETICAS			
8	HUESO			
9	HULE			
10	LATA			
11	LOZA Y CERAMICA			
12	MADERA			
13	MATERIAL DE CONSTRUCCION			
14	MATERIAL FERROSO			
15	MATERIAL NO - FERROSO			
16	PAPEL			
17	PAÑAL DESECHABLE			
18	PLASTICO DE PELICULA			
19	PLASTICO RIGIDO			
20	POLIURETANO			
21	POLIESTIRENO EXPANDIDO			
22	RESIDUOS ALIMENTICIOS			
23	RESIDUOS DE JARDINERIA			
24	TRAPO			
25	VIDRIO DE COLOR			
26	VIDRIO TRANSPARENTE			
27	OTROS			

10.- BIBLIOGRAFIA

- Instructivo de Campo del Departamento de Desechos Sólidos de la Secretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1976.

NORMA MEXICANA NMX-AA-24-1984. PROTECCION AL AMBIENTE -
CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES -
DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL
PREFACIO

En la formulación de esta Norma participaron los siguientes organismos:

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- Dirección General de Estudios Prospectivos.

- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

- Comisión de Ecología.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana establece el método Kjeldahl para determinar la cantidad de nitrógeno total contenido en los Residuos Sólidos Municipales.

Por este procedimiento se convierten todos los componentes del nitrógeno oxidados tales como nitrato a nitritos a nitrógeno reducido a sulfato de amonio.

2.- REFERENCIAS

2.- Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas siguientes:

NMX-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Terminología.

NMX-AA-52 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Preparación de Muestras en Laboratorio para su Análisis.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91-. Además de la siguiente:

3.1 Nitrógeno total

Es la suma de los nitrógenos amoniacal y orgánico presentes en la muestra, conocido como nitrógeno Kjeldahl.

4.- RESUMEN DEL METODO

La muestra es digerida en presencia de ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y sulfato cúprico hasta desprendimiento de humos blancos y que la solución sea transparente e incolora de un tono amarillo paja.

El residuo es enfriado, diluido y llevado a condiciones alcalinas para la determinación del amonio.

El amonio destilado se cuantifica volumétricamente.

5.- OBTENCION DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene como se indica en la Norma Mexicana NMX-AA-52.

6.- APARATOS Y EQUIPO

Equipo usual de laboratorio además de:

- 6.1 Aparato de digestión Kjeldahl con extractor de humos
- 6.2 Aparato de destilación Kjeldahl
- 6.3 Matraces Kjeldahl de 800 a 1000 cm³
- 6.4 Potenciómetro

NOTA: Se requiere de otros matraces Kjeldahl por muestra

7.- MATERIALES Y REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico, (a menos que se indique lo contrario), siempre que se mencione agua debe entenderse agua destilada.

7.1 Materiales

- 7.1.1 Granalla de zinc de 20 mallas
- 7.1.2 Perlas de vidrio

7.2 Reactivos

- 7.2.1 Sulfato de potasio ($K_2 SO_4$)
- 7.2.2 Sulfato cúprico ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$).
- 7.2.3 Acido sulfúrico concentrada ($H_2 SO_4$)
- 7.2.4 Acido salicílico ($C_2H_2 O_4$)
- 7.2.5 Tiosulfato de sodio cristalino ($Na_2 S_2 O_3 \cdot 5H_2O$)
- 7.2.6 Alcohol etílico ($CH_3 - CH_2 - OH$) al 95%
- 7.2.7 Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 10 N
- 7.2.8 Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N
- 7.2.9 Solución de ácido sulfúrico ($H_2 SO_4$) 0.1N
- 7.2.10 Solución ***** anaranjado de ***** de anaranjado de metilo en la colección de 50cm³ de al ***** analítico y 50 cm³ de agua).

7.2.11 Solución indicadora mixta de rojo metileno que acuerdo de bromocresol (Pesar 1 g de rojo de metilo y 0.5 g de ***** de bromocresol, de disuelven en 100 cm³ de alcohol etílico ***** lleva a un pH = 4.5).

