



**UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE BIOLOGÍA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS
ÁREA TEMÁTICA
ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN

**COMPOSICIÓN Y PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL
ANTIGUO RELLENO DE TIERRA DE MORELIA**

TESIS QUE PRESENTA
FRANCELIA PINETTE GAONA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECTOR DE TESIS
DR. OTONIEL BUENROSTRO DELGADO

COORDIRECTORA
DRA. LILIANA MÁRQUEZ-BENAVIDES

MORELIA, MICHUACÁN, AGOSTO DE 2009

La presente investigación se realizó en el **Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio ambiente** del **Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF)**, dependiente de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), bajo la supervisión del **Dr. Otoniel Buenrostro Delgado** y la **Dra. Liliana Márquez Benavides**, como parte del comité tutorial el **Dr. Javier Ponce Saavedra, M.C. Ruth Alfaro Cuevas Villanueva** y como asesora externa fungió la **Dra. Sara Ojeda Benítez** de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.



*“La ciudad más limpia no es la que se barre más,
sino la que no se ensucia.”*

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

A Luis André, que es la luz de mi vida y por llegar en el momento preciso a mi vida.

A José Luis, que con sus consejos, amor y motivación que me dio no hubiera sido posible culminar este trabajo.

A mi madre que me da su fortaleza y amor en mis fracasos y logros en mi vida.

A mi hermana por apoyarme mucho moralmente con sus consejos y regaños.

A mis compañeros de laboratorio Carlos, Carlitos, Edith, Erick, Erick Alejandro, Will, M.C. Ma. del Consuelo Hernández , M.C. Ma. del Consuelo Mañón y en especial a Alfredo Nila, que sin su apoyo y consejos no hubiera sido posible el trabajo de laboratorio.

Al comité tutorial conformado por el Dr. Otoniel Buenrostro, Dr. Javier Ponce Saavedra, Dra. Sara Ojeda Benítez y en especial a la Dra. Liliana Márquez B., por darme consejos y apoyo en momentos de tristeza y desesperación.

Se agradece el apoyo para la impresión de esta tesis al proyecto 2.7 (2009) de la Coordinación de la investigación científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, del Proyecto de investigación “Aislamiento de microorganismos promotores de crecimiento vegetal de leguminosas”.

Agradezco a Dios por la valiosa vida que me ha dado, por la dicha de ser madre durante el proceso de la Maestría y poder culminarla satisfactoriamente.

DEDICATORIA

A Luis André

y

José Luis

CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUCCIÓN	4
3.1 Clasificación de las Fuentes de Generación de los Residuos Sólidos	5
3.1.1 <i>Residuos Sólidos Urbanos</i>	5
3.1.2 <i>Residuo de Manejo Especial</i>	5
3.1.3 <i>Residuos Peligrosos</i>	6
3.1.4 <i>Residuos Incompatibles</i>	6
3.2 Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos de los Residuos Sólidos	6
3.2.1 <i>Parámetros Físicos</i>	7
3.2.1.1 <i>Densidad</i>	7
3.2.1.2 <i>Contenido de Humedad</i>	10
3.2.1.3 <i>Granulometría</i>	12
3.2.1.4 <i>Capacidad de Campo</i>	13
3.2.1.5 <i>Permeabilidad de lo residuos sólidos compactados</i>	13
3.2.1.6 <i>Temperatura</i>	13
3.2.2 <i>Parámetros Químicos</i>	14
3.2.2.1 <i>Cenizas</i>	14
3.4.2.2 <i>Contenido Energético o Poder Calorífico</i>	14
3.4.2.3 <i>Nutrimientos esenciales y otros elementos</i>	16
3.4.2.4 <i>Potencial Hidrógeno (Ph)</i>	16
3.2.3 <i>Parámetros Biológicos de los residuos sólidos urbanos</i>	16
3.2.3.1 <i>Biodegradabilidad de los componentes</i> <i>de los residuos orgánicos</i>	17
3.2.3.2 <i>Producción de olores</i>	17
3.3 Fases de la degradación de los residuos sólidos en los sitios de disposición final	18
3.3.1 <i>Fase I: Fase de Ajuste Inicial</i>	19
3.3.2 <i>Fase II: Fase de transición</i>	19
3.3.3 <i>Fase III: Fase ácida</i>	20

3.3.4 La Fase IV: Fase de fermentación del metano	20
3.3.5 Fase V: Fase de estabilización de los residuos o maduración	21
3.4 Producción de Biogás	21
3.5 Producción de Lixiviados	22
3.6 Estudios realizados en el sitio de estudio	23
4. HIPOTESIS	24
5. OBJETIVOS	25
6. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	26

7 RESULTADOS

CAPITULO I

COMPOSICIÓN Y PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CONFINADOS EN EL ANTIGUO RELLENO DE TIERRA DE MORELIA, MICH.

RESUMEN	27
ABSTRACT	28
INTRODUCCIÓN	29
Generación y Composición de los Residuos Sólidos en México	29
Producción de Residuos Sólidos En Michoacán	33
Descripción del área de estudio	34
MATERIALES Y METODOS	35
Levantamiento topográfico y estimación del volumen del área de confinamiento y la cantidad de los residuos sólidos confinados en el sitio	35
Muestreo de los Residuos Sólidos Urbanos depositados en el antiguo relleno de tierra de Morelia	36
Caracterización de las muestras de los residuos sólidos urbanos	37
Determinación de la fracción orgánica e inorgánica de los residuos sólidos urbanos analizados	38
Preparación de las muestras para los análisis de laboratorio	38

Determinación de los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos urbanos.	39
<i>Determinación de la Temperatura</i>	39
<i>Determinación del Potencial Hidrógeno (pH).</i>	40
<i>Determinación del contenido de humedad</i>	41
<i>Determinación de cenizas</i>	42
<i>Determinación de Sólidos Volátiles (SV)</i>	43
RESULTADOS	44
DISCUSIÓN	51
CONCLUSIONES	55
LITERATURA CITADA	56

CAPITULO II

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CONFINAMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS CONFINADOS EN EL ANTIGUO RELLENO DE TIERRA DE MORELIA MICHOACÁN, MÉXICO.

RESUMEN	60
ABSTRACT	61
INTRODUCCIÓN	62
Influencia de las Condiciones climáticas y meteorológicas en los sitios de disposición final de residuos sólidos	62
Tecnología aplicada en la disposición final de los RSU	64
Edad del sitio de disposición final	65
MATERIALES Y MÉTODOS	66
Caracterización de los residuos sólidos	66
Análisis estadísticos de los datos	66
RESULTADOS	68
Temperatura	68

pH	69
Contenido de humedad	69
Cenizas	69
Sólidos Totales	69
Sólidos Volátiles	70
DISCUSIÓN	70
CONCLUSIONES	72
LITERATURA CITADA	73
8. DISCUSIÓN GENERAL	77
9. CONCLUSIONES	85
10. RECOMENDACIONES	87
11. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	88
12. VALIDACIÓN DE HIPOTESIS	89
13. LITERATURA CITADA	90
14. ANEXOS	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Alteración de densidad de los residuos sólidos urbanos	8
Cuadro 2. Densidad típica de los residuos sólidos urbanos	9
Cuadro 3. Contenido de humedad en los tipos de residuos	11
Cuadro 4. Contenido de humedad en los residuos, sin mezclar y mezclados	12
Cuadro 5. Ejemplo de poder calorífico (Base seca)	15
Cuadro 6. Composición de los RSU en el período 1991 y 1999 (% peso fresco)	29
Cuadro 7. Composición de los RSU por regiones de México, en el período 1991 y 1999 (%)	30
Cuadro 8. Proyecciones de la Generación <i>per cápita</i> y total de Residuos Sólidos Urbanos 2010-2020	32
Cuadro 9. Peso total por estrato y tiempo de confinamiento de los RSU analizados (kg base húmeda)	46
Cuadro 10. Muestra analizada en cada estrato de los ocho pozos muestreados (Gr base húmeda)	46
Cuadro 11. Caracterización de los RSU analizados (Porcentaje base húmeda)	47
Cuadro 12. Total de subproductos encontrados por estrato y tiempo de confinamiento	48
Cuadro 13. Fracciones orgánica e inorgánica en los sitios de muestreo (Gramos base húmeda)	48
Cuadro 14. Porcentaje por estrato y tiempo de confinamiento de la fracción orgánica e inorgánica	49
Cuadro 15. Temperatura promedio registrada por sitio de muestro (°C)	49
Cuadro 16. pH de las muestras de RSU analizados	50
Cuadro 17. Contenido de humedad registrada por sitio de muestro	51
Cuadro 18. Determinación de Cenizas, Sólidos Totales y Sólidos Volátiles (Porcentaje peso seco)	51
Cuadro 19. Contenido de humedad en RSU (porcentaje base húmeda)	63

Cuadro 20. Principales subproductos encontrados en las muestras analizadas por tiempo de confinamiento (Porcentaje base húmeda)	67
Cuadro 21. Parámetros físicos y químicos de los Residuos Sólidos Urbanos del Antiguo Relleno de Tierra de Morelia	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases generales en la generación de gases de un RESA	18
Figura 2. Imagen aérea del antiguo relleno de tierra de Morelia	26
Figura 3. Composición de los Residuos Sólidos en México	31
Figura 4. Relleno Sanitario de Morelia	34
Figura 5. Antiguo relleno sanitario de tierra de Morelia, clausurado desde diciembre de 2007	35
Figura 6. Medición de la profundidad	36
Figura 7. Obtención de la muestra con una pala	37
Figura 8. Separación de la muestra por subproductos	37
Figura 9. Pesado de los subproductos	38
Figura 10. Muestra triturada y homogeneizada	39
Figura 11. Toma de la temperatura en la muestra	40
Figura 12. Capsulas puestas en la estufa durante 24 horas	41
Figura 13. Cápsulas con muestra calcinada	42
Figura 14. Mapa tridimensional del antiguo relleno de tierra de Morelia, con la ubicación de los pozos analizados	44
Figura 15. Sitio de Muestreo, con una profundidad aproximada de un metro de respectivamente	45
Figura 16. Temperatura registrada en los sitios de muestreo de 5 y 10 años de confinamiento	50
Figura 17. Esquema general de la degradación de los residuos sólidos	63

