

01121
96



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO Y MODELACIÓN DEL FLUJO MASICO DE LIXIVIADOS Y GASES EN UN RELLENO SANITARIO ”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
FELIPE MONTAÑO RODRÍGUEZ

ASESOR DE TESIS :
ING. MIGUEL ANGEL GONZÁLEZ LÓPEZ

**TESIS CON
FALSA DE ORIGEN**

MÉXICO, D.F.

2003





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.

Agradecimientos

Le dedico esta tesis a mis profesores en la Facultad a quienes debo tan valiosa formación, a la Universidad por haberme dado la oportunidad de realizar mi sueño de ser Ingeniero, pero en especial al Ingeniero Miguel Ángel González López a quien ya valoraba bastante como profesor y quien fue de capital importancia para la realización de esta Tesis, a quien agradezco su preocupación, su tiempo y sobre todo el alentarme a continuar en los momentos difíciles por los que siempre recordaré su inapreciable ayuda y confianza.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTTT/016/01

Señor
FELIPE MONTAÑO RODRIGUEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MIGUEL ANGEL GONZALEZ LOPEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"DETERMINACION DE LA COMPOSICION FISICO-QUIMICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN MEXICO Y MODELACION DEL FLUJO MASICO DE LIXIVIADOS Y GASES EN UN RELLENO SANITARIO"

- I. INTRODUCCION
- II. LEGISLACIÓN NACIONAL EN MATERIA DE RESIDUOS SÓLIDOS
- III. CARACTERIZACIÓN Y GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO
- III. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN FISICO-QUIMICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MÉXICO
- IV. MODELACIÓN DEL FLUJO MÁSSICO LIXIVIADOS Y GASES PROVOCADOS POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN UN RELLENO SANITARIO
- V. CASO ESTUDIO
- VI. CONCLUSIONES

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. Universitaria y de febrero de 2001
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
DIRECTOR

Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM y Unidad en formato electrónico a través de
la página web de la biblioteca de la UNAM.

Felipe Montaña
Rodríguez
15/11/03 / 2003
Firma

CONTENIDO

Introducción.

I. Legislación nacional en materia de residuos sólidos.

- I.1 Ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente.
- I.2 Normas Oficiales Mexicanas.
- I.3 Normas Mexicanas.
- I.4 Principios para el manejo de RSM a nivel internacional.

II. Caracterización y generación de los residuos sólidos en México.

- II.1 Distribución de generación de los residuos sólidos.
- II.2 Composición física típica de los residuos sólidos.
- II.3 Eficiencia en la disposición adecuada de residuos.

III. Metodología para determinar la composición físico-química de los residuos sólidos municipales en México.

- III.1 Constituyentes orgánicos de los residuos sólidos municipales.
- III.2 Desarrollo del proceso de conversión química y biológica en el tratamiento de residuos sólidos municipales.

IV. Generación de lixiviados y gases provocados por la descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario.

- IV.1 Generación de los principales gases en el relleno sanitario.
- IV.2 Generación de gases en las diferentes etapas del relleno sanitario.
- IV.3 Generación de lixiviados.
- IV.4 Generación de oligogases.

V. Caso estudio.

- V.1 Proyecto de relleno sanitario para la ciudad de Irapuato, Guanajuato.

VI. Conclusiones.

Anexo I.

Bibliografía.

Introducción.

México presenta un elevado índice de crecimiento demográfico e industrial así como un incremento en el consumo de artículos desechables a los que no se les promueve un manejo adecuado. De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la generación de RSM en los cincuenta era de sólo 300 gramos por habitante por día, actualmente es de 853 gramos por habitante por día. Los RSM han cambiado de contener materiales mayoritariamente orgánicos, a elementos cuya descomposición es lenta y requieren de procesos físicos, biológicos o químicos complementarios para procesarse.

Con el fin de reducir los impactos al ambiente y a la salud que se tienen por el manejo inadecuado de los RSM, las políticas actuales deben evolucionar, para lograr un control más eficiente y una reducción en la generación de residuos, y promover sistemas de manejo integrales que sean viables desde las perspectivas técnica, económica, social y ambiental que permitan su reuso, reciclado, composteo y la recuperación de su valor calorífico.

Es necesaria la participación de los diferentes sectores de la sociedad, instituciones, empresas y gobierno compartiendo la responsabilidad, y adecuar los sistemas de manejo de residuos mediante la incorporación de herramientas tecnológicas y administrativas modernas.

Este cambio de actitud puede verse reflejado de dos maneras:

Una mayor participación ciudadana en los programas de reciclaje/compostaje, que se refleja en un mayor beneficio potencial para las autoridades responsables del manejo integral de los residuos sólidos.

La elección y compra de productos y servicios que generan una cantidad mínima de residuos sólidos. Esto constituye un mensaje muy claro en términos comerciales para los productores/fabricantes, de manera que el diseño de productos que generen menos residuos sólidos para el consumidor represente un atributo mercadotécnico positivo.

Durante el año 2000, se recolectó el 83% del total de los residuos generados (69,886 toneladas) y quedaron dispersas diariamente 14,314 toneladas. Del total generado, poco más del 49% se depositaron en sitios controlados, esto es, 41,258 toneladas por día, lo que significa que 42,942 toneladas se disponían diariamente a cielo abierto, en tiraderos no controlados, tiraderos clandestinos o dispersos de forma inadecuada.

En la presente Tesis se presenta el desarrollo de una metodología para determinar la composición físico-química de los RSM en los sitios de disposición final, la obtención de los componentes de la reacción estequiométrica que se lleva a cabo durante la descomposición anaerobia de los residuos sólidos y la determinación de las necesidades de agua del sistema para una eficiente estabilización de la materia orgánica.

En el capítulo I se presenta recabada información sobre la normatividad actualmente aplicable en materia de residuos sólidos municipales en México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas, así como los organismos que las emiten y las autoridades que se encargan de vigilar su cumplimiento. Finalmente se intenta proporcionar una perspectiva en cuanto a las políticas sobre residuos sólidos a nivel internacional.

El capítulo II reúne información general sobre la situación actual de los residuos sólidos en México, la generación y estimaciones para algunos Estados, la situación de México comparada con países industrializados y de su misma condición, la composición y algunos indicadores promedio sobre la caracterización de RSM a nivel nacional, internacional y para el Distrito Federal, además se presentan algunos datos sobre el manejo de residuos en el D.F., que tienen que ver con sitios de disposición final, plantas de compostaje, estaciones de transferencia y de manera puntual, el problema sobre los envases de PET, por su elevada producción, su dispersión en el medio ambiente y el elevado volumen que ocupan en los sitios de disposición final.

En el capítulo III se presenta la metodología para determinar los constituyentes orgánicos de los residuos sólidos municipales, partiendo de la composición física, para obtener las principales características para su estudio, humedad, contenido de energía, composición química y necesidades de agua, así como la generación de los principales gases producto de la descomposición anaerobia de los residuos sólidos.

El capítulo IV trata con más detalle los aspectos teóricos de el proceso de generación y movimiento de los principales gases, metano y dióxido de carbono, la generación y migración de oligogases. Además se presentan los componentes del balance hidrológico para determinar la generación de lixiviados. La composición del lixiviado, los parámetros de muestreo, propiedades y concentraciones típicas de sus constituyentes y propiedades físicas más importantes.

En el capítulo V se muestra la aplicación de la metodología al proyecto de relleno sanitario para la ciudad de Irapuato, Guanajuato, realizado por la SEDUE. Subsecretaría de Ecología en 1985, para el cual se obtuvieron los datos de generación y composición, que representan la fuente principal de información para el desarrollo de dicha metodología.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

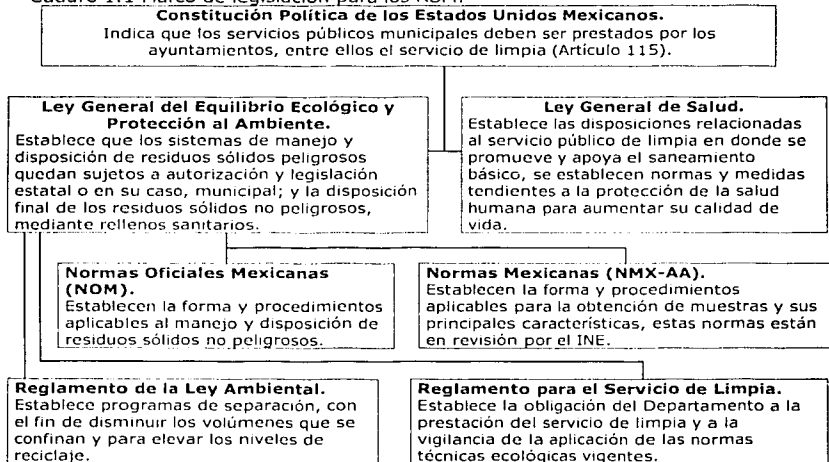
Capítulo I

I Legislación nacional en materia de residuos sólidos.

La problemática del manejo integral de los residuos sólidos no puede abordarse exclusivamente desde el punto de vista técnico, debido a su alta complejidad que involucra la forma de administración de los recursos, la capacidad administrativa de los organismos responsables de su gestión y la forma en que se desarrolla el país económica y socialmente.

El marco legal que se aplica al manejo de Residuos Sólidos Municipales (RSM) incluye leyes, reglamentos y normas, la SEMARNAT expide Normas Oficiales Mexicanas en materia de funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de los RSM, los Estados emiten las regulaciones jurídicas y los Municipios autorizan el funcionamiento de dichos sistemas. En el cuadro 1.1 se presenta el marco actual de la legislación en el ámbito de los residuos sólidos municipales.

Cuadro 1.1 Marco de legislación para los RSM.



Fuente: Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Jiménez Peña A., 1999.

I.1 Ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) implantó recientemente atribuciones exclusivas del Gobierno Federal en materia de emisión de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables al manejo de todo tipo de residuos, además de considerar la posibilidad de convenir con estados y municipios su intervención en cuanto al control de los residuos de baja peligrosidad.

La LGEEPA faculta a la autoridad federal ambiental para que establezca reglas técnicas para el almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales.

Los siguientes extractos pertenecen a la LGEEPA, los cuales contienen las políticas y disposiciones aplicables en materia de residuos sólidos municipales.

Así, en el Artículo 89, Fracción IV se tiene que:

La aplicación de la disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente Ley.

Además, en su Capítulo IV "Prevención y Control de la Contaminación del Suelo" se contempla lo aplicable a residuos sólidos municipales en los Artículos siguientes:

ARTÍCULO 134.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:

- I.- Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo.
- II.- Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos.
- III.- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.
- IV.- La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar, y
- V.- En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable

ARTÍCULO 135.- Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se considerarán, en los siguientes casos

- I.- La ordenación y regulación del desarrollo urbano.
- II.- La operación de los sistemas de limpieza y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios.
- III.- La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorgan, y
- IV.- El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

ARTÍCULO 136.- Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

- I.- La contaminación del suelo.
- II.- Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos.
- III.- Las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación, y
- IV.- Riesgos y problemas de salud.

ARTÍCULO 137.- Queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales

La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación

de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

ARTÍCULO 138.- La Secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para:

- I.- La implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales, y
- II.- La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.

ARTÍCULO 139.- Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.

ARTÍCULO 140.- La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

I.2 Normas Oficiales Mexicanas.

La Norma Oficial Mexicana en relación a la selección del sitio para la construcción, operación, monitoreo y clausura de los rellenos sanitarios se encuentra en desarrollo por el INE. Se cuenta al momento con la **NOM-083-ECOL-1996** emitida por la SEMARNAT:

QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.

El siguiente es un extracto de la misma que contiene las especificaciones y procedimientos para la ubicación de los sitios de disposición final:

3.2 Las condiciones mínimas que debe cumplir un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales son las siguientes:

3.2.1 Aspectos generales

3.2.1.1 Restricción por afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas.

3.2.1.1.1 Las distancias mínimas a aeropuertos son:

a) De 3000 m (tres mil metros) cuando maniobren aviones de motor a turbina.

b) De 1500 m (mil quinientos metros) cuando maniobren aviones de motor a pistón.

3.2.1.1.2 Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios.

3.2.1.1.3 No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas.

3.2.1.1.4 Se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, polductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.

3.2.1.1.5 Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m (mil quinientos metros), a partir del límite de la traza urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2500 habitantes. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.

3.2.1.2 La localización de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, para aquellas localidades con una población de hasta 50,000 habitantes, o cuya recepción sea de 30 toneladas por día, de estos residuos, se debe hacer considerando exclusivamente las especificaciones establecidas en los puntos 3.2.3 y 3.2.4 de esta Norma Oficial Mexicana

3.2.2 Aspectos hidrológicos

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.

3.2.3 Aspectos geológicos

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.

3.2.4 Aspectos hidrogeológicos

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 $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$.

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 $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$.

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 abalimio, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.

3.2.5 Consideraciones de selección

3.2.5.1 En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua superficial y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería.

4. PROCEDIMIENTOS

4.1 La selección de un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios.

4.2 Estudios geológicos

4.2.1 Se deben realizar estudios geológicos de tipo regional y local de acuerdo con las siguientes características:

4.2.1.1 Estudio geológico regional

Determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos de agua, exploración geotérmica, petrolera, o de otra índole.

4.2.1.2 Estudio geológico local

Determinar las unidades litológicas en el sitio, su geometría, distribución y presencia de fallas y fracturas. Asimismo debe incluir estudios geofísicos para complementar la información sobre las unidades litológicas. El tipo de método a utilizar y el volumen de trabajo, debe garantizar el conocimiento tridimensional del comportamiento y distribución de los materiales en el subsuelo hasta una profundidad y distribución horizontal adecuada a las características geológicas e hidrogeológicas del área en que se ubica el sitio.

4.2.1.3 Si los resultados geológicos y geofísicos preliminares muestran que no existe conexión aparente entre las rocas fracturadas con acuíferos o que la distribución de unidades litológicas de baja permeabilidad es amplia, se debe realizar un mínimo de una perforación en la periferia del sitio.

4.3 Estudios hidrogeológicos

4.3.1 Los estudios hidrogeológicos deben considerar cinco etapas:

1. Evidencias y uso del agua subterránea.
2. Identificación del tipo de acuífero.
3. Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo.
4. Análisis del sistema de flujo
5. Evaluación del potencial de contaminación.

4.3.1.1 Evidencias y uso del agua subterránea

Definir la ubicación y distribución de todas las evidencias del agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, a escala regional y local. Asimismo se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

4.3.1.2 Identificación del tipo de acuífero

Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semi-confinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.

4.3.1.3 Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo

Determinar la profundidad al nivel piezométrico en el sistema acuífero, dirección y velocidad del agua subterránea a partir de los parámetros de conductividad hidráulica, carga hidráulica y porosidad efectiva.

Conocer la composición química del agua subterránea.

Determinar la conductividad hidráulica (K), la fracción de carbono orgánico (FCO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes estratos del subsuelo de la zona no saturada.

4.3.1.4 Análisis del sistema de flujo

Con base en la información geológica y de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3 de esta Norma Oficial Mexicana y de otros elementos hidrogeológicos, tales como zonas de freatofitas, zonas de recarga y descarga, etc., se debe definir el sistema de flujo local y regional del área de estudio.

4.3.1.5 Evaluación del potencial de contaminación

Se debe integrar toda la información obtenida de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2, 4.3.1.3 y 4.3.1.4 de esta Norma Oficial Mexicana, para determinar si el sitio es apto o si requiere obras de ingeniería. Para ello se debe considerar la gráfica del Anexo 2.

Esta gráfica define la condición de tránsito de la infiltración aceptable que deben tener los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, su valor de frontera está definido por $(f) \leq 3 \times 10^{-10} \text{seg}^{-1}$ que representa el factor de tránsito de la infiltración, el cual relaciona a la velocidad promedio final de infiltración contra los diferentes espesores de los materiales de la zona no-saturada incluyendo la porosidad de ellos, según la siguiente fórmula.

$$f = (K \cdot i) / (U \cdot d)$$

Donde:

f = factor de tránsito de la infiltración, (seg⁻¹).

d = espesor de la zona no-saturada, (m).

U = porosidad promedio efectiva de los materiales de la zona no-saturada, (adimensional).

i = gradiente hidráulico, (adimensional).

K = conductividad hidráulica promedio de los materiales de la zona no-saturada, (m/s).

La velocidad promedio (v) se calcula a partir de la conductividad hidráulica saturada (K) de los materiales del subsuelo en la zona no-saturada, dividida por la porosidad promedio efectiva (U), considerando un gradiente hidráulico unitario (i), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V = Ki/U.$$

El valor de (f) obtenido, para el caso de que se trate, debe graficarse para determinar su aptitud y viabilidad. Los sitios aptos son aquellos cuyo factor de tránsito de la infiltración es:

$$f \leq 3 \times 10^{-10} \text{seg}^{-1}.$$

4.3.1.6 Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes

Prevía autorización de los Gobiernos de los Estados o en su caso de los Municipios, con arreglo a las disposiciones de la presente Norma Oficial Mexicana, se pueden elegir sitios de disposición final de residuos sólidos municipales que no reúnan alguna de las condiciones establecidas anteriormente, cuando se realicen obras de ingeniería, cuyos efectos resulten equivalentes a los que se obtendrían del cumplimiento de los requisitos previstos en los puntos 3.2.1.1, 3.2.2.1, 3.2.2.3, 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.5.1 de esta Norma Oficial Mexicana; obras con las cuales se debe acreditar técnicamente que no se afectaría negativamente al medio ambiente.

I.3 Normas Mexicanas.

También existen Normas Mexicanas (NMX-AA), en las cuales se determinan los procedimientos a seguir para llevar a cabo los muestreos, y de esta manera obtener los principales parámetros de los residuos sólidos municipales (Cuadro 1.2); sin embargo, éstas no fijan límites máximos de elementos presentes en los residuos sólidos, lo cual es una importante deficiencia para el control de la entrada de residuos peligrosos a los centro de disposición final de RSM.

Cuadro 1.2 Normas Mexicanas (NMX-AA) para muestreo y obtención de propiedades de los RSM.

NMX-AA	Aspecto que cubren
16-1984	Determinación de humedad
18-1984	Determinación de cenizas
24-1984	Determinación de Nitrógeno total
25-1984	Determinación de pH, método potenciométrico
92-1984	Determinación de azufre
15-1985	Muestreo-método de Cuarteo
19-1985	Peso volumétrico <i>in situ</i>
21-1985	Determinación de materia orgánica
22-1985	Selección y cuantificación de subproductos
33-1985	Determinación de poder calorífico superior
52-1985	Preparación de muestras en laboratorio para su análisis
61-1985	Determinación de la Generación
67-1985	Determinación de la relación carbono/nitrógeno
94-1985	Determinación de fósforo total
68-1986	Determinación de hidrógeno a partir de materia orgánica
80-1986	Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica

Fuente: Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Jiménez Peña A., 1999.

Las Normas antes mencionadas se muestran en el Anexo I, éstas fueron modificadas de Normas Oficiales Mexicanas a Normas Mexicanas, de acuerdo al Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de Noviembre de 1992.

En la elaboración de estas Normas participaron los siguientes organismos:

- SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA
Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
Dirección General de Estudios Prospectivos.
Comisión de ecología.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4 Principios para el manejo de RSM a nivel internacional.

Derivado de los estudios que lleva a cabo la Organización de las Naciones Unidas a favor del medio ambiente, se emiten los principios contenidos en la Agenda o Programa 21 relativos al manejo ambientalmente adecuado de los residuos sólidos no peligrosos.

El objetivo principal que se maneja a estos niveles, es el de Manejo ambientalmente Adecuado (MAA) de los residuos, entendiéndose por este, a «la adopción de todos los pasos prácticos necesarios para asegurar que no se provoquen efectos adversos a la salud o al ambiente como resultado de dicho manejo». Dichos principios se enuncian a continuación:

Principio de reducción en la fuente

Implica que se debe minimizar la generación de los residuos tanto en cantidad como en su potencial de causar la contaminación al ambiente, entre otros, utilizando diseños adecuados de procesos y productos.

Principio de inventario de ciclo de vida

Demanda la realización del inventario a fin de que las sustancias y productos se diseñen y manejen de manera que se reduzcan al mínimo sus impactos adversos al ambiente, en cada una de las fases de su ciclo de vida: generación, uso, recuperación y disposición final.

Principio de precaución

Plantea la necesidad de adoptar medidas preventivas, considerando los costos y beneficios de la acción o inacción, cuando exista evidencia científica, aún limitada, para sospechar que la liberación al ambiente de una sustancia, residuo o energía, pueden causar daños a la salud o al ambiente.

Principio de control integral de la contaminación

Requiere que el manejo integral de los residuos se realice con un enfoque multimédicos, para evitar la transferencia de contaminantes de un medio a otro.

Principio de estandarización

Establece la necesidad de contar con estándares o normas que permitan el manejo ambientalmente adecuado de los residuos en todas las fases de su ciclo de vida.

Principio de autosuficiencia

Demanda que todos los países cuenten con la infraestructura necesaria para asegurar que los residuos que generen se manejen de manera ambientalmente adecuada en su territorio.

Principio de proximidad

Mediante el cual se busca que el acopio, tratamiento o disposición final de los residuos tengan lugar tan cerca de la fuente generadora como sea posible y que sea técnica y económicamente factible.

Principio de soberanía

Bajo el cual cada país debe tomar en consideración sus condiciones políticas, sociales y económicas, al establecer su estructura nacional de manejo integral de residuos.

Principio quien contamina paga

Hace responsable de remediar las consecuencias de la contaminación a quien la produzca.

Principio de participación pública

Demanda asegurarse que al diseñar e instrumentar los sistemas de manejo integral de residuos se informe e involucre a la población.

También se enuncian los elementos clave a considerar, en el establecimiento de sistemas de manejo ambientalmente adecuado de residuos, los cuales se resumen a continuación:

Desarrollar una infraestructura regulatoria y mantener la vigilancia de su aplicación.

Acondicionar sitios e instalaciones autorizadas, así como tecnologías para el manejo integral de los residuos y equipos para el control de la contaminación que permitan la prevención o reducción de la misma a niveles socialmente aceptables.

Capacitar continuamente a los operadores de los sitios e instalaciones de manejo integral de residuos, que supervisen que su operación sea ambientalmente adecuada.

Desarrollar planes de acción a instrumentar cuando la supervisión y el monitoreo de los sitios e instalaciones indiquen un nivel de emisiones contaminantes inaceptable.

La ONU también considera importante, para lograr el desarrollo sustentable del manejo ambientalmente adecuado de residuos, el desarrollar el conocimiento sobre diversos puntos de control en los que se debe llevar un seguimiento, los cuales se enuncian a continuación:

Cantidades y características de los residuos generados y valorizables.

Oportunidades de prevención de la generación de residuos.

Modalidades de prevención y control para cada tipo o grupo de residuos.

Criterios para la selección de las tecnologías y aspectos de seguridad relacionados así como regulaciones nacionales o internacionales aplicables.

Oportunidades de recuperación, reciclado, composteo y aprovechamiento del biogas.

Aspectos económicos de las operaciones de reciclado, composteo o disposición final, con aprovechamiento del biogas.

Propósito, enfoque y definición de los sitios, instalaciones, equipos y operaciones en las que se manejarán los residuos integralmente.

Riesgos ambientales en todas las etapas del manejo de los residuos.

Procedimientos para la evaluación de los impactos ambientales previsible derivados del establecimiento y operación de las instalaciones, relativos a los parámetros para la selección del sitio para ubicarlas, las opciones tecnológicas que involucren y el plan de diseño, construcción y operación.

Lineamientos para el monitoreo, cuando sea el caso, y el desarrollo de acciones preventivas y correctivas.

Lineamientos para el saneamiento, clausura y mantenimiento posclausura de las instalaciones.

Como efecto de la globalización de la economía, las políticas ambientales deben asegurar alcanzar sus metas al más bajo costo. Analizando impactos sobre el medio ambiente de medidas de soporte económico, como los subsidios. En 1998 un reporte de la OECD destacó que muchos subsidios dañaban el ambiente mediante la promoción de políticas de sobre-producción y el despilfarro de los recursos, esto sin considerar el gasto que los gobiernos destinan para el combate de enfermedades relacionadas con la disposición inadecuada de los residuos.

Trabajos recientes se concentran ahora en buscar como remover los malos incentivos, los cuales continúan existiendo en muchos sectores. La cooperación internacional es importante para evitar o reducir los efectos de ciertos males que aquejan a países en desarrollo, como la pérdida de competitividad o injusticia social, causados por las reformas a los subsidios.

Reformas de impuestos ecológicas están siendo examinadas de manera que las políticas ambientales y los impuestos puedan, no solo ser compatibles, sino también realmente reforzarse mutuamente. Impuestos relativos al ambiente son

crecientemente más comunes en países miembros de la OECD, y una extensa base de datos sobre su uso esta siendo desarrollada en cooperación con Eurostat y la Agencia de Energía Internacional. Se examinan tipos de impuestos, ingresos y exenciones a impuestos entre otros

La prevención.

En países industrializados se han establecido severas restricciones a la disposición final de los residuos en rellenos sanitarios que incluyen:

La prohibición de confinar ciertos tipos de residuos como las llantas, aparatos electrodomésticos, muebles y la disminución de residuos de jardinería y otros residuos orgánicos que pueden producir lixiviados.

La restricción del confinamiento de residuos potencialmente reciclables, siempre y cuando sea técnica, económica y ambientalmente conveniente su reciclado.

Evitar el depósito en ellos de escombros y residuos industriales no peligrosos que pueden ser sometidos a otras modalidades de manejo.

Capítulo II

II Caracterización y generación de los residuos sólidos en México.

Para cualquier sistema integral de manejo de RSM se debe contar con información confiable sobre su generación y composición de la zona particular por estudiar. Esto debido a la heterogeneidad de los residuos, la introducción de materiales de alta durabilidad, el consumo creciente de productos de un solo uso y las tácticas de mercado para hacer a los productos más atractivos al consumidor.

La evolución en la composición de los materiales reciclables durante el período 1991 a 1997 muestra un incremento importante en productos desechables como el plástico, papel y vidrio, 4.57%, 3.06% y 1.14% respectivamente, mientras que en los residuos orgánicos (residuos de comida y jardinería, principalmente) han tenido un decremento del 7.62%. Debido, principalmente, al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país, al cambio de hábitos de consumo de la población, la elevación de los niveles de bienestar y la tendencia a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos.

II.1 Generación de residuos sólidos.

En función de la generación y las características de los RSM, el país se ha dividido en cinco zonas: la Centro, el D.F., la Norte, la Sur y la Fronteriza. En el cuadro 2.1 se encuentran los principales índices para evaluar la generación de las zonas antes mencionadas y el saldo a nivel nacional.

La generación per cápita promedio estimada para las ciudades medias y grandes de la República Mexicana fue, para 1997, de 0.98 Kg/hab/día. Se espera que la generación aumente en los próximos quince años a una cifra de 1.25 Kg/hab/día.

Cuadro 2.1 Generación anual de residuos sólidos por zona geográfica proyectada para 1998.