8.- PROCEDIMIENTO

8.1 Digestión

8.1.1 Correr un blanco de agua.

8.1.2 Pesar 0.5 g de muestra y se transfiere a un matraz Kjeldahl.

8.1.3 Agregar 2 g de ácido salicilico y 40 cm³ de ácido sulfúrico concentrado, agitar, hasta que el ácido se incorpore totalmente a la muestra, formándose el ácido nitrososalicílico.

8.1.4 Dejar reposar 30 minutos, y después añadir 10 g y de tiosulfato de sodio con el fin de reducir al ácido nitrososalicílico; agitar y dejar reposar por un período de 5 minutos.

8.1.5 Transcurrido el tiempo calentar la mezcla a flama baja en el matraz Kjeldahl hasta que no exista desprendimiento de humos blancos y la solución se clarifique. Continuar la digestión durante 30 minutos más.

Retirar el matraz y dejar enfriar a temperatura ambiente.

8.1.6 Añadir 1 g de sulfato cúprico y 10 g de sulfato de potasio llevar a digestión hasta que la solución sea incolora ó de color amarillo paja.

8.1.7 Preparar un matraz Erlenmeyer de 500 cm³, dentro del cual se vierten 25 cm³ de solución de ácido sulfúrico y de 3 a 4 gotas de solución indicadora de anaranjado de metilo y se coloca abajo del condensador de manera que la punta quede en el seno del líquido.

8.1.8 Agregar al matraz Kjeldahl de 4 a 5 granallas de zinc y 10 perlas de vidrio.

8.1.9 Adicionar con cuidado 100 cm³ de solución de hidróxido de sodio 10 N resbalando por las paredes del cuello del matraz y conectar al destilador.

8.2 Destilación

8.2.1 Encender la parrilla del destilador

8.2.2 Inclinar el matraz y agregar con mucho cuidado 150 cm³, de la solución de hidróxido de sodio.

El matraz se calienta hasta que destile todo el amoniaco (Un máximo de 150 cm³ de destilado se obtiene aproximadamente en 30 minutos).

8.2.3 Colocar el matraz colector del destilado en forma tal que el tubo de vidrio, de descarga conectado al condensador quede sobre la boca del matraz libre del contacto con la solución del ácido sulfúrico 0.1N y se continua destilando aproximadamente cinco minutos con el objeto de llenar el tubo de descarga.

8.2.4 Se interrumpe el calentamiento, se retira el matraz colector y se titula con la solución de ácido sulfúrico 0.1N hasta que la solución vire a rosa.

9.- CALCULOS

El nitrógeno total en por ciento se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_t \text{ en } \% = \frac{(A \cdot N_1 - B \cdot N_2) \times 0.014 \times 100}{M}$$

Donde:

A = Volumen de la solución de ácido sulfúrico empleado en la recolección del amoniaco destilado.

N₁ = Normalidad del ácido sulfúrico.

B = Volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la neutralización de la solución de ácido sulfúrico.

N₂ = Normalidad de la solución del hidróxido de sodio 0.1N

M = Masa de la muestra en g.

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno.

100 = Para relacionar el nitrógeno a por ciento.

10.- REPRODUCCION DE LA PRUEBA

La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas por duplicado, no debe exceder de 0.3% en caso contrario, se debe repetir la determinación.

Para las cantidades de reactivos y muestras indicadas son de esperarse resultados que varían de 0.5 a 2.5 % de nitrógeno total. En residuos sólidos, cuyo contenido de nitrógeno esperado sobrepase el rango mencionado debe variarse la cantidad indicada según convenga.

11.- BIBLIOGRAFIA

- American Organization Agriculture Chemistry 1978
- National Formulary 1982
- Productos para el uso agropecuario - Fertilizantes - Nitrógeno total Método del salicilico. NOM-Y-107-1984.