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Formato de clasificación para la toma de muestras en antiguo relleno de tierra de Morelia, Mich.	93
Anexo 2	NMX-AA-022-1985. Cuantificación de subproductos	94
Anexo 3	Norma de clasificación variante de la ntrs-5 de SEDUE	100
Anexo 4	NMX-AA-052-1985. Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis	101
Anexo 5	NMX-AA-25-1984. Determinación del pH -método potenciométrico	105
Anexo 6	NMX-AA-016-1984. Determinación de humedad	108
Anexo 7	NMX-AA-18-1984. Determinación de cenizas	111
Anexo 8	Subproductos encontrados por estrato y tiempo de confinamiento (gramos base húmeda)	114

NOTACIÓN

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
RESA	Relleno Sanitario
RS	Residuos Sólidos
RSP	Residuos Sólidos Peligros
RSR	Residuos Sólidos Residenciales
ST	Sólidos Totales
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RSM	Residuos Sólidos Municipales
SV	Sólidos Volátiles
SAP	Sistemas de Aseo Público

1. RESUMEN

El conocimiento de la composición y de los parámetros físicos y químicos de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), son variables clave para diseñar sistemas de gestión adecuados para los sitios de confinamiento final, que permitan minimizar y controlar los impactos negativos de estos sitios al medio ambiente. Esta investigación se realizó para determinar la influencia del tiempo de confinamiento en la composición y parámetros físicos y químicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán. Primeramente se realizó un estudio topográfico para determinar el área de confinamiento y el volumen de los RSU depositados. En este sitio se tomaron 3 muestras de aproximadamente 5 kilos, a 3 diferentes profundidades de 8 puntos, con tiempos de confinamiento de 5 y 10 años. Posteriormente en el laboratorio se realizó un estudio de caracterización de las muestras tomadas, después se realizó la determinación de los siguientes parámetros de los RSU confinados: Contenido de Humedad, pH, Cenizas, Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV) y la Temperatura que se determinó *in situ*.

De acuerdo con los resultados obtenidos el volumen de RSU confinados es de 1,065,261.8 m³. De esto, se obtuvo una cantidad de 639,157.08 toneladas de RSU confinados en el sitio hasta diciembre de 2007. La cantidad total de RSU analizados fue de 63.712 kg de los cuales 23.404 kg corresponden a los sitios con 10 años de confinamiento y 40.308 kg en los sitios con 5 años de confinamiento. En total se encontraron 37 subproductos diferentes en las muestras de los RSU. La caracterización de los RSU, arrojó una composición predominantemente orgánica. El parámetro de temperatura fue el único que mostró diferencias estadísticamente significativas, ya que las temperaturas mayores fueron en los sitios con 10 años de confinamiento. Los parámetros de pH, Contenido de Humedad y Sólidos Totales no reportaron diferencias estadísticamente diferentes con respecto al tiempo de confinamiento y la profundidad. Los parámetros de Cenizas y Sólidos Volátiles fueron las variables analizadas que presentaron diferencias estadísticamente diferentes solo en el tiempo de confinamiento pero no en la profundidad. Este estudio nos permite suponer que en las capas superficiales de los sitios de disposición final (de 0 a 5 metros) no hay diferencias

en sus parámetros físicos y químicos y que a una mayor profundidad si habrá diferencia estadísticamente en las variables analizadas.

2. SUMMARY

The knowledge of the composition, physical and chemicals parameters of Municipal Solid Waste (MSW) are essentials to design an appropriated waste management in landfill, that allow controlled and monitored the negative impact in theses sites of final disposal. In this research were determinate the influence of the age of MSW in the composition and the physical and chemical parameters of MSW at the closed landfill in Morelia, Michoacan. First was made a topographic study to determinate the solid waste settlement and the bulk of MSW. In this place were collected 3 samples of 5 kilograms of weight in 3 different depths of 8 boreholes drilled in the landfill. The age of the collected samples was estimated at five and ten years of disposal (4 boreholes per age). Aftercare, in the laboratory was determinated the composition of samples and then, these same sample were shredding to analyze the physical and chemical parameters. The parameters that were determinated: moisture content, pH, ash, total solid (TS), volatile solid (VS) and the temperature was determinated *in situ*.

These results indicate the bulk settlement of MSW is 1,065,261.8 m³ and 639,157.08 ton of MSW settlement to December on 2007. The sum weight of samples of MSW had 63.712 kilograms, that 23.404 kg had ten years of disposal and 40.308 kg had ten years of disposal. All the components that were found in the samples were 37. The characterization of samples, show an organic matter bigger than inorganic matter. The parameter of temperature was the only that showed statistic differences, because the biggest temperatures were in the sites with ten years of disposal, The parameters of moisture content, pH and TS not showed statistic differences in the time of were disposal and the depth of MSW. The ash and volatile solid (VS) were the parameters of that showed statistic differences in the time of were disposal but not in the depth of MSW. This research cans suppose in the up layer of the site of final disposal (0 to 5 m) not show differences in their physical and chemicals parameters and a more depth will find a difference in the analyzed parameters.

3. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico e industrial que experimenta México, ha originado como consecuencia que las familias se desplacen hacia las áreas urbanas, donde actualmente se concentra alrededor del 60% de la población total. Esta distribución de la población, además de incidir en severos problemas ambientales en cuanto a la calidad del aire, disponibilidad del agua, entre otros, repercute sustancial y directamente en la cantidad de Residuos Sólidos (RS) generados por las actividades de consumo y transformación de los recursos. La producción de los RS también refleja cambios en la composición y parámetros físicos y químicos, encontrándose cada vez menor proporción de residuos biodegradables, como consecuencia de los cambios en los hábitos de consumo y de la introducción de materiales que en los procesos de producción muestran excelentes propiedades como envases o empaques, pero que al convertirse en RS se degradan lentamente, permaneciendo en el ambiente por largos períodos (SEDESOL, 2007). Esto último, representa serios retos para los Sistemas de Aseo Público (SAP), ya que deben de gestionar adecuadamente no solo crecientes volúmenes de RS, sino también cada vez con mayor nivel de heterogeneidad en cuanto a la composición. Por lo anterior, la información sobre la generación y la composición de los RS, es parte fundamental de cualquier propuesta de manejo integral de los mismos (Sancho y Cervera y Rosiles, 2005b).

La disposición inadecuada de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) ocasiona severos impactos en el agua, suelo y aire (Lobo Garcia *et al.*, 2007), pues la degradación de los RSU favorece la emisión de contaminantes que pueden ser un riesgo potencial al ambiente y a la salud, entre los que se encuentran los lixiviados y el biogás, mismos que requieren de un manejo adecuado acorde a la normatividad ambiental mexicana y en cumplimiento de los tratados internacionales firmados por México.

3.1 Clasificación de las Fuentes de Generación de los Residuos Sólidos

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), un residuo es “todo material o producto que se desecha, que puede encontrarse en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso, estar contenido en recipientes o depósitos, y ser susceptible de valoración o sujetarse a tratamiento o disposición final” (SEMARNAT, 2006).

La misma LGPGIR clasifica a los residuos sólidos de acuerdo a su origen y características:

3.1.1 Residuos Sólidos Urbanos

La LGPGIR actualiza la definición de Residuos Sólidos Municipales (RSM) bajo el nombre de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que están definidos como “los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genera residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la ley como residuos de otra índole” (LGPGIR, 2003).

3.1.2 Residuo de Manejo Especial

Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (LGPGIR, 2003).

3.1.3 Residuos Peligrosos

Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en la LGPGIR (LGPGIR, 2003).

3.1.4 Residuos Incompatibles

Aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos (LGPGIR, 2003).

3.2 Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos de los residuos sólidos urbanos

Los volúmenes de producción y características de los RSU son variables, ciudad por ciudad, país por país, en función de los diferentes hábitos y costumbres de la población, de las actividades dominantes, del clima, de las estaciones y otras condiciones locales que se modifican con el transcurso de los años, por eso es apremiante conocer las propiedades o parámetros de los RS para prever y organizar los sistemas de prerrecolección, recolección y tratamientos finales de recuperación o eliminación; que deben tomarse en cuenta para diseñar y crear sistemas de gestión integral de los RSU. Sin embargo, los métodos estándares de análisis de los RSU desarrollados en los países industrializados son complicados y podrían estar fuera de alcance por la carencia de recursos físicos y humanos de las ciudades medianas y pequeñas que abundan en América Latina (SEDESOL, 2007)

3.2.1 Parámetros Físicos

Dentro de las características físicas de los RSU se determina el peso específico o densidad, el contenido de humedad, la granulometría, la capacidad de campo, la permeabilidad de los RSU y la temperatura.

3.2.1.1 Densidad

El peso específico o densidad, se define como el peso de un material por unidad de volumen (Kg/m^3). Los datos sobre densidad a menudo son necesarios para valorar la masa y el volumen total del de los RSU, que tienen que ser gestionados. Actualmente, hay poca o ninguna uniformidad en la forma de presentar los pesos específicos en la literatura, ya que por ejemplo, no se hace ninguna distinción entre los pesos específicos de los RSU compactados y no compactados (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

Como los pesos específicos de los RSU varían notablemente con la localización geográfica, la estación del año y el tiempo de almacenamiento, se debe de tener mucho cuidado a la hora de seleccionar los valores típicos (Tchobanoglous *et al.*, 1997). La densidad de los RSU es un valor fundamental para dimensionar los recipientes de recolección, tanto de los hogares, como de la vía pública. Igualmente, es un factor básico que marca los volúmenes de los equipos de recolección, transporte y capacidad de los RESA, etc. Este valor soporta grandes variaciones según el grado de compactación a que están sometidos los residuos. La reducción de volumen tiene lugar en todas las fases de la gestión de los residuos y se utiliza para optimizar la operación, ya que el gran espacio que ocupan es uno de los problemas fundamentales en los sitios donde se disponen. Primero, en el hogar al introducirlos en una bolsa, después, dentro del contenedor al estar sometidos al peso de otras bolsas, más tarde en los vehículos recolectores compactadores, y por último en los tratamientos finales.