Zona	Población proyección 1998	Generación per cápita (Kg/hab/día)	Generación diaria (ton)	Generación anual (ton)
Centro	51,117,711	0.788	40,281	14,702,565
D.F.	8,683,824	1.329	11,541	4,212,465
Norte	19,501,930	0.891	17,376	6,342,240
Sur	12,615,849	0.679	8,328	3,039,721
Frontera Norte	6,347,055	0.956	6,067	2,214,455
Nacional	98,266,369	0.853	83,831	30,598,315

Fuente: Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. SEDESOL, México. Sancho y Cervera J. Rosiles G. 1999

Las proyecciones que se muestran en los cuadros 2.2 y 2.3 se hicieron basándose en la relación que se presenta entre las actividades económicas de cada localidad y la generación y composición de los RSM generados, con el objeto de poder asociar

actividad económica con generación de residuos para una localidad dada.

Cuadro 2.2 Localidades con la mayor generación per cápita para los próximos 15 años (Kg/hab/día).

Localidad	1997	Estimado
		2010
Cancún, Q.R.	1.49	1.85
Distrito Federal	1.34	1.74
Monterrey, N.L.	1.27	1.64
Mérida, Yuc.	1.27	1.64
Manzanillo, Col.	1.25	1.56

Fuente: Estadísticas e indicadores de inversión sobre RSM en los principales centros urbanos de México, 1997.

Cuadro 2.3 Localidades con la menor generación per cápita para los próximos 15 años (Kg/hab/día).

Localidad	1997	Estimado
		2010
Guadalupe, Zac.	0.55	0.67
Chilpancingo, Gro.	0.55	0.67
Aguascalientes	0.56	0.72
Córdoba, Ver.	0.62	0.76
Durango, Dgo.	0.66	0.80

Fuente: Estadísticas e indicadores de inversión sobre RSM en los principales centros urbanos de México, 1997.

Por último y, dado que no puede perderse de vista que el país cuenta con una importante, aunque decreciente porción de población rural (alrededor del 25%), puede estimarse que la generación total actual de residuos sólidos urbanos a nivel nacional es de alrededor de 80,000 toneladas por día. Esto significa, que la República Mexicana genera aproximadamente 30 millones de toneladas por año de residuos sólidos urbanos.

Algunos datos de países de la condición de México y otros de primer mundo se comparan en el cuadro 2.4 para dar una idea del lugar que ocupa nuestro país en la generación de RSM.

Cuadro 2.4 Tasa comparativa de generación per cápita de residuos sólidos municipales en distintos países.

País	Generación per cápita (Kg/hab/día)
E.U.A.	1.970
Canadá	1.900
Finlandia	1.690
Holanda	1.300
Suiza	1.200
Japón	1.120
Brasil (Sao Paulo)	1.350
Argentina (Buenos Aires)	0.880
Chile (Santiago)	0.870
México	0.853

Fuente: Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. SEDESOL, México. Sancho y Cervera J., Rosiles G. 1999.

II.2 Composición típica de los residuos sólidos.

La composición de los residuos sólidos municipales responde a la distribución de hábitos de consumo y poder adquisitivo de la población. Así la composición en la zona Sur del país tiene mayores contenidos de residuos de jardinería, mientras que en las más importantes zonas urbanas este mismo producto aparece en menor proporción.

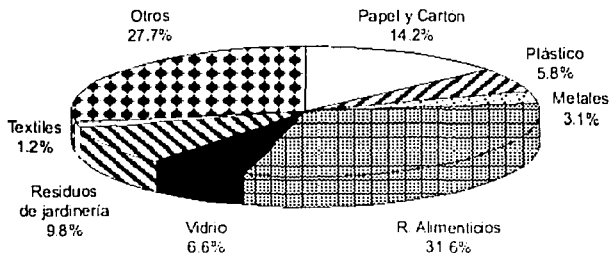
Sin duda, la evolución tecnológica ha influido en la calidad de los residuos, hace 20 años el porcentaje de plástico apenas llegaba al 1% y el vidrio alcanzaba el 3%. En la actualidad, el vidrio se ha mantenido y el plástico ha aumentado en su participación. La materia orgánica tiende a disminuir en forma ligera y gradual, pues ha pasado de un 65 a 70% de aquellos años, a poco más del 40% en la actualidad.

El potencial económico de la recuperación y reciclado de productos contenidos en los RSM, sumaría en total más de 16.8 millones de pesos diarios. Vale la pena mencionar la evolución observada en las características de los RSM que se generan, no sólo en la cantidad sino también en su composición cambia de temporada a temporada. Mientras que en el verano se presenta un aumento en la cantidad de materia orgánica debido a la disponibilidad de una serie de frutas y verduras, en el invierno ésta se reduce hasta en un 10%, aumentando los materiales de más lenta degradación.

En cuanto a la parte que aportan los residuos alimenticios, esta estará directamente ligada a la participación de la industria y el comercio para cada ciudad. Así, se tiene que en localidades con poco desarrollo industrial y comercial, se mantienen las aportaciones más altas.

De manera semejante los residuos de jardinería aportan según el nivel de desarrollo industrial y comercial de la localidad. En la figura 2.1 se presenta un resumen de las proporciones de los subproductos a nivel nacional.

Figura 2.1 Indicadores promedio de los subproductos presentes en los RSM generados a nivel nacional.



Fuente: INE/SEDESOL.

Uno de los aspectos que resulta importante resaltar, se refiere al hecho de que la composición y presencia de determinados subproductos dentro de los residuos sólidos municipales (sobre todo domiciliarios), está más determinada por aspectos culturales y patrones de consumo, por la época del año y por los festejos y/o eventos particulares de cada localidad, que por la actividad económica de la región y/o zona donde se localizan.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Cuadro 2.5 Indicadores promedio de la caracterización de RSM a nivel internacional.

Subproducto	E.U.A.	Francia	México	Colombia
Papel y cartón	40%	35%	14%	22%
Plástico	8%	7%	6%	5%
Metales	9%	5%	3%	1%
Textiles	-	5%	1%	4%
Vidrio	7%	12%	7%	2%
R. alimenticios	18%	21%	32%	56%
R de jardinería	7%	-	10%	10%
Otros	11%	15%	27%	-

Fuente: Estadísticas e indicadores de inversión sobre RSM en los principales centros urbanos de México, 1997.

En el cuadro 2.5 se presentan indicadores representativos con el objeto de que se cuente con una mejor idea acerca de la composición promedio de los residuos municipales de México con respecto a otras naciones y, con un punto de referencia para el análisis objetivo.

Se presentan a continuación (cuadro 2.6) los promedios de composición de los RSM para los dos períodos considerados en las zonas en que se dividió el país.

Cuadro 2.6 Composición de los residuos sólidos municipales.

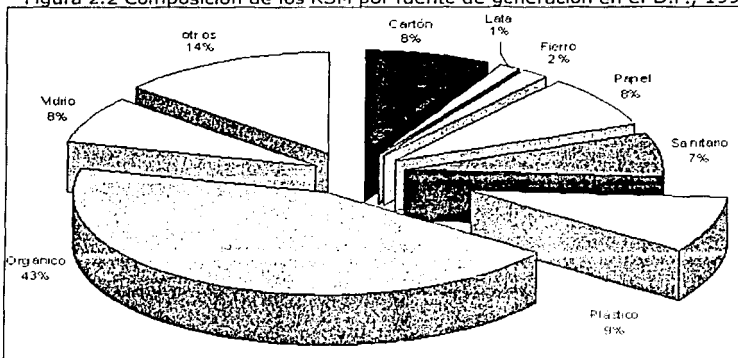
Subproductos	Zona geográfica									
	Fronteriza		Norte		Sur		Centro		D.F.	
	74/88	91/97	74/88	91/97	74/88	91/97	74/88	91/97	74/88	91/97
Cartón	2.96	3.97	4.20	4.37	4.08	1.83	4.43	4.84	3.28	5.36
Residuos finos	4.59	1.37	9.52	2.23	6.16	3.51	6.25	8.08	0.94	1.21
Hueso	0.51	0.50	0.58	0.64	0.93	0.27	0.60	0.25	0.82	0.08
Lata	3.07	2.93	2.42	1.40	2.06	1.70	2.75	2.97	1.59	1.58
Material ferroso	0.50	1.18	0.45	1.48	0.85	0.29	1.35	0.40	0.51	1.39
Material no ferroso	0.22	0.23	0.56	0.65	0.44	0.94	0.99	1.70	0.21	0.06
Papel	13.83	12.13	9.98	10.60	8.63	13.68	6.77	8.85	12.43	14.58
Pañal desechable	4.87	6.55	2.54	8.31	2.74	6.00	3.94	5.72	3.00	3.37
Plástico película	2.63	4.79	3.72	5.12	3.26	1.66	3.89	1.72	5.04	6.24
Plástico rígido	2.75	2.90	2.34	3.15	1.93	1.95	2.34	1.23	4.76	4.33
R. de jardín	15.05	16.10	7.34	19.76	6.92	7.11	7.73	26.98	3.97	5.12
R. alimenticios	25.22	26.97	32.73	21.27	37.46	38.54	40.26	16.34	44.14	34.66
Trapo	2.48	1.97	1.91	2.40	1.97	0.81	1.23	2.16	2.37	0.64
Vidrio color	3.91	2.06	3.30	0.93	2.81	4.25	3.88	0.60	2.50	4.00
Vidrio transparente	4.14	4.59	4.19	5.25	4.07	5.05	4.20	3.72	4.32	6.67
Otros	13.37	11.50	8.45	2.27	14.08	12.33	9.05	14.10	9.91	10.41
Totales	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México SEDESOL. Mexico Sancho y Cervera J. Rosiles G 1999

La figura 2.2 muestra la composición de los residuos generados en cinco sectores, datos recopilados por la Dirección General de Servicios Urbanos con investigaciones y muestreos en campo.

Los datos indican que la mayor cantidad de residuos corresponde al alimenticio de hogares, comercios y servicios; seguido de subproductos como plástico, cartón y vidrio.

Figura 2.2 Composición de los RSM por fuente de generación en el D.F., 1997.



Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos, GDF, 1997.

II.3 Eficiencia en el manejo de residuos sólidos en el DF.

En la operación del sistema de manejo de residuos sólidos en el Distrito Federal, se encuentran articuladas, la Secretaría de Obras y Servicios a través de la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) y las delegaciones políticas, las cuales se encargan de:

La recolección domiciliaria y barrido de calles y vialidades.

El transporte de los residuos a estaciones de transferencia.

El transporte de los residuos de las estaciones de transferencia hacia cualquiera de las tres plantas de selección y recuperación de residuos (ver cuadro 2.7).

La disposición en el relleno sanitario de los residuos de las estaciones de transferencia y de las plantas de selección y recuperación de residuos.

Los sitios de disposición final que actualmente están en funcionamiento en el DF son, el de Santa Catarina y el de Bordo Poniente Etapa IV. Santa Catarina se localiza aproximadamente en el kilómetro 16 de la carretera federal México-Puebla. Bordo Poniente IV se encuentra aproximadamente a 4km al Noreste del aeropuerto de la ciudad de México.

El método para la disposición final de los residuos instrumentado por el Gobierno de la ciudad es técnicamente satisfactorio, algunas mejoras menores en el sistema de tratamiento de lixiviados bastan para operar eficazmente el manejo de RSM. Sin embargo, se tiene un problema para un futuro cercano debido a que los rellenos están por completar su capacidad máxima y será necesario un nuevo sitio de disposición final aproximadamente para el año 2013. Lo cual implica la búsqueda de un nuevo terreno que, bajo las condiciones actuales de uso de suelo del DF plantea serias dificultades.

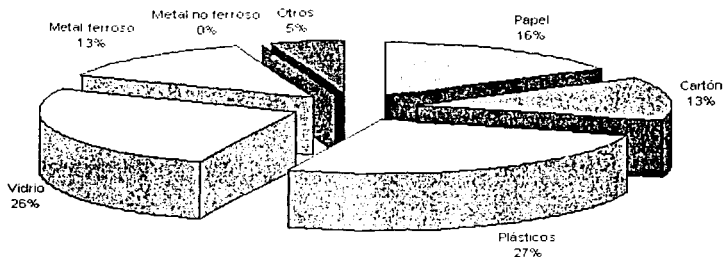
Cuadro 2.7 Toneladas de subproductos recuperados en las Plantas de selección y aprovechamiento de RSM en 1998.

subproductos	BORDO PONIENTE	SAN JUAN DE ARAGON	SANTA CATARINA	%	TOTAL
Papel	3,086.841	12,094.850	13,087.750	16.45	28,269.44
Cartón	1,926.186	7,658.130	12,520.050	12.86	22,104.37
Plásticos	9,237.030	11,831.470	24,760.490	26.66	45,828.99
Vidrio	8,643.257	9,527.720	26,249.290	25.84	44,420.27
Metal ferroso	3,750.061	4,240.570	14,951.650	13.35	22,942.29
Metal no ferroso	90,753.00	104,020.00	0.00	0.012	194.77
Otros	2,882.410	931.560	4,324.290	4.73	8,138.26
TOTAL	29,616.538	46,388.320	95,893.520	100	171,898.38

Toneladas enviadas a plantas de selección: 1,678,807.298
 Toneladas recuperadas: 171,898.378
 Porcentaje global de recuperación: 10.239%
 Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos, GDF. 1998.

Dentro de los subproductos, el plástico es uno de los materiales con mayores porcentajes de recuperación en estos sitios. En la figura 2.3 se presentan los porcentajes de recuperación de los diferentes materiales aprovechables.

Figura 2.3 Porcentaje de los materiales recuperados en las plantas de selección del D.F., 1998.



Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos, 1998.

El relleno sanitario de Santa Catarina se localiza sobre la pendiente externa de la caldera de un volcán inactivo. La desventaja de éste relleno es que aún cuando no se lleva a cabo la explotación del agua subterránea cerca del lugar, si existe un acuífero cerca de agua potable y en explotación.

Bordo Poniente IV se localiza en el área del antiguo lago de Texcoco, en donde el acuífero subterráneo es de alta salinidad, lo cual es una ventaja frente a otros lugares que se encuentran sobre acuíferos potables. La desventaja que tiene éste lugar es que se encuentra sobre capas muy suaves y altamente compresibles de arcilla, de aproximadamente 60 metros de profundidad. Lo cual se traduce en posibles fallas y/o derrumbes durante la operación.

Desde hace mucho tiempo se recuperan subproductos de la basura. Práctica que

empezó por razones económicas y en tiraderos a cielo abierto y en condiciones insalubres para el personal seleccionador. Ahora, las plantas de selección ofrecen mejores condiciones de trabajo, ya que son instalaciones cubiertas y con la infraestructura e instalaciones sanitarias básicas necesarias de un centro de trabajo.

Actualmente hay 3 plantas de selección en el DF con una capacidad instalada conjunta de 5,500 toneladas por día.

La organización y operación de las plantas la realizan de manera coordinada la DGSU y los gremios de pepenadores. El mantenimiento de los equipos e instalaciones, la recepción de los residuos y la coordinación general de las plantas la lleva a cabo la DGSU, en tanto que la selección, acondicionamiento y comercialización de subproductos la realizan cada uno de los grupos de selección (antes pepenadores).

Envases de PET

El ingreso de envases de PET (tereftalato de polietileno) en los RSM es un problema adicional a considerar. Gracias a su gran aceptación tanto del envase como del producto, su desarrollo continua en ascenso, ocupando un espacio en los rellenos sanitarios que las autoridades sanitarias no habían contemplado.

Los principales usos del PET están en las industrias embotelladoras y de embalaje. Se fabrican envases para: refrescos, agua purificada, aceite comestible, alimentos, medicinas, productos de limpieza, productos de aseo personal y cosméticos entre otros.

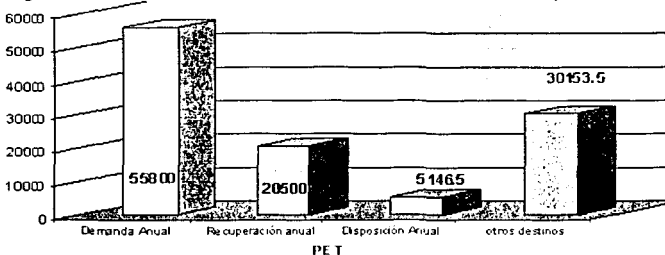
En el cuadro 2.8 se presenta la última evaluación del PET, su consumo y su recuperación para reciclaje; además hay que decir que, para el D.F., se registran en el Relleno Sanitario de Bordo Poniente 5,146.5 toneladas/año Y puede concluirse que aproximadamente un 54% del PET se encuentra:

En almacén para su distribución o venta, o

Dispuesto inadecuadamente en cauces, calles o tiraderos clandestinos.

En la figura 2.4 se puede apreciar precisamente la falta de control sobre la disposición del PET.

Figura 2.4 Datos estadísticos del PET en el Distrito Federal, 2001.



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental del Agua, Suelo y Residuos, 2001.

La Dirección General de Servicios Urbanos ha identificado a los plásticos dentro de la composición de la basura que es llevada para su disposición en el relleno sanitario de Bordo Poniente y los muestreos permiten distinguir que diariamente del total de los residuos (11,850 toneladas/día), 761.9 toneladas corresponden a materiales plásticos y dentro de este volumen, 14.1 toneladas corresponden a envases de PET, que equivalen a 587,500 botellas de 600 ml; considerando un peso aproximado de 24 gramos cada envase.

Cuadro 2.8 Datos estadísticos del PET para el año 2000.

DISTRITO FEDERAL	
Demanda de PET	55,800 t/año
Envases de PET recuperados	20,500 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	36.7%
ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO	
Demanda de PET	124,000 t/año
Envases de PET recuperados	48,000 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	38.7%
A NIVEL NACIONAL	
Demanda de PET	413,000 t/año
Envases de PET recuperados	71,300 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	17.3%

Fuente: APREPET, A.C.

Las características de estabilidad física y química del PET que son de gran utilidad para los productos y de las cuales se hace alusión en el apartado de Aspectos Generales; hacen que su degradación sea sumamente difícil (hasta 500 años) cuando se convierten en residuos, además de los grandes volúmenes que ocupan dentro de las celdas de disposición final.

Por fortuna, ya se encuentran en marcha acciones para combatir este problema, el 14 de mayo del presente año, se celebró el "Convenio de concertación de acciones tendientes a reducir la disposición inadecuada de residuos de envases de PET" como parte de la *Cruzada Nacional por un México Limpio* en el cual participan la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Confederación de Cámaras Industriales (CONCAMIN). Este convenio tiene como principales objetivos, el de reducir la disposición inadecuada de los residuos de envases de PET en los que se distribuyen refrescos y agua, adoptando para ello el principio de responsabilidad compartida entre gobierno, sociedad e industria.

Se creará una industria de reciclaje con inversiones para el año 2006 por 87 millones de dólares, la cual pretende que para este año se reciclen 2 mil 610 millones de botellas PET/año, que reciclado al cien por ciento como fibra textil, servirá para la fabricación de 475 millones de camisetas. Con este programa se aborda el problema y se implementa una alternativa de largo plazo; no obstante, en forma inmediata los resultados son significativos ya que la instalación de centros de acopio permite generar más de 600 empleos y fomentar la creación de nuevas industrias e inversiones.

Este año inicia el acopio de PET en plantas que ya operan en las principales áreas metropolitanas del país que son las del Valle de México, Monterrey y Guadalajara, así como en Cancún, Veracruz y San Luis Potosí. Próximamente se sumarán las de Tampico, Querétaro, Acapulco, Mérida, Hermosillo y Tijuana.

El compostaje

Se vislumbra en el futuro la introducción de una planta de compostaje para tratamiento intermedio de residuos sólidos. Lo cual persigue como objetivos principales la disminución de la cantidad de residuos en los sitios de disposición final y una disposición más adecuada de los residuos de jardinería. Las principales ventajas ambientales que se asocian a plantas de compostaje sobre los sitios de disposición final son las siguientes:

La estabilización de los residuos orgánicos se lleva a cabo por descomposición aeróbica, con mayor rapidez de la que se puede conseguir en un ambiente anaerobio.

La descomposición aeróbica genera menos gas metano, el cual es el mayor contribuyente para el calentamiento global.

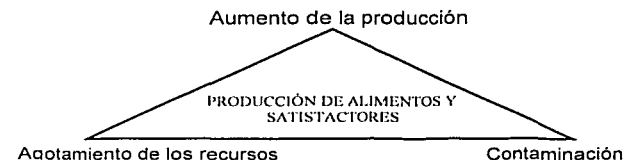
El producto resultante puede utilizarse como un acondicionador del suelo que no daña el ambiente y promueve la vegetación. Este uso incrementa el valor ambiental y estético del área, además de crear una zona de amortiguamiento alrededor del sitio de disposición final. En adición a esto, también puede ayudar a combatir el polvo, para el caso especial de el área del lago de Texcoco.

Capítulo III

III Metodología para determinar la composición físico-química de los residuos sólidos municipales en México.

En la naturaleza prácticamente no existen sistemas que produzcan residuos, ya que los procesos biológicos son cíclicos. Los residuos que genera un organismo se convierten en alimento de otro, hasta completar el ciclo. Las transformaciones que se llevan a cabo involucran reacciones catalíticas de bajo gasto energético. Los procesos antropogénicos (actividades humanas), en cambio, son procesos lineales que requieren de un alto gasto de energía y materiales, y que generan una gran cantidad de residuos que no pueden ser integrados a los procesos naturales, y no solo eso, además, pueden ocasionar alteraciones a los ciclos naturales, deteriorando y ejerciendo presión a la vida en el planeta. En la figura 3.1 se presenta el proceso que provoca la generación de residuos.

Figura 3.1 Producción versus Afectación al ambiente.



Fuente: Curso Latinoamericano de Residuos Sólidos y Peligrosos. Gutiérrez, M. E. 1997.

La composición de los residuos sólidos varía en función de los hábitos de vida de la población, factores ambientales y la ubicación geográfica.

Por sus propiedades físicas, los residuos sólidos municipales se pueden clasificar en tres grupos: Los materiales inertes, como vidrio, plástico, tierras, cenizas y metales; los materiales fermentables, en general la materia orgánica; y los materiales combustibles, como papel, cartón, plásticos, madera, goma, cuero y trapos.

III.1 Constituyentes orgánicos de los residuos sólidos municipales.

La determinación de los constituyentes orgánicos de los residuos requiere de tiempo y de una inversión considerable y sucede que no se cuenta en el país con laboratorios especializados en residuos sólidos, además de que los que actualmente se encuentran en operación no cuentan con el equipo necesario para cumplir plenamente con dichas determinaciones. Se tiene por lo tanto que recurrir a determinaciones basadas en métodos gravimétricos a partir de la materia orgánica.

En el cuadro 3.1 se presenta una clasificación para los subproductos para los cuales se desearía fueran destinados, tomando en cuenta la preservación del ambiente, la disminución de impactos ambientales y la participación corresponsable de gobierno y

ciudadanía, además de considerar a los residuos como recursos aprovechables para poder reincorporarlos a los procesos productivos.

Cuadro 3.1 Clasificación de los subproductos en base a su vocación.

Reciclaje	Manufacturas alternas	Aprovechamiento de residuos alimenticios	Recuperación de energía	Disposición final
Cartón	Loza y cerámica	Hueso	Algodón	Abate lenguas
Envases de cartón	Material de construcción	Residuo alimenticio	Cartón	Jeringa desechable
Lata	Papel bond	Residuo de jardinería	Cuero	Placas radiológicas
Material ferroso	Papel periódico		Envases de cartón	Toallas sanitarias
Material no ferroso	Plástico de película		Fibra dura vegetal	Vendas
Papel bond	Necopreno (llantas)		Fibra sintética	Residuo fino
Papel periódico	Plástico rígido		Gasa	otros
Plástico de película			Hule	
Plástico rígido			Madera	
Vidrio de color			Papel sanitario	
Vidrio transparente			Pañal desechable	
			Poliuretano	
			Poliestireno expandido	
			Trapo	

Fuente: VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

Metodología.

Es posible obtener la composición química a corto plazo a partir de los estudios de generación, para cada una de las fuentes productoras de desperdicios con el fin de orientar las formas de tratamiento más adecuado. En este trabajo se presenta como ejemplo la obtención de los constituyentes orgánicos de los RSM para el Distrito Federal.

En el cuadro 3.2 se presenta la composición física de los RSM con las principales fuentes generadoras de residuos a saber:

Domiciliarios, que comprenden casas habitación unifamiliares y plurifamiliares.

Comercios, que comprenden establecimientos comerciales y mercados.