NORMA MEXICANA NMX-AA-52-1985. PROTECCION AL AMBIENTE- CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES- PREPARACION DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO PARA SU ANALISIS

PREFACIO

En la formulación de la presente norma participaron los siguientes Organismos:

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- Comisión de Ecología
- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana, establece el método de preparación de muestras en el laboratorio para su análisis.

2.- REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-91 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos- Terminología.

NMX-AA-15 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo.

NMX-AA-16 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de humedad.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

4.- APARATOS Y EQUIPO

- Balanza granataria de 20 kg con sensibilidad de 1 g
- Guantes de carmaza
- Escobilla
- Mascarilla protectora
- Tijeras de jardinero
- Recogedores
- Pala de jardinero
- Lentes protectores
- Molino triturador

- Frascos de vidrio de color ámbar y cuello esmerilado de 2 L de capacidad

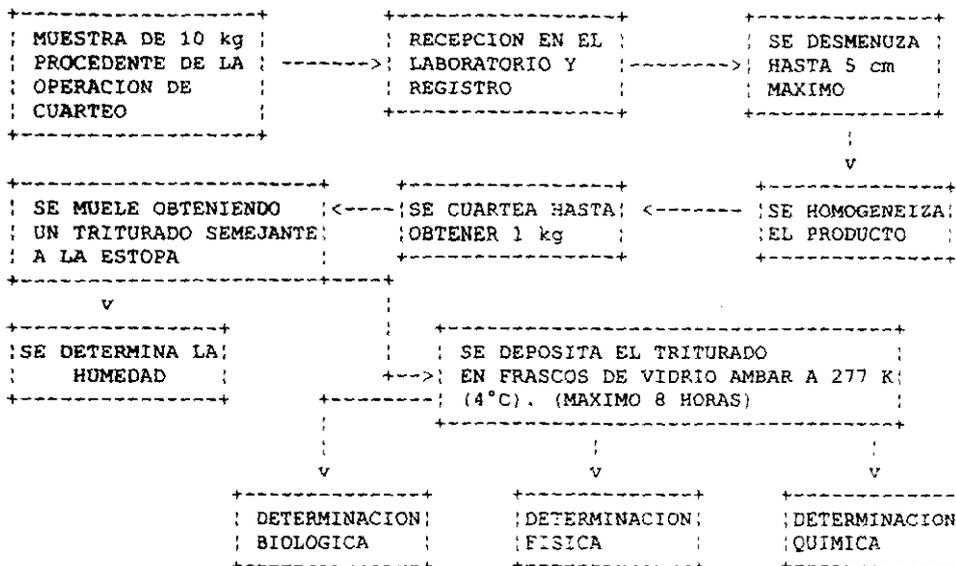
5.- PROCEDIMIENTO

Verificar si la muestra está debidamente identificada, de no estarlo, se anota en el reporte del laboratorio.

A continuación se procede a vaciar la muestra de residuos sólidos, en un área limpia y seca del laboratorio; para que con unas tijeras de jardinero se desmenucen tales residuos, hasta un tamaño máximo de 5 cm.

Con una pala de jardinero se homogeneizan los residuos sólidos y mediante el método de cuarteo, se obtiene una muestra representativa de 1 kg, la cual se vierte dentro de un molino triturador para obtener un producto más homogéneo y de tamaño semejante a la arena gruesa. De dicho producto, se toma la cantidad necesaria para realizar inmediatamente la determinación de humedad, según la Norma Mexicana, NMX-AA-16. El resto del producto obtenido de la molienda, se deposita en frascos de vidrio color ámbar de cuello esmerilado y de 2 L de capacidad, los cuales se almacenan a 277 K (4°C), para realizar las demás determinaciones físicas, químicas y biológicas, en las siguientes ocho horas. (Véase diagrama).

DIAGRAMA PARA LA PREPARACION DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO.



6.- BIBLIOGRAFIA

- Instructivo de Campo del Departamento de Desechos Sólidos de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1975.
- Experiencias de Campo de la S.E.D.U.E.