Generalmente, la cantidad, la composición y la densidad de los RSU llevados a los RESA's son diferentes que los RSU generados debido a la activa recuperación de materiales tales como papeles, cartones, trapos, botellas y metales, y a la compactación y esponjamiento que se realizan en el transcurso del manejo de los residuos. La densidad se incrementa a medida que se avanza en las etapas de gestión, como se muestra en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Alteración de densidad de los residuos sólidos urbanos

	Etapas	Densidad
A	Residuos sólidos sueltos en recipientes	200 kg/m ³
B	Residuos sólidos compactados en camiones compactadores	500 kg/m ³
C	Residuos sólidos sueltos descargada en los rellenos	400 kg/m ³
D	Residuos sólidos recién cubiertos	600 kg/m ³
E	Residuos sólidos en los rellenos (2 años después de cubrimiento)	900 kg/m ³

Fuente: CEPIS, 2000

Por tanto, es muy importante tomar en cuenta la etapa más apropiada de acuerdo con los objetivos para los cuales se realizarán los análisis. Por ejemplo, para la determinación del volumen de recipientes, se debe medir la densidad de los RSU en la etapa A y para la selección de camiones compactadores se necesita la densidad en la etapa B. En el caso del tamaño de las celdas de relleno, es fundamental la medición de la densidad en la etapa D, y se debe usar la densidad de la etapa E en el cálculo de la vida útil del relleno (CEPIS, 2000).

La densidad unitaria de cada producto no indica que su mezcla tenga un valor global proporcional al de sus componentes. En el hogar, estos valores son habitualmente muy superiores debido a los espacios inutilizados de los recipientes de basura. En la Cuadro 2 se muestran datos típicos de la densidad de algunos componentes de los RSU.

Cuadro 2. Densidad típica de los residuos sólidos urbanos

Tipo de Residuo	Densidad (Kg/m ³)	
	Rango	Típico
<i>Domésticos no compactados</i>		
Residuos de Comida (mezclados)	131- 481	291
Papel	42-131	89
Cartón	42-80	50
Plásticos	42-131	65
Textiles	42-101	65
Goma	101-202	131
Cuero	101-261	160
Residuos de Jardín	59-225	101
Madera	131-320	237
Vidrio	160-481	196
<i>Urbanos</i>		
Residuos en camión compactador	178-451	297
<i>Residuos en vertedero</i>		
Medianamente compactados	362-498	451
Bien compactados	590-742	600
<i>Construcción y Demolición</i>		
Demolición mezclados (no combustible)	1000-1600	1421
Demolición mezclados (combustible)	300-400	360
<i>Industriales</i>		
Chatarra metálica (mezclados)	1501-2000	1780
Aceite, alquitranes	801-1000	950
<i>Agrícolas</i>		
Agrícolas (mezclados)	400-751	561
Animales muertos	202-498	359
Estiércol (Húmedo)	899-1050	1000

Fuente: Tchobanoglous et al., 1997

3.2.1.2 Contenido de humedad

El agua está presente en los RSU y oscila alrededor del 15 al 40% en peso, con un margen que puede situarse entre el 25 y el 60%. La máxima aportación la proporcionan las fracciones orgánicas, y la mínima, los productos sintéticos. Esta característica debe tenerse en cuenta por su importancia en los procesos de compresión de RSU, producción de lixiviados, transporte, procesos de transformación, tratamientos de incineración y recuperación energética y procesos de separación de residuos en planta de reciclaje (www.ambientum.com). Por otro lado, éste parámetro es la clave en el proceso de degradación, siendo necesaria la presencia de 65% a 70% de humedad, para permitir una acelerada degradación anaerobia (Reinhart *et al.*, 2002).

La presencia de agua en los RESA's es promotora de las reacciones químicas y biológicas que se llevan a cabo durante la degradación de los RSU en la matriz del RESA. En la gran mayoría de los casos los RSU cuando son dispuestos en los RESA's no están saturados de agua, sin embargo dos factores contribuyen para saturar los RSU; el primero es el agua proveniente de la lluvia y el segundo es la presión de las capas superiores sobre las inferiores. Una vez alcanzada la saturación, la presión del agua libre acelera las reacciones químicas y biológicas. El contenido de humedad de los RSU en los RESA's varía según muchos factores que a su vez están relacionados entre si, como la composición inicial de los RSU, las condiciones climáticas, la forma de construcción del RESA, la presencia de sistemas de drenaje de lixiviados, la cobertura del vertedero, la cantidad de humedad generada por los procesos biológicos y la cantidad de humedad eliminada por los gases generados en el RESA.

La Cuadro 3, muestra datos típicos del peso de algunos componentes de los RS en seco y húmedo. Es muy notoria la cantidad de humedad en la fracción orgánica de los residuos.

Cuadro 3. Contenido de humedad en los tipos de residuos

Tipos de residuos	Peso Seco	Contenido en humedad	Peso seco ¹
	(%)	(%)	(Kg)
Orgánicos			
Residuos de comida	9	70	2.7
Papel	34	6	32
Cartón	6	5	5.7
Plásticos	7	2	6.9
Textiles	2	10	1.8
Goma	0.5	2	0.5
Cuero	0.5	10	0.4
Residuos de Jardín	18.5	60	7.4
Madera	2	20	1.6
Orgánicos misceláneos	-	-	-
Inorgánicos			
Vidrio	8	2	7.8
Latas de hojalata	6	3	5.8
Aluminio	0.5	2	0.5
Otros metales	3	3	2.9
Suciedad, cenizas, etc	3	8	2.8
Total	100	-	78.8

¹Basado en un peso de 100 kg. de la muestra de residuos según se entrega

Fuente: Tchobanoglous et al., 1997

En los RSU, la humedad tiende a unificarse y unos productos ceden humedad a otros (Cuadro 4). Esta es una de las causas de degradación de ciertos productos como el papel, que absorbe humedad de los residuos orgánicos y pierde características y valor en los procesos mecánicos de reciclaje, con respecto al reciclado en origen que evita este contacto.

El contenido de humedad de los RSU, normalmente se expresa en dos formas. En el método de medición peso-húmedo, la humedad de la muestra se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; en el método peso-seco, se expresa como un porcentaje del peso del material seco. El método peso-húmedo se usa

más frecuentemente en el campo de la gestión de RS (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

Cuadro 4. Contenido de humedad en los residuos, sin mezclar y mezclados

Tipos de residuos	*Humedad (%)	
	Sin Mezclar	Mezclado
Orgánicos	68	65
Papel y Cartón	12	24
Plásticos	1	2
Madera	20	24
Textiles	12	19
Vidrio	2	3
Metales	2	2

*Valores variables si existen restos líquidos en el interior del recipiente donde se depositan

3.2.1.3 Granulometría

La granulometría es el grado de segregación de los materiales y el tamaño físico de los componentes elementales de los RSU, constituye un valor imprescindible para el dimensionado de los procesos mecánicos de separación y, en concreto, para definir cribas, tromeles y elementos similares que basan su separación exclusivamente en el tamaño de la partícula. Estos valores también deben tomarse con cautela, ya que las operaciones de recolección afectan al tamaño por efecto de la compresión o de mecanismos trituradores. En cada caso concreto es preciso efectuar los análisis pertinentes para adecuar la realidad de cada circunstancia al objetivo propuesto (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

3.2.1.4 Capacidad de Campo

La capacidad de campo de los RSU es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuos sometida a la acción de la gravedad. La capacidad de campo es de importancia crítica para la determinación en la formación de los lixiviados en los sitios de disposición final. El exceso de agua sobre la capacidad de campo se emitirá en forma de lixiviación. La capacidad de campo varía con el grado de presión aplicada y el estado de degradación de los RSU. La capacidad de campo de éstos no seleccionados y no compactados de origen doméstico y comercial, están dentro del 50 al 60% (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

3.2.1.5 Permeabilidad de los residuos sólidos urbanos compactados

La conductividad hidráulica de los residuos compactados es una propiedad física importante, que promueve el movimiento de líquidos y gases dentro de un vertedero, existe también la permeabilidad intrínseca o específica, depende de los parámetros del RS como la porosidad. Los valores típicos de permeabilidad intrínseca de los RSU compactados en un RESA son de 10^{-11} y 10^{-12}m^2 en la dirección vertical y 10^{-10}m^2 en dirección horizontal (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

3.2.1.6 Temperatura

La temperatura es un factor importante para el desarrollo de microorganismos, de esta forma en una degradación aerobia, la temperatura puede alcanzar entre 50°C y 60°C; cabe señalar que la generación de calor por la actividad microbiana dependerá a su vez de la humedad del sustrato. (Robles, 2005). Estudios de producción de metano en laboratorio muestran que la velocidad de generación de este gas aumenta del orden de 100 veces cuando la temperatura alcanza valores de 20°C y 40°C, (Christensen, *et al.*, 1992).

3.2.2 Parámetros Químicos

Los parámetros químicos de los RSU son factores condicionantes para algunos procesos de recuperación y tratamiento final. Por ejemplo, la viabilidad de la incineración depende de la composición química de los RSU. Normalmente, se puede pensar que los RSU son una combinación de materiales semihúmedos combustibles y no combustibles.

Cuando la fracción orgánica de los RSU se va a compostar o se va a utilizar como alimentación, para la elaboración de otros productos de conversión biológica, no solo será importante tener información sobre los elementos mayoritarios que componen los RSU, sino también, será importante tener información sobre los elementos en cantidades traza que se encuentran en éstos.

3.2.2.1 Cenizas

La Cenizas es el material incombustible que queda después de haber sido quemado un combustible o residuo sólido; la temperatura a la que se funden y solidifican las cenizas de la combustión de los residuos sólidos (RS) es el punto de fusión de las cenizas, que está en 1200° C, y las escorias obtenidas son utilizadas en algún proceso de tratamiento para reducir emisiones y para manejar de modo más controlado estos restos últimos de la incineración. Otro parámetro que se puede medir mediante cálculos estequiométricos, obtenidos de las cenizas, es el carbono fijo, que es el rechazo del combustible dejado después de retirar la materia volátil (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

3.2.2.2 Contenido Energético o Poder Calorífico

El poder calorífico de un RS es la cantidad de energía que puede liberar ese RS por unidad de peso o volumen. Se consideran dos poderes caloríficos para los RS (Gallardo, 2002). En términos generales, puede indicarse que el poder calorífico

de la totalidad de los RSU está entre 1500 y 2200 kcal/kg El Poder Calorífico Superior (PCS) no considera corrección por humedad y el inferior (PCI) sí. Se mide en unidades de energía por masa, (cal/gr.), (Kcal. /kg), (BTU/lb.). Se mide utilizando un calorímetro. El poder calorífico es esencial en los procesos de recuperación energética, al igual que el porcentaje de cenizas producido en los mismos. Su valoración, fruto de la propia variabilidad de la composición, viene marcada por el poder calorífico de cada producto. En la Cuadro 5 se dan ejemplos de poder calorífico en base seca (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

Cuadro 5. Ejemplo de poder calorífico (Base seca)

Tipo de residuo	Poder Calorífico (kcal/kg)
Papel y cartón	4
Madera y follaje	4
Trapos	4
Restos de alimentos	4
Plástico, caucho y cuero	9
Metales	0
Vidrios	0
Suelo y otros	0

Fuente: Gallardo, 2002.