Servicios, que comprenden restaurantes y bares, centros de espectáculos y recreación, servicios públicos, hoteles, oficinas públicas, centros educativos, unidades médicas, laboratorios, veterinarios, terminales terrestres, terminales aéreas, vialidades y centros de readaptación social y

Otros, que comprenden áreas verdes, objetos voluminosos y materiales de construcción y reparaciones menores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Determinación de la composición físico-química de los residuos sólidos en México y modelación del flujo másico de lixiviados y gases en un relleno sanitario

Metodología para determinar la composición físico-química de los RSM en México

Cuadro 3.2a Composición física de subproductos por fuente.

subproductos	Domiciliarios	Comercios			Servicios					
	Uni y plurifamiliar	Estab. Comerciales	Mercados	Restaurantes y bares	Espectáculos y recreación	Serv. públicos	Hoteles	Oficinas públicas	Centros educativos	Unid. médicas
Abatelenguas										1.97
Algodón	2.15	0.07	0.83			0.38	0.03	2.99	0.17	1.97
Cartón	5.36	11.51	5.29	5.97	11.04	23.18	3.77	11.20	8.98	8.30
Cuero	0.11			0.02		3.69			0.04	
Envases de catón	1.96	1.97	2.22	1.43	5.18	1.18	0.76		6.05	1.07
Fibra dura vegetal	0.06	1.79	2.63			1.93	0.08	0.01	0.78	0.20
Fibra sintética	1.43	0.29	0.89	0.04			0.01	0.24		0.27
Gasa										3.77
Hueso	0.08	0.44	1.11			0.21			0.67	0.07
Hule	0.20	1.07	0.16			0.36	0.18	0.83	1.33	2.07
Jeringa desechable										2.80
Lata	1.58	0.31	1.47	0.25	1.23	3.10	0.52	0.28	4.89	1.73
Loza y cerámica	0.37	0.12	0.09	0.45	0.29		0.18	0.08	2.01	
Madera	0.10	1.20	1.17	0.67		6.72		0.01	3.92	0.43
Material de construcción	0.63			0.52	0.09		2.89			
Material ferroso	1.39	2.59	0.07	0.92	5.65	0.71	1.79	0.15	0.40	1.90
Material no ferroso	0.06	0.51				1.30		6.54		0.07
Papel bond	1.19	5.31	1.87	1.54	3.57	18.75	9.21	37.61	14.33	6.57
Papel periódico	4.61	5.95	4.54	0.95	3.17	15.50	5.24	11.91	6.99	4.37
Papel sanitario	8.78	1.94	4.27	3.40	9.59	4.20	8.16	1.99	10.72	11.00
Pañal desechable	3.37	0.14		0.08	0.09	0.32	0.89		0.30	1.43
Placa radiológica										0.30
Plástico de película	6.24	5.38	1.50	3.08	7.13	2.14	3.58	0.16	1.95	3.27
Plástico rígido	4.33	3.94	2.96	1.26	15.34	1.39	1.69	0.88	2.69	0.97
Poliuretano	0.16	0.11	0.08	0.03		2.70			0.67	0.76
Poliuretano expandido	0.78	0.12	0.46	0.35	0.72	1.85	0.16	0.11	0.46	1.70
Residuo alimenticio	34.66	38.73	63.08	74.43	16.17	5.71	43.23	21.22	16.02	26.96
Residuo de jardinería	5.12	0.15	0.05	0.08	0.42	0.59	3.66	0.30	6.32	1.30
Toalla sanitaria		0.17						0.04	0.63	
Trapo	0.64	0.20	0.30	0.12	1.14		1.72	0.31	1.02	0.50
Vendas										0.36
Vidrio de color	4.00	1.77	0.30	1.53	4.67	2.81	3.09	0.26	2.44	6.70
Vidrio transparente	5.77	5.18	0.44	2.82	11.76	1.28	8.52	0.76	4.66	5.63
Residuo fino otros	1.21	0.07	3.97	0.03	2.75		0.26	0.01	0.73	0.43
	2.66	8.97	0.25	0.03			0.38	2.11	0.83	1.13
total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Cuadro 3.2b Composición física de subproductos por fuente.

subproductos	Servicios (Continuación)						Otros			Total
	Labora- torios	Veteri- narios	Terminal terrestre	Terminal aérea	Valida- des	C. de readap- tación social	Áreas verdes	Objetos volumi- nosos	Mat. de Const. Rep. menores	
Abatelenguas										0.03
Algodón	10.38	5.57								1.30
Cartón	8.01	2.56	4.34	5.31	3.66	5.06	4.00			6.68
Cuero										0.11
Envases de catón		0.69	0.55		6.53	0.52	3.12			1.91
Fibra dura vegetal										0.69
Fibra sintética	3.10				0.10					0.85
Gasa	5.74	5.94								0.05
Hueso		0.38								0.27
Hule										0.37
Jeringa desechable	1.31	1.38								0.04
Lata		2.31	4.53	3.17	4.77					1.24
Loza y cerámica								2.09		0.30
Madera		4.82	0.29				5.12	20.00	1.53	1.24
Material de construcción			1.24						95.27	2.14
Material ferroso		0.69			0.41		2.86	50.00		2.56
Material no ferroso	1.18	1.31					2.29			0.49
Papel bond	17.23	9.88	9.10	6.41	5.41	3.11	6.82		0.97	4.41
Papel periódico	11.97	20.64	6.07	15.34	9.71	7.73	2.22			4.96
Papel sanitario	9.62	7.38	15.20	8.92	9.52	4.65				5.89
Pañal desechable			1.94							1.62
Placa radiológica										0.00
Plástico de película		0.44	5.34	3.91	5.38	2.00	9.29		0.14	4.53
Plástico rígido	8.64	1.63	3.08	5.46	6.62	1.26	4.00			3.49
Poliuretano	2.17	2.56								0.16
Poliuretano expandido	2.27	1.06	1.10	1.18	1.22		1.23			0.58
Residuo alimenticio	1.74	3.31	30.44	16.32	7.67	42.49				37.70
Residuo de jardinería	1.89	0.56		1.53	11.46	7.46	25.36			3.18
Toalla sanitaria	1.61		0.01			2.00				0.04
Trapo	1.84			4.88		3.00		30.00		1.22
Vendas					0.02					0.01
Vidrio de color	4.86	2.00	3.45	8.07	8.64	0.42				5.62
Vidrio transparente	3.05	0.94	7.79	7.14	8.37	0.95	0.85			4.61
Residuo fino	0.03			3.61	4.02		26.30			1.71
Residuo otros	3.36	23.95	5.53	8.75	6.49	19.35	6.54			3.00
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la ciudad de México, JICA, 1999.

En el cuadro 3.3 se muestran las principales características físico químicas de los subproductos en estado natural.

Cuadro 3.3 Valores típicos de humedad, poder calorífico, Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno.

subproductos	Humedad %	P. Calorífico BTU/LB	Carbono %	Hidrógeno %	Oxígeno %	Nitrógeno %
Algodón	10	6,986	55.88	6.68	31.28	4.12
Cartón	5	7,998	44.99	5.98	44.68	8.38
Cuero	10	7,599	68.98	8.98	11.68	18.98
Residuo fino	3.2	3,678	29.62	2.57	4.99	9.58
Fibra dura vegetal	12	6,599	49.48	6.10	43.78	9.18
Fibra sintética	15	7,599	46.19	6.41	41.85	2.18
Hueso	-	7,999	41.72	5.75	27.62	2.97
Hule	2	18,999	77.65	18.35	-	2.99
Lata	3	399	4.47	6.98	4.38	9.85
Loza y cerámica	8	3,898	26.38	3.88	2.88	8.58
Madera	28	8,998	49.58	6.88	42.78	8.28
Material de construcción	8	3,999	26.38	3.89	2.88	8.58
Material ferroso	3	399	4.54	9.63	4.28	9.85
Material no ferroso	2	39	4.47	6.98	43.38	9385
Papel	6	7,298	43.58	6.98	44.98	8.38
Pañal desechable	3	14,999	69.89	7.28	22.889	-
Plástico de película	3	14,999	67.21	9.72	15.82	8.46
Plástico rígido	8.28	19,677	84.54	14.18	8.99	9.96
Poliuretano	8.28	11,299	63.27	6.26	17.65	5.99
Poliestireno expandido	8.28	16,499	87.19	8.45	3.96	8.21
Residuo alimenticio	78	2,898	48.89	6.48	37.68	2.68
Residuo de jardinería	68	2,899	47.88	6.88	38.89	3.48
Envases de cartón	3.45	11,388	59.18	9.25	38.13	8.17
Trapo	18	6,988	55.88	6.68	31.28	4.12
Vidrio de color	2	68	8.52	8.87	8.36	8.83
Vidrio transparente	2	68	8.52	8.87	8.36	8.83
Otros	4.34	399.89	4.54	8.63	4.28	8.85

Fuente: VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

Determinación del contenido de humedad.

Para obtener el contenido de humedad, se considera la contribución de cada subproducto (cuadro 3.2), en este caso es el total de aportación de todas las fuentes, su porcentaje en peso se multiplica por el valor típico que le corresponda (cuadro 3.3). Finalmente se suman éstos valores de aportación para obtener la humedad en porcentaje. Ver cuadro 3.4.

Determinación del contenido de energía.

Para esta determinación se utilizan los valores típicos de poder calorífico (cuadro 3.3), los cuales se multiplican por los porcentajes en peso con que contribuyen los subproductos, obteniendo el contenido de energía en BTU/lb. Para obtener el poder calorífico superior se transforman las unidades de BTU/lb a Kcal/Kg dividiendo el valor de contenido de energía entre 1.8. El poder calorífico inferior se obtiene con la ecuación 3.1.

$$PCI = PCS - (\% \text{ de humedad} \times 5.83)$$

...(3.1)

De manera semejante al caso anterior, se pueden obtener los valores acumulados de contenido de energía, poder calorífico superior y poder calorífico inferior sumando las aportaciones de subproductos. Los resultados de la determinación se presentan en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.4 Determinación del contenido de humedad.

Subproductos	Peso (%)	Valor Típico (%)	Base seca	Humedad (%)
Algodón	1.3	10	0.32	0.13
Cartón	6.68	5	3.9	0.334
Cuero	0.11	10	0.14	0.011
Residuo fino	1.71	3.2	0	0.05472
Fibra dura vegetal	0.69	12	0.09	0.0828
Fibra sintética	0.85	15	1.48	0.1275
Hueso	0.27	0	0.1	0
Hule	0.37	2	0.24	0.0074
Lata	1.24	3	1.53	0.0372
Loza y cerámica	0.3	8	0.44	0.024
Madera	1.27	20	0.13	0.254
Material de construcción	2.14	8	0.53	0.1712
Material ferroso	2.56	3	1.58	0.0768
Material no ferroso	0.49	2	0.08	0.0098
Papel	15.26	6	11.05	0.9156
Pañal desechable	1.62	3	3.65	0.0486
Plástico de película	4.53	3	4.82	0.1359
Plástico rígido	3.53	0.2	3.05	0.00706
Poliuretano	0.16	0.2	0.13	0.0032
Poliestireno expandido	0.58	0.2	0.67	0.00116
Residuo alimenticio	37.7	70	12.21	26.39
Residuo de jardinería	3.18	60	2.33	1.908
Envases de cartón	1.91	3.45	2.12	0.065895
Trapo	1.32	10	0.6	0.132
Vidrio de color	2.62	2	2.02	0.0524
Vidrio transparente	4.61	2	5.77	0.0922
Otros	3	4.34	6.7	0.1302
	100	20	65.68	31.199755

Fuente: Adaptado del VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

Determinación de la composición química.

La determinación de la composición química CHON (cuadro 3.6) para una muestra determinada se puede obtener por relación directa entre los valores típicos y el porcentaje de aportación. Para determinar el total de aportación por subproducto se suman los porcentajes individuales de carbono, nitrógeno, oxígeno y nitrógeno ponderados. Los acumulados se obtienen con la suma de las aportaciones como en los casos anteriores.

Cuadro 3.5 Determinación del contenido de energía.

Subproductos	Peso (%)	Valor típico (BTU/LB)	Contenido de Energía (BTU/LB)	Poder Calorífico Sup. (Kcal/Kg)	Humedad (%)	Poder Calorífico Inf. (Kcal/Kg)
Algodón	1.3	6,900.00	89.70	49.83	0.13	49.08
Cartón	6.68	7,000.00	467.60	259.78	0.334	257.83
Cuero	0.11	7,500.00	8.25	4.58	0.011	4.52
Residuo fino	1.71	3,670.00	62.76	34.87	0.05472	34.55
Fibra dura vegetal	0.69	6,500.00	44.85	24.92	0.0828	24.43
Fibra sintética	0.85	7,500.00	63.75	35.42	0.1275	34.67
Hueso	0.27	7,000.00	18.90	10.50	0	10.50
Hule	0.37	10,000.00	37.00	20.56	0.0074	20.51
Lata	1.24	300.00	3.72	2.07	0.0372	1.85
Loza y cerámica	0.3	3,000.00	9.00	5.00	0.024	4.86
Madera	1.27	8,000.00	101.60	56.44	0.254	54.96
Material de construcción	2.14	3,000.00	64.20	35.67	0.1712	34.67
Material ferroso	2.56	300.00	7.68	4.27	0.0768	3.82
Material no ferroso	0.49	300.00	1.47	0.82	0.0098	0.76
Papel	15.26	7,200.00	1,098.72	610.40	0.9156	605.06
Pañal desechable	1.62	14,000.00	226.80	126.00	0.0486	125.72
Plástico de película	4.53	14,000.00	634.20	352.33	0.1359	351.54
Plástico rígido	3.53	19,677.00	694.60	385.89	0.00706	385.85
Poliuretano	0.16	11,200.00	17.92	9.96	0.00032	9.95
Poliestireno expandido	0.58	16,400.00	95.12	52.84	0.00116	52.84
Residuo alimenticio	37.7	2,800.00	1,055.60	586.44	26.39	432.59
Residuo de jardinería	3.18	2,000.00	63.60	35.33	1.908	24.21
Envases de cartón	1.91	11,300.00	215.83	119.91	0.065895	119.52
Trapo	1.32	6,900.00	91.08	50.60	0.132	49.83
Vidrio de color	2.62	60.00	1.57	0.87	0.0524	0.57
Vidrio transparente	4.61	60.00	2.77	1.54	0.0922	1.00
Otros	3	300.00	9.00	5.00	0.1302	4.24
	100	176,867.00	5,187.28	2,881.82	31.199755	2,699.93

Fuente: Adaptado del VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3.6 Obtención de la composición química (CHON).

Subproductos	C %	H %	O %	N %	Peso %	C %	H %	O %	N %	Total %
Algodón	55	6.6	31.2	4.12	1.3	0.72	0.09	0.41	0.05	1.26
Cartón	44	5.9	44.6	0.3	6.68	2.94	0.39	2.98	0.02	6.3326
Cuero	60	8	11.68	10	0.11	0.07	0.01	0.01	0.01	0.0986
Residuo fino	20.62	2.57	4.99	0.5	1.71	0.35	0.04	0.09	0.01	0.4904
Fibra dura vegetal	49.4	6.1	43.7	0.1	0.69	0.34	0.04	0.30	0.00	0.6852
Fibra sintética	46.19	6.41	41.85	2.18	0.85	0.39	0.05	0.36	0.02	0.8214
Hueso	41.72	5.75	27.62	2.97	0.27	0.11	0.02	0.07	0.01	0.2108
Hule	77.65	10.35	-	2	0.37	0.29	0.04	-	0.01	0.333
Lata	4.47	6	4.3	0.05	1.24	0.06	0.07	0.05	0.00	0.1838
Loza y cerámica	26.3	3	2	0.5	0.3	0.08	0.01	0.01	0.00	0.0954
Madera	49.5	6	42.7	0.2	1.27	0.63	0.08	0.54	0.00	1.2497
Material de construcción	26.3	3	2	0.5	2.14	0.56	0.06	0.04	0.01	0.6805
Material ferroso	4.54	0.63	4.28	0.05	2.56	0.12	0.02	0.11	0.00	0.2432
Material no ferroso	4.47	6	4.3	0.05	0.49	0.02	0.03	0.02	0.00	0.0726
Papel	43.5	6	44	0.3	15.26	6.64	0.92	6.71	0.05	14.314
Pañal desechable	60	7.28	22.8	-	1.62	0.97	0.12	0.37	-	1.4593
Plástico de película	67.21	9.72	15.82	0.46	4.53	3.04	0.44	0.72	0.02	4.2224
Plástico rígido	84.54	14.18	-	0.06	3.53	2.98	0.50	-	0.00	3.4869
Poliuretano	63.27	6.26	17.65	5.99	0.16	0.10	0.01	0.03	0.01	0.1491
Poliestireno expandido	87.10	8.45	3.96	0.21	0.58	0.51	0.05	0.02	0.00	0.5784
Residuo alimenticio	48	6.4	37.6	2.6	37.7	18.10	2.41	14.18	0.98	35.664
Residuo de jardinería	47.80	6.00	38.00	3.40	3.18	1.52	0.19	1.21	0.11	3.0274
Envases de cartón	59.18	9.25	30.13	8.17	1.91	1.13	0.18	0.58	0.16	2.0385
Trapo	55	6.6	31.28	4.12	1.32	0.73	0.09	0.41	0.05	1.2804
Vidrio de color	0.52	0.07	0.36	0.03	2.62	0.01	0.00	0.01	0.00	0.0257
Vidrio transparente	0.52	0.07	0.36	0.03	4.61	0.02	0.00	0.02	0.00	0.0452
Otros	4.54	0.63	4.28	0.05	3.00	0.14	0.02	0.13	0.00	0.285
Total					100	42.56	5.88	29.37	1.53	79.333

Fuente: Adaptado del VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

III.2 Desarrollo del proceso de conversión química y biológica en el tratamiento de Residuos Sólidos Municipales.

En las últimas décadas la importancia de asuntos ecológico-ambientales ha aumentado considerablemente, el tiradero a cielo abierto ha dejado de ser una práctica común para disponer los residuos sólidos, presentándose un avance sustancial en la utilización de rellenos sanitarios en Latinoamérica, aún cuando se haya dado mayormente en las grandes concentraciones urbanas. Por otro lado, en países con mayores recursos y tecnología, el relleno sigue siendo un elemento fundamental para el control de residuos, por lo que no se debe considerar a los rellenos sanitarios como exclusivos de países en desarrollo o faltos de tecnología, o que representen una práctica que pueda ser en corto plazo sustituida por otras alternativas de tratamiento, sino que puede considerarse como una obra de ingeniería compatible con cualquier sistema de control de residuos sólidos, representando la disposición final de los mismos.

Un relleno sanitario se puede concepcionar como un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases y lixiviados como principales salidas. Para evaluar la producción de lixiviados se lleva a cabo un balance hidrológico, en el cual se consideran todas las entradas de agua al relleno, que incluyen el agua adicionada para

la reacción, la contenida en los residuos, la del material de cubierta diaria y final y la aportada por los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales; y la sustracción de las cantidades de agua consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua y la cantidad de agua que excede la capacidad de retención de humedad de los residuos (lixiviados).

En el cuadro 3.7 se clasifican los principales constituyente orgánicos de los residuos por la velocidad de que se degradan, en rápida y lentamente descomponibles, los primeros se descomponen en un período que abarca de 3 meses a 5 años, mientras que los otros pueden tardar más de 50 años.

Cuadro 3.7 Velocidad de degradación de constituyentes orgánicos.

Subproducto	Descomposición	
	rápida	lenta
Residuos de Comida	si	
Periódicos	si	
Papel de Oficina	si	
Cartón	si	
Plásticos ^a		
Residuos de Jardín	si ^b	si ^c
Textiles		si
Goma		si
Cuero		si
Madera		si
Orgánicos misceláneos		si

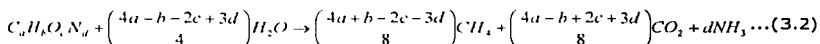
^a Los plásticos generalmente son considerados como no biodegradables.

^b Hojas y recortes de césped. Normalmente el 60% son considerados como rápidamente biodegradables.

^c Porciones leñosas de los residuos de jardín.

Fuente: Gestión Integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

La cantidad de gas que puede producir el relleno depende directamente de la reacción estequiométrica representada en la ecuación 3.2.



Para balancear esta ecuación se utilizan los coeficientes obtenidos en la determinación de la composición química (cuadro 3.6).

En el cuadro 3.8 se presenta el resultado de la suma de contribuciones de subproductos de la fracción orgánica de los residuos, los datos fueron obtenidos de la columna "Total" del cuadro 3.2b para obtener el porcentaje en peso húmedo. El porcentaje en peso seco se obtiene restandole el porcentaje de humedad obtenido en el cuadro 3.4. La composición se obtiene multiplicando el porcentaje (%) en peso seco por los respectivos valores de C, H, O y N calculados en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.8 Composición para constituyentes orgánicos.

Subproducto	% en peso húmedo	% en peso seco	Composición			
			C	H	O	N
Constituyentes orgánicos rápidamente descomponibles						
Cartón	6.68	6.35	0.19	0.02	0.18	0.00
Envases de cartón	1.91	1.58	0.05	0.01	0.05	0.00
Papel bond	4.41	3.49	0.23	0.03	0.23	0.00
Papel periódico	4.96	4.04	0.27	0.04	0.27	0.00
Papel sanitario	5.89	4.97	0.33	0.05	0.33	0.00
Residuo alimenticio	37.70	11.31	2.05	0.27	1.60	0.11
Residuo de jardinería	1.91	0.76	0.01	0.00	0.01	0.00
Total	64.73	32.5	3.13	0.42	2.67	0.11
Constituyentes orgánicos lentamente descomponibles						
Algodón	1.30	1.17	0.01	0.001	0.00	0.001
Cuero	0.11	0.10	0.00	0.000	0.00	0.000
Madera	1.24	0.99	0.01	0.001	0.01	0.000
Residuo de jardinería	1.27	0.51	0.01	0.001	0.01	0.001
Trapo	1.26	1.13	0.01	0.001	0.00	0.001
Total	4.56	1.62	0.04	0.004	0.02	0.003

Adaptado de Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

La composición molar se presenta en el cuadro 3.9 y se obtiene dividiendo las proporciones obtenidas del CHON en el cuadro anterior entre el peso atómico que les corresponde. Nótese que aún se utilizan cifras en porcentaje, para casos específicos se utilizarán los valores en peso obtenidos en el laboratorio.

Cuadro 3.9 Composición molar.

	C	H	O	N
Peso atómico, g/mol	12.01	1.01	16.00	14.01
Total moles				
Rápidamente descomponible	0.2587	0.4158	0.1669	0.0079
Lentamente descomponible	0.0033	0.0040	0.0013	0.0002

Adaptado de Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

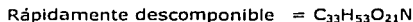
A continuación se determinan las relaciones normalizadas mol haciendo al Nitrógeno = 1, se divide entre 0.0079 en este caso. En el cuadro 3.10 se presentan los resultados.

Cuadro 3.10 Relación molar.

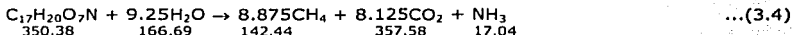
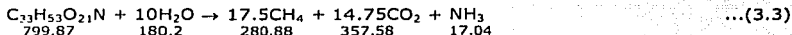
Componente	Relación mol (Nitrógeno = 1)	
	Rápidamente descomponible	Lentamente descomponible
Carbono	32.75	16.50
Hidrógeno	52.63	20.00
Oxígeno	21.13	6.50
Nitrógeno	1.00	1.00

Adaptado de Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

Las fórmulas químicas resultantes (redondeando cifras) son:



Para estimar la cantidad de gas que puede derivarse de las descomposiciones rápida y lenta de los constituyentes orgánicos se utiliza la ecuación 3.2, resultando las ecuaciones para materia orgánica rápida y lentamente descomponible (3.3 y 3.4).



Los valores debajo de las reacciones representan las cantidades molares de materia orgánica, agua, metano, dióxido de carbono y amoníaco respectivamente, y se obtienen multiplicando el peso atómico de cada elemento por su cantidad de moles, y sumando los productos como se ejemplifica a continuación:

$$\text{C}_{33}\text{H}_{53}\text{O}_{21}\text{N} \rightarrow 33(12.01) + 53(1.01) + 21(16.00) + 1(14.01) = 799.87$$

$$10\text{H}_2\text{O} \rightarrow 10 \{2(1.01) + 1(16.00)\} = 180.2$$

Para determinar el volumen máximo de metano y dióxido de carbono que puede producirse a partir de la destrucción de los sólidos volátiles biodegradables (SVB) en la fracción orgánica de los RSM, se toman los valores del cuadro 3.8 para el porcentaje en peso seco. Los pesos específicos del metano y del dióxido de carbono son 0.717 y 1.978 Kg/m³, respectivamente.

Para constituyentes orgánicos rápidamente descomponibles, se tiene:

$$\text{Metano} = \frac{(280.88)(32.5)}{(799.87)(0.717 \text{ Kg/m}^3)} = 15.92 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(357.58)(32.5)}{(799.87)(1.978 \text{ Kg/m}^3)} = 7.35 \text{ m}^3 \text{ N}$$

Para constituyentes orgánicos lentamente descomponible, se tiene:

$$\text{Metano} = \frac{(142.44)(1.62)}{(350.38)(0.717 \text{ Kg/m}^3)} = 0.92 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(357.58)(1.62)}{(350.38)(1.978 \text{ Kg/m}^3)} = 0.84 \text{ m}^3 \text{ N}$$

Para determinar la cantidad teórica total del gas generado por unidad en peso seco de la materia orgánica destruida se tiene:

Para constituyentes orgánicos rápidamente descomponibles

$$\text{vol/kg} = \frac{15.92\text{m}^3 + 7.35\text{m}^3}{32.5\text{kg}} = 0.716\text{m}^3/\text{kg}$$

Para constituyentes orgánicos lentamente descomponibles

$$\text{vol/kg} = \frac{0.92\text{m}^3 + 0.84\text{m}^3}{1.62\text{kg}} = 1.086\text{m}^3/\text{kg}$$

El rango de los constituyentes orgánicos individuales varía aproximadamente de 0.62 a 1.06m³/Kg SVB destruidos.

Las cantidades reales de gas generado deben ser menores por el hecho de que no toda la materia orgánica biodegradable esta disponible para la descomposición; esto debido a que en la heterogeneidad de los residuos los plásticos y otros materiales pueden aislar fracciones de residuos, dejándolos sin poder participar en la conversión biológica. Otra razón por la que pueden quedar residuos sin convertir es la falta de exposición a la humedad suficiente para sostener la actividad biológica.

De la misma manera, tomando como base las ecuaciones 3.3 y 3.4, se puede llevar a cabo el cálculo de la humedad requerida para la descomposición anaerobia de los residuos sólidos, obteniendo una relación entre el "CHON" (fracción orgánica de los residuos) y las necesidades de agua para el proceso:

$$R_w = \frac{10H_2O}{C_{11}H_{15}O_{21}N} = \frac{180}{799} = 0.2253$$

Donde:

Ro: Toneladas de agua requerida para degradar una tonelada de materia orgánica.

Por otro lado, la fracción de materia orgánica en base seca, contenida en los residuos sólidos esta dada por la siguiente expresión:

$$MO = \left[\frac{M}{100 \cdot PV \cdot V} - \frac{0.8PV \cdot V \cdot H}{100} \left(1 - \frac{Z}{100} \right) \right]$$

Donde:

M: Fracción orgánica presente en los RSM, (% en peso).

PV: Peso volumétrico de los RSM en el relleno sanitario, (Ton/m³).

V: Volumen unitario de relleno sanitario, (1m³).

H: Humedad propia de los residuos sólidos, (% en peso).

Z: Fracción de cenizas contenida en la materia orgánica en Base seca, (% en peso).

MO: Materia orgánica en base seca, contenida en 1m^3 de RSM.

La humedad necesaria para la digestión anaerobia queda determinada con la siguientes expresiones:

$$H_1 = MO \cdot R_0$$

$$H_1 = H_2/d$$

Donde:

H_1 : Toneladas de agua para degradar 1m^3 de RSM.

H_2 : m^3 de agua para degradar 1m^3 de RSM.

d: Densidad del agua, (ton/m^3).

* NMX-AA-18-1984. Determinación de cenizas.

Capítulo IV

IV Generación de gases y lixiviados provocados por la descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario.

Algunos de los compuestos provenientes de los residuos sólidos y que logran emigrar de las zonas de disposición final, pueden ser relativamente inertes e inofensivos, pero existe muchos que pueden causar serios daños al suelo, aún en pequeñas concentraciones. Pueden inhibir o eliminar a los organismos vivos presentes en el suelo, rompiendo el equilibrio bioquímico del suelo. También pueden ser transportados del suelo al aire o a los cuerpos de agua y diseminarse con mayor rapidez, afectando a los ecosistemas y generando efectos adversos a la salud humana.

En este capítulo se presentan aspectos conceptuales y principios básicos de la generación de gases y lixiviados, en un relleno sanitario.

IV.1 Generación de los principales gases en un relleno sanitario.

Como se menciona en el capítulo anterior, un relleno sanitario genera dos importantes salidas a controlar: gases (también llamado biogases) y fluidos (lixiviados).

De los gases presentes en el biogas, los principales son el metano y el dióxido de carbono, llegando a representar alrededor del 90% del biogas. Los demás constituyentes que se mencionan en el cuadro 4.1 (oligogases), se presentan en concentraciones muy pequeñas y se expresan en partes por millones.

Cuadro 4.1 Constituyentes del biogas.