**NORMA MEXICANA NMX-AA-67-1985, PROTECCION AL AMBIENTE -
CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES -
DETERMINACION DE LA RELACION CARBONO/NITROGENO**

PREFACIO

En la formulación de la presente norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.
Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
Comisión de Ecología.
Dirección General de Estudios Prospectivos.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

La presente Norma Mexicana especifica un método para la determinación de la relación Carbono/Nitrógeno de los Residuos Sólidos Municipales, para planear y diseñar los sistemas adecuados de disposición final de los mismos.

2.- REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

- NMX-AA-21 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Materia Orgánica.
- NMX-AA-24 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Nitrógeno Total.
- NMX-AA-52 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Preparación de Muestras en Laboratorio para su análisis.
- NMX-AA-91 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos - Terminología.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91, además de la siguiente:

3.1 Relación Carbono/Nitrógeno.

Es el parámetro utilizado como control de calidad de los residuos sólidos dentro de un sistema, utilizando como base la materia orgánica.

4.- APARATOS Y EQUIPO

Son los utilizados en las determinaciones de Materia Orgánica y Nitrógeno Total.

5.- MATERIALES Y REACTIVOS

Son los utilizados en las determinaciones de Materia Orgánica y Nitrógeno Total.

6.- CALCULOS

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) está en función del % de materia orgánica (%M.O.) obtenido de acuerdo a la constante de Jackson y del % de Nitrógeno total (%N).

Para determinar el contenido de carbono se multiplica el % de materia orgánica x 0.58, donde:

0.58 = constante dada por Jackson (Ver Bibliografía).

Por lo tanto, la ecuación para determinar la relación (C/N) es:

$$(C/N) = \frac{(\% \text{ M.O.}) \times 0.58}{\% \text{ N}}$$

donde:

% N = % Nitrógeno total obtenido según NOM-AA-24

(% M.O.) = % Materia orgánica obtenida según norma NOM-AA-21

7.- BIBLIOGRAFIA

- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

Manual de Operación de Laboratorio de la Planta Industrializadora de Desechos Sólidos.

México, D.F.

1976.

- JACKSON, M.L.

Análisis Químico de Suelos.

Ediciones Omega.

Barcelona, España.

1970.

**NORMA MEXICANA NMX-AA-68-1986, PROTECCION AL AMBIENTE-
CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-
DETERMINACION DE HIDROGENO A PARTIR DE MATERIA ORGANICA**

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.
Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
Dirección General de Estudios Prospectivos
Comisión de Ecología.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana especifica un método para la determinación de Hidrógeno de los Residuos Sólidos Municipales, para planear y diseñar sus sistemas de disposición final.

2.- REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

- NMX-AA-21 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Materia Orgánica.
- NMX-AA-52 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Preparación de Muestras en Laboratorio para su análisis.
- NMX-AA-91 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos-Terminología.

3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

4.- APARATOS Y EQUIPO

Son los utilizados en las determinaciones de materia orgánica.

5.- MATERIALES Y REACTIVOS

Son los utilizados en la determinación de materia orgánica.

6.- CALCULOS

Están en función del por ciento de materia orgánica obtenido de acuerdo a la constante de Jackson.

Para conocer el por ciento de hidrógeno (% H) en una muestra se emplea la siguiente fórmula:

$$\% \text{ H} = \frac{\% \text{ de materia orgánica}}{15}$$

donde:

15 = Factor de correlación que utiliza Jackson, obtenido de datos experimentales (ver inciso 7).

7.- BIBLIOGRAFIA

- Jackson M.L.
Análisis Químico de Suelos.
Ediciones Omega.
Barcelona, España.
1970.