3.2.2.3 Nutrimientos esenciales y otros elementos

Los organismos anaeróbicos se desarrollan entre los RSU, éstos se encuentran en la materia orgánica en degradación, residuos fecales de humanos y animales. (Tchobanoglous *et al.*, 1997). Los elementos del carbono (en forma de carbohidratos) y nitrógeno (como proteínas, nitratos, amoníaco, etc.), son los nutrientes principales de las bacterias anaeróbicas. El carbono se utiliza como energía y el nitrógeno para la construcción de las estructuras de las células. Estas

bacterias usan carbono 30 veces más rápido de lo que usan el nitrógeno (Soto, 2007). Otros elementos esenciales son el fósforo y potasio contenidos en los RSU. Cuando la fracción orgánica de los RSU, se va a utilizar como alimentación para la elaboración de productos biológicos de conversión, tales como la composta y metano, la información sobre los nutrimentos esenciales y los elementos del material residual, es importante respecto a la disponibilidad de nutrimentos para los microorganismos y para valorar los usos finales que puedan tener los materiales restantes después de la conversión biológica.

3.2.2.4 Potencial Hidrógeno (pH)

El pH estable es esencial, ya que tiene un profundo efecto en la actividad biológica y para todo organismo vivo. La mayoría de los procesos biológicos de los RESA's, se dan con un pH que fluctúa entre 5 y 9. Para la digestión anaerobia el contenido de humedad y pH son considerados factores importantes que intervienen en la eficiencia de la digestión ((Lay *et al.*, 1997). El pH óptimo para la fermentación, en la fase anaeróbica es casi neutro entre 7.0 y 7.5; aunque la formación de metano puede darse en el rango de 6.5 a 8.0. Una disminución del pH puede traer como resultado la inhibición del crecimiento de las bacterias metanogénicas, ello hace que disminuya la producción de metano y aumente el contenido de dióxido de carbono y se produzcan olores desagradables por el aumento del contenido de sulfuro de hidrógeno (Lethlean *et al.*, 1998).

3.2.3 Parámetros Biológicos de los residuos sólidos

De las características biológicas más importantes de la fracción orgánica de los RSU, es que todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inertes. La fracción orgánica de la mayoría de los RS se clasifica de la siguiente manera:

1. Constituyentes solubles en agua (azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.

2. Hemicelulosa
3. Celulosa
4. Grasas, aceites y ceras
5. Lignina
6. Lignocelulosa
7. Proteínas

(Tchobanoglous *et al.*, 1997).

3.2.3.1 Biodegradabilidad de los componentes de los residuos sólidos

El Material Volátil combustible o Sólido Volátil (SV), que es la porción de la materia orgánica que puede eliminarse o volatilizarse cuando la materia orgánica se quema en un horno mufla a una temperatura de 550°C durante cinco horas, frecuentemente se utiliza como una medida de la biodegradabilidad de la fracción orgánica de los RSU. También se utiliza el contenido de lignina de un RS para estimar la fracción biodegradable.¹ La celulosa y hemicelulosa son los principales componentes biodegradables de los RS y su concentración en Residuos Sólidos Residenciales (RSR) es de 29% a 51% en residuos frescos y de 9% a 12% en residuo seco (Hilger y Barlaz, 2001). Se producen entre 414.8 y 424.2 litros de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), respectivamente, por cada kilogramo de celulosa y hemicelulosa decompuestos (Barlaz, 1990).

3.2.3.2 Producción de olores de los residuos sólidos

Los olores pueden desarrollarse cuando los RSU se almacenan durante largo períodos de tiempo *in situ*, en estaciones de transferencia y en vertederos. El desarrollo de olores en las instalaciones de almacenamiento *in situ* es más importante en climas cálidos. Normalmente la formación de olores se produce por

¹ Nota: Para utilizar la lignina como una medida de la biodegradabilidad debe ser en procesos aerobios porque en los anaerobios la lignina no se degrada.

la degradación anaerobia de los componentes orgánicos que se encuentran en los RSU.

El color negro de los RSU que han experimentado un proceso de degradación anaerobia en un RESA se debe principalmente a la formación de sulfuros metálicos, de ahí que los problemas de olor en los RESA son muy importantes.

3.3 Fases de la degradación de los residuos sólidos en los sitios de disposición final

En función del tiempo, el proceso de degradación de los RSU puede dividirse en varias etapas. Un ejemplo de ello es la clasificación de cinco fases de degradación, como se ilustra en la figura 1, basada en una publicación del Banco Mundial (Johannessen, 1999) y Tchobanoglous *et al.*, 1997.

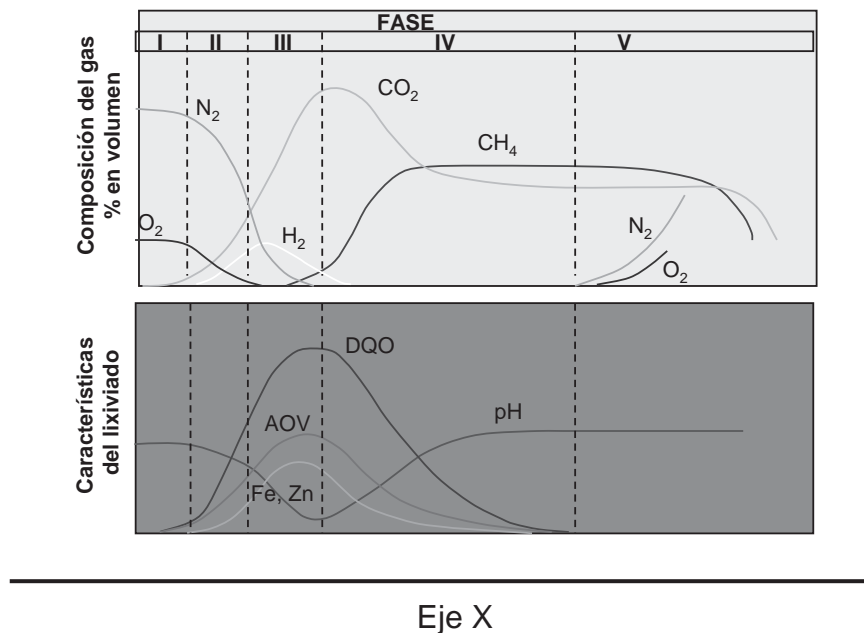


Figura 1. Fases generales en la generación de gases de un RESA (I = ajuste inicial, II = fase de transición, III = fase ácida, IV = fermentación del metano y V = fase de maduración). (Tchobanoglous *et al.*, 1997)

3.3.1 Fase I: Fase de Ajuste Inicial

Esta primera fase de degradación microbiana de la fracción orgánica de los RSU se realiza bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. El oxígeno del aire, empieza a consumirse rápidamente, así como el nitrógeno, por los procesos de nitrificación. Como consecuencia de la degradación aerobia de la materia orgánica, empieza a producirse bióxido de carbono, que se acompaña de una elevación de la temperatura. Algunos organismos son provenientes de los lodos digeridos de plantas de tratamiento de aguas residuales que se disponen en muchos RESA's de RSU y el lixiviado reciclado. Esta fase dura hasta el agotamiento del oxígeno, abarcando por lo general un par de semanas.

3.3.2 Fase II: Fase de transición

Esta fase se caracteriza por el paulatino descenso de las condiciones aerobias, hasta su completa desaparición, empezando a comenzar la etapa anaerobia. Cuando la fermentación empieza a generar lixiviados con un alto contenido de ácidos orgánicos y altas concentraciones de CO_2 dentro del RESA, lo que da lugar a un descenso significativo en el pH. Mientras el RESA se convierte en anaerobio, el NO_3 y el SO_4 , que pueden servir como receptores de electrones en reacciones de conversión biológica, a menudo se reducen a gas N_2 y H_2S . Las condiciones de reducción suficientes para producir la reducción de nitrato y del sulfato se dan aproximadamente entre -50 a -100 milivoltios (mV). El CH_4 se produce cuando los valores del potencial de oxidación/reducción están dentro del rango de -150 a 300 mV. Por otro lado, el biogás generado está constituido mayormente de bióxido de carbono y nitrógeno aún no consumido, aunado a la producción de un porcentaje menor de hidrógeno. En los lixiviados, la demanda química de oxígeno (DQO) alcanza su concentración más alta, así como el amoníaco y los ácidos orgánicos también llegan a su máxima concentración.

3.3.3 Fase III: Fase ácida

Se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase anterior con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de H₂. En esta fase, predominada por las bacterias denominadas no metanogénicas o acidogénicas, se resumen en transformación enzimática o hidrólisis, de compuestos con alto peso molecular como los lípidos, polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos, etc., en otros compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y como transformación a carbono celular. La conversión microbiana o acidogénesis de los compuestos resultantes del primer paso de este proceso, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como son el ácido acético (CH₃COOH) y las pequeñas concentraciones de ácido fólvico y otros ácidos más complejos. Las características propias de la fase ácida son: Generación de diversos compuestos gaseosos, principalmente dióxido de carbono (CO₂), además de gas de hidrógeno (H₂). El pH de la fase líquida del medio, si existe, frecuentemente caerá hasta un valor de 5 o menos, por la presencia de los ácidos orgánicos y por las elevadas concentraciones de CO₂. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) la demanda química de oxígeno (DQO) y la conductividad del medio líquido se incrementarán significativamente debido a la disolución de ácidos orgánicos. También se solubilizarán algunos constituyentes inorgánicos, principalmente metales pesados debido a los bajos valores del pH en el lixiviado.