TIPO DE GAS	Concentración (%)
Metano	45-60
Dióxido de Carbono	40-60
Nitrógeno	2-5
Oxígeno	0.1-1
Sulfuros, Disulfuros, Mercaptanos, etc.	0-1
Amoníaco	0.1-1
Hidrógeno	0-0.2
Monóxido de Carbono	0-0.2
Gases en Cantidades Traza	0.01-0.6

Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. 1, 1994.

En cuanto al metano se sabe que cuando se encuentra en concentraciones de entre el cinco y diez por ciento en el aire, lo hacen un gas explosivo. Esta situación se puede presentar en el interior del relleno; sin embargo, no presenta riesgo de explosiones debido a la ausencia de oxígeno. El riesgo se presenta cuando hay fugas al exterior del relleno, pues el metano al mezclarse con el aire atmosférico puede formar las concentraciones antes mencionadas.

Por otra parte, tanto el dióxido de carbono como el metano, que son dispuestos por dispersión en la atmósfera, contribuyen con problemas ambientales tales como el calentamiento global y el efecto invernadero.

Para rellenos sanitarios que manejan residuos no peligrosos, se observa que el grado de descomposición varía con el tiempo de acuerdo a la velocidad de degradación de los constituyentes orgánicos, llegando en los primeros dos años a la máxima producción de biogas, después sigue un periodo que oscila entre los 25 años con una velocidad de descomposición más baja y por lo tanto una menor producción de biogas.

La condición más importante para que se realice adecuadamente la degradación de los residuos, es la de mantener la humedad necesaria para que se lleve a cabo la reacción esencial para la conversión de los residuos (ecuación 3.2), ya que existe la experiencia en rellenos donde no se añadió humedad, de encontrar materiales en su forma original, como periódicos en estado legible, años después de haber sido enterrados. Por otro lado, también hay que tomar en cuenta una cantidad adicional de humedad debida a condiciones extremas debidas a las condiciones climáticas locales para realizar los ajustes que correspondan, considerando una muestra testigo para tal efecto.

La generación de biogas ocasiona varios impactos al ambiente, por su toxicidad y explosividad (como se mencionó anteriormente), tanto a la atmósfera, como al suelo y a los cuerpos de agua. Se debe contemplar, por tanto, métodos alternativos de destrucción, control y/o aprovechamiento del biogas. Algunos de los métodos más comunes son:

- Ventilación para reducir la presión en la cobertura del relleno.
- Zanja perimétrica (barrera).
- Barreras impermeables.
- Barreras absorbentes para los oligogases.
- Chimeneas perimétricas (horizontales y verticales) para la extracción del gas y el control de olores.
- Zanjas perimétricas para la extracción del gas.
- Incineración del biogas.
- Sistemas de recuperación de energía a partir del biogas.
- Purificación y recuperación del biogas.

Movimiento del gas en el relleno.

Para suelos en estado natural, la liberación de gases producidos se realiza mediante difusión molecular. Para rellenos sanitarios, donde la presión interna es mayor a la atmosférica, es mediante difusión y flujo convectivo (por presión). Es posible que se retarde o anule el movimiento por absorción con líquidos o sólidos o por resultado de la actividad biótica y reacciones químicas del proceso. La ecuación 4.1 es una expresión general para obtener el volumen de control unidimensional (vertical).

$$\alpha(1 + \beta) \frac{\partial C_A}{\partial t} = -V_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + D_z \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} + G \quad \dots(4.1)$$

Donde:

α Porosidad total, cm^3/cm^3 .

- β Factor de retardación teniendo en cuenta el cambio de absorción y de fase.
- C_A Concentración del compuesto A, g/cm³.
- V_z Velocidad de convección vertical, cm/s.
- D_z Coeficiente de difusión efectiva, cm²/s
- G Parámetro agrupado utilizado para justificar todos los términos de generación, g/cm³·s.
- z Profundidad, m.

Para obtener la velocidad de convección se utiliza la ley de Darcy (ecuación 4.2):

$$V_z = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \quad \dots(4.2)$$

Donde:

- V_z Velocidad de convección, m/s.
- k Permeabilidad intrínseca, m².
- μ Viscosidad de la mezcla del gas, N·s/m².
- P Presión, N/m².
- z Profundidad, m.

Valores típicos de velocidad de convección están en el rango de 1 a 15cm/d.

Con el fin de simplificar las estimaciones de la ecuación 4.1 es posible despreciar los efectos de absorción y generativos, obteniéndose así la ecuación 4.3.

$$0 = -V_z \frac{dC_A}{dz} + D_z \frac{d^2 C_A}{dz^2} \quad \dots(4.3)$$

Si no se produce gas en cantidades significativas, se puede obtener con la parte difusiva la ecuación 4.4.

$$N_A = -D_z \frac{dC_A}{dz} \quad \dots(4.4)$$

Donde:

- N_A Flujo de gas, g/cm²·s.

Para el cálculo de la difusión efectiva (función de la difusión molecular y la porosidad del suelo) se cuenta con la ecuación 4.5, determinada empíricamente.

$$D_z = D \frac{(\alpha_{gas})^{10.3}}{\alpha^2} \quad \dots(4.5)$$

Donde:

- D_z Coeficiente de difusión efectiva, cm²/s.
- D Coeficiente de difusión, cm²/s.

- α_{gas} Porosidad llena de gas, cm^3/cm^3 .
 α Porosidad total, cm^3/cm^3 .

Movimiento de los gases principales.

Mucho depende de las características del relleno y zonas circundantes, el curso que seguirán los principales gases. El material de cubierta, el suelo circundante, la ventilación y en general las formas que se disponen para el control de los gases influyen en el movimiento de los gases.

La mayoría del gas escapa a la atmósfera; sin embargo, es posible encontrar movimiento lateral en el caso del metano, ya que su peso específico es menor que el del aire, y si no se extrae correctamente, puede migrar y acumularse en edificaciones o lugares cerrados. El dióxido de carbono por su parte, es 1.5 veces más denso que el aire, por lo que tiende a moverse hacia las partes bajas del relleno.

El movimiento ascendente lo pueden realizar el metano y el dióxido de carbono mediante convección y difusión. El flujo difuso a través de la cobertura se calcula con las ecuaciones 4.4 y 4.5 suponiendo además que la pendiente de concentración es lineal y el suelo es seco, se tiene que al llenar el gas los espacios $\alpha_{gas} = \alpha$.

Suponiendo que las condiciones secas del suelo introducen un factor de seguridad (cualquier filtración de agua reduciría los espacios en los poros y por tanto el flujo), se obtiene la ecuación 4.6 para el flujo gaseoso.

$$N_A = - \frac{D_A^{4/3} (C_{A_{sup}} - C_{A_{inf}})}{L} \quad \dots(4.6)$$

Donde:

- N_A Flujo gaseoso compuesto A, $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$.
 $C_{A_{sup}}$ Concentración del compuesto A en la superficie de cobertura del relleno, g/cm^3 .
 $C_{A_{inf}}$ Concentración del compuesto A en el fondo del relleno, g/cm^3 .
 L Profundidad del relleno, cm .

Los valores típicos para el coeficiente de difusión del metano y dióxido de carbono son $0.20 \text{cm}^2/\text{s}$ y $0.13 \text{cm}^2/\text{s}$, respectivamente.

El movimiento descendente lo realiza el dióxido de carbono, acumulándose en el fondo del relleno, en donde es preciso que se le contenga (puede ser con un recubrimiento de geomembrana), pues de no ser así, el CO_2 puede moverse por difusión hacia abajo y llegar a al agua subterránea, en donde puede solubilizarse y reaccionar con ella para formar ácido carbónico, lo cual baja el pH del agua y puede con el tiempo incrementar su dureza y contenido mineral.

IV.2 Generación de gases en las diferentes etapas del relleno sanitario.

El proceso de generación de los diferentes gases que componen el biogas en un relleno sanitario se compone de cinco o menos fases secuenciales, que se describen a continuación:

Fase I: Ajuste inicial.

Inicialmente, el proceso es de tipo aerobio de muy corta duración (durante la colocación y poco después), generándose una elevación de la temperatura. La parte orgánica de los residuos CHON (que son el componente más reactivo en los residuos no peligrosos) comienza a descomponerse generando bióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) como productos de la fase aerobia.

Los organismos que participan en la descomposición, provienen principalmente del material de suelo que se utiliza como cubierta, de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales y del lixiviado reciclado.

Fase II: Fase de transición.

En la fase II, la presencia de organismos facultativos y anaerobios comienzan a predominar conforme el oxígeno se agota, prosiguiendo, aunque lentamente, con la descomposición de los residuos y generando ácidos orgánicos, nitrógeno (N_2), bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y en mucho menor proporción ácido sulfhídrico (H_2S) como elementos típicos de esta fase.

El monitoreo de las condiciones anaerobias se consigue midiendo el potencial de oxidación/reducción de los residuos. Las condiciones de reducción suficientes para producir la reducción del nitrato y del sulfato se dan entre -50 y -100 milivoltios aproximadamente. El metano se produce con valores del potencial de oxidación/reducción dentro del rango de -150 a -300 milivoltios.

Fase III: Fase ácida.

En la fase III, no hay producción de metano, ya que los materiales orgánicos son desdoblados por los organismos facultativos y anaeróbicos, de tal manera que los materiales complejos como la celulosa, grasas, proteínas y carbohidratos, son hidrolizados y fermentados convirtiéndose en organismos más simples. En esta fase, los ácidos orgánicos son consumidos por bacterias metanogénicas (estas bacterias son estrictamente anaeróbicas), produciendo metano y bióxido de carbono.

Se inicia un proceso de tres pasos con la conversión de material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios. El primer paso consiste en la transformación por enzimas (hidrólisis), en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y de carbono celular. El segundo paso (acidogénesis) consiste en la conversión microbiana de los compuestos formados en el paso anterior, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como el ácido acético (CH_3COOH) y en menores concentraciones el ácido fólvico y otros ácidos más complejos.

El pH del lixiviado, si se forma, desciende a valores de 5 o menos, debido a la presencia de los ácidos orgánicos y por las elevadas concentraciones de CO₂. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y la conductividad del lixiviado se incrementarán significativamente durante el tercer paso debido a la disolución de los ácidos orgánicos. También se solubilizarán algunos constituyentes inorgánicos, principalmente metales pesados, debido a los bajos niveles de pH en el lixiviado. La formación de lixiviado en esta etapa es indicio del grado de conversión de los residuos. El lixiviado debe reciclarse, ya que contiene nutrientes esenciales que se separan de los residuos, necesarios para la actividad microbiana.

Fase IV: Fase de fermentación del metano.

La fase IV consiste en la conversión, por otro grupo de microorganismos, del ácido acético y el gas de hidrógeno en metano y dióxido de carbono. Dichos microorganismos se llaman metanogénicos o formadores de metano, y son estrictamente anaerobios (aún pequeñas cantidades de oxígeno pueden matar a estos microorganismos). La formación de ácido continúa aunque en mucho menor cantidad.

El pH del lixiviado cambia a valores más neutros en tanto que las concentraciones de DBO₅, DQO y conductividad se reducen. Y debido a los valores más altos de pH, menos constituyentes inorgánicos quedan en disolución, lo que reduce también la presencia de metales pesados en el lixiviado.

Fase V: Fase de maduración.

En la última fase, el material inorgánico biodegradable se convierte en metano y bióxido de carbono. La generación de biogas disminuye considerablemente debido a que la mayoría de los nutrientes que consumían los microorganismos han sido removidos de los residuos junto con el lixiviado en fases anteriores y los residuos que quedan por degradar son de una degradación lenta. Es frecuente encontrar ácidos húmicos y fúlvicos en el lixiviado, los cuales son difíciles de degradar biológicamente.

La duración de las fases varía en función de la distribución de los componentes orgánicos, de la disponibilidad de nutrientes, del contenido de humedad, del paso de la humedad a través del relleno y del grado de compactación inicial. Variaciones importantes de densidad pueden obstruir el paso de la humedad retardando el proceso de bioconversión de los residuos.

IV.3 Generación de lixiviados.

Con el paso del agua a través del relleno, la descomposición de los residuos produce una solución que se denomina lixiviado y que es rica en contaminantes, por lo que su control es muy importante desde el punto de vista ambiental.

La composición de un lixiviado producido en un relleno sanitario puede ser muy compleja; sin embargo, hay características químicas que generalmente predominan:

Una gran cantidad de hidrocarburos solubles.

Gran cantidad de nitrógeno orgánico y amoniacal.

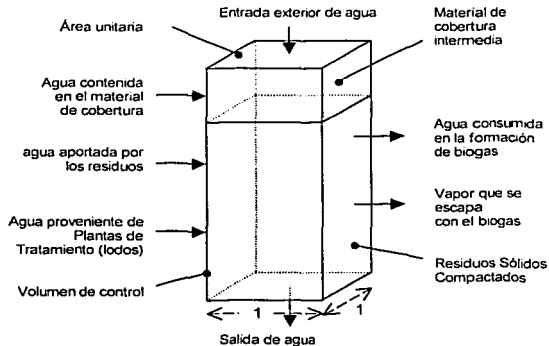
Presencia de metales pesados como: cadmio (Cd), níquel (Ni), zinc (Zn), plomo (Pb).

Valores muy altos de Demanda química de oxígeno (DQO).

Salinidad muy elevada.

Para determinar la generación de lixiviados se realiza un balance hidrológico, cuyos elementos se muestran en la figura 4.1, el cual involucra todas las entradas y salidas de agua, además de la capacidad de campo.

Figura 4.1 Esquema para el balance hidrológico para una celda en un relleno sanitario.



Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

Los elementos del balance hidrológico se describen a continuación:

Capacidad de campo.

Tanto el material de cobertura como los residuos retienen cierta capacidad para contener agua (por tensión capilar), el límite que pueden retener, en contra de la gravedad, se denomina capacidad de campo (CC). La cantidad potencial de lixiviado es la que sobrepasa este límite. La CC se calcula con la ecuación 4.7.

$$CC = 0.6 - 0.55 \left(\frac{W}{10,000 + W} \right) \quad \dots(4.7)$$

Donde:

(C) Capacidad de campo (fracción de agua en los residuos al restar el peso seco de los mismos).

W' Peso de sobrecarga calculado en la mitad de la altura de los residuos dentro del nivel en cuestión.

Entradas de agua al sistema.

Filtración superior. Es la filtración directa del agua superficial proveniente de la precipitación atmosférica a través del material de cobertura, la cual avanza a través de las diferentes capas que componen el relleno. Es importante determinar la cantidad de

lluvia que realmente pasa a través de la capa de cobertura del relleno, pues el aporte puede ser muy importante.

Aportación de los residuos sólidos. Es el agua que aportan los residuos al momento en que son dispuestos en la celda que les correspondiente. Se debe considerar la pérdida o ganancia de humedad en el almacenamiento y en general en el manejo de los residuos hasta su disposición. Por condiciones climatológicas locales puede ser necesario realizar ensayos para calibrar las determinaciones.

Aportación del material de cubierta. Es la cantidad de agua que contiene el material de cubierta, la cual depende de sus características propias y la estación del año.

Se define como Capacidad de campo del material (CC) a la cantidad máxima de humedad que el material de cubierta puede retener (que es la cantidad de agua que puede quedar atrapada en los intersticios de la estructura del material). Los valores para arenas varían entre 6 y 12%, y entre 23 y 31% para margas arcillosas.

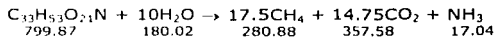
Filtración lateral. Es el agua que se filtra y que proviene de corrientes subterráneas (si es el caso) que se mueven horizontalmente al suelo y que pueden llegar directamente al relleno.

Filtración inferior. Es el agua que se filtra por el contacto directo con aguas subterráneas por la elevación del nivel piezométrico.

Salidas de agua del sistema.

Filtración inferior. Es el líquido que se filtra por los residuos y logra pasar al fondo del relleno (lixiviado), o bien todo el líquido recolectado por los sistemas provistos para el manejo de los lixiviados.

Pérdida en la formación de gas. Es el agua que se consume durante la reacción principal de la descomposición anaerobia de los constituyentes orgánicos de los RSM. La cantidad de agua se puede determinar utilizando la ecuación 3.2. Tomando como ejemplo la ecuación 3.3, la cantidad de agua absorbida por kilogramo de residuos orgánicos secos consumidos se obtiene de la siguiente manera:



La masa de agua consumida por kilogramo de residuos sólidos volátiles rápidamente biodegradables (SVRB) secos y destruidos se obtiene con:

$$\text{Agua consumida} = \frac{180.02}{799.87} = 0.225 \text{ kg de H}_2\text{O/kg de SVRB destruidos.}$$

Pérdida como vapor de agua. Normalmente el biogas se encuentra saturado en vapor de agua, por lo que la cantidad de vapor de agua que escapa del relleno se determina aplicando la ley de los gases perfectos (ecuación 4.8).

$$P_v V = nRT \quad \dots(4.8)$$

Donde:

- P_v Presión de vapor de agua a temperatura T , atm.
 V Volumen, l.
 n Número de moles.
 R Constante de la ley universal de los gases = $0.00082057 \text{ m}^3 \cdot \text{atm} / \text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$.
 T Temperatura, $K (273 + ^\circ\text{C})$.

Otras pérdidas. Se pueden registrar pérdidas de humedad durante la operación de vertido, que pueden tomarse en cuenta dependiendo de las condiciones locales.

Finalmente, reuniendo los elementos antes mencionados, el balance hidrológico queda representado por la ecuación 4.9.

$$\Delta S_{RS} = W'_{RS} + W'_{FT} + W'_{MC} + W'_{A(u)} - W'_{GI} - W'_E + W'_{F(L)} \quad \dots(4.9)$$

Donde:

- ΔS_{RS} Variación en la cantidad de agua almacenada en los RSM en el relleno, Kg / m^3 .
 W'_{RS} Cantidad de agua en los residuos sólidos entrantes, $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.
 W'_{FT} Agua contenida en lodos de plantas de tratamiento entrantes, $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.
 W'_{MC} Agua del material de cobertura, $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.
 $W'_{A(u)}$ Agua filtrada superiormente (para la capa superior del relleno es el agua de lluvia o el agua de nieve), $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.
 W'_{GI} Agua perdida en la formación de biogas, $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.
 $W'_{I,s}$ Agua perdida como vapor de agua saturado con el biogas, $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.
 W'_E Agua perdida debido a evaporación superficial, $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.
 $W'_{I(L)}$ Agua perdida inferiormente (en la celda localizada directamente por encima de un sistema para la recogida de lixiviado), $\text{Kg} \cdot \text{m}^3$.

El balance hidrológico se prepara por capas, es decir, sumando la cantidad de agua entrante por unidad de área de una capa concreta en estudio, para un incremento de tiempo dado, al contenido de humedad de la capa al final del incremento del tiempo anterior, sustrayendo la cantidad de agua perdida durante el periodo de tiempo actual. El resultado es el agua disponible en el incremento de tiempo actual para esa capa; si es mayor a la capacidad de campo, se formará lixiviado que será igual a $\Delta S_{RS} - CC$.

El control sobre la cantidad de lixiviado depende directamente de la cantidad de agua entrante y la calidad de la construcción. Los lodos que provienen de plantas de tratamiento de aguas residuales aportan importantes cantidades de agua y pueden incrementar significativamente la generación de lixiviados.

Composición del lixiviado.

Muchos materiales biológicos y constituyentes químicos se integran al agua al filtrarse ésta a través de los residuos sólidos. En el cuadro 4.2 se presenta los

principales constituyentes y características que presentan los lixiviados en rellenos recientes y maduros.

Cuadro 4.2 Datos típicos sobre características los lixiviados.

Constituyente	Valor, mg/l ^a		
	Relleno nuevo (menos de 2 meses)		Relleno maduro (mayor de 10 años)
	Rango ^b	Típico ^c	
DBO ₅ (Demanda bioquímica de oxígeno de 5 días)	2,000-30,000	10,000	100-200
COT (Carbono Orgánico Total)	1,500-20,000	6,000	80-160
DOO (Demanda Química de Oxígeno)	3,000-60,000	18,000	100-500
Total de sólidos en suspensión	200-2,000	500	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO ₃	1,000-10,000	3,000	200-1000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Dureza total como CaCO ₃	300-10,000	3,500	200-500
Calcio	200-3,000	1,000	100-400
Magnesio	50-1,500	250	50-200
Potasio	200-1,000	300	50-400
Sodio	200-2,500	500	100-200
Cloro	200-3,000	500	100-400
Sulfatos	50-1,000	300	20-50
Hierro total	50-1,200	60	20-200

^a Excepto el pH, que no tiene unidades.

^b Rango representativo de valores para lixiviados.

^c Los valores típicos para rellenos nuevos variarán según el estado metabólico del relleno.

Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. 1. 1994.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 4.3 Parámetros de muestreo de los lixiviados.

Físicos	Constituyentes orgánicos	Constituyentes Inorgánicos	Biológicos
aspecto	Químicos orgánicos	Sólidos en suspensión (SS), sólidos totales disueltos (STD)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
pH	Fenoles	Sólidos volátiles en suspensión (SVS), sólidos volátiles disueltos (SVD)	Bacterias coliformes (total, fecal, fecal estreptococo)
Potencial de reducción oxidación	Demanda química de oxígeno (DQO)	Cloruros	Recuento sobre placas estándar
Conductividad	Carbono orgánico total (COT)	Sulfatos	
Color	Ácidos volátiles	Fosfatos	
Turbiedad	Táninos, ligninas	Alcalinidad y acidez	
Temperatura	Nitrógeno orgánico	N-Nitrato	
Olor	Solubles en éter (aceite y grasa)	N-Nitrito	
	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	N-Amoniaco	
	Grupos funcionales orgánicos según sean requeridos	Sodio	
	Hidrocarburos clorados	Potasio	
		Calcio	
		Magnesio	
		Dureza	
		Metales pesados (Pb, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Fe, Mn, Hg, Ba, Ag)	
		Arsenio	
		Cianuro	
		Flúor	
		Selenio	

Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. 1. 1994.

La composición química varía con la edad del relleno y la historia reciente (o fase de generación) del muestreo.

La biodegradabilidad del lixiviado se supervisa con la relación DBO_5/DQO . En las primeras fases es de 0.5 o más, relaciones menores indican materia orgánica de fácil degradación. En rellenos viejos, debido al aumento de ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradables, esta relación baja a rangos de 0.05 a 0.2.

IV.4 Generación de oligogases.

Los oligogases son los gases que se presentan en menor proporción en el biogas, algunos pueden ser tóxicos y podrían representar riesgos para la salud pública.

Pueden llegar directamente con los residuos o ser producidos en el relleno por reacciones bióticas y abióticas. De los que vienen con los residuos, llegan en forma líquida pero tienden a volatilizarse y formar parte del gas del relleno. La tendencia a

volatilizarse es directamente proporcional a la presión de vapor del líquido, inversamente proporcional al área de una esfera de líquido volátil dentro del relleno.

En el cuadro 4.4 se presentan los tiempos de volatilización para oligocompuestos seleccionados de frecuente presencia en rellenos sanitarios para RSM.

Cuadro 4.4 Tiempos estimados para la volatilización completa de líquidos volátiles.

Compuesto	Tiempo de evaporación, d*
Cloroetano	0.0
Diclorometano	1.2
Triclorometano	4.4
Benceno	6.4
Tetraclorometano	9.6
Tricloroetano	13.6
Tolueno	23.4
Tetracloroetano	62.6
Clorobenceno	76.0
1,2-Dibromoetano	128.2
o-Diclorobenceno	497.6

* En base a una esfera de 10mm de líquido volátil a 25°C, en un relleno con una porosidad de 0.5
Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

La presencia de compuestos orgánicos volátiles se debe principalmente a la introducción de residuos peligrosos en el relleno sanitario, que aunque esta prohibida su disposición en este tipo de instalaciones, se sabe que si ocurre regularmente.

Para conocer la formación o consumos de estos constituyentes es necesario investigar cada caso en particular, aunque es posible que por su naturaleza orgánica sean absorbidos por los constituyentes de los residuos en el relleno. Las vidas medias varían de menos de un año hasta más de mil años para algunos compuestos. Las tasas de transformación bioquímica no han sido estudiadas seriamente hasta el momento.

Estudios en otros países, como Estados Unidos e Inglaterra, reportan datos sobre las concentraciones de los oligocompuestos encontrados en muestras ensayadas en sus laboratorios, muchos se clasifican como compuestos orgánicos volátiles (COV). Se presentan en el cuadro 4.5 los resultados obtenidos tras el estudio de 66 rellenos de RSM en el estado de California, EU.

La solubilidad de los gases se determina para predecir su presencia en los lixiviados.



Cuadro 4.5 Concentraciones típicas de compuestos en cantidades traza encontrados en el biogas de 66 rellenos de RSM en Ca, EU.

Compuesto	Concentración, ppbV*		
	Mediana	Media	Máxima
Acetona	0	6,838	240,000
Benceno	932	2,057	39,000
Clorobenceno	0	82	1,640
Cloroformo	0	245	12,000
1,1-Dicloroetano	0	2,801	36,000
Diclorometano	1,150	25,694	620,000
1,1-Dicloroetano	0	130	4,000
Clordietileno	0	2,835	20,000
Trans-1,2-Dicloropropano	0	36	850
2,3-Dicloropropano	0	0	0
1,2-Dicloropropano	0	0	0
Bromuro de etileno	0	0	0
Dicloroetileno	0	59	2,100
Oxido de etileno	0	0	0
Etilbenceno	0	7,334	87,500
Metil-etil-cetona	0	3,092	130,000
1,1,2-Tricloroetano	0	0	0
1,1,1-Tricloroetano	0	615	14,500
Tricloroetileno	0	2,079	32,000
Tolueno	8,125	34,907	280,000
1,1,2,2-Tetracloroetano	0	246	16,000
Tetracloroetileno	260	5,244	180,000
Cloruro de vinilo	1,150	3,508	32,000
Estirenos	0	1,517	87,000
Acetato de vinilo	0	5,663	240,000
Xileno	0	2,651	38,000

* ppbV = partes por billón (mil millones) por volumen.

Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. 1, 1994.

Movimiento de oligogases.

A partir de la ecuación 4.6 del movimiento ascendente, se llega a la similar para oligogases (ecuación 4.10).

$$N_i = - \frac{D\alpha^3(C_{i,s} - C_i W_i)}{L} \dots(4.10)$$

Donde:

- N_i Flujo de vapor del compuesto i , g/cm²·s.
- D Coeficiente de difusión, cm²/s.
- α Porosidad del suelo seco, cm³/cm³.
- $C_{i,s}$ Concentración saturada del compuesto i en la superficie de cubierta del relleno, g/cm³.
- C_i Concentración saturada del vapor del compuesto i , g/cm³.
- W_i Factor para justificar la fracción actual del compuesto i en los residuos.

$C_i W$ Concentración del compuesto i en el fondo de cubierta del relleno, g/cm^3 .

L Profundidad de la cubierta del relleno, cm.