ANEXO II

**MODIFICACION DE NORMAS, NUEVOS PROCEDIMIENTOS Y
UTILIZACIÓN DE NUEVOS EQUIPOS PARA EL MONITOREO
AMBIENTAL**

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Cuantificación de subproductos (Modificación a la NOM-AA-22)

Debido a que la práctica de la NOM-AA-22-1985, tiene su aplicación en el estudio de generación de residuos sólidos para la proyección de un relleno sanitario o para fines de proyecto de una planta separadora de subproductos, lo cual, en nuestro caso no aplica. Nuestras necesidades son diferentes, ya que el relleno sanitario ya se encuentra en operación, además de que la razón por la que se estudian las características de los residuos sólidos es desde el punto de vista de monitoreo ambiental, donde la composición de los residuos sólidos nos interesa para saber la cantidad de material biodegradable que se esté disponiendo en el lugar, ya que es esa parte la que interviene en el proceso de estabilización de los residuos sólidos y la que generará biogás y lixiviados.

No hay que olvidar que la tendencia de los rellenos sanitarios ya no es disponer en ellos toda la basura, si no que, aprovechar al máximo los subproductos y disponer solamente el material biodegradable y algunos otros que ya no se puedan rescatar, es decir, reducir lo más posible el volumen a disponer; alargando con ello la vida útil del relleno. Por ello es necesario separar los residuos sólidos en los subproductos más comúnmente comerciables, ya que el relleno sanitario en un futuro tal vez no muy lejano puede comenzar a comercializarlos o reciclarlos, se eligieron: papel, latas de aluminio, cartón, fierro, vidrio y plástico en general. Lo anterior se debe a que los procesos de reciclado de subproductos más específicos como el Tetrapack, poliestireno, etc. requieren de muy altas inversiones, por lo que su mercado es muy reducido y con ello se reducen las posibilidades de que en la operación del relleno se comercialicen tales subproductos.

Para la separación de los subproductos se siguen los pasos que dicta la NOM - AA - 22, sólo que se modifica el número de subproductos:

a) Aparatos y equipo

- Báscula de piso capacidad de 200 Kg.
- Balanza granataria con capacidad para 20 Kg. y sensibilidad de 1 g
- Criba M 2.00 según Norma Mexicana NMX-B-231
- Mascarillas
- Recogedores
- Overoles
- Escobas
- Botas de hule
- Guantes de carnaza
- Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.80 m y calibre mínimo de 200
- Papelería y varios

El equipo antes descrito esta en función del número de participantes en la determinación que marca esta Norma; se requiere para ello, cuando menos de dos personas.

b) Selección

Obtención de la Muestra.

La muestra se extrae como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-15 y se toman como mínimo 50 Kg. que procede de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas.

c) Procedimiento.

Con la muestra ya obtenida como se establece en el punto anterior, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotar, de acuerdo con las siguiente clasificación:

- Cartón
- Lata
- Material biodegradable
- Papel
- Plástico
- Vidrio
- Otros

d) Cuantificación

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la balanza granataria y se anota el resultado en la hoja de registro.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = \frac{G_1}{G} \times 100$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G_1 = Peso del subproducto considerado, en Kg.; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 Kg.).

e) El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

f) Reporte

Los resultados se anotan, como se indica en la hoja de registro (véase apéndice).

g) Observaciones

Los cambios en peso durante la determinación, se deben principalmente a la liberación o admisión de humedad.

Se recomienda efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo.

Dentro de los residuos sólidos alimenticios se deben incluir todos aquellos residuos de fácil degradación, tales como: vísceras, apéndices o cadáveres de animales.