3.3.4 La Fase IV: Fase de fermentación del metano o metanogénicas estable

Un segundo grupo de microorganismos que convierten el ácido acético y el H₂ producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida en CH₄ y CO₂, llegan a ser más predominantes; la máxima producción del metano, con una concentración estable en el biogás de alrededor del 55% en volumen. El contenido de bióxido de carbono es algo menor pero también estable, variando entre 40 y 50%. Los microorganismos responsables de esta conversión son estrictamente anaerobios y

se llaman metanogénicos. El pH dentro del RESA subirá a valores más neutros, en el rango de 6.8 a 8. A continuación el pH del lixiviado si se forma, subirá y se reducirán las concentraciones de la DOB y DOQ, y el valor de conductividad del lixiviado.

3.3. 5 Fase V: Fase de estabilización de los residuos o maduración

Mientras la humedad sigue migrando a través de los RSU, se convierten porciones del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles. La producción de metano decrece y el bióxido de carbono se sustituye por nitrógeno y oxígeno conforme se introduce el aire atmosférico a través de las capas superficiales del relleno.

La velocidad de generación del gas del RESA disminuye, porque la mayoría de los nutrimentos disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores y los sustratos que quedan en el RESA son de una degradación lenta. Los principales gases de vertedero que evolucionan en esta fase son CH₄ y CO₂. Según las medidas de sellado del RESA también pueden encontrarse pequeñas cantidades de N₂ y O₂ en el gas del RESA. Durante la fase de maduración el lixiviado a menudo contendrá ácidos húmico y fúlvico, que son difíciles de degradar biológicamente (Robles, 20005).

3.4 Producción de Biogás

Durante el proceso de transformación de la materia orgánica (digestión) las bacterias anaerobias producen biogás, el cual se compone fundamentalmente de metano (CH₄) y de dióxido de carbono (CO₂). La producción de biogás en los RESA ha tomado un interés creciente, ya que el metano producido tiene fuertes efectos en el ambiente, ya que el potencial de calentamiento es 20 veces mayor que el CO₂ por un periodo de 100 años (Kumar *et al.*, 2004)

Los porcentajes de estos gases son variables y dependen de las condiciones fisicoquímicas en que se desarrolla la digestión de la materia prima. El biogás generado puede ser utilizado en la producción de energía eléctrica y de energía térmica (INE y SEMARNAT, 2001) aprovechando los bonos de carbono que se reciben por la reducción de las emisiones de metano y bióxido de carbono.

Los modelos hidrológicos han resultado útiles en la gestión de RSU. Por ejemplo, el programa “Moduelo” utiliza la información meteorológica, la producción de los RSU y sus características, para realizar estimaciones en la producción de lixiviado y su generación de biogás durante el proceso de degradación. El programa reproduce la historia del RESA y realiza simulaciones en los distintos escenarios en la gestión de los RSU. En simulaciones iniciales de este programa se utilizaron valores de parámetros de contenido de humedad, densidad y poder calorífico tomados de Tchobanoglous *et al.*, 1997 y Manessero *et al.*, 1997 (Lobo García, *et al.*, 2002).

El aprovechamiento del biogás como fuente de energía ya funciona con éxito en México, como lo demuestra el caso del RESA operado por la empresa SIMEPRODESO en Salinas Victoria, Nuevo León. Este proyecto, diseñado para la generación de energía a partir del aprovechamiento de biogás, tiene una capacidad instalada de 7.4 megawatts, y se encuentra operando desde abril de 2003. La energía generada se aprovecha en alumbrado público y bombeo de agua potable en la Zona Metropolitana de Monterrey y para las mismas instalaciones (SEDESOL, 2007)

3.5 Producción de Lixiviados

Los lixiviados se forman mediante el percolado de líquidos a través de sustancias en proceso de degradación. El líquido, al fluir, disuelve algunas sustancias y arrastra partículas con otros compuestos químicos. Los ácidos orgánicos formados en ciertas etapas de la degradación contenidos en el lixiviado (como ácido acético, láctico o fórmico) disuelven los metales contenidos en los RSU, transportándolos

con el lixiviado. La composición varía de acuerdo al tipo de RS, las precipitaciones en el área, las velocidades de degradación química u otras condiciones del lugar. El lixiviado generalmente es maloliente de color amarillo, amarillo oscuro, verde, negro, etc. Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de los RSU depositados en un RESA aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los RSU, de ahí que sea importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes, nacimientos de agua y pozos vecinos (CEPIS, 2000).

3.6 Estudios realizados en el sitio de estudio

Con respecto a estudios anteriores en el sitio de estudio, Israde *et al.*, (2005), realizaron una investigación para determinar la afectación de los lixiviados en el manto freático adyacente. Al realizar el análisis geohidrológico y monitoreo de pozos de agua de la región encontraron que los lixiviados migran hacia la zona de fracturas localizadas aproximadamente a 100m de la cortina del tiradero. Se detectó la presencia de metales por arriba de la norma en pozos de agua de riego y potable de la región.

En otro estudio en el mismo sitio de estudio, Carlon (2004), realizó un estudio para determinar la disposición final de Residuos Sólidos Peligrosos (RSP) en el Antiguo Relleno de Tierra de Morelia. Entre los resultados principales determinó que los principales fuentes de RSP destacan las vulcanizadoras, consultorios médicos, talleres automotrices, estudios de revelado, control canino, refaccionarías, entre otros, por lo que se determinó que la codisposición de estos residuos está contribuyendo a la peligrosidad de los lixiviados producidos en el sitio.

4. HIPÓTESIS

La disposición de los RSU en el antiguo relleno de tierra de Morelia, Mich. se realizó durante cerca de 20 años. Durante este periodo, la cantidad y la composición de los RSU varió. Por lo tanto, la profundidad y la ubicación (tiempo de Confinamiento) están determinando diferentes parámetros fisicoquímicos de los RSU dentro del sitio.

Hipótesis 1

H0: No existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la profundidad (estrato).

Ha: Existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la profundidad (estrato).

Hipótesis 2

H0: No existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la ubicación (tiempo de confinamiento).

Ha: Existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la ubicación (tiempo de confinamiento).

Hipótesis 3

H0: No existe interacción (positiva o negativa), entre las variables estrato y tiempo de confinamiento.

Ha: Existe interacción (positiva o negativa), entre las variables estrato y tiempo de confinamiento.

5. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la profundidad y la ubicación (tiempo de confinamiento) en los parámetros fisicoquímicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar el volumen del área de confinamiento de los RSU y la cantidad de residuos sólidos depositados en el sitio.
2. Conocer los porcentajes de cada uno de los componentes de los RSU encontrados.
3. Determinar los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos.
4. Determinar la relación de las variables en los parámetros fisicoquímicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán.

6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El antiguo relleno de tierra Morelia, se encuentra localizado en la localidad de Los Cerritos en el predio “LA Cañanda”, Tenencia de Tacicuaro, propiedad de un particular el cual, el H. Ayuntamiento de Morelia lo rentaba, este sitio de disposición final se encuentra a 12 Km. al oeste de Morelia, en un valle natural formado entre dos cerros (conos piroclásticos) que se usan como banco de material (grava y arena). Este sitio funcionó como tal desde 1984 hasta su cierre en diciembre de 2007. Dentro de este sitio no existía ningún control de fuentes de humo y Biogás. (Israde *et al*, 2005).

Este sitio contaba con un camino de acceso, reja en la entrada, oficinas, almacén cobertizo, comedor, baños, maquinaria, laguna de lixiviados y un área para la separación de plásticos, cartón y hojalata.



Figura 2. Imagen aérea del antiguo relleno de tierra de Morelia

7. RESULTADOS

CAPITULO I

COMPOSICIÓN Y PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CONFINADOS EN EL ANTIGUO RELLENO DE TIERRA DE MORELIA, MICH.

Revista: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana

RESUMEN

El conocimiento del origen, composición y tipo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) así como los parámetros físicos y químicos de los mismos, son variables clave para diseñar sistemas de gestión adecuados para los sitios de confinamiento final, que permitan minimizar y controlar los impactos negativos de estos sitios al medio ambiente. Esta investigación se realizó para determinar la composición y parámetros físicos y químicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán. Primeramente se realizó un estudio topográfico para determinar el área de confinamiento y el volumen de los RSU depositados. En este sitio se tomaron 3 muestras de aproximadamente 5 kilos, a 3 diferentes profundidades de 8 puntos, con tiempos de confinamiento de 5 y 10 años. Posteriormente en el laboratorio se realizó un estudio de caracterización de las muestras y posteriormente, se determinación de los siguientes parámetros de los RSU confinados: Contenido de Humedad, pH, Cenizas, Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV) y la Temperatura que se determinó *in situ*.

De acuerdo con los resultados obtenidos el volumen de RSU confinados es de 1,065,261.8 m³. De esto, se obtuvo una cantidad de 639,157.08 toneladas de RSU confinados en el sitio hasta diciembre de 2007. La cantidad total de RSU analizados fue de 63.712 kg de los cuales 23.404 kg corresponden a los sitios con 10 años de confinamiento y 40.308 kg en los sitios con 5 años de confinamiento. En total se encontraron 37 subproductos diferentes en las muestras de los RSU. La caracterización de los RSU, arrojó una composición predominantemente orgánica. Con respecto a los parámetros analizados, se observa la tendencia del

incremento de la temperatura con la profundidad del estrato; el contenido de humedad fue muy amplio ya que se obtuvieron valores de 17 a 63%, sin determinarse tendencia alguna, las cenizas son menores en las muestras de cinco años, los sólidos totales no mostraron ninguna tendencia respecto al tiempo de confinamiento y los sólidos volátiles fueron mayores en las muestras de 5 años de confinamiento, lo que se observa una influencia del tiempo de confinamiento, pero no en la profundidad para la degradación de los RSU

ABSTRACT

The knowledge of origin, composition, type, physical and chemical parameters of Municipal Solid Waste (MSW) are essentials to design an appropriated waste management in landfill, that allow controlled and monitored the negative impact in these sites of final disposal. In this research were determinate the composition and the physical and chemical parameters of MSW at the closed landfill in Morelia, Michoacan. First was made a topographic study to determinate the solid waste settlement and the bulk of MSW. In this place were collected 3 samples of 5 kilograms of weight in 3 different depths of 8 boreholes drilled in the landfill. The age of the collected samples was estimated at five and ten years of disposal (4 boreholes per age). Aftercare, in the laboratory was determinated the composition of samples and then, these same sample were shredding to analyze the physical and chemical parameters. The parameters that were determinated: moisture content, pH, ash, total solid (TS), volatile solid (VS) and the temperature was determinated *in situ*.