La simplificación a esta ecuación se puede hacer suponiendo $C_{lim} = 0$. Esto es posible debido a que la concentración de los oligocompuestos baja rápidamente al llegar a la superficie por dispersión y difusión ocasionadas por viento y aire respectivamente. El resultado es la ecuación 4.11.

$$N_i = \frac{D\alpha^{43}(C_i W_i)}{L} \dots(4.11)$$

Se presentan valores estimados para D en el cuadro 4.6. Los valores de porosidad normalmente varían de 0.010 a 0.30 para diferentes tipos de arcilla. Para aproximaciones en trabajos de campo, se puede recurrir al cuadro 4.7, que contiene datos representativos para el término W_i en rellenos sanitarios con RSM.

Cuadro 4.6 Propiedades físicas de 12 compuestos típicos de oligogases.

Compuesto	0°C			10°C			20°C		
	D ^a	pv ^b	C _s ^c	D	pv	C _s	D	pv	C _s
Etilbenceno	0.052	2.0	12.48	0.055	3.9	23.47	0.059	7.3	42.44
Tolueno	0.056	6.7	36.26	0.060	12	62.65	0.064	22	110.9
Tetracloroetano	0.053	4.1	39.95	0.057	7.9	74.27	0.061	15.6	127.1
Benceno	0.066	27	123.9	0.070	47	208.1	0.075	76	325.0
1,2-Dicloroetano	0.063	24	139.6	0.068	41	230.0	0.072	62	363.0
Tricloroetano	0.059	20	154.5	0.063	36	268.4	0.067	60	424.8
1,1,1-Tricloroetano	0.058	36	282.2	0.062	61	461.3	0.067	100	715.9
Tetracloruro de carbono	0.058	32	289.3	0.062	54	470.9	0.066	90	741.2
Cloroformo	0.065	61	427.9	0.070	100	676.7	0.075	160	1,026
1,2-Dicloroetano	0.077	110	626.7	0.082	175	961.8	0.087	269	1,428
Diclorometano	0.074	155	773.6	0.080	242	1,165	0.085	349	1,702
Cloruro de vinilo	0.080	1,280	4,701	0.085	1,810	6,413	0.091	2,548	8,521
(Continuación)	30°C			40°C			50°C		
Compuesto	D	pv	C _s	D	pv	C _s	D	pv	C _s
Etilbenceno	0.062	13	73.08	0.066	22	119.7	0.069	36	189.9
Tolueno	0.068	37	180.4	0.073	59	278.5	0.077	92	420.9
Tetracloroetano	0.065	24	210.7	0.069	40	340.0	0.073	63	581.9
Benceno	0.081	122	504.6	0.086	185	740.7	0.091	274	1,063
1,2-Dicloroetano	0.077	107	560.7	0.082	164	831.9	0.088	243	1,194
Tricloroetano	0.072	94	654.5	0.077	146	984.1	0.082	217	1,417
1,1,1-Tricloroetano	0.071	153	1,081	0.076	231	1,580	0.081	338	2,240
Tetracloruro de carbono	0.071	138	1,124	0.075	209	1,648	0.080	308	2,353
Cloroformo	0.080	240	1,517	0.085	354	2,166	0.090	508	3,012
1,2-Dicloroetano	0.092	399	2,048	0.097	576	2,862	0.102	810	3,901
Diclorometano	0.091	536	2,410	0.097	763	3,322	0.103	1,060	4,472
Cloruro de vinilo	0.098	3,350	11,090	0.104	4,410	14,130	0.110	5,690	17,660

^a Coeficiente de difusión, cm^2/s .

^b Presión de vapor, Hg mm.

^c Concentración de vapor saturado, g/m^3 .

Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 4.7 Medias y saturaciones de oligocompuestos en fase gaseosa.

Compuestos	Concentración, mg/m ³		Factor de escala, W _i
	Valor máximo medido ^a	Valor de saturación	
Benceno	135.9	319,000	0.0004
Clorobenceno	6.8	54,000	0.0001
Etilbenceno	414.5	40,000	0.01
1,1,1-Tricloroetano	86.3	715,900	0.0001
Cloroetano	89.2	8'521,000	0.00001
Tetracloroetano	1,331.7	126,000	0.01
Tricloroetano	85.1	415,000	0.0002
Diclorometano	871.5	1'702,000	0.0005
Triclorometano	63.9	1'027,000	0.00001
Tolueno	1,150.5	110,000	0.01

^a Mediciones tomadas de 44 rellenos de Cal, EU.

Fuente: Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo V

V Caso estudio.

V.1 Proyecto de relleno sanitario para la ciudad de Irapuato, Guanajuato.

Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario, en Irapuato, Guanajuato. SEDUE. Subsecretaría de Ecología.

El proyecto que se describe a continuación sirve de ejemplo para mostrar la aplicación de la metodología de la presente tesis. Se presentan sólo las características generales del proyecto, así como los datos estadísticos de generación y composición de RSM, que servirán para determinar la composición físico-química y la generación de gases y lixiviados.

Características generales de la Población.

Ubicación geográfica.

La ciudad de Irapuato está localizada en el Estado de Guanajuato, municipio del mismo nombre, en el paralelo 20°40'48" latitud Norte y el meridiano 101°20'51" longitud Oeste. Limita al Norte con los municipios de Silao y Guanajuato, al Sur con los de Abasolo y pueblo Nuevo, al Este con Salamanca y al Oeste con Romita y Abasolo.

El municipio se encuentra localizado en terreno plano, con una altitud media de 1724 metros sobre el nivel del mar, en el valle del Bajío.

Las actividades industriales son un factor importante dentro de su desarrollo económico, debido a su localización en el centro del corredor industrial que une a León y Apasco El Grande, Gto.

Climatología.

Predomina el clima semi-cálido. La temperatura media anual fluctúa entre los 18.4 y 20.4 °C. Normalmente, los vientos tienen dirección Noreste-Suroeste.

Hidrología.

La región de Irapuato cuenta con dos corrientes fluviales de importancia: los ríos Guanajuato y Temascalco. El primero atraviesa el municipio de Norte a Sur, y presenta una fuerte contaminación debido a las descargas de aguas no tratadas que recibe, de la ciudad de Guanajuato y de las zonas mineras del municipio, así como las de poblados aledaños. El río Temascalco recibe aguas residuales de la ciudad de Irapuato.

Aspectos socioeconómicos.

Las actividades económicas del municipio están distribuidas como sigue:

Actividades primarias	34.62%
Actividades secundarias	25.13%
Actividades terciarias	40.24%

Actividades primarias: Agricultura, silvicultura, caza y pesca.

Actividades secundarias: Explotación de minas y canteras; Industrias manufactureras; electricidad, gas y agua; y construcción.

Actividades terciarias: Comercio al por mayor y al por menor, restaurantes y hoteles; transportes, almacenamiento y comunicaciones; y establecimientos financieros, seguros, bienes inmuebles y servicios prestados a las empresas.

La ciudad de Irapuato concentra la mayor parte de las actividades secundarias y terciarias.

Aspectos generales del medio urbano.

La explosión demográfica de la ciudad dificulta la distribución de equipo y servicios a la zona urbana e impide que estos servicios lleguen a las zonas rurales.

El déficit de vivienda se presenta principalmente en la periferia de la ciudad de Irapuato y la zona rural del municipio. El sistema de alcantarillado tiene una cobertura insuficiente en varias localidades rurales. En cuanto al suministro de agua potable, la cobertura es suficiente para todo el municipio y la ciudad.

Diagnóstico de la situación actual.

Ubicación del sitio de disposición final.

El actual sitio de disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Irapuato, Guanajuato, se encuentra ubicado aproximadamente a 5 Km de la mancha urbana, en la margen derecha del camino a Guanajuato.

El acceso al sitio se tiene por un camino de terracería en buen estado y con una longitud aproximada de 700 m.

Método actual de disposición final y características generales.

Se trata de un banco de extracción de tezontle abandonado y en el cual se depositan los residuos sólidos a cielo abierto, sin control sanitario alguno. La capacidad estimada es de aproximadamente 150,000 m³.

No existe orden en la descarga de los residuos sólidos por parte de los vehículos recolectores, ya que los depositan en la parte alta del sitio, o bien, los dejan caer hasta el fondo del mismo.

Principales problemas ocasionados por el método de disposición final.

Al no controlarse de ninguna manera la disposición final de los residuos sólidos, éstos se encuentra permanentemente en combustión.

La descarga no planificada de los residuos ha provocado que los terrenos circundantes al sitio se encuentren contaminados y con gran difusión de materiales ligeros, como papel y plásticos.

Estudios previos.

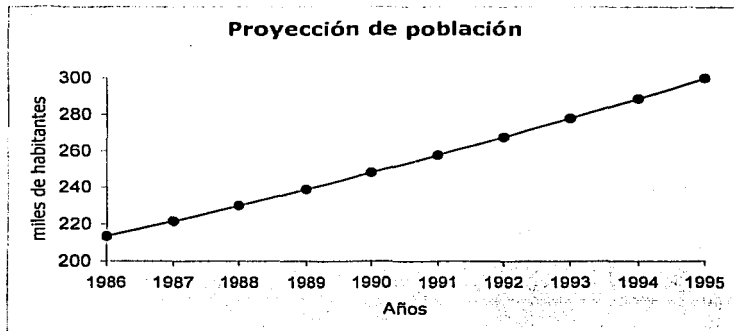
Demografía.

Se tomaron como base los censos de población para 1970 y 1980, con los que se contaba en ese momento, para obtener una proyección de población utilizando el método geométrico, los resultados se presentan en el cuadro y gráfica 5.1.

Cuadro 5.1 Demografía.

Año	Población (hab)
1986	213,377
1987	221,584
1988	230,107
1989	238,958
1990	248,149
1991	257,694
1992	267,606
1993	277,899
1994	288,588
1995	299,688

Gráfica 5.1



Fuente: Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato, Gto. 1985. SEDUE. Subsecretaría de Ecología.

La población obtenida con el método anterior es menor que la proporcionada por las autoridades municipales, las cuales estimaron para 1986, una población de 370,000 habitantes, por lo que, para efectos de cálculo, se tomó el promedio entre los datos del municipio y la proyección anterior. Los resultados se presentan en el cuadro 5.2.

$$(213,377 + 370,000) / 2 = 291,689$$

Cuadro 5.2 Crecimiento poblacional.

Año	Población (hab)
1986	291,689
1987	306,814
1988	323,839
1989	341,807
1990	360,772
1991	380,789
1992	401,917
1993	424,217
1994	447,754
1995	472,598

Fuente: Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato, Gto. 1985. SEDUE. Subsecretaría de Ecología.

Distribución demográfica.

La población en la ciudad de Irapuato se consideró, en su mayor parte, como joven, por que en 1970 el 40% de los habitantes del municipio eran menores de 15 años, lo cual tuvo incidencia sobre la tasa de dependencia y la necesidad de servicios escolares.

En el año de 1975, las familias estaban constituidas, en promedio, por 6 miembros, siendo las más frecuentes las constituidas por 5.

Las densidades de población para el año de 1980 se muestran en el cuadro 5.3.

Cuadro 5.3 Densidad de población.

Tipo de zona	Densidad (Hab/Ha)
Centro urbano	170.8
Habitación residencial	60.6
Habitación media	204.6
Habitación mixta	58.9
Habitación popular	80.4
Habitación precaria	86.9

Fuente: Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato, Gto. 1985. SEDUE. Subsecretaría de Ecología.

Como se puede apreciar, la mayor densidad de población se concentra en la zona de habitación media, y la de menor densidad, en las zonas de habitación mixta.

Pluviografía

Según datos proporcionados por la SARH, los meses más lluviosos del año son los de junio, julio y agosto, y los más secos son octubre, noviembre, diciembre y enero. La precipitación media anual registrada durante el periodo 1971-1984 fue de 669mm/año.

La evaporación promedio anual, durante el periodo 1971-1984, fue de 2,279mm/año, siendo abril y mayo los meses con más evaporación, y diciembre y enero los de menor evaporación.

Evaluación de parámetros.

Generación de residuos sólidos domiciliarios.

Para obtener este parámetro se realizaron los correspondientes estudios estadísticos utilizando la siguiente metodología:

Para cada una de las casas-habitación muestreadas, se obtuvo la media de generación per-cápita de residuos sólidos, eliminándose aquellas que participaron menos de cuatro días, por ser poco representativas.

Se ordenaron progresivamente dichas medias.

Con el criterio de Dixon, se efectuaron las pruebas de rechazo para observaciones distantes, para una confiabilidad elegida del 80%.

Se realizó el análisis estadístico, obteniendo la media y la desviación estándar, entre otros parámetros estadísticos.

Se revisó el tamaño real de la muestra por medio de la distribución "t" de Student.

Se aplicó un análisis de confiabilidad para comprobar si la media muestral es igual o no a la media poblacional.

RESULTADOS.

Generación per-cápita de residuos sólidos domiciliarios.

Estrato socioeconómico medio:

Generación per-cápita:	0.484 Kg/hab-día
Desviación estándar:	0.237 Kg/hab-día
Tamaño de la muestra real:	58 elementos para el 95% de confiabilidad

Estrato socioeconómico bajo:

Generación per-cápita:	0.375 Kg/hab-día
Desviación estándar:	0.160 Kg/hab-día
Tamaño de la muestra real:	48 elementos para el 95% de confiabilidad

Con los datos obtenidos de la generación per-cápita de los dos estratos socioeconómicos, se realizó un análisis de razón de varianza con la finalidad de obtener una generación única para toda la población. Esta fue, para un 90% de confiabilidad, de 0.430 Kg/hab-día para 1985.

Se consideró un 20% del total de la generación domiciliaria para cubrir la generación de otras fuentes, tales como hoteles, restaurantes, oficinas, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Análisis estadístico para la obtención de la composición de los RSM.

Período: del 29 de noviembre al 5 de diciembre de 1985.

Localidad: Irapuato

Municipio: Irapuato

Estado: Guanajuato

Estrato socioeconómico: BAJO

Cuadro 5.4a Composición en peso y porcentaje de los residuos sólidos municipales analizados durante el muestreo.

Subproducto	viernes		sábado		domingo		lunes		martes		miércoles		jueves	
	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%
Algodón	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.10	0.03	0.05	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.00
Cartón	4.25	8.46	2.20	4.28	1.40	2.69	1.35	2.35	3.75	7.47	2.35	4.34	1.10	2.18
Cuero	0.03	0.06	0.00	0.00	0.60	1.15	1.20	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Residuo fino	7.30	14.53	9.30	18.08	10.40	19.98	9.20	15.99	5.30	10.56	5.60	10.35	8.30	16.47
Envases de Cartón	0.75	1.49	0.65	1.65	0.45	0.86	0.45	0.78	0.40	0.80	1.80	3.33	1.20	2.38
Fibra dura vegetal	0.04	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00
Fibras sintéticas	0.08	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hueso	0.00	0.00	0.05	0.10	0.04	0.08	1.10	1.91	0.12	0.24	0.00	0.00	0.05	0.10
Hule	0.70	1.39	0.00	0.00	0.10	0.19	2.00	3.48	0.00	0.00	1.62	2.99	0.00	0.00
Lata	0.52	1.03	0.85	1.65	1.10	2.11	1.35	2.35	0.29	0.58	0.55	1.02	1.30	2.58
Loza y cerámica	0.00	0.00	0.05	0.10	0.05	0.10	0.45	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20
Madera	0.00	0.00	0.35	0.68	0.40	0.77	0.70	1.22	0.06	0.12	0.00	0.00	0.05	0.10
Material de Construcción	0.03	0.06	0.00	0.00	0.25	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.20	0.00	0.00
Metal ferroso	0.00	0.00	0.60	1.17	0.20	0.38	1.90	3.30	0.00	0.00	0.04	0.06	0.00	0.00
Metal no ferroso	0.00	0.00	0.10	0.19	0.20	0.38	0.50	0.87	0.10	0.20	0.00	0.00	0.35	0.69
Papel	3.93	7.82	4.40	8.55	4.50	8.65	4.65	8.08	1.65	3.29	4.80	8.87	6.00	11.90
Pañal desechable	0.00	0.00	1.45	2.82	1.90	3.65	1.80	3.13	0.00	0.00	0.75	1.39	1.20	2.38
Plástico película	1.70	3.38	2.65	5.15	1.90	3.65	1.60	2.78	2.16	4.30	4.20	7.76	5.10	10.12
Plástico rígido	0.65	1.29	0.95	1.85	0.50	0.96	0.60	1.04	0.30	0.60	2.65	4.90	1.80	3.57
Poliuretano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Poliestireno expandido	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.35	0.00	0.00	0.02	0.04	0.05	0.10
Res Jardinería	2.80	5.57	2.30	4.47	2.10	4.03	4.80	8.34	5.23	10.42	2.30	4.25	0.00	0.00
Res Alimenticios	24.00	47.76	19.74	38.37	19.70	37.85	16.95	29.45	25.98	51.75	21.80	40.30	18.70	37.10
Trapo	0.32	0.64	1.60	3.11	0.10	0.19	1.05	1.82	0.53	1.06	0.05	0.09	0.10	0.20
Vidrio color	0.14	0.28	1.85	3.60	1.85	3.55	1.15	2.00	0.48	0.96	0.30	0.55	0.15	0.30
Vidrio transparente	1.05	2.09	2.05	3.98	2.40	4.61	3.90	6.78	1.30	2.59	2.90	5.36	3.20	6.35
Otros	1.80	3.58	0.00	0.00	0.35	0.67	0.00	0.00	2.05	4.08	1.50	2.77	1.20	2.38
Pérdidas	0.16	0.32	0.10	0.19	1.51	2.90	0.40	0.70	0.47	0.94	0.71	1.32	0.45	0.89
Totales	50.25	100	51.45	100	52.05	100	57.55	100	50.20	100	54.10	100	50.40	100

Fuente: Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato. Gto. 1985. SEDUE. Subsecretaría de Ecología

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Análisis estadístico para la obtención de la composición de los RSM (Continuación).

Estrato socioeconómico: MEDIO

Cuadro 5.4b Composición en peso y porcentaje de los residuos sólidos municipales analizados durante el muestreo.

Subproducto	viernes		sábado		domingo		lunes		martes		miércoles		jueves	
	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%	Peso Kg	%
Algodón	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.60	0.15	0.30
Cartón	1.10	2.19	0.80	1.58	1.70	3.30	0.90	1.79	0.80	1.50	2.85	5.68	2.70	5.38
Cuero	0.40	0.80	1.00	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Residuo fino	10.00	19.92	12.90	25.52	4.20	8.15	8.30	16.50	5.70	10.69	5.30	10.38	3.00	5.98
Envases de Cartón	0.40	0.80	0.40	0.79	0.50	0.97	0.40	0.80	0.40	0.72	0.85	1.70	0.80	1.60
Fibra dura vegetal	0.00	0.00	0.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fibras sintéticas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.12	0.24
Hueso	0.00	0.00	0.70	1.38	0.00	0.00	1.10	2.19	0.05	0.09	0.00	0.00	0.08	0.16
Hule	0.45	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lata	0.70	1.39	0.70	1.38	1.40	2.72	0.75	1.49	1.00	1.88	1.25	2.50	0.13	0.26
Loza y cerámica	0.10	0.20	0.10	0.40	0.08	0.15	0.00	0.00	0.20	0.38	0.75	1.50	1.80	3.59
Madera	0.00	0.00	0.06	0.12	0.00	0.00	0.10	0.20	0.00	0.00	0.20	0.40	0.00	0.00
Material de Construcción	0.00	0.00	0.40	0.79	0.00	0.00	0.30	0.60	0.70	1.31	0.15	0.30	0.00	0.00
Metal ferroso	0.55	1.10	0.15	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.14
Metal no ferroso	0.00	0.00	1.00	1.98	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Papel	3.60	7.17	3.60	7.12	5.60	10.86	4.30	8.55	6.40	12.01	4.50	8.98	4.35	8.67
Pañal desechable	3.20	6.37	0.90	1.78	2.60	5.04	0.70	1.39	2.50	4.69	2.10	4.19	1.60	3.18
Plástico película	2.60	5.18	2.60	5.14	2.70	5.24	2.55	5.07	3.40	6.38	4.85	9.68	3.90	7.78
Plástico rígido	1.00	1.99	1.00	1.98	0.90	1.75	2.00	3.98	0.360	0.56	0.90	1.80	1.20	2.39
Poliuretano	0.00	0.00	1.00	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Poliestireno exp	0.05	0.10	0.00	0.00	0.05	0.10	0.40	0.80	0.00	0.00	0.03	0.05	0.03	0.05
Res Jardinería	6.50	12.95	7.80	15.43	0.00	0.00	0.30	0.60	4.00	7.50	2.30	4.59	1.20	2.39
Res Alimenticios	11.00	21.91	11.10	21.96	27.10	52.57	21.30	42.35	22.90	42.96	18.85	37.62	22.00	43.87
Trapo	0.05	0.10	0.30	0.59	0.10	0.19	0.85	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.70
Vidrio color	0.30	0.60	1.90	3.76	1.10	2.13	0.60	1.19	0.10	0.19	0.83	1.66	0.90	1.79
Vidrio transparente	8.00	15.94	1.80	3.56	2.90	5.63	1.00	1.99	1.60	3.00	2.10	4.19	3.30	6.58
Otros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	7.55	2.10	3.94	1.30	2.59	1.50	2.99
Pérdidas	0.20	0.40	0.14	0.28	0.58	1.12	0.65	1.29	1.05	1.97	0.69	1.39	0.97	1.93
Totales	50.20	100	50.55	100	51.55	100	50.30	100	53.3	100	50.10	100	50.15	100

Fuente: Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato, Gto. 1985. SEDUE. Subsecretaría de Ecología.

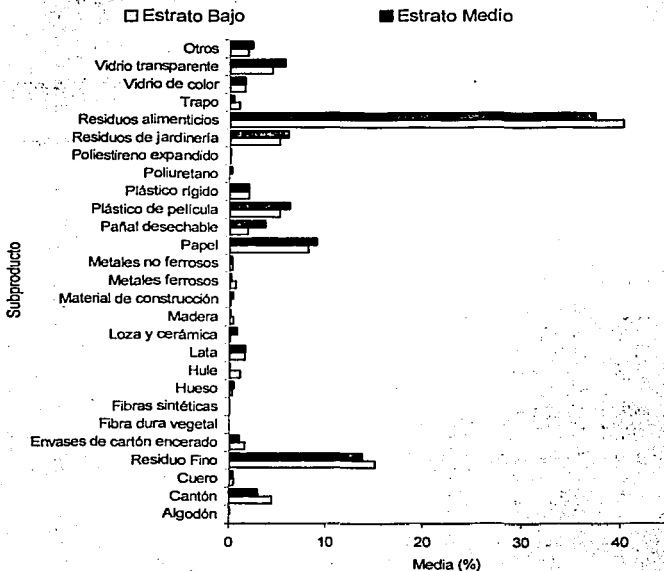
Cuadro 5.5 Composición representativa del muestreo.

Subproducto	Estrato Socioeconómico BAJO		Estrato Socioeconómico MEDIO		Promedio de Medias
	Media (%)	Desviación Estándar (%)	Media (%)	Desviación Estándar (%)	
Algodón	0.03	0.03	0.13	0.22	0.08
Cartón	4.54	2.32	3.06	1.66	3.80
Cuero	0.47	0.77	0.40	0.70	0.43
Residuo fino	15.14	3.36	13.88	6.51	14.51
Envases de Cartón	1.61	0.88	1.06	0.38	1.33
Fibra dura vegetal	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03
Fibras sintéticas	0.07	0.11	0.06	0.10	0.06
Hueso	0.35	0.64	0.55	0.81	0.45
Hule	1.15	1.40	0.13	0.31	0.64
Lata	1.62	0.71	1.66	0.76	1.64
Loza y cerámica	0.17	0.26	0.89	1.19	0.53
Madera	0.41	0.44	0.10	0.14	0.26
Material de Construcción	0.11	0.17	0.43	0.46	0.27
Metal ferroso	0.70	1.13	0.22	0.37	0.46
Metal no ferroso	0.33	0.31	0.30	0.69	0.31
Papel	8.17	2.35	9.05	1.68	8.61
Pañal desechable	1.91	1.37	3.81	1.66	2.86
Plástico película	5.31	2.48	6.35	1.64	5.83
Plástico rígido	2.03	1.48	2.06	0.94	2.04
Poliuretano	0.01	0.02	0.31	0.68	0.16
Poliestireno expandido	0.07	0.12	0.16	0.26	0.11
Res. Jardinería	5.30	3.09	6.21	5.60	5.75
Res. Alimenticios	40.37	6.81	37.61	10.73	38.99
Trapo	1.02	1.03	0.47	0.56	0.74
Vidrio de color	1.61	1.36	1.62	1.08	1.61
Vidrio transparente	4.54	1.65	5.84	4.36	5.19
Otros	1.93	1.57	2.44	2.58	2.18
Pérdidas	1.04	0.84	1.20	0.62	1.12

Fuente: Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato, Gto. 1985. SEDUE. Subsecretaría de Ecología

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 5.2 Composición Física.



Fuente: Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato, Gto. 1985. SEQUE. Subsecretaría de Ecología.

A continuación se presenta la aplicación de la metodología Utilizando los cuadros 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 3.9 y 3.10 para determinar la composición físico-química de los RSM al caso estudio y se obtuvieron los datos contenidos en los cuadros 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 5.6 Determinación del contenido de humedad.

Subproductos	Peso (%)	Valor Típico (%)	Base seca	Humedad (%)
Algodón	0.08	10	0.32	0.008
Cartón	3.8	5	3.9	0.19
Cuero	0.43	10	0.14	0.043
Residuo fino	14.51	3.2	0	0.46432
Envases de cartón	1.33	3.45	2.33	0.045885
Fibra dura vegetal	0.03	12	0.09	0.0036
Fibra sintética	0.06	15	1.48	0.009
Hueso	0.45	0	0.1	0
Hule	0.64	2	0.24	0.0128
Lata	1.64	3	1.53	0.0492
Loza y cerámica	0.53	8	0.44	0.0424
Madera	0.26	20	0.13	0.052
Material de construcción	0.27	8	0.53	0.0216
Material ferroso	0.46	3	1.58	0.0138
Material no ferroso	0.31	2	0.08	0.0062
Papel	8.61	6	11.05	0.5166
Pañal desechable	2.86	3	3.65	0.0858
Plástico de película	5.83	3	4.82	0.1749
Plástico rígido	2.04	0.2	3.05	0.00408
Poliuretano	0.16	0.2	0.13	0.00032
Poliestireno expandido	0.11	0.2	0.67	0.00022
Residuo de jardinería	5.75	70	12.21	4.025
Residuo alimenticio	38.99	60	2.12	23.394
Trapo	0.74	10	0.6	0.074
Vidrio de color	1.61	2	2.02	0.0322
Vidrio transparente	5.19	2	5.77	0.1038
Otros	2.18	4.34	6.7	0.094612
		20	65.68	29.467337

Fuente: Adaptado del VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 5.7 Determinación del contenido de energía.