HOJA DE REGISTRO DE CAMPO

SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS

Localidad ----- Municipio ----- Estado -----
Fechas y hora de análisis ----- Peso de la Muestra ----- Kg.
Estrato socioeconómico ----- Tara de las bolsas ----- Kg.
Responsable del análisis ----- Dependencia o Institución -----

No.	SUBPRODUCTOS	PESO EN Kg.	% EN PESO	OBSERVACIONES
1	CARTÓN			
2	LATA			
3	MATERIAL BIODEGRADABLE			
4	PAPEL			
5	PLÁSTICO			
6	VIDRIO			
7	OTROS			

Nitrogeno Total (Modificación a la NMX-AA-24)

Equipo y material:

- Aparato de digestión Buchi con extractor de humos
- Aparato de destilación
- Tubos Buchi
- Potenciómetro

Reactivos:

- Acido sulfúrico concentrado

Soluciones y mezclas:

- Solución de ácido bórico con indicador.- Pesar 40 gr. de ácido bórico (H_3BO_3) y disolverlo en 1000 ml. de agua destilada que contenga 5 ml. de indicador mixto. Esta disolución almacén de ácido bórico se ajusta con NaOH hasta pH 5.
- Mezcla de catalizadores.- Pesar 62.5 gr. de sulfato de potasio y 6.25 gr. de sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), triturar con un mortero y mezclar homogéneamente.
- Solución NaOH 32%.- Disolver 320 gr. de NaOH en un litro de agua destilada.
- Solución H_2SO_4 0.01N.- Diluir 0.24 ml de ácido sulfúrico concentrado hasta completar un volumen de un litro con agua destilada. Estandarizar la solución con la solución valorada de carbonato de sodio seco.
- Solución valorada de carbonato de sodio.- Disolver 0.250 gr. de $NaCO_3$ en agua destilada y diluir a 50 ml. Titular tres alícuotas de esta solución de 10 ml. cada una, usando de 5 a 6 gotas de anaranjado de metilo como indicador. Calcular la normalidad real sustituyendo en la siguiente fórmula:

$$\text{Normalidad de } H_2SO_4 = (0.050 \text{ gr./}53) \times (1/ \text{ml. gastados en el bco.})$$

- Mezcla de indicador mixto.- Disolver 0.5 gr. de verde de bromocresol y 0.1 gr. de rojo de metilo en 100 ml. de etanol al 95%

Procedimiento:

- 1.- Pesar 1 gr. de muestra de residuos sólidos previamente preparada según la NOM-AA-52
- 2.- Colocar 1 gr. de la muestra envuelta en un tubo Buchi seco.
- 3.- Adicionar 30 ml. de ácido sulfúrico concentrado y 11.1 gr. de mezcla de catalizadores.
- 4.- Colocar en el digestor hasta una T° de 9 hasta que se vuelvan de color verde claro, dejar digerir 1 hora más. Dejar enfriar y destilar el amoniacal.

Destilación (Buchi):

- Transferir el tubo Buchi al destilador, adicionar en el equipo 20 ml. de agua y 140 ml. de NaOH 32%. destilar sobre 25 ml. de ácido bórico con indicador hasta completar un

volumen de 250 ml. (destilar por 8 min.) Titular la muestra hasta obtener un vire a palo de rosa.

Preparación de la muestra para análisis de laboratorio (Modificación a la NMX-AA-52)

Esta modificación consiste en el tipo de equipo que se utiliza para la molienda de la muestra de residuos sólidos, este equipo que se propone es de manufactura mexicana y tiene las siguientes características:

Molino micronizador marca Lasser

Modelo: 150 en acero al carbón

Potencia: 2 HP

Producción: 1 – 2 Kg/Hr. (valor para residuos sólidos)



Figura 17.- Molino micronizador modelo 150, para la preparación de la muestra para análisis de laboratorio.

Capacidad de campo (propuesta de metodología)

- a) **Objetivo y campo de aplicación:** El siguiente procedimiento es para la obtención de la capacidad de campo de los residuos sólidos que se disponen en un relleno sanitario.
- b) **Referencia:** El siguiente procedimiento se complementa con los estudios realizados por el D.D.F. para la capacidad de campo de las celdas de control de bordo de poniente III.
- c) **Equipo:**
 - Lisímetros
 - Báscula de piso con capacidad de 200 L.
 - Palas curvas
 - Pisón de mano
 - Escobas
 - Recogedores
 - Botas de hule
 - Mascarillas
 - Papelería y varios necesarios

Nota: En el Anexo 1 se describen con más detalle las características de los lisímetros y pisón de mano.