These results indicate the bulk settlement of MSW is 1,065,261.8 m³ and 639,157.08 ton of MSW settlement to December on 2007. The sum weight of samples of MSW had 63.712 kilograms, that 23.404 kg had ten years of disposal and 40.308 kg had ten years of disposal. All the components that were found in the samples were 37. The characterization of samples, show an organic matter bigger than inorganic matter. About the parameter, the temperature increases with the depth, the moisture content was very broad the ranges of 17 to 63%, without tendency, the ashes were less than samples of 5 years, the total solids not show

tendency about the time of settlement. The volatile solids were bigger in the samples of 5 years, this results show that the influence of age of the settlements, but not with the depth in the degradation of MSW

INTRODUCCIÓN

Generación y Composición de los Residuos Sólidos en México

En México, la generación y composición de los residuos sólidos urbanos (RSU) ha variado significativamente durante las últimas décadas, derivado de la dinámica poblacional (la población nacional en este mismo periodo pasó de 30 millones a 105 millones de habitantes), económica los cambios en los patrones de consumo. La generación *per cápita* creció de 300 gr/día en 1950, a 900 gr/día en 2004. En el año 1999 se determinó una generación *per cápita* de 0.679 en zonas rurales y de 1.329 kg/hab/día para zonas metropolitanas (SEMARNAT, 2006).

Respecto a los materiales reciclables contenidos en los RSU se observa un incremento importante durante el período de 1991 a 1999 (Cuadro 6). Siendo de los más abundantes, el plástico (4.57%), papel (3.06%) y vidrio (1.14%), mientras que la fracción orgánica registró un decremento de 7.62% (INE y SEMARNAT, 2001)

Cuadro 6. Composición de los RSU en el período 1991 y 1999
(% peso fresco)

Subproducto	1991	1999
Papel, cartón y productos de papel	14.07	17.13
Textiles	1.49	2.15
Plásticos	4.38	8.95
Vidrio	5.9	7.04
Metales	2.9	3.82
Residuos de comida, jardinería y materiales similares (orgánicos)	52.4	44.78

Otros tipos de residuos: residuos finos, hule, pañal desechable, etc	18.86	16.13
Total	100	100

Fuente: INE y SEMARNAT, 2001

En el cuadro 7 se observa que desde la década de los años noventas, la composición de los RSU en el territorio nacional era heterogénea, y respondía básicamente a diferencias de los hábitos de consumo y del poder adquisitivo de la población. Por ejemplo, en la zona Sur del país, tenía mayor contenido de residuos orgánicos, mientras que en las zonas urbanas de otras regiones del país, el mismo subproducto aparecía en menor proporción.

Cuadro 7. Composición de los RSU por regiones² de México, en el período 1991 y 1999 (%)

Subproducto	Frontera Norte	Norte	Centro	Sur	D.F.
Cartón	3.97	4.37	1.83	4.84	5.36
Residuos finos	1.37	2.23	3.51	8.08	1.21
Hueso	0.5	0.64	0.27	0.25	0.08
Hule	0.28	0.2	0.09	0.35	0.2
Lata	2.93	1.41	1.7	2.97	1.58
Material ferroso	1.18	1.48	0.29	0.4	1.39
Material no ferroso	0.23	0.65	0.94	1.7	0.06
Papel	12.13	10.56	13.68	8.85	14.58
Pañal desechable	6.55	8.31	6.01	5.72	3.37
Plástico de película	4.79	5.12	1.66	1.72	6.24
Plástico rígido	2.9	3.15	1.95	1.23	4.33
Residuos Alimenticios	26.97	21.27	38.54	16.34	34.66
Residuos de Jardinería	16.09	19.76	7.11	26.98	5.12
Trapo	1.97	2.41	0.81	2.16	0.64

² Frontera Norte: Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo León y Tamaulipas; Región Norte: Durango, Nayarit y San Luis Potosí; Región Centro: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz; Región Sur: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

Vidrio de color	2.06	0.93	4.25	0.6	4
Vidrio Transparente	4.59	5.25	5.05	3.72	6.77
Otros	11.5	12.27	12.33	14.1	10.41
Total	100	100	100	100	100

Fuente: INE y SEMARNAT, 2001

De acuerdo con datos de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) para el año 2006 (figura 3), en el país, el 45% de los RSU eran orgánicos, en tanto que el 39% eran potencialmente reciclables como el papel y cartón (17%), vidrio (7%), plásticos (9%), hojalata (4%) y textiles (2%) y el 16% restante, eran residuos de madera, cuero, hule, trapo y fibras diversas (SEMARNAT, 2006).

Actualmente se recupera sólo un porcentaje menor al 50% de los componentes potencialmente reciclable; la mayor parte de la recuperación se hace a través de la pepena, que se realiza predominantemente durante la recolección de los RSU y muy poca separación se realiza en la fuente de generación, así como son escasas las plantas de selección y aprovechamiento (Sosa, 2007).

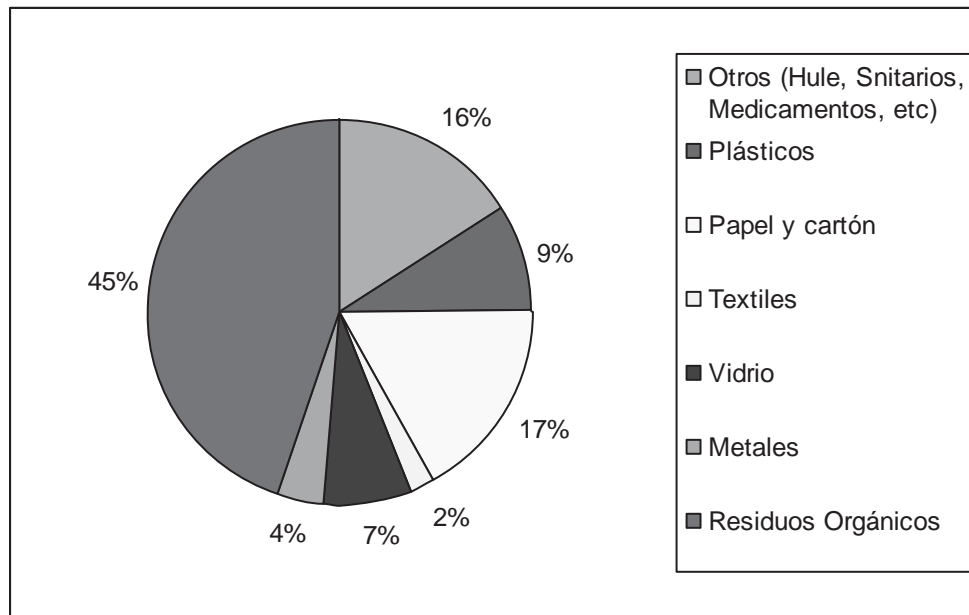


Figura 3. Composición de los Residuos Sólidos en México

Fuente: Sosa, 2007.

Con respecto a la eficiencia del servicio de recolección en México, durante el año 2000, se recolectaban diariamente el 83% del total de los residuos generados (69,886 toneladas), quedando dispersas 14,314 toneladas. Del total generado, poco más del 49% (41,258 toneladas) se depositaban en sitios controlados y el resto (42,942 toneladas) se disponían diariamente a cielo abierto, en tiraderos no controlados, tiraderos clandestinos o dispersos de forma inadecuada (Sancho y Cervera y Rosiles, 2005a).

La SEDESOL reportó que en el año 2004, la generación de RSU en todo el país fue de 94,800 toneladas diarias, equivalentes a 34.6 millones de toneladas anuales; en cuanto a la generación por estados, municipios o localidades, la información disponible es muy dispersa y desequilibrada, ya que se basa en proyectos individuales y encuestas (Sancho *et al.*, 2005a). No obstante, los rangos en cuanto a la generación y composición de los RSU, varían en función de la región del país, siendo la región norte la que tiene los índices más altos de generación (Sancho *et al.*, 2005a). En el cuadro 8, se señalan las proyecciones de generación de RSU para México.

Cuadro 8. Proyecciones de la Generación *per cápita* y total de Residuos Sólidos Urbanos 2010-2020

Año	¹ Número de habitantes (miles)	² Generación Kg/hab/día	²Toneladas diarias	²Toneladas Anuales (miles)
2010	111,614	0.96	107,100	39,100
2015	116,345	1.01	117,500	42,890
2020	120,639	1.06	128,000	46,700

¹ Proyecciones de Población, 2000-2050, CONAPO, 2003.

² Secretaria de Desarrollo Social, 2004.

Se estima que a nivel nacional, el 64% de los RSU generados en México se depositan en 88 Rellenos Sanitarios (RESA's) y 21 sitios controlados; el 49% de los RESA's son municipales, 18% regionales y 33% operados por la iniciativa

privada; 25,000 ton/día se depositan en tiraderos a cielo abierto, barrancas o bien, en cualquier otro sitio sin control (incluye sitios clandestinos). La afectación ambiental y a la salud pública podría ser por ello enorme y se desconoce la dimensión exacta del problema. En los últimos años se han impulsado acciones para mejorar la disposición final, como es en las ciudades medias, donde los rellenos sanitarios se han incrementado en un 20% (Sosa, 2007).

Producción de Residuos Sólidos En Michoacán

En el estado de Michoacán la mayoría de las poblaciones disponen los RSU a cielo abierto y sin ningún tratamiento ocasionando con esto la contaminación del suelo, agua y aire (SEDUE, 2001).

En Morelia se generaban 700 toneladas por día de RSU, los cuales eran depositados inadecuadamente en el antiguo relleno de tierra de Morelia, en un terreno de 18 hectáreas que se rentaba a un particular. Dentro de este sitio se realizaba la separación de los residuos por los “pepenadores”, quienes realizaban su trabajo en condiciones sanitarias mínimas, ya que no contaban con un equipo adecuado de seguridad al realizar la pepena (Israde, *et al.*, 2005).