Subproductos	Peso (%)	Valor típico (BTU/LB)	Contenido de Energía (BTU/LB)	Poder Calorífico Sup. (Kca/Kg)	Humedad (%)	Poder Calorífico Inf. (Kca/Kg)
Algodón	0.08	6,900.00	5.52	3.07	0.008	3.02
Cartón	3.8	7,000.00	266.00	147.78	0.19	146.67
Cuero	0.43	7,500.00	32.25	17.92	0.043	17.67
Residuo fino	14.51	3,670.00	532.52	295.84	0.46432	293.14
Envases de cartón	1.33	11,300.00	150.29	83.49	0.045885	83.23
Fibra dura vegetal	0.03	6,500.00	1.95	1.08	0.0036	1.06
Fibra sintética	0.06	7,500.00	4.50	2.50	0.009	2.45
Hueso	0.45	7,000.00	31.50	17.50	0	17.50
Hule	0.64	10,000.00	64.00	35.56	0.0128	35.48
Lata	1.64	300.00	4.92	2.73	0.0492	2.45
Loza y cerámica	0.53	3,000.00	15.90	8.83	0.0424	8.59
Madera	0.26	8,000.00	20.80	11.56	0.052	11.25
Material de construcción	0.27	3,000.00	8.10	4.50	0.0216	4.37
Material ferroso	0.46	300.00	1.38	0.77	0.0138	0.69
Material no ferroso	0.31	300.00	0.93	0.52	0.0062	0.48
Papel	8.61	7,200.00	619.92	344.40	0.5166	341.39
Pañal desechable	2.86	14,000.00	400.40	222.44	0.0858	221.94
Plástico de película	5.83	14,000.00	816.20	453.44	0.1749	452.42
Plástico rígido	2.04	19,677.00	401.41	223.01	0.00408	222.98
Poliuretano	0.16	11,200.00	17.92	9.96	0.00032	9.95
Poliestireno expandido	0.11	16,400.00	18.04	10.02	0.00022	10.02
residuo de jardinería	5.75	2,000.00	115.00	63.89	4.025	40.42
Residuo alimenticio	38.99	2,800.00	1,091.72	606.51	23.394	470.12
Trapo	0.74	6,900.00	51.06	28.37	0.074	27.94
Vidrio de color	1.61	60.00	0.97	0.54	0.0322	0.35
Vidrio transparente	5.19	60.00	3.11	1.73	0.1038	1.12
Otros	2.18	300.00	6.54	3.63	0.094612	3.08
	100	176,867.00	4,682.85	2,601.58	29.467337	2,429.79

Adaptado del VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 5.8 Obtención de la composición química (CHON).

Subproductos	C %	H %	O %	N %	Peso %	C %	H %	O %	N %	Total %
Algodón	55	6.6	31.2	4.12	0.08	0.04	0.01	0.02	0.00	0.0775
Cartón	44	5.9	44.6	0.3	3.8	1.67	0.22	1.69	0.01	3.6024
Cuero	60	8	11.68	10	0.43	0.26	0.03	0.05	0.04	0.3856
Residuo fino	20.62	2.57	4.99	0.5	14.51	2.99	0.37	0.72	0.07	4.1615
Enases de cartón	59.18	9.25	30.13	8.17	1.33	0.79	0.12	0.40	0.11	1.4195
Fibra dura vegetal	49.4	6.1	43.7	0.1	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.0298
Fibra sintética	46.19	6.41	41.85	2.18	0.06	0.03	0.00	0.03	0.00	0.058
Hueso	41.72	5.75	27.62	2.97	0.45	0.19	0.03	0.12	0.01	0.3513
Hule	77.65	10.35	-	2	0.64	0.50	0.07	-	0.01	0.576
Lata	4.47	6	4.3	0.05	1.64	0.07	0.10	0.07	0.00	0.243
Loza y cerámica	26.3	3	2	0.5	0.53	0.14	0.02	0.01	0.00	0.1685
Madera	49.5	6	42.7	0.2	0.26	0.13	0.02	0.11	0.00	0.2558
Material de construcción	26.3	3	2	0.5	0.27	0.07	0.01	0.01	0.00	0.0859
Material ferroso	4.54	0.63	4.28	0.05	0.46	0.02	0.00	0.02	0.00	0.0437
Material no ferroso	4.47	6	4.3	0.05	0.31	0.01	0.02	0.01	0.00	0.0459
Papel	43.5	6	44	0.3	8.61	3.75	0.52	3.79	0.03	8.0762
Pañal desechable	60	7.28	22.8	-	2.86	1.72	0.21	0.65	-	2.5763
Plástico de película	67.21	9.72	15.82	0.46	5.83	3.92	0.57	0.92	0.03	5.4341
Plástico rígido	84.54	14.18	-	0.06	2.04	1.72	0.29	-	0.00	2.0151
Poliuretano	63.27	6.26	17.65	5.99	0.16	0.10	0.01	0.03	0.01	0.1491
Poliestreno expandido	87.10	8.45	3.96	0.21	0.11	0.10	0.01	0.00	0.00	0.1097
Resiuis de jardinería	47.80	6.00	38.00	3.40	5.75	2.75	0.35	2.19	0.20	5.474
Residuo alimenticio	48	6.4	37.6	2.6	38.99	18.72	2.50	14.66	1.01	36.685
Trapo	55	6.6	31.28	4.12	0.74	0.41	0.05	0.23	0.03	0.7178
Vidrio de color	0.52	0.07	0.36	0.03	1.61	0.01	0.00	0.01	0.00	0.0158
Vidrio transparente	0.52	0.07	0.36	0.03	5.19	0.03	0.00	0.02	0.00	0.0509
Otros	4.54	0.63	4.28	0.05	2.18	0.10	0.01	0.09	0.00	0.2071
Total						40.23	5.52	25.88	1.58	73.215

Adaptado del VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 5.9 Obtención de los constituyentes orgánicos (CHON).

Subproducto	% en peso húmedo	% en peso seco	Composición			
			C	H	O	N
Constituyentes orgánicos rápidamente descomponibles						
Cartón	3.80	3.793	0.063	0.009	0.064	0.000
Envases de cartón	1.33	1.329	0.010	0.002	0.005	0.001
Papel	8.61	8.565	0.321	0.044	0.324	0.002
Residuo alimenticio	38.99	29.866	5.589	0.745	4.378	0.303
Residuo de jardinería (60%)	3.45	3.311	0.091	0.011	0.072	0.006
Total	56.18	46.865	6.075	0.811	4.845	0.313
Constituyentes orgánicos lentamente descomponibles						
Algodón	0.08	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000
Cuero	0.43	0.430	0.001	0.000	0.000	0.000
Madera	0.26	0.260	0.000	0.000	0.000	0.000
Residuo de jardinería (40%)	2.30	2.207	0.061	0.008	0.048	0.004
Trapo	0.74	0.739	0.003	0.000	0.002	0.000
Total	3.81	3.716	0.065	0.008	0.050	0.005

Adaptado de Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

Dividiendo entre el peso atómico:

Cuadro 5.10 Composición molar.

	C	H	O	N
Peso atómico, g/mol	12.01	1.01	16.00	14.01
Total moles				
Rápidamente descomponible	0.5058	0.8030	0.3028	0.2234
Lentamente descomponible	0.0054	0.0079	0.0031	0.0004

Adaptado de Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

A continuación se determinan las relaciones normalizadas mol haciendo al Nitrógeno = 1.

Cuadro 5.11 Relación molar.

Componente	Relación mol (Nitrógeno = 1)	
	Rápidamente descomponible	Lentamente descomponible
Carbono	2.26	13.50
Hidrógeno	3.59	19.75
Oxígeno	1.36	7.75
Nitrógeno	1.00	1.00

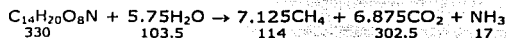
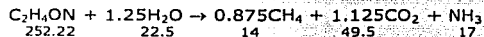
Adaptado de Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous Vol. I. 1994.

Las fórmulas químicas resultantes (redondeando cifras) son:

Rápidamente descomponible = C_2H_4ON

Lentamente descomponible = $C_{14}H_{20}O_8N$

Las ecuaciones para materia orgánica rápida y lentamente descomponible son las siguientes:



Cálculo del volumen máximo de metano y dióxido de carbono que puede producirse a partir de la destrucción de los sólidos volátiles biodegradables (SVB) en la fracción orgánica de los RSM.

Para constituyentes orgánicos rápidamente descomponibles, se tiene:

$$\text{Metano} = \frac{(14)(46.865)}{(252.22)(0.717 \text{ Kg} / m^3)} = 3.63 m^3 N$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(49.5)(46.865)}{(252.22)(1.978 \text{ Kg} / m^3)} = 4.65 m^3 N$$

Para constituyentes orgánicos lentamente descomponibles, se tiene:

$$\text{Metano} = \frac{(114)(3.716)}{(330)(0.717 \text{ Kg} / m^3)} = 1.79 m^3 N$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(302.5)(3.716)}{(330)(1.978 \text{ Kg} / m^3)} = 1.72 m^3 N$$

Para determinar la cantidad teórica total del gas generado por unidad en peso seco de la materia orgánica destruida se tiene:

Para constituyentes orgánicos rápidamente descomponibles

$$\text{vol/kg} = \frac{3.63 m^3 + 4.65 m^3}{46.865 \text{ kg}} = 0.18 m^3 / \text{kg}$$

Para constituyentes orgánicos lentamente descomponibles

$$\text{vol/kg} = \frac{1.79m^3 + 1.72m^3}{3.716kg} = 0.94m^3/kg$$

Cálculo de la humedad requerida para la descomposición anaerobia de los residuos sólidos

$$Rv = \frac{1.25H_2O}{C_2H_4ON} = \frac{22.5}{252.22} = 0.09 \text{ Toneladas de agua para degradar 1 Tonelada de materia orgánica.}$$

Capítulo VI

VI Conclusiones.

La selección del sitio de disposición final representa una decisión muy importante, debido a los impactos ambientales y a la posible afectación a la salud pública asociados a él. Desde el punto de vista del manejo integral de los residuos sólidos, lo importante no es aplicar el mayor número de tratamientos antes de disponerlos en un relleno sanitario, sino aplicar aquellos que resulten los más convenientes para aplicarlos a la zona en estudio, que resuelvan el problema ambiental de manera sustentable, con un costo razonable.

Será necesaria la participación de la sociedad para reducir la producción per-cápita, la cual se ha elevado dramáticamente en las últimas décadas, esto puede ser mediante el fomento al consumo de productos que tengan mayor capacidad de recuperación, el fomento a una cultura y conciencia ambiental.

Debe fomentarse el reciclaje como contribución en el manejo de residuos sólidos, sin embargo no de manera generalizada, pues el proceso de reciclar involucra el consumo de recursos durante el transporte, selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables. La ventaja en el reciclaje varía de acuerdo con los materiales y también conforme a las tasas de reciclaje. Los beneficios obtenidos del reciclaje son mayores cuando los residuos se componen de materiales valorizables limpios y disponibles en grandes cantidades.

Para aplicar el compostaje aerobio dentro de un sistema de manejo integral de residuos sólidos, se debe garantizar que existan mercados para el producto, por lo que no siempre es aplicable.

Existe la percepción de que el tratamiento térmico impide que sean reciclados los materiales y que las emisiones son peligrosas para la salud y el ambiente, por lo que puede generar su aceptación.

Los tratamientos antes mencionados pueden ayudar a reducir cantidad de residuos sólidos a disponer, sin embargo, todos estos resultan con material de rechazo, cuyo manejo es mediante sitios de disposición final. Es por esto que los rellenos sanitarios continúan teniendo aplicación en el manejo de residuos sólidos, siendo estos el último eslabón del proceso de tratamiento.

En cuanto a la normatividad, la NOM-083-ECOL-1996 cubre bien la parte dedicada a establecer los requerimientos mínimos para que un sitio de disposición final opere satisfactoriamente; sin embargo, hay muchos temas que faltan por normar, algunos se encuentran en desarrollo, como el relativo a la selección del sitio para la construcción, operación, monitoreo y clausura de los rellenos sanitarios.

La LGEEPA, reformada en diciembre de 1996, le concede facultades al Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente SEMARNAT, para expedir Normas Oficiales Mexicanas para el manejo de residuos sólidos.

Las Normas Mexicanas, que tienen que ver con la parte dedicada al muestreo, son mencionadas muy poco en la literatura al respecto, por que casi no han sufrido alteraciones desde su emisión.

La composición física de los residuos sólidos municipales constituye información de mucha importancia, para determinar los métodos de tratamiento e integrar un sistema de manejo integral de residuos sólidos, por lo que el monitoreo debe ser suficiente en calidad y cantidad.

Los residuos alimenticios y de jardinería contribuyen la mayor parte de la humedad con que llegan los residuos al relleno sanitario, con alrededor del 90% y son los que más participan en las demás determinaciones.

La necesidad de agua puede ser escasa por el aporte de residuos alimenticios, pero no por eso deja de ser importante para conseguir una adecuada descomposición de la materia orgánica.

En la literatura sobre manejo de residuos sólidos, se habla muy poco sobre la manera de obtener la composición química de los RSM, la información que existe al respecto procede del extranjero, y en consecuencia son derivados de estudios realizados en su lugar de origen, con poblaciones que difieren mucho las de México en hábitos de consumo, condición económica, cultura, etc., por lo que las características de sus basuras cambian también. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es proporcionar al ingeniero proyectista un manual que le ayude a comprender y a calcular la cantidad de lixiviados y biogas que se generan en un relleno sanitario en México.

ANEXO I

NORMA MEXICANA NMX-AA-16-1984

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el método llamado de Estufa que determina el porcentaje de 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 ésta Norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua.

APARATOS Y EQUIPO

Balanza analítica (sensibilidad 0.001g).

Espátula para balanza

Estufa (Temp 423 °K o 150 °C con sensibilidad de 1.5 °C) capaz de mantener una temperatura constante.

Cajas de aluminio con tapa de 250ml

Gautes de asbesto

Desecador con deshidratante y

Equipo usual de laboratorio

PROCEDIMIENTO

Se coloca la caja abierta y su tapa en la estufa a 393 °K durante 2 horas, después se tapa la caja dentro de la estufa e inmediatamente se pasa el desecador hasta obtener peso constante, mínimo durante 2hr.

Se vierte la muestra sin compactar hasta un 50% del volumen de la caja. Se pesa la caja cerrada con la muestra y se introduce destapada a la estufa a 333 °K (60 °C) durante 2hr, se deja enfriar y se pesa nuevamente. Se repite ésta 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%).

El porcentaje de humedad se obtiene con

$$H = \frac{(G-G1)}{G} \cdot 100$$

H Humedad (%)

G Peso de la muestra húmeda (g)

G1 Peso de la muestra seca (g)

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

NORMA MEXICANA NMX-AA-18-1984

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE CENIZAS

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el método para la determinación de cenizas de los residuos sólidos municipales.

APARATOS Y EQUIPO ADICIONAL

Mufa

Crisol de porcelana o platino de 50 ml.

Desecador que contenga algún deshidratante adecuado con indicador de saturación y

Equipo usual de laboratorio.

PROCEDIMIENTO.

La muestra se seca hasta peso constante a 333 K (60 °C) y se deja enfriar en el desecador. Se pone a peso constante el crisol a temperatura de 473 K (200 °C) durante 2hr, se deja enfriar en el desecador y se pesa.

Se transfieren al crisol aproximadamente 20g de la muestra seca y se pesa con aproximación de 0.1g.

Se calcina en la mufa a 1073 K (800 °C) hasta obtener peso constante (se recomienda comprobar el peso constante transcurrida una hora), se deja enfriar en el desecador y se pesa.

Nota: se debe evitar que la muestra quede expuesta a corriente de aire.

El porcentaje de cenizas se determina con:

$$C = ((G3-G1)/(G2-G1)) 100$$

C: Porcentaje de cenizas en base seca.

G1: peso del crisol vacío (g).

G2: peso del crisol más la muestra seca (g).

G3: Peso del crisol más la muestra calcinada (g).

La diferencia máxima permisible entre las determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1%, en caso contrario debe repetirse la determinación.

NORMA MEXICANA NMX-AA-24-1984

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial 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 nitritos y nitratos a nitrógeno reducido a sulfato de amonio.

DEFINICIÓN.

Nitrógeno Total: Es la suma de los nitrógenos amoniacal y orgánico presentes en la muestra, conocido como nitrógeno Kjeldahl.

Resumen del Método

La muestra es digerida en presencia del ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y sulfato cúprico hasta desprendimiento de humos blancos y que la solución sea transparente e incolora o 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.

Obtención de la muestra.

La muestra se obtiene como se indica en la Norma Mexicana NMX-AA-52.

APARATOS Y EQUIPO ADICIONAL

Aparato de digestión Kjeldahl con extractor de humos.

Aparato de destilación Kjeldahl

Matraces Kjeldahl de 200 a 1000cm³ (tres por muestra).

Potenciómetro

Y equipo usual de laboratorio

MATERIALES Y REACTIVOS.

Los reactivos que a continuación se mencionan deben grado analítico (a menos que se indique lo contrario), siempre que se mencione agua debe entenderse agua destilada.

Materiales Granalla de zinc de 20 mallas y perlas de vidrio.

Reactivos Sulfato de potasio (K_2SO_4); Sulfato cúprico ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$); Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4); Ácido salicílico ($C_7H_6O_4$); Tiosulfato de sodio cristalino ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$); Alcohol etílico (C_2H_5OH) al 95%; Solución de hidróxido de sodio ($NaOH$) 10 N; Solución de hidróxido de sodio ($NaOH$) 0.1 N, y solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.1 N.

Solución indicadora de anaranjado de metilo (0.1g de anaranjado de metilo en una solución de 30cm³ de alcohol etílico y 30cm³ de agua)

Solución indicadora mixta de rojo de metileno y verde de bromocresol (pesar 1g de rojo de metilo y 0.5g de verde de bromocresol, se disuelven en 100cm³ de alcohol etílico y se lleva a un pH = 4.5).

PROCEDIMIENTO

Digestión. Correr un blanco de agua; pesar 0.5g de muestra y transferrir a un matraz Kjeldahl.

Agregar 2g de ácido salicílico y 40cm³ de ácido sulfúrico concentrado, agitar, hasta que el ácido se incorpore totalmente a la muestra, formándose el ácido nitroso salicílico.

Dejar reposar 30 minutos, después añadir 10g de tiosulfato de sodio con el fin de reducir al ácido nitroso salicílico; agitar y dejar reposar por un periodo de 5 minutos

Transcurrido el tiempo calentar la mezcla a flama baja en el matraz Kjeldahl hasta que no haya 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.

Añadir 1g de sulfato cúprico 10g de sulfato de potasio, llevar la digestión hasta que la solución sea incolora de color amarillo paja.

Preparar un matraz Erlenmeyer de 500cm³, dentro del cual se vierten 25cm³ 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.

Agregar al matraz Kjeldahl de 4 a 5 granallas de zinc y 10 perlas de vidrio.

Añadir con cuidado 100cm³ de solución de hidróxido de sodio 10 N resbalando por las paredes del cuello del matraz y conectar al destilador.

Destilación

Encender la parrilla del destilador

Inclinar el matraz y agregar con mucho cuidado 130cm³, de la solución de hidróxido de sodio.

El matraz se calienta hasta que destile todo el amoníaco (un máximo de 150cm³ de destilado se obtiene aproximadamente en 30 minutos)

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 de la solución del ácido sulfúrico 0.1N y se continua destilando aproximadamente cinco minutos con el objeto de llenar el tubo de descarga.

Se interrumpe el calentamiento, se retira el matraz colector y se titula con la solución del ácido sulfúrico 0.1N hasta que la solución viere a rosa.

Se interrumpe el calentamiento, se retira el matraz colector y se titula con la solución de ácido sulfúrico 0.1N hasta que la solución viere a rosa.

CÁLCULOS

El Nitrógeno total en por ciento se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_{tCN}\% = \frac{(A \cdot N_1 - B \cdot N_2) \cdot 0.014 \cdot 100}{M}$$

Donde:

A Volumen de solución de ácido sulfúrico empleado en la recolección del amoníaco 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 (g).

0.014 =Milequivalente del Nitrógeno.

100 Para relacionar el nitrógeno a por ciento.

REPRODUCCIÓN 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.

NORMA MEXICANA NMX-AA-25-1984

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE PH-MÉTODO POTENCIOMÉTRICO

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el método potenciométrico para la determinación del pH en los residuos sólidos, el cual se basa en la actividad de los iones hidrógenos presentes en una solución acuosa de residuos sólidos al 10%.

APARATOS Y EQUIPO ADICIONAL

Potenciómetro con compensador de temperatura

Electrodo de vidrio y electrodo de referencia

Agitador magnético con magnetos recubiertos de teflón o agitador mecánico

Termómetro de vidrio con escala de 263 K a 392 K (-10 °C a 120 °C) y

Equipo usual de laboratorio.

MATERIALES Y REACTIVOS

Solución amortiguadora con pH = 4.0, 7.0 y 11.0 y agua destilada.

PROCEDIMIENTO

Se toma un espécimen de 20g para realizar la determinación por duplicado.

Se calibra el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH = 4.0, 7.0 y 11.0, según sea el tipo de residuos por analizar. Se pasan 10g de muestra y se transfieren a un vaso de 250 ml. Se añaden 90 ml de agua destilada, se mezclan por medio de agitador durante 10 min y se deja reposar la solución durante 30 min. Se determina la temperatura de la solución, se sumergen los electrodos en la solución y se hace medición de pH, se sacan los electrodos y se lavan con agua destilada y luego se sumergen en un vaso de precipitado con agua destilada.

La diferencia máxima permisible en el resultado de las pruebas efectuadas por duplicado no debe exceder 0.1 unidades de pH, en caso contrario debe repetirse la determinación.

NORMA MEXICANA NMX-AA-1984

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-Determinación de azufre

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

La presente Norma establece el método para la determinación de azufre transformándolo en sulfato de sodio mediante el tostado de los residuos sólidos en presencia de oxilita.

DEFINICIONES.

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

APARATOS Y EQUIPO.

Equipo usual de laboratorio además de:
Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g.
Estufa con regulador de temperatura, capaz de alcanzar una temperatura de 373 K (100 °C) como mínimo.
Mufia con regulador de temperatura capaz de alcanzar y mantener 873 K (600 °C) como mínimo.
Parrilla eléctrica con regulador de temperatura.
Embudo de vidrio tallo largo con boca de 12cm de diámetro.
Vasos de precipitado de 1000cm³ de capacidad.
Crisol de porcelana de 30cm³ de capacidad.
Matraz Erlenmeyer de 500cm³ de capacidad.
Crisol con lupa, ambos de platino o níquel de 60cm³ de capacidad.
Desecador con deshidratante

REACTIVOS Y MATERIALES

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.

Oxilita o peróxido de sodio (Na_2O_2)

Solución de cloruro de bario ($BaCl_2$) al 10%.

Solución de nitrato de plata ($AgNO_3$) al 1%.

Solución de ácido nítrico (HNO_3) 1:5.

Solución indicadora de fenoltaleína (0.2g de fenoltaleína en 100cm³ de alcohol etílico al 95%).

Materiales.

Papel filtro Whatman No. 40 ó similar de 11cm de diámetro.

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.

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

PROCEDIMIENTO.

Pesar en el crisol de 2 a 3g de muestra.

Añadir de 1 a 2g de peróxido de sodio al crisol que contiene la muestra homogeneiza, se tapa y se coloca en la parrilla eléctrica.

Encender la parrilla eléctrica para que se realice el tostado de azufre contenido en la muestra. La conversión completa a sulfato de sodio se realiza cuando la muestra y el peróxido de sodio cambia al estado

líquido, a continuación, se retira para su enfriamiento.

En el vaso de precipitado añadir 300cm³ de agua y colocar dentro de este, el crisol conteniendo el producto obtenido en el punto anterior, añadir de 5 a 10 gotas de solución de fenolftaleína y agregar con cuidado la solución de ácido nítrico hasta decolorar la solución y se homogeneiza con un agitador.

Agregar 5cm³ de solución de Cloruro de Bario.

Tapar el vaso y dejarlo reposar cuando menos 12 horas, para la precipitación y postprecipitación del sulfato de Bario.

Filtrar el contenido del vaso y lavarlo con agua caliente que también se filtra. En este momento se encuentra retenido en el filtro sulfato de Bario y Cloruro de Bario.

Separar el Cloruro de Bario del Sulfato de Bario haciéndole pasar agua caliente hasta que el agua filtrada no se enturbie al cargar la solución del nitrato de Plata.

Secar en la estufa a 333 K – 353 K (60 °C – 80 °C) durante 2 horas hasta peso constante, el crisol de porcelana que contiene el filtro y el filtrado.

Calcinar el filtro y el filtrado en la mufla a 973 K – 1073 K (700 °C – 800 °C) durante una hora. Enfriar el crisol en el desecador, hasta el peso constante.

La diferencia de peso entre el crisol vacío a peso constante y con muestra a peso constante, corresponde al Sulfato de Bario

CÁLCULOS

El porcentaje de azufre se calcula con la siguiente fórmula:

$$S' = \frac{0.1374G_i}{G} (100)$$

Donde:

S Contenido de azufre (%).

G_i Masa de sulfato de Bario (g).

G Masa de la muestra del residuo sólido (g).

0.1374 Factor gravimétrico de conversión de sulfato de Bario a azufre (Fg).

Donde:

Fg = Masa atómica de azufre / masa molecular de Sulfato de Bario

$$Fg = \frac{32.064}{233.404} = 0.1374$$

Reproducción de la prueba.

La diferencia de resultados entre determinaciones efectuadas por duplicado, no debe exceder de 1%. En caso contrario se debe repetir la determinación.

NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-MUESTREO-MÉTODO DE CUARTEO

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de los especímenes para análisis de laboratorio. Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en ésta Norma.

Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio

APARATOS Y EQUIPO

Báscula de piso con capacidad de 200Kg.
Bolsas de polietileno (1.10-0.90m, calibre No. 150).
Palas curvas.
Bieldos.
Overoles.
Guantes de carnaza.
Escobas.
Botas de hule.
Cascos de seguridad.
Mascarillas protectoras.
Papelería y varios.

PROCEDIMIENTO

Se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos (no más de 250 bolsas) y se vacían formando un montón sobre un área plana horizontal de 4x4m de cemento pulido o similar y bajo techo. El montón se traspaleará hasta homogeneizarlo, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales, se identifican las partes con A, B, C y D, después se eliminan las partes opuestas A y C o B y D, y se repite esta operación hasta dejar un mínimo de 50Kg de residuos. La muestra así obtenida esta lista para selección y cuantificación de subproductos

De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10Kg aprox. para los análisis de laboratorio físicos, químicos y biológicos, con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ".

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (etiqueta que contiene No. de folio de la cédula de campo para el cuarteo, hora y fecha de envío, localidad, municipio, estado, procedencia o estrato socioeconómico, temperatura y humedad relativa del ambiente, peso de la muestra en Kg, datos del responsable de la toma de muestra y observaciones). Se debe evitar que las bolsas queden expuestas al sol durante su transporte, 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 no debe exceder las 8 horas.