La capacidad de campo se define como: La cantidad de agua que pueden retener o absorber los residuos sólidos antes de lixiviarla, está íntimamente ligado con la producción de líquidos percolados contaminantes que se pueden generar en un sitio de disposición final de residuos sólidos.

La muestra es obtenida de los residuos eliminados de la primera fase del cuarteo, según la NOM-AA-15.

- d) La determinación del peso volumétrico seco se obtendrá de la prueba de humedad relativa, es decir, al peso volumétrico del lisímetro se le resta el peso del porcentaje de humedad, resultado de la prueba correspondiente.
- e) Se pesan los recipientes, antes de llenarlos con residuos determinándose de esta manera la tara del recipiente
- f) El empacado de los residuos dentro de los recipientes se hará en forma gradual. Compactándolas con un pisón de mano capa por capa, hasta alcanzar la compactación deseada, en general se realizan tres pesos volumétricos diferentes, el primero es aproximadamente el que tienen los residuos sólidos al ser depositados en los botes de basura, el segundo aproximadamente igual al que tienen los residuos sólidos dentro del camión recolector y el último el que tiene los residuos sólidos ya dispuestos en el relleno sanitario, es decir, 200 Kg./m³, 500 Kg./m³ y 750 Kg./m³.

- g) Para obtener el peso neto de los residuos sólidos se pesa el recipiente con estos dentro y se le resta el valor de la tara.
- h) En esta parte de la prueba se incluye un gato hidráulico para poder simular sobrecarga a los residuos sólidos, la carga se aplica por medio de un gato hidráulico el que se coloca debajo de un marco de acero junto con el lisímetro y que por reacción se desplaza hacia abajo comprimiendo los residuos sólidos. (ver figura 20).



Figura 18.- Gato hidráulico para simular la carga que sufren los residuos sólidos en el interior de un relleno sanitario.

- i) Se colocan los lisímetros, para agregar agua posteriormente, hasta alcanzar el nivel superior de los residuos ya compactados, con el fin de saturar su capacidad de absorción.
- j) Inmediatamente después, se realiza un drenado inicial del lisímetro por 15 minutos, para posteriormente efectuar un drenado intermedio de 24 horas y finalmente, llevar a cabo un drenado final constantes de 24 horas continuas, al término de las cuales, se da por concluida la experimentación.

CÁLCULOS.

$$\text{Humedad} = \frac{G - G''}{G} \times 100$$

H= Humedad en % ó Kg.. de agua/Kg.. de basura

G= Peso neto de la muestra

G''= Peso neto de la muestra seca, en Kg..

CAPACIDAD DE CAMPO

$$CC = \frac{(((H * PV * V / 100) + (Si - Di)) * d)}{(V * PV * (1 - H / 100))}$$

Donde:

CC= Capacidad de campo de los residuos sólidos en % de Humedad/ base seca ó Kg. de agua/Kg. de basura.

Si= Volumen de agua con el que se saturó el lisímetro al inicio de la determinación, en litros.

Di= Volumen de agua extraída del lisímetro con los drenados que se efectuaron durante la determinación, en litros.

d= Densidad del agua en Kg./Lt.

H= Humedad

PV= Peso volumétrico seco de los residuos sólidos , en Kg./Lt.

V= Volumen del recipiente del lisímetro, en Lt.

PARTÍCULAS AEROTRANSPORTABLES (METODOLOGÍA PROPUESTA)

Partículas viables

En este parámetro se ha implementado una metodología de muestreo para las partículas viables, proponiendo el equipo y los microorganismos que se monitorearán en cada campaña, en la NOM-AA-83 y 84 se menciona el monitoreo ambiental el aire en canto a partículas viables y totales, pero no se mencionan como realizarlo, ni que microorganismos monitorear. La metodología es la que se menciona en el punto 6.6.2 de este trabajo.