En el antiguo relleno de Morelia, la degradación de los residuos orgánicos, producen lixiviados que al filtrarse a través del suelo permeable, contamina el subsuelo y los sistemas de agua subterránea con microorganismos patógenos y metales pesados (Israde, *et al.*, 2005). Esta contaminación se acentúa por el confinamiento de residuos sólidos mezclados de diferente fuente (industrial, hospitalario y doméstico). En el sitio, la constitución de los suelos es muy permeable por la presencia de arenas y gravas y la pendiente natural del terreno con dirección al Este y de aproximadamente 15 grados, ocasiona el drenaje de los lixiviados hacia la cuenca natural, compuesta por 40 acuíferos. En el área también existen fracturas y fallas geológicas de orientación preferencial Oeste – Este, las cuales forman parte de la zona de recarga natural de acuíferos de la cuenca de Morelia (Israde, *et al.*, 2005)

Desde diciembre de 2007, en Morelia, está en operación un relleno, bajo la modalidad de concesión a una empresa privada (Figura 4), el cual cuenta con las

especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003³. Cuenta con celdas y sistema de captación y tratamiento de los lixiviados y una nave para la separación y clasificación de los RSU susceptibles de reciclaje (H. Ayuntamiento de Morelia, 2007).



Figura 4. Relleno Sanitario de Morelia

La empresa que opera el relleno actual, también tuvo a su cargo la clausura de las áreas del antiguo relleno sanitario de tierra de Morelia (Figura 5) de acuerdo con la norma NOM-083-SEMARNAT-2003, referente a la clausura de sitios de disposición final, con monitoreos que garanticen la correcta estabilización de los residuos sólidos confinados dentro del sitio.

³La Norma NOM-083-SEMARNAT-2003, establece las condiciones que deben reunir los sitios de disposición final de acuerdo con la cantidad de residuos municipales a ingresar diariamente (ton/día), así como los estudios que se requieren para la selección del sitio y los procedimientos para la cobertura final, conformación, mantenimiento, monitoreo y clausura. Para los tiraderos a cielo abierto, se especifican acciones de clausura del sitio que garanticen el control de los lixiviados, humos y olores que minimicen los impactos al ambiente (LGPGIR, 2003)



Figura 5. Antiguo relleno sanitario de tierra de Morelia, clausurado desde diciembre de 2007

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El antiguo relleno de tierra Morelia, se encuentra localizado en la localidad de Los Cerritos en el predio “LA Cañanda”, Tenencia de Tacicuaro, a 12 Km, al oeste de Morelia, en un valle natural formado entre dos cerros (conos piroclásticos) que se usan como banco de material (grava y arena). El predio es propiedad privada el cual, el H. Ayuntamiento de Morelia lo renta desde que inició el confinamiento de residuos, desde 1984 hasta su cierre, en diciembre de 2007. Este sitio contaba con un camino de acceso, reja en la entrada, oficinas, almacén, cobertizo, comedor, baños, maquinaria, laguna de lixiviados y un área para la separación de plásticos, cartón y hojalata.

Dentro de este sitio no existía ningún control de fuentes de humo y Biogás (Israde *et al*, 2005).

MATERIALES Y METODOS

Levantamiento topográfico y estimación del volumen del área de confinamiento y la cantidad de los residuos sólidos confinados en el sitio.

Se utilizó un geoposicionador (marca Trimble), para el levantamiento topográfico del sitio. Los datos del levantamiento topográfico, se procesaron con el programa Surfer 8 para calcular el área del sitio y el volumen de los residuos confinados.

Posteriormente, con los datos de densidad de los RSU, se estimó la cantidad total en toneladas de éstos confinados en el sitio.

Muestreo de los Residuos Sólidos Urbanos depositados en el antiguo relleno de tierra de Morelia

El diseño del muestreo fue sistemático estratificado. Las muestras de RSU se tomaron, de pozos hechos para instalar tubos de venteo de biogás. Las muestras se tomaron por sitio y por estrato. Se tomaron tres estratos por cada sitio de muestreo (cada estrato con una profundidad de un metro (figura 6), para la toma de muestras de cada estrato, se utilizó una pala (Figura 7); con la cual se tomaron muestras aproximadamente a cada 30 cm. de profundidad y se tomaba la temperatura de cada muestra, anotando los datos obtenidos en el formato del anexo 1.

Las muestras se colocaron en bolsas transparentes con una etiqueta de identificación y todas juntas de acuerdo al estrato en bolsas negras y en una hielera para su traslado al laboratorio.



Figura 6. Medición de la profundidad.



Figura 7. Obtención de la muestra con una pala.

Caracterización de las muestras de los residuos sólidos urbanos

La selección y cuantificación de subproductos se realizó con base en el formato de clasificación de subproductos, incluido en la Norma Mexicana NMX-22-1985 (SECOFI, 1985).

La caracterización de los subproductos consistió en pesar las bolsas con la muestra, previamente etiquetadas y se vaciaron para separar manualmente cada uno de los componentes, en charolas de peso conocido (Figura 8). Posteriormente se pesaron cada una de las charolas con cada uno de los subproductos (Figura 9) y se anotaron en el formato. Finalizada la separación y pesado de los subproductos, se sumaron todos los pesos para corroborar con el peso inicial de la muestra. Los resultados se agruparon por sitio de muestreo y estrato y se conformó una base de datos para realizar los análisis estadísticos y calcular los coeficientes de generación por subproducto.



Figura 8. Separación de la muestra por subproductos.

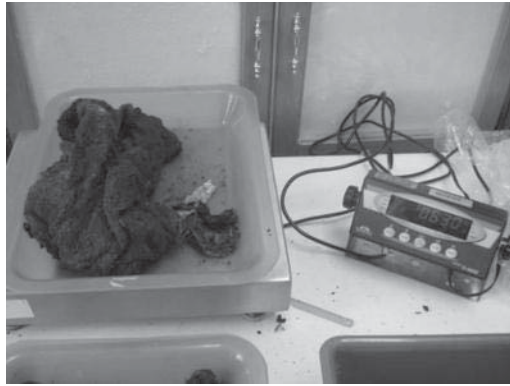


Figura 9. Pesado de los subproductos.

Determinación de la fracción orgánica e inorgánica de los residuos sólidos urbanos analizados.

De la caracterización de los componentes de los RSU, se determinaron las fracciones orgánicas e inorgánicas; como fracción orgánica se consideró los subproductos de residuo fino, residuo de jardinería y residuo alimenticios y como fracción inorgánica todos los demás subproductos encontrados en las muestras analizadas. Se utilizó también una clasificación del consumo elemental, la cual está dentro de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003).

Preparación de las muestras para los análisis de laboratorio.

Una vez que se realizó la caracterización y se determinaron los componentes de la muestra de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). De esta última, se prepararon las muestras en el laboratorio para su análisis de acuerdo con la norma NMX-AA-52-1985 (SECOFI, 1985). Previo a los análisis físicos y químicos, se trituró la muestra para lograr una mayor homogeneización de ésta (Figura 10).



Figura 10. Muestra triturada y homogeneizada

Determinación de los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos urbanos.

Con respecto a los análisis físicos se determinaron el contenido de humedad y temperatura. Dentro de los parámetros químicos el pH, cenizas, Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV), de acuerdo con las técnicas en materia de residuos sólidos que se describen a continuación. Los análisis físicos y químicos se hicieron por triplicado.

Determinación de la Temperatura

La temperatura se midió cada vez que se tomó la muestra a cada 30 cm de profundidad (Figura 11). Se utilizó un termómetro de piso digital en °C marca TRACEABLE que se enterró en las muestras de los RSU aproximadamente 20 segundos, hasta que se estabilizara; al medir la temperatura de la muestra, también se tomó la temperatura del ambiente.



Figura 11. Toma de la temperatura en la muestra

Determinación del Potencial Hidrógeno (pH).

Para determinar el pH, se siguió la metodología de la Norma Mexicana NMX AA-25-1984 (SECOFI, 1984). El pH de los RSU se midió con un potenciómetro, previamente calibrado a un $\text{pH} = 7.0$ (modelo pc-18 marca felisa).

Se calibró el potenciómetro con la solución amortiguadora de $\text{pH} = 7$; se pesaron 10 g de muestra y se transfirieron a un vaso de precipitado de 250 cm^3 , se añadió 90 cm^3 de agua destilada; Posteriormente, se mezcló con un agitador durante 10 minutos y se dejó reposar la solución durante 30 minutos; después se determinó la temperatura de la solución y por último se sumergieron los electrodos en la solución y realizó la medición de pH. Una vez obtenida la lectura, se sacó el potenciómetro de la solución y se lavó con agua destilada, para después secarlo y sumergirlo en cloruro de potasio (KCl) para su almacenamiento.

Cálculos

El valor del pH de la solución, es la lectura obtenida en la carátula del potenciómetro, cuando los electrodos se sumergen en ella. Con las tres repeticiones que se hicieron para pH, se promediaron y se obtuvo un valor por sitio de muestreo y estrato.

Determinación del contenido de humedad.

Para determinar la humedad se utilizó la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-016-1984 (SECOFI, 1984). Las muestras de RSU, se lavaron y enjuagaron las cápsulas con agua destilada y se pusieron en la mufla a 550°C durante una hora; transcurrido ese tiempo, se pasaron al desecador durante una hora y se pesaron en la balanza analítica, hasta obtener peso constante (se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas la diferencia es menor al 0.01%). Después se vertió la muestra (10 grs) sin compactar hasta un 50% del volumen de las cápsulas; Posteriormente, se pesaron las cápsulas con la muestra y se introdujeron a la estufa a 105°C durante 24 horas (Figura 12). Transcurridas las 24 horas se pusieron las cápsulas en el desecador durante una hora y después se pesaron.

Los cálculos se hicieron con la siguiente ecuación:

Ecuación No.1

$$\% H = \frac{PH - PS}{PH} * 100$$

%H= Porcentaje de Humedad

PH= Peso en gramos de la muestra húmeda.

PS= Peso en gramos de la muestra seca.



Figura 12. Capsulas puestas en la estufa durante 24 horas

Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-18-1984 (SECOFI, 1984), la muestra seca obtenida del análisis de humedad, se pesó y se colocó en la mufla y se incineró a 550 °C durante 5 horas (Figura 13). Transcurrido este tiempo, las muestras se pusieron en la estufa a 105°C durante una hora; Posteriormente, se pasaron al desecador por una hora, para finalmente, pesar las cápsulas.