Se han considerado las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo, éstas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Sólo en caso de que la muestra sea menor de 50Kg, se recomienda repetir la operación de cuarteo

El Informe de campo debe contener: Localidad, Municipio y Estado, fecha y hora del cuarteo, Procedencia de la muestra (Estrato socioeconómico), condiciones climatológicas, cantidad de residuos tomados para el cuarteo (en Kg), cantidad de residuos obtenidos para la selección de subproductos (en Kg), cantidad de residuos para los análisis físicos, químicos y biológicos (en Kg), datos del responsable del cuarteo y observaciones

NORMA MEXICANA NMX-AA-19-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-PESO VOLUMÉTRICO "IN SITU"

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

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

APARATOS Y EQUIPO ADICIONAL

Tambos metálicos de forma cilíndrica (cap 200 L)

PROCEDIMIENTO

Antes de efectuar la determinación se verificará que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras, así como también la báscula esté nivelada. Después se pesa el recipiente vacío (tara del recipiente).

A continuación se llena el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, como se obtuvieron del primer cuarteo. Se golpea el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10cm. Se agregan nuevamente residuos hasta el tope teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente, a 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, se pesa el recipiente con éstos y se resta el valor de la tara. Cuando no se tenga suficiente cantidad de residuos para llenar el recipiente se marca en éste, la altura alcanzada y se determinará dicho volumen.

El peso volumétrico se determina como sigue: $P_v = P / V$

Pv: Peso volumétrico de los residuos sólidos, Kg/m³.

P: Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), Kg

V: Volumen del recipiente, m³.

Los resultados deben ser reportados en la Cédula de campo.

NORMA MEXICANA NMX-AA-21-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

La presente Norma Oficial Mexicana establece el método para la determinación de materia orgánica en los residuos sólidos municipales.

APARATOS Y EQUIPO

Equipo usual de laboratorio.

MATERIALES Y REACTIVOS.

Los materiales 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 0.5N

Dicromato de Potasio 1 N

Difenilamina al 1%

Ácido sulfúrico concentrado al 93%.

Ácido fosfórico al 95%

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene según la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-52 y en la cantidad suficiente para efectuar la determinación con dos series de cinco pruebas cada una.

PROCEDIMIENTO

Simultáneamente correr un blanco por cada serie para obtener el factor de corrección. Triturar la muestra en un mortero hasta obtener una consistencia similar al talco. Pesar 0.1g de la muestra y transferirlas a un matraz Erlenmeyer de 250cm³ o mayor. Agregar con bureta 10cm³ de dicromato de potasio. Agregar 20cm³ de ácido sulfúrico concentrado. Agitar energéticamente durante un minuto. Dejar reposar durante 30 minutos. Posteriormente agregar 100cm³ de agua. Agregar 10cm³ de ácido fosfórico. Añadir 0.5cm³ de difenilamina. Finalmente titular con sulfato ferroso 0.5 N hasta que vire de violeta oscuro a verde.

CÁLCULOS

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

$$\text{Materia orgánica en \%} = \frac{(I_1 N_1 - I' N') K}{P}$$

Donde:

I_1 Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra (cm³).

N_1 Normalidad de la solución de dicromato de potasio.

I' Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra (cm³).

N' Normalidad de la solución de sulfato ferroso.

P Peso de la muestra (g).

K = 0.69 = 0.003(1.72/0.74)100; en donde:

0.003 = Millequivalente del carbono.

0.74 = Factor de recuperación.

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

NORMA MEXICANA NMX-AA-22-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los Residuos Sólidos Municipales.

APARATOS Y EQUIPO ADICIONAL.

Balanza granatoria (cap. 20Kg, sensibilidad 1g).

Cribas (DGN No 10) y recogedores.

La muestra se extrae como se establece en el método de cuarteo y se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos, de acuerdo a la siguiente clasificación:

Algodón; cartón; cuero; residuo fino (todo material que pase por la criba DGN No. 10 (2mm)); envases de cartón encerado; fibra dura vegetal (esclerénquina); 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; residuos de jardinería; trapo; vidrio de color; vidrio transparente; y otros.

CÁLCULOS.

Los subproductos ya clasificados se pesan en la balanza granatoria y se anota el resultado en la hoja de registro. El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se obtiene con:

$$PS = (G1/G) \times 100$$

PS: porcentaje del subproducto considerado.

G1: Peso del subproducto considerado (Kg), descontando el peso de la bolsa.

G: Peso total de la muestra (mínimo 50Kg).

Observaciones. Los cambios en peso durante la determinación se deben principalmente a la liberación o admisión de humedad, así como a las pérdidas de residuo fino.

De los residuos alimenticios se deben incluir todos aquellos residuos de fácil degradación, tales como: vísceras, apéndices o cadáveres de animales.

NORMA MEXICANA NMX-AA-33-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana especifica un método de prueba para determinar el poder calorífico superior de los residuos sólidos municipales, empleando una bomba calorimétrica de los diferentes tipos para planear y diseñar los sistemas adecuados de disposición final de los mismos.

DEFINICIONES.

Poder calorífico. Es el calor de combustión de una sustancia normalmente expresado en calorías por gramo.

Poder calorífico superior (también llamado total). Es el calor producido en la combustión de una cantidad unitaria de combustible sólido bajo volumen constante, dentro de una bomba calorimétrica en condiciones específicas tales que toda el agua de los productos permanezca en estado líquido.

Poder calorífico neto (poder calorífico inferior). Se calcula a partir del poder calorífico total y equivale al poder producido por la combustión de una cantidad unitaria de un combustible sólido en condiciones constantes de presión y condiciones específicas tales que toda el agua de los productos permanezca en forma de vapor.

APARATOS Y EQUIPO

Balanza analítica con sensibilidad de 0.0001g.

Calorímetro formado por un recipiente equipado con una camisa al vacío o de agua y con una cubierta para protegerla de las corrientes de aire. En el caso de emplearse camisa de agua, la capacidad de ésta no debe ser menor de 5 veces el equivalente del agua del calorímetro cargado y la temperatura uniforme de la cubeta de agua se obtiene con un aparato de agitación adecuada.

Bomba calorimétrica con capacidad no menor de 300cm³.

Cápsula de platino (o de otro material recomendado por el proveedor) de 2.5 a 5cm³ de capacidad.

Prensa pastilladora.

Soporte para montaje de bomba de oxígeno.

Cronómetro

Tanque de oxígeno comercial con dos manómetros, que indiquen la presión interior del tanque y de la bomba

Balanza de torsión con sensibilidad de 0.1g.

Calentador de agua con especificaciones de acuerdo al modelo del calorímetro empleado.

Refrigerador.

Estufa con rango de temperatura ambiente a 353 K (80 °C).

Regulador de tensión

MATERIALES Y REACTIVOS

Materiales: Alambre de encendido de hierro puro, platino o de otro material adecuado de 0.15mm de diámetro y de 10 a 30cm de largo con su conductividad térmica conocida. Si se emplea cápsula de platino, el alambre utilizado también debe ser del mismo material.

Reactivos: Cápsula de ácido benzoico de poder calorífico conocido no mayor de 1.5g.

Solución valorada de carbonato de sodio 0.0725 N.

Solución alcohólica de indicador anaranjado de metilo al 1%.

Obtención de la muestra: La muestra se obtiene según la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-52 y con cantidad suficiente para efectuar una serie de 5 determinaciones como mínimo.

PROCEDIMIENTO

El aparato se calibra usando como material combustible una cápsula de ácido benzoico de peso conocido

(0.9 a 1.25g) y se procede de la misma manera que en el caso de una muestra problema.

La muestra se seca a peso constante y se pesan de 0.6 a 1.5g para formar en la prensa, una pastilla de peso conocido.

Unir 10cm de alambre de encendido a los electrodos del cabezal.

Introducir la pastilla dentro de la cápsula metálica de combustión verificando que el alambre permanezca en contacto con la muestra.

Colocar en el interior de la bomba 1cm³ de agua destilada cuidando que el agua no toque la muestra.

El conjunto se adapta al cilindro de la bomba enroscando el cabezal hasta lograr un cierre hermético.

Se introduce oxígeno lentamente en el interior de la bomba a fin de evitar la dispersión del producto en la cápsula, hasta alcanzar una presión de 25 a 30 atmósferas. Se recomienda emplear 30 atmósferas de presión, si se excede la presión de las 35 atmósferas, se desaloja oxígeno en su totalidad, se cambia de muestra y se repite la determinación.

Passar 2000g de agua destilada debiendo estar de 1 a 2 °C debajo de la temperatura ambiente y se llevan a la cubeta del calorímetro.

Se introduce la bomba dentro de la cubeta empleando una pinza metálica, evitando pérdida de agua.

Se conectan los electrodos en la parte superior de la tapa bomba teniendo cuidado de evitar las pérdidas de agua.

Se cierra el calorímetro y se baja el termómetro que registra la temperatura del agua de la cubeta conjuntamente con el agitador y del elemento primario de medición; cuando el equipo sea automático, verificar que el bulbo de dicho termómetro así como el elemento de agitación queden sumergidos en el agua.

En el caso de que el calorímetro cuente con calentador de agua se enciende y se coloca en posición normal de operación, debiendo permanecer bajo estas condiciones un periodo de 10 minutos antes de operar el equipo. En caso contrario, se requiere de una alimentación de agua caliente siguiendo las indicaciones del aparato empleado.

El agitador debe permanecer operador un tiempo mínimo de 5 minutos.

Encender el equipo y activar el agitador del agua de la cubeta. Asegurar que no existen separaciones en la columna de mercurio en ambos termómetros.

Equilibrar las temperaturas del agua de la cubeta del calorímetro con el agua de la camisa, mediante los controles manuales de agua fría y caliente.

Si después de 1 o 2 minutos no hay cambio en las dos temperaturas o en la temperatura del sistema, se anota esta como temperatura inicial.

Para evitar errores de paralaje y obtener una lectura precisa del orden de 0.005 °C, se emplean lentes apropiados.

Referirse a las recomendaciones del proveedor de los termómetros para proceder de acuerdo a ellos en caso de existir burbujas en el bulbo del termómetro así como separaciones en la columna de mercurio.

En equipos automáticos se procede a mantener constantes ambas temperaturas durante un lapso de 4 minutos, 4 segundos antes de concluir este periodo de 4 minutos se procede de acuerdo a lo siguiente: se toma una lectura final cuando el cronómetro registre 13 minutos, entendiéndose que 4min correspondieron al periodo de estabilización automática y 9min al periodo posterior a la incineración.

Se procede a quemar la muestra, manteniendo oprimido el botón de ignición durante 4 o 5 segundos, accionando al mismo tiempo el cronómetro. En caso de no contar con el equipo de control de temperatura automático se procede en forma manual, controlando los flujos de agua fría y caliente para mantener la temperatura del agua de la camisa igual o ligeramente menor que la temperatura del agua de la cubeta del calorímetro.

Cuando el sistema este alcanzando su temperatura final de equilibrio, debe mantenerse la temperatura de la camisa con variaciones máximas de ± 0.1 °C, de la temperatura del agua de la cubeta del calorímetro.

Anotar la lectura final máxima de acuerdo al instructivo del aparato que se esté empleando, ya que en algunos se registra una sola lectura final después de un tiempo establecido.

En aparatos no automáticos se recomienda lecturas a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 segundos, después cada 30 segundos hasta que la temperatura permanezca constante durante 5 minutos.

Desalojar el contenido de agua de la camisa oprimiendo el botón de purga, apagar el equipo y asegurar que

el agitador de agua, el bulbo del termómetro de registro de la cubeta y el elemento primario de medición del aparato quedan fuera de la cubeta del calorímetro.

Levantar el termómetro antes de abrir el calorímetro; abrir el calorímetro, desconectar los electrodos, sacar la bomba lentamente para evitar un flujo de escape violento de residuos de la combustión. Sacar la bomba verificando que la combustión haya sido completa, en caso contrario repetir la determinación.

Se transfiere el contenido de la bomba a un vaso de precipitados y se lavan las paredes de la bomba, la tapa, los electrodos y el crisol, y se filtra el lavado.

Titular el filtrado con la solución del carbonato de sodio usando como indicador anaranjado de metilo, hasta neutralizar la solución teniendo en cuenta que 1cm³ de solución de carbonato gastado en la titulación equivale a una caloría.

Medir los restos de alambre no quemado y restar de los 10cm iniciales.

CÁLCULOS.

Calibrar el aparato usando la siguiente fórmula:

$$W' = \frac{HG + c_1 + c_2}{T}$$

En donde:

W Equivalente de agua del calorímetro empleado, en cal/°C.

H Poder de combustible del ácido benzoico, en cal/g (valor constante = 6'318 cal/g).

G Peso del ácido benzoico (g).

T Elevación de temperatura neta corregida (°C); y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$T = t_f - t_i$$

t_f Temperatura máxima final (°C), corregida de acuerdo a la escala de error del termómetro (indicada por el fabricante).

t_i Temperatura en el momento de encendido (°C), corregida por la escala de error del termómetro.

c_1 Corrección para el calor de formación del ácido nítrico (cal).

$$c_1 = \frac{C_1 N}{0.0725}$$

C_1 Solución básica valorada empleada en la titulación (cm³).

N Normalidad de la solución alcalina.

c_2 C_2 si se emplea solución de carbono de sodio 0.0725 N.

c_3 Corrección para el calor de combustión del alambre de encendido (cal).

$$c_3 = KC_3$$

K equivalente térmico del alambre utilizado (proporcionado por el proveedor).

C_3 Alambre de ignición consumido durante el encendido (cm).

El poder calorífico superior PCS (en cal/g) se calcula con la siguiente fórmula:

$$PCS = \frac{TW' - c_1 - c_2 - c_3}{m}$$

De donde:

c_2 Corrección para el calor de formación del ácido sulfúrico (cal); se obtiene de la siguiente fórmula:

$$e_2 = 14C_2/m$$

De donde:

14 Factor de conversión para el calor de formación del ácido sulfúrico, para el cálculo de azufre en la muestra (%).

C_2 Azufre en la muestra (%).

m Peso de la muestra (g).

Cálculo del poder calorífico inferior o neto PCI en (cal/g); se calcula con la siguiente fórmula:

$$PCI = PCS - 10.30(\%h)(9)$$

De donde:

10.30 = Factor de conversión de los BTU del agua resultante de la combustión de hidrógeno, más la humedad del combustible por unidad de peso del combustible.

h % h total = % de materia volátil / 15.

% de materia volátil = 100 - % de cenizas.

15 Valor empírico.

9 Factor de conversión que toma en cuenta el calor latente de vaporización del agua (varía según la presión).

REPRODUCCIÓN DE LA PRUEBA.

La diferencia máxima permisible en el resultado de las pruebas efectuadas no debe exceder de 27.5 cal/g; en caso contrario se repite la serie.

Observaciones. El área donde se efectúa la determinación no debe verse afectada por cambios de temperatura o de presión atmosférica.

El aparato debe calibrarse cada mes si el uso del mismo es continuo; de otra manera, debe calibrarse al inicio de una serie de pruebas.

Se debe conocer la equivalencia en cal/cm del alambre utilizado para propósitos de calibración.

NORMA MEXICANA NMX AA-52-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-PREPARACIÓN DE MUESTRAS EN LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el método de preparación de muestras en el laboratorio para su análisis.

APARATOS Y EQUIPO ADICIONAL.

Escobilla.
Tijeras de jardinero.
Pala de jardinero.
Lentes protectores.
Molino triturador y
Frascos de vidrio color ámbar y cuello esmerilado (cap 2L).

PROCEDIMIENTO.

Se registra si la muestra fue o no debidamente identificada.

Se vacía la muestra de residuos en un área limpia y seca del laboratorio.

Con las tijeras se desmenuzan los residuos, hasta un tamaño máximo de 5cm.

Con la pala de jardinero se homogeneizan los residuos y mediante el método de cuarteo, se obtiene una muestra representativa de 1Kg la cual se vierte dentro del molino para obtener un producto homogéneo y de tamaño semejante a la arena gruesa.

De dicho producto, se toma la cantidad necesaria para realizar inmediatamente la determinación de humedad.

El resto del producto se depositará en frascos de vidrio para almacén a 4 °C para realizar las demás determinaciones físicas, químicas y biológicas, en las siguientes 8 horas.

NORMA MEXICANA NMX-AA-61-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio. Para efectos de aplicación de esta Norma los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos (que son generados en casas habitación) y en no domésticos (generados fuera de las casas habitación).

DEFINICIÓN.

Fuente. Es cualquier establecimiento generador de residuos sólidos incluido dentro de los giros municipales por muestrear.

APARATOS Y EQUIPO.

Báscula con capacidad mínima de 100Kg y precisión de 10g o similar.

Báscula con capacidad mínima de 10Kg y precisión de 1g o similar.

Tablas de inventario, tamaño carta u oficio.

Marcadores de tinta permanente, preferentemente color negro.

Bolsas de polietileno de 0.70m x 0.50m y calibre mínimo del No. 200.

Ligas de hule de 1.5mm de ancho.

Guantes de carmaza.

Brochas de 0 025m de ancho.

Pintura de esmalte color amarillo.

Papotería y vanos (cédula de encuesta, lápices, gomas y otros).

Tablas de números aleatorios y de las siguientes distribuciones: Normal, "t" de Student, "F" de fisher; así como la empleada para el rechazo de observaciones, si se aplica para tal efecto, el criterio de Dixon.

Nota: lo antes citado está en función del número de personas a participar en el muestreo, así como en la cantidad de estratos socioeconómicos por muestrear y del tamaño de las premuestras.

Generación per-cápita de residuos sólidos domésticos.

Procedimiento de campo

Este parámetro se obtiene con base en la generación promedio de los residuos sólidos por habitante, medido en Kg/hab-día, a partir de la información obtenida de un muestreo estadístico aleatorio en campo, con duración de ocho días para cada uno de los estratos socioeconómicos de la población.

Solocación de riesgo " r "

El riesgo con que se realiza el muestreo se elige con base en los siguientes factores: Conocimiento en la localidad, calidad técnica del personal participante, facilidad para realizar el muestreo, características de la localidad a muestrear y exactitud de la báscula por emplear.

Tamaño de la premuestra " n "

A partir del riesgo seleccionado (r) se adopta un tamaño de premuestra por estrato, con base en la siguiente tabla.

Riesgo (r)	Tamaño de la premuestra (n)
0.05	115
0.10	80
0.20	50

Determinar y ubicar el universo de trabajo (de 300 a 500 casas) en un plano actualizado de la localidad en la zona o colonia correspondiente al estrato socioeconómico por muestrear.

Contar y numerar en orden progresivo, los elementos del universo de trabajo, para conocer su tamaño.

Con base en el tamaño de la premuestra y del universo de trabajo, seleccionar aleatoriamente, los

elementos de dicho universo que forman parte de la premuestra. Para realizar lo anterior, se emplea la tabla de números aleatorios.

Indicar físicamente los elementos de la premuestra en el universo de trabajo, anotando con pintura amarilla el número aleatorio correspondiente al elemento, en lugar visible de la calle donde se encuentra la casa habitación o elemento por muestrear.

Recorrer el universo de trabajo, visitando a los habitantes de las casas seleccionadas para la premuestra, con el fin de explicarles la razón del muestreo por realizar, así como para captar la información general que se indica en la cédula de encuesta de campo (ver apéndice). Entregando una bolsa de polietileno.

Visitar nuevamente las casas-habitación seleccionadas del universo de trabajo el primer día del periodo en el que realiza el muestreo, lo más temprano posible, para recoger las bolsas conteniendo los residuos generados antes de ese día. Esto sirve únicamente como una "operación de limpieza", para asegurar que el residuo generado después de ella, corresponda a un día.

Simultáneamente con la "operación de limpieza", se entrega una nueva bolsa para que se almacenen los residuos generados las siguientes 24 horas; por último, las bolsas ya recochadas conteniendo los residuos se transfieren al equipo de recolección municipal o se llevan al sitio de disposición final.

A partir del segundo, hasta el séptimo día del periodo de muestreo, se recogen las bolsas conteniendo los residuos generados el día anterior y a su vez se entrega una nueva bolsa para almacenar los residuos por generar las siguientes 24 horas.

A la bolsa conteniendo los residuos generados, se le anota el número aleatorio correspondiente, con el fin de identificar los elementos de la premuestra.

El octavo día únicamente se recogen las bolsas con los residuos generados el día anterior.

Diariamente después de recoger los residuos sólidos del día anterior, se procede a pesar cada elemento anotando su valor en la cédula de encuesta, en el renglón correspondiente al día en que fue generado.

Para obtener el valor de la generación per-cápita de residuos sólidos en Kg/hab-día correspondiente a la fecha en que fueron generados; se divide el peso de los residuos sólidos entre el número de habitantes de la casa habitación.

Evaluación de resultados.

La evaluación que se presenta, se considera la más adecuada para los fines que se persiguen en éste tipo de estudios.

De los siete datos obtenidos de cada casa habitación, durante el periodo de muestreo; calcular el promedio de generación de residuos "per-cápita". De acuerdo con lo anterior, se obtiene una serie de "n" valores promedio, uno por cada casa habitación incluida en la premuestra.

Ordenar la información anterior, como a continuación se ilustra:

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_{n-1} \leq x_n$$

donde:

x_i Promedio por casa habitación, de los 7 valores de la generación de residuos per-cápita, obtenidos durante el periodo de muestreo.

Realizar el análisis de rechazo de observaciones sospechosas, empleando cualquier método o procedimiento que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología considere confiable. En caso de aplicar el criterio de Dixon, se debe realizar lo siguiente.

Calcular el valor del estadístico (r), para las siguientes situaciones:

$$r = \frac{x_n - x_j}{x_n - x_1} \quad \text{Cuando se sospecha del elemento máximo de la premuestra.}$$

$$r = \frac{x_i - x_1}{x_i - x_j} \quad \text{Cuando se sospecha del elemento mínimo de la premuestra.}$$

Donde:

n Número de observaciones o elemento mayor.

- l* El elemento menor.
- i* $n - (j - 1)$
- j* Elemento del muestreo que define el límite inferior del intervalo de sospecha en la cola superior de los datos ya ordenados.

Calcular el valor del estadístico permisible ($r_{1-\alpha, 2}$) correspondiente al percentil definido por el nivel de confianza establecido y el número de observaciones correspondientes al caso que se trate. Para lograr lo anterior se usa la tabla No. 2 (ver Apéndice).

Comparar el valor del estadístico (r) con el estadístico permisible ($r_{1-\alpha, 2}$) con el fin de rechazar o aceptar la observación sospechosa de acuerdo con el siguiente criterio:

Si $r > r_{1-\alpha, 2}$ Se rechaza la observación sospechosa.

Si $r < r_{1-\alpha, 2}$ Se acepta la observación sospechosa.

Una vez rechazadas o aceptadas las observaciones sospechosas, realizar un análisis estadístico de los "n" valores promedio resultantes para obtener la media de la generación per-cápita diaria de los valores promedio por casa habitación y la desviación estándar de ellos como conjunto de valores, con respecto a la media.

Verificar el tamaño de la premuestra, calculando el tamaño real de la muestra, con base en la desviación estándar de la premuestra y empleando la distribución "t" de Student (ver Apéndice).

La determinación del tamaño real de la muestra, se calcula con la siguiente expresión:

$$n_1 = \left(\frac{t_{\alpha}}{E} \right)^2$$

Donde:

- n_1 Tamaño real de la muestra.
- E Error muestral en Kg/hab-día, recomendándose emplear un valor comprendido en el siguiente intervalo:
0.04 Kg/hab-día $\leq E \leq$ 0.07 Kg/hab-día.
- s Desviación estándar de la premuestra.
- t Percentil de la distribución "t" de Student, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Sabiendo que (n) es el valor de la premuestra, se pueden encontrar las siguientes situaciones:

Si $n_1 > n$, entonces $n_2 = n_1 - n$; por lo tanto $n_2 > 0$.

El tamaño de la muestra (n_1) resulta ser mayor que el tamaño de la premuestra (n); por lo que se debe obtener en campo las (n_2) observaciones faltantes de la misma zona de estudio de donde se obtuvieron las (n) observaciones de la premuestra, para cumplir con la confiabilidad deseada para el muestreo.

Para este caso se debe realizar un nuevo análisis estadístico, que tome en cuenta tanto a los (n_1) elementos de la premuestra, como a los (n_2) elementos faltantes para la muestra.

Si $n_1 < n$, entonces $n_2 < 0$.

En este caso, el tamaño de la premuestra resulta mayor al de la muestra, tomándose dicho valor como el tamaño real de la muestra, por lo que no deben eliminarse los elementos sobrantes de la premuestra, ya que pueden ampliar en un momento dado el nivel de confianza del muestreo. De acuerdo con lo anterior, los estadísticos obtenidos para la premuestra, se considerarán válidos también para la muestra, por lo que no hay necesidad de realizar un nuevo análisis estadístico.

Realizar un análisis de confiabilidad, con el fin de poder aceptar o rechazar los estadísticos de la muestra como los parámetros del universo de trabajo, para el nivel de confianza establecido. Esta fase del

procedimiento estadístico consiste en realizar una prueba de hipótesis en dos colas, o bien ya sea en la cola izquierda o en la cola derecha de la distribución empleada para este análisis con el fin de definir la media muestral (\bar{X}) es igual o difiere de la media poblacional (μ). Puede emplearse para este análisis, la tabla No. 4 (ver Apéndice) correspondiente a la distribución normal.

Esta fase, consiste en el establecimiento de la hipótesis nula H_0 y de la hipótesis alternativa H_1 .

La hipótesis nula a comprobar o rechazar, es que la media muestral, no difiera de la media poblacional.

$$H_0: X = \mu$$

La hipótesis alternativa es lo contrario de la hipótesis nula, es decir:

$$H_1: X \neq \mu$$

En caso de aceptarse la hipótesis nula, se concluye que los estadísticos de la muestra, pueden ser tomados como los parámetros del universo de trabajo. Si la hipótesis alternativa se acepta, los estadísticos de la muestra no deben ser tomados como los parámetros del universo de trabajo; por lo que es necesario realizar un nuevo muestreo y desechar el analizado.

Prueba de la razón de varianzas (F).

Esta prueba se emplea para aceptar o rechazar la siguiente hipótesis: "la media poblacional estimada para un determinado estrato socioeconómico, es igual a las medias poblacionales estimadas de los demás estratos socioeconómicos en que se subdividió la población muestreada".

Lo anterior es con el fin de poder concluir, que en un momento dado se puede emplear un valor promedio de la generación de residuo per-cápita diario, para todos los estratos socioeconómicos de la población muestreada; solo en los casos en que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología lo considere pertinente, se realizará la prueba de la razón de varianzas (F), por lo tanto para un análisis de la información de tipo corriente, no se requiere realizar esta prueba.

La razón (F), se expresa entre dos varianzas poblacionales estimadas independientemente, como sigue:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Donde el subíndice, indica el número de la muestra y cada S^2 representa la estimación de la varianza poblacional basada en la muestra.

Cuando las dos varianzas poblacionales estimadas sean iguales, la razón (F) debe ser la unidad.

Si (F) no es igual, la diferencia puede ser atribuida al azar (no es significativa), o puede no ser atribuida al azar (es significativa ya sea demasiado grande o demasiado pequeña). Para tomar tales decisiones, debemos confiar en la distribución del estadístico (F).

De acuerdo con lo anterior, la hipótesis para realizar esta prueba, es que las medias poblacionales normalmente distribuidas, de los estratos socioeconómicos sean iguales.

Cuando combinamos las poblaciones de cada estrato en una única población grande se espera que la media y la varianza de la población grande (μ, σ^2), sean iguales a las de las poblaciones originales de los estratos.

$$\mu = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3; \sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

Debe entenderse como "población grande", a la compuesta por las poblaciones de los estratos socioeconómicos muestreados.

La población No. 1, es el universo de trabajo compuesto por el estrato socioeconómico bajo; mientras que la población No. 2, corresponde al universo de trabajo definido por el estrato socioeconómico medio, y así sucesivamente con los demás estratos.

El procedimiento seguido para realizar esta prueba, se describe a continuación:

Calcular la varianza entre clases (o entre muestras) con la siguiente expresión:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i (x_i - \bar{x})^2}{m-1}$$

Donde:

- m Número de muestras.
- i Número de la muestra.
- n_i Tamaño de la muestra extraída de la población "i".
- x_i Media de los elementos de la muestra "i".
- \bar{x} Media de todos los elementos de la muestra grande.
- $x_i - \bar{x}$ Desviación entre la media de la muestra "i" y la media de la muestra grande.
- $(x_i - \bar{x})^2$ Cuadrado de la desviación (variación).

Calcular la varianza entre clases (o dentro de las muestras individuales) con la siguiente expresión:

$$S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^{n_i} (x_j - \bar{x}_i)^2)}{r - m}$$

De donde:

- i Número de la muestra.
- j Número del elemento.
- x_j Elementos de la muestra "i".
- r Número de elementos de la muestra grande.

$$(r = \sum_{i=1}^m n_i)$$

Para realizar esta prueba, se emplea la tabla No. 5 (ver Apéndice) la cual corresponde a la distribución " F " de Fisher.

Sólo en el caso de que la diferencia se deba al azar, se trabaja con una generación per-cápita promedio, para todos los estratos socioeconómicos analizados.

Generación de residuos sólidos no domésticos.

PROCEDIMIENTO.

El valor de esta generación se puede obtener, adecuando el procedimiento descrito anteriormente, siempre y cuando se pueda determinar confiablemente el tamaño de la premuestra con base en la siguiente expresión:

$$n = \left(\frac{Z\sigma}{E} \right)^2$$

Donde:

- N Tamaño de la premuestra (número de fuentes por muestra).
- E Error muestral (Kg/fuente-día).
- σ Desviación estándar poblacional (Kg/fuente-día).
- Z Percentil de la distribución normal, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Para explicar la expresión anterior, se deben definir primero los giros municipales excepto el doméstico, que

se pretende muestrear en la localidad.

De no poder determinar la generación de estos residuos conforme a éste procedimiento; obtenerla a partir de un balance de materia, del proceso o giro que se trate. Para tal situación se debe conocer lo siguiente:

Las fronteras del sistema, las actividades que cruzan u ocurren dentro de sus fronteras y la generación de residuos sólidos asociada con estas actividades.

Estos residuos se relacionan con el número de clientes, monto de ventas, área de establecimiento o giro municipal.

Sólo en el caso de que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, lo considere conveniente, se le dará a la información, un tratamiento diferente a lo expuesto; en tal caso, la misma Secretaría establecerá el procedimiento más adecuado.

APÉNDICE

Tabla No. 1 Números Aleatorios

85967	73152	14511	85285	36009	95892	36962	67835	63314	50162
07483	51453	11649	86348	76431	81594	95858	36738	25014	15460
96283	01898	61414	83525	04231	13604	75339	11730	85423	60698
49174	12074	98551	37895	93547	24769	09404	76548	05393	96770
97366	39941	21225	93629	19574	71565	33413	56187	40875	13351
90474	41469	16812	81542	81652	45554	27931	93994	22375	00953
28599	64109	09497	76235	41383	31555	12639	00619	22909	29563
25254	16210	89717	65997	82667	74624	36348	44018	64732	93589
28785	02760	24359	99410	77319	73408	58993	61098	04393	48245
84725	86576	86944	93296	10081	82454	76810	52975	10324	15457
41059	65456	47679	65810	15941	84602	14493	65515	19251	41642
67434	41045	82830	47617	36932	46728	71183	36345	41404	81110
72766	68816	37643	19959	57550	49620	98480	25640	67257	18671
92079	46784	66125	94932	64451	29275	57669	66658	30818	58353
29187	40350	62533	73603	34075	16451	42885	03448	37390	96328
74220	17612	65522	80607	19184	64164	66962	82310	18163	63495
03786	02407	06098	92917	40434	60502	82175	04470	78754	90775
75085	55558	15520	27038	25471	76107	90832	4149	56797	33751
09161	33015	19155	11715	00551	24909	31894	37774	37953	78837
75707	48992	64998	87080	39333	00767	45637	12538	67439	94914
21333	48660	31288	00086	79889	75532	28704	62844	92337	99695
65626	50061	42539	14812	48895	11195	34335	60492	70650	51108
84380	07389	87891	76255	89604	41372	10837	66992	93183	56920
46479	32072	80083	63868	70930	89654	05359	47196	12452	38234
59847	97197	55147	76639	76971	55928	36441	95141	42333	67483
31416	11231	27904	57383	31852	69137	96667	14315	01007	31929
82065	83436	67914	21465	99605	83114	97885	74441	99622	87912
01850	42782	69202	18582	46214	99228	79541	78298	75404	63648
32315	89276	89582	87138	16165	15984	21466	63830	30475	74729
59383	42703	55198	80380	67067	97155	34160	85019	03257	78140
58089	27632	50987	91373	07736	20436	96130	73483	85332	24384
31705	57285	30392	23660	75841	21931	04295	00875	09114	32101
18914	98982	60199	99275	41967	35208	30357	76772	92656	62318
11965	94089	34803	48941	69709	16784	44642	89761	66864	62803
85251	48111	80936	81781	93248	67877	16498	31924	51315	79921
05121	95986	84844	93873	46352	92183	51152	85878	30490	15974
53972	96642	24199	58080	35450	03482	65953	49521	63719	57615

Determinación de la composición físico-química de los residuos sólidos en México y modelación del flujo másico de lixiviados y gases en un relleno sanitario

Anexo I

34509	16594	78883	43222	23093	58645	60257	89250	63266	90858
37700	07688	65533	72126	23611	93993	01848	03910	38552	17472
85466	59392	72722	15473	73295	49759	56157	60477	83284	56367
52969	55863	42312	67842	05673	91878	82736	36563	79541	61940
42744	68315	17514	02878	97291	74851	42725	57894	81434	62041
26140	13336	67726	61876	29971	90294	96664	52817	90039	53211
95589	56310	14563	24071	06916	95955	18195	32280	79367	04224
39118	13217	59999	49952	83021	47709	53105	19295	88318	41626
41392	17622	18994	98283	07249	52289	24209	91139	30715	06604
54684	53645	79246	70183	87731	19185	08541	33519	07223	97413
89442	61001	36658	57444	95388	36682	38052	46719	09428	94012
36751	16778	54588	15357	68003	43564	90976	58904	40512	07725
06159	02564	21416	74944	53049	88749	02865	25772	89853	88714

Tabla No. 2
CRITERIO PARA RECHAZO DE OBSERVACIONES DISTINTAS

Estadístico	No. de Observaciones	PERCENTILES MÁXIMOS						
		.70	.80	.90	.95	.98	.99	.995
r 1	3	.584	.781	.886	.941	.976	.998	.994
	4	.471	.560	.579	.765	.846	.889	.926
	5	.373	.451	.557	.642	.729	.780	.821
	6	.318	.386	.482	.550	.644	.698	.740
	7	.261	.344	.434	.507	.586	.637	.680
r 11	8	.318	.385	.479	.554	.631	.683	.725
	9	.288	.352	.441	.512	.587	.635	.677
	10	.265	.325	.409	.477	.551	.597	.639
r 21	11	.391	.442	.517	.576	.638	.679	.713
	12	.370	.419	.490	.546	.605	.642	.675
	13	.351	.399	.457	.521	.578	.615	.649
r 22	14	.370	.421	.492	.546	.602	.641	.674
	15	.353	.402	.472	.525	.579	.616	.647
	16	.333	.386	.454	.507	.559	.595	.624
	17	.325	.373	.438	.490	.542	.577	.605
	18	.314	.361	.424	.475	.527	.561	.589
	19	.304	.350	.412	.462	.514	.547	.575
	20	.295	.340	.401	.450	.502	.535	.562
	21	.287	.331	.391	.440	.491	.524	.551
	22	.280	.323	.382	.430	.481	.514	.541
	23	.274	.316	.374	.421	.472	.505	.532
24	.268	.310	.367	.413	.454	.497	.524	
25	.262	.304	.360	.406	.457	.489	.516	

Tabla No. 3
PERCENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN "t"

Grados de Libertad	1.60	1.70	1.80	1.90	1.95	1.975	1.993	1.995
1	.325	.727	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	.289	.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	.277	.584	.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841

Determinación de la composición físico-química de los residuos sólidos en México y modelación del flujo másico de lixiviados y gases en un relleno sanitario

Anexo I

4	.271	.569	.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	.267	.559	.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
r 6	.265	.553	.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	.263	.549	.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	.262	.546	.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	.261	.543	.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	.260	.542	.879	1.372	1.812	2.228	2.774	3.169
r 11	.260	.540	.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	.259	.539	.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	.259	.538	.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	.258	.537	.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	.258	.536	.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
r 16	.258	.535	.865	1.337	1.745	2.120	2.583	2.921
17	.257	.534	.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	.257	.534	.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	.257	.533	.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	.257	.533	.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
r 21	.257	.532	.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	.256	.532	.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	.256	.532	.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	.256	.531	.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	.256	.531	.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
r 26	.256	.531	.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	.256	.531	.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	.256	.530	.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	.256	.530	.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	.256	.530	.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
r 40	.255	.529	.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	.254	.527	.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	.254	.526	.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
σ	.253	.524	.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Tabla No. 4

DISTRIBUCION NORMAL ACUMULATIVA-VALORES DE Z_p $p = 1 - \frac{\alpha}{2}$
 VALORES DE Z_p CORRESPONDIENTES A "p" PARA LA CURVA NORMAL
 Z ES LA VARIABLE NORMAL ESTÁNDAR

p	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.00	--	-2.33	-2.05	-1.88	-1.75	-1.64	-1.55	-1.48	-1.41	-1.34
.10	-1.28	-1.23	-1.18	-1.13	-1.08	-1.04	-0.99	-0.95	-0.92	-0.88
.20	-0.84	-0.81	-0.77	-0.74	-0.71	-0.67	-0.64	-0.61	-0.58	-0.55
.30	-0.52	-0.50	-0.47	-0.44	-0.41	-0.39	-0.36	-0.33	-0.31	-0.28
.40	-0.25	-0.23	-0.20	-0.18	-0.15	-0.13	-0.10	-0.08	-0.05	-0.03
.50	0.00	-0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23
.60	0.25	0.29	0.31	0.33	0.36	0.39	0.41	0.44	0.47	0.50
.70	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	0.77	0.81
.80	0.84	0.88	0.92	0.95	0.99	1.04	1.08	1.13	1.18	1.23
.90	1.28	1.34	1.41	1.48	1.55	1.64	1.75	1.88	2.05	2.33

VALORES ESPECIALES

p	.001	.005	.010	.025	.050	.100
Z_p	-3.090	-2.576	-2.326	-1.960	-1.645	-1.282
p	.999	.995	.990	.975	.950	.900

Z_p	3.090	2.576	2.326	1.960	1.645	1.282
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla No. 5

PRIMERA PARTE

PERENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN " F "

n_1 = grados de libertad del numerador

n_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.99	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.88
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.85	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.88
8	5.82	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.95	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.80	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.00	3.74	3.84	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.60	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.58	3.20	2.96	2.61	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.68	2.51	2.48
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.00	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.28	3.40	3.01	2.78	2.02	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.49	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12

SEGUNDA PARTE

	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	5.90	5.91	5.85	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63

Determinación de la composición físico-química de los residuos sólidos en México y modelación del flujo másico de lixiviados y gases en un relleno sanitario

Anexo I

5	5.74	4.68	4.52	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	2.45	2.38	2.31	2.28	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.16	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.95	1.92	1.87	1.81
22	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	2.16	2.09	2.01	1.93	1.85	1.84	1.79	1.74	1.63	1.62
40	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.56	1.51

NORMA MEXICANA NMX-AA-67-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

La presente Norma Oficial 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.

DEFINICIONES.

Relación Carbono/Notrógeno. Es el parámetro utilizado como control de calidad de los residuos sólidos dentro de un sistema, utilizando como base la materia orgánica.

APARATOS Y EQUIPO.

Son los utilizados en las determinaciones de Materia Orgánica y Nitrógeno Total.

MATERIALES Y REACTIVOS.

Son los utilizados en las determinaciones de Materia Orgánica y Nitrógeno Total.

CÁLCULOS.

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) esta en función del porcentaje de materia orgánica (% MO) obtenido de acuerdo a la constante de Jackson y del porcentaje de Nitrógeno total (% N).

Para determinar el contenido de carbono se multiplica el % de materia orgánica por 0.58 (constante dada por Jackson).

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

$$(C/N) = \frac{(\%MO) \cdot 0.58}{\%N}$$

Donde:

%N % Nitrógeno total obtenido según NMX-AA-24.

%MO % Materia orgánica obtenida según NMX-AA-21.

NORMA MEXICANA NMX-AA-94-1985

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Mexicana especifica un método de prueba para determinar el fósforo total contenido en los Residuos Sólidos Municipales y no es aplicable a productos que generan soluciones coloridas como son las del tipo denominado escorias básicas.

DEFINICIONES.

Para efectos de esta Norma las definiciones son las que se establecen en la Norma Mexicana NMX-AA-91 además de:

Fósforo total: Fósforo disponible o aprovechable en todas sus formas, más fósforo orgánico.

Fundamento.

Este método se basa en disolver y transformar los compuestos fosforados a ortofosfatos, los cuales se hacen reaccionar para formar el complejo de fosfovanadomolibdato, cuya intensidad de color se mide fotométricamente.

APARATOS Y EQUIPO.

Equipo usual de laboratorio además de:

Balanza analítica con sensibilidad de 0.0001g.

Espectrofotómetro o Colorímetro con celdas.

Parrilla de calentamiento con control de temperatura y agitación magnética.

MATERIALES Y REACTIVOS.

Materiales.

Piedras de ebullición.

Papel filtro Wathman (No. 5 o similar) de 11cm de diámetro.

Reactivos.

Los reactivos que a continuación se mencionan, deben ser de grado analítico; cuando se hable de agua, debe entenderse agua estiliada o desmineralizada.

Ácido nítrico, (HNO_3) 69 a 71%.

Ácido perclórico, ($HClO_4$) 70 a 72%.

Solución de Vanadomolibdato.

Disolver $40 \pm 0.01g$ de heptamolibdato de amonio tetrahidratado: $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ en 400 ± 1.0 cm^3 de agua caliente a 323 K (50 °C) y dejar enfriar a temperatura ambiente. Filtrar en caso de que la solución sea turbia. Diluir hasta $500 \pm 1.0cm^3$ con agua y homogeneizar. Almacenar en un frasco de vidrio color ámbar. Preparar una solución fresca cada dos meses.

En un matraz Erlenmeyer de $1000cm^3$ disolver $2 \pm 0.01g$ metavanadato de amonio (NH_4VO_3) $200 \pm 1.0cm^3$ de agua caliente a 323 K (50 °C) y dejar enfriar a temperatura ambiente. Por medio de una bureta adicionar gota a gota $450cm^3$ de ácido perclórico ($HClO_4$) empleando agitación magnética. Almacenar esta solución en un frasco de vidrio color ámbar.

Verter lentamente y con agitación y diluir con agua a $2000 \pm 2cm^3$.

Patrón primario de pentóxido de fósforo.

Pesar 9.5876g de fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4) secado previamente a 378 K (105 °C) por un mínimo de dos horas y disolver en aproximadamente $100cm^3$ de agua en un matraz aforado de

500cm³ y llenar hasta la marca con agua. Esta solución contiene 10mg de P_2O_5 por cm³ almacenar esta solución en un frasco de vidrio de color ámbar por no más de dos semanas.

Nota: A fin de asegurar la pureza del fosfato de potasio monobásico se recomienda recristalizar en agua y secar hasta peso constante a una temperatura de 378 K (105 °C).

Solución de trabajo de pentóxido de fósforo. Diluir 10 ± 0.1 cm³ de solución patrón primario de pentóxido de fósforo en un matraz aforado de 1000cm³ y llenar hasta la marca con agua. Esta solución contiene 0.1mg de P_2O_5 por cm³.

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.

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

PROCEDIMIENTO.

Recomendaciones de seguridad. Tener cuidado con el manejo del ácido nítrico para destruir la materia orgánica fácilmente oxidable, pero no llevar a sequedad. Trabajar con protección facial y bajo la campana. La ceniza de tabaco, el sudor y el polvo contienen cantidades apreciables de fosfatos, por lo tanto deben quedar excluidos del área de trabajo.

Determinación.

Preparación de la solución de fósforo.

Transferir la muestra de análisis (10g) a un vaso de precipitados de 250cm³; agregar de 20 a 30cm³ de ácido nítrico, así como piedras de ebullición. Cubrir con un vidrio de reloj y llevar a ebullición en la parrilla de calentamiento de 30 a 45 minutos.

Dejar enfriar hasta temperatura ambiente, agregar de 10 a 20cm³ de ácido perclórico y calentar suavemente hasta que desaparezcan los vapores nitrosos. Si es necesario agregar porciones de 10cm³ de ácido nítrico tantas veces como se requiera para decolorar la solución.

Enfriar hasta temperatura ambiente y agregar 50cm³ de agua, llevar a ebullición durante 5 minutos. Filtrar y recibir el producto en un matraz aforado de 250cm³. Lavar dos veces los residuos del papel filtro con agua caliente, enfriar hasta temperatura ambiente y llenar hasta la marca con agua.

Desarrollo de color.

Medir de la solución de trabajo una alícuota que contenga de 3 a 4mg P_2O_5 , y transferir a un matraz aforado de 100cm³.

Nota: Para muestras con un contenido de P_2O_5 menor de 0.5% se deben ajustar a las diluciones de manera que la alícuota sobre la que se va a efectuar la determinación contenga de 3 a 4mg de P_2O_5 .

Blanco de prueba.

Simultáneamente, se miden 20cm³ de la solución de trabajo de 0.1mg de P_2O_5 por cm³ y se transfieren a un matraz aforado de 100cm³. Se ajusta con agua a un volumen aproximado de 50cm³ y tomando un tiempo no mayor de 5 minutos para toda la serie de determinaciones se agrega con bureta o pipeta 20cm³ de solución de vanadomolibdato. Se llena hasta la marca con agua, se homogeneiza y se deja reposar 10 minutos.

Medición fotométrica.

El color se desarrolla rápidamente, pero usualmente se lee una vez que han transcurrido 10 minutos, con el fin de asegurar que alcance la máxima intensidad.

Transferir la solución de trabajo que contiene 2mg de P_2O_5 por cm³ (blanco de prueba), así como la solución de la muestra filtrada anteriormente a las celdas.

Conducir un blanco de prueba paralelo a la determinación, con el fin de ajustar el espectrofotómetro o colorímetro. A lectura "cero" de absorbancia o 100% de transmitancia con la longitud de onda de 400nm.

Se mide la absorbancia o transmitancia de la muestra y se anota la lectura

NOTA: En caso de que se utilice un colorímetro, se emplea el filtro No. 42 que tiene un intervalo espectral de 400 a 465nm.

Curva de calibración.

De la solución de trabajo de P_2O_5 , se miden alícuotas como se indica en la Tabla No. 1, se transfieren a matraces de 100cm³ y se prosigue como se indica en la determinación a partir de el desarrollo de color y la medición fotométrica.

Se elabora una gráfica tomando con ordenadas los mg de P_2O_5 , y como abscisas las lecturas de absorbancia o transmitancia.

NOTA: Elaborar nueva curva de calibración cada vez que se prepare el patrón primario de P_2O_5 .

Tabla 1

SOLUCIÓN DE TRABAJO (cm ³)	CONCENTRACIÓN DE P_2O_5 (mg)
20	2.0
25	2.5
30	3.0
35	3.5
40	4.0
45	4.5
50	5.0

EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Método de cálculo y fórmulas.

El contenido de fósforo total está dado como:

$$\%P_2O_5 = \frac{m_1 \cdot V_1 \cdot V_2}{m_0 \cdot A_1 \cdot A_2} \cdot 100$$

En donde:

m_1 Masa (mg) de P_2O_5 leídos en la curva de calibración para la muestra problema.

V_1 Volumen (cm³) de la solución de la porción de análisis.

V_2 Volumen (cm³) de la dilución igual a 100.

m_0 Masa (cm³) de la porción de análisis.

A_1 Volumen (cm³) de la alícuota de la muestra.

A_2 Volumen (cm³) de la alícuota de la solución de trabajo.

Repetibilidad

La diferencia entre resultados obtenidos para diferentes porciones de muestras, así como de sus análisis, no debe exceder de 0.1%, en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

NORMA MEXICANA NMX-AA-68-1986

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana especifica un método para la determinación de Hidrógeno de los residuos sólidos municipales, para planear y diseñar sus sistemas de disposición final.

APARATOS Y EQUIPO

Son los utilizados en las determinaciones de materia orgánica.

MATERIALES Y REACTIVOS.

Son los utilizados en las determinaciones de materia orgánica.

CÁLCULOS.

Están es función del porcentaje de materia orgánica obtenido de acuerdo la constante de Jackson.

Para conocer el porcentaje de Hidrógeno (%H) en una muestra se emplea la siguiente fórmula:

$$\% H = (\% \text{ de materia orgánica}) / 15$$

Donde:

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

* Jackson M.L. Análisis Químico de Suelos. Edición Omega. Barcelona, España. 1970.

NORMA MEXICANA NMX-AA-80-1986

PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE OXÍGENO EN MATERIA ORGÁNICA

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

La presente norma especifica un método para la determinación del porcentaje de Oxígeno en Materia Orgánica presente en residuos sólidos municipales, que se evalúa por la transformación a Monóxido de Carbono, que posteriormente reacciona con Pentóxido de Yodo, formando Yodo absorbido en solución alcalina para ser valorada con Tiosulfato de Sodio, con el objeto de diseñar sus sistemas de manejo y disposición final

APARATOS Y EQUIPO

Equipo usual de laboratorio además de:

Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g.

Parrilla eléctrica esférica con reóstato, con chaqueta de asbesto, para matraz bola de 500cm³, que alcance una temperatura de 423 K (150 °C).

Parrilla con chaqueta de asbesto con regulador de temperatura hasta 1473 K (1200 °C), para recipiente cilíndrico.

Cilindro con Nitrógeno seco.

Matraz bola de tres bocas de 500cm³.

Tubo de vidrio de 30cm de longitud con diámetro interior de 3cm aprox., protegido con material refractario.

Tubo de vidrio de 30cm de longitud con diámetro interior de 3cm aprox.

Conexiones de vidrio.

REACTIVOS Y MATERIALES

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 se debe entender agua destilada.

Nitrógeno seco, Carbón activado, Pentóxido de Yodo; 200cm³ de una solución de hidróxido de sodio de concentración $1 \times 10^{-1} N$; 100cm³ de una solución de tiosulfato de sodio de concentración 0.2N.

Materiales:

Piedras de ebullición.

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.

La muestra se toma en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado según la norma NMX-AA-52.

PROCEDIMIENTO

En el matraz de tres bocas depositar 4 a 5g de muestra. Llenar el tubo de vidrio protegido con carbón activado. Llenar el tubo de vidrio con la mezcla de pentóxido de yodo y piedras de ebullición.

Conectar el equipo. Regular el flujo de nitrógeno a 50cm³/min. Encender la parrilla que calienta el carbón, hasta alcanzar la temperatura de 1473 K (1200 °C).

Burbujear la fase gaseosa en un volumen de 200cm³ de solución de hidróxido de sodio. Calentar el matraz donde se encuentra la muestra hasta 423 K (150 °C) durante 30 minutos. Valorar la solución de hidróxido de sodio con tiosulfato de sodio.

CÁLCULOS

El porcentaje de Oxígeno (%O) se calcula con la siguiente fórmula:

$$\%O = \frac{N_1 V_1}{M_2} (5)(16)(100)$$

En donde:

N_1 Normalidad de la solución de Tiosulfato de Sodio.

V_1 Volumen consumido de la solución de Tiosulfato de Sodio.

M_2 Peso de la muestra de residuo sólido (g).

Bibliografía

- Adaptación de Proyecto tipo de relleno sanitario en Irapuato, Gto. 1985. SEDUE. Subsecretaría de Ecología.
- Curso Latinoamericano de Residuos Sólidos y Peligrosos. Gutiérrez, M. E. 1997.
- Design, construction and monitoring of sanitary landfills. Amalendu Bagchi. 1990.
- Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental del Agua, Suelo y Residuos, SEMARNAT. 2001.
- Dirección General de Servicios Urbanos, GDF. 1997.
- Estadísticas e indicadores de inversión sobre Residuos Sólidos Municipales en los principales centros urbanos de México, Instituto Nacional de Ecología. 1997.
- Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la ciudad de México, JICA, 1999.
- Gestión integral de residuos sólidos, Tchobanoglous, G., H. Theisen y S. Vigil Vol. I y II 1996.
- Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. SEMARNAT. 2001.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 1996.
- Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Jiménez Peña A..1999.
- Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. INE-SEMARNAT. 1999.
- Normas Mexicanas. Métodos de prueba. ITESM-UNINET. 2000.
- Normas Oficiales Mexicanas. Contaminación del suelo. México, D.F. 1985.
- Reglamento de la Ley Ambiental en el Distrito Federal. 13 de diciembre de 1997.
- Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal. 1989.
- SEMARNAP. Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996. Diario Oficial de la Federación, lunes 25 de noviembre de 1996.
- Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. SEDESOL, México. Sancho y Cervera J., Rosiles G. 1999.
- Solid waste landfill engineering and design. Edward A. Mc Bean; Frank A. Robers; Grahams J. Farquhar. 1995.
- VIII Congreso Nacional, Acciones para un ambiente limpio. Memoria 1992.

Sitios de Internet recomendados.

www.semarnat.gob.mx	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
www.ine.gob.mx	Instituto Nacional de Ecología.
www.epa.gov	Environment Protection Agency.
www.uninet.mty.itesm.mx	Centro de Calidad Ambiental.
www.nature.nps.gov	Enciclopedia de Contaminantes Ambientales.
www.oecd.org	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos.
www.unep.org	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
www.undp.org	United Nations Development Programme.
www.rolac.unep.mx	Oficina Regional de América Latina y el Caribe.
www.df.gob.mx	Secretaría del Medio Ambiente del D.F.
www.unam.mx/puma	Programa Universitario del Medio Ambiente.
www.naturalia.org.mx	Naturalia (Asociación para la conservación de los ecosistemas mexicanos).