Los cálculos se hicieron con la siguiente ecuación:

Ecuación No.2

$$\%C = \{ \text{Pesodecenizas} * 100 \} / PS$$

%C= Porcentaje de Cenizas

PS= Peso en gramos de la muestra.

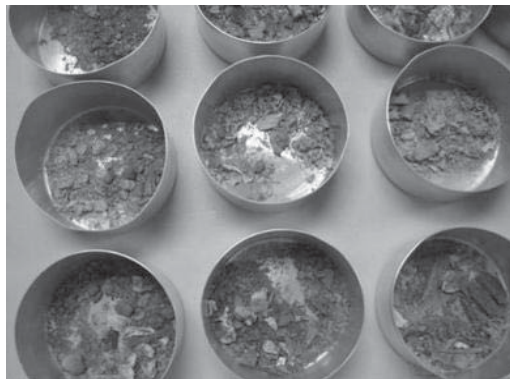


Figura 13. Cápsulas con muestra calcinada

Determinación de Sólidos Totales (ST)

La determinación de los Sólidos Totales se realizó de acuerdo con las técnicas descritas en Standard Methods (Clesceri *et al.*, 1998). Se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación No.3

$$\% ST = \frac{(PS)}{PH} * 100$$

%ST= Porcentaje de Sólidos Totales

PH= Peso en gramos de la muestra húmeda.

PS= Peso en gramos de la muestra seca.

Determinación de Sólidos Volátiles (SV)

Con base en los resultados de los análisis de determinación de humedad y cenizas, se realizaron los cálculos para determinar el porcentaje de sólidos volátiles (Clesceri *et al.*, 1998)

Los cálculos se hicieron con la siguiente ecuación:

Ecuación No.4

$$\%SV = \frac{(PS - PC)}{PS} * 100$$

%SV= Porcentaje de Sólidos Volátiles

PS= Peso en gramos de la muestra seca (105°C).

PC= Peso en gramos de la muestra calcinada (505°C).

RESULTADOS

Del levantamiento topográfico, se determinó el volumen de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) confinados, así como la localización de los pozos, de los cuales se tomaron las muestras para los análisis de la investigación (Figura 14).

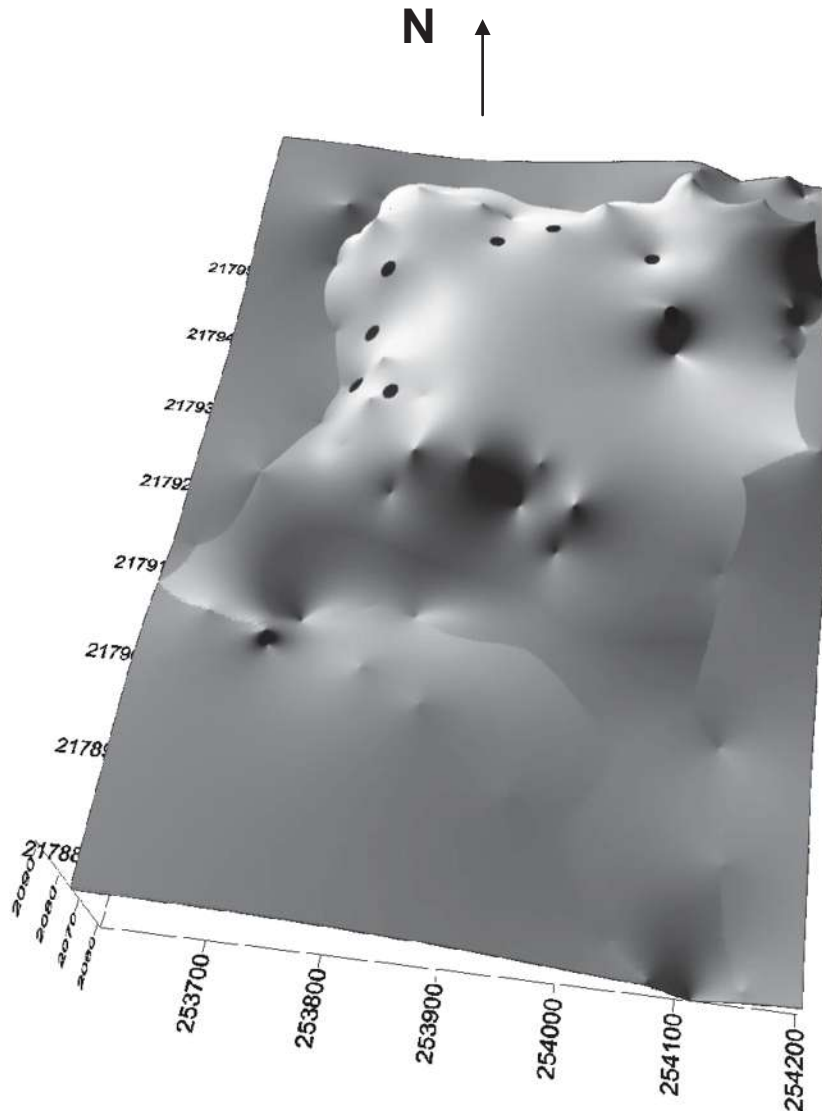


Figura 14. Mapa tridimensional del antiguo relleno de tierra de Morelia, con la ubicación de los pozos analizados.

Los resultados del levantamiento topográfico realizado con el programa Surfer 8, permitió estimar un volumen de 1,065,261.8 m³ de RSU confinados; el peso

volumétrico de éstos se estimó en 600 kg/m^3 . De esto, se obtuvo una cantidad de 639,157.08 toneladas de RSU confinados en el sitio.

Se seleccionaron 8 puntos de muestreo, las muestras obtenidas del muestreo sistematizado estratificado, provinieron de sitios con 5 y 10 años de confinamiento. Cada pozo se dividió en tres estratos, con una profundidad de un metro por cada estrato (figura 15).

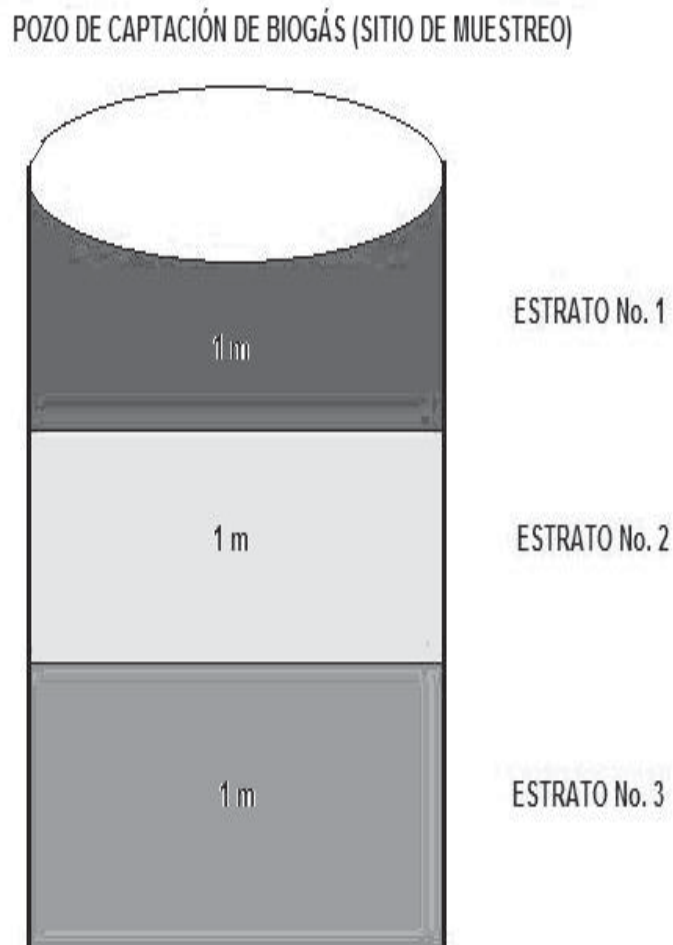


Figura 15. Sitio de Muestreo, con una profundidad aproximada de un metro de respectivamente

La cantidad total de RSU analizados fue de 63.712 kg, de los cuales 23.404 kg corresponden a los sitios de confinamiento de 10 años y 40.308 kg de los sitios de confinamiento de 5 años (Cuadro 9). Los resultados por estrato y punto de muestreo se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro 9. Peso total por estrato y tiempo de confinamiento de los RSU analizados (kg base húmeda)

Tiempo de Confinamiento	Estrato	Kg
5 años	1	13.934
	2	11.298
	3	15.076
10 años	1	6.117
	2	10.109
	3	7.178
Total		63.712

Cuadro 10. Muestra analizada en cada estrato de los ocho pozos muestreados (gr base húmeda)

TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
	ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5 Años	5556	4685	5525	2079	2902	2581	2282	1350	1336	4017	2361	5634
10 Años	1348	1036	1832	1952	2597	1419	1488	4513	1633	1329	1963	2294

Se encontraron 37 subproductos diferentes en las muestras de RSU analizadas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Caracterización de los RSU analizadas
(Porcentaje base húmeda)

SUBPRODUCTO ENCONTRADO	5 AÑOS DE CONFINAMIENTO			10 AÑOS DE CONFINAMIENTO		
	ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3
1 Residuo Fino	69.92	65.18	70.66	38.72	53.79	39.77
2 Piedras	9.81	10.30	6.61	5.93	8.76	9.38
3 Bolsa de película	3.14	4.73	4.13	15.66	6.57	11.97
4 Pañal desechable	2.75	3.24	4.56	0.00	2.10	1.67
5 Residuos de jardinería	2.60	1.33	2.99	1.35	2.70	0.29
6 Plástico rígido	2.17	1.27	2.47	9.38	4.05	5.88
7 Cartón	2.09	0.68	1.71	3.17	5.39	7.70
8 Polipropileno	1.83	3.33	0.23	0.00	0.41	0.00
9 PET	1.35	0.00	0.53	0.00	0.00	0.99
10 Toalla femenina	1.22	0.00	0.00	0.33	0.85	0.00
11 Trapo	0.67	0.98	3.11	8.16	1.07	3.60
12 Residuos alimenticios	0.65	1.61	0.00	2.05	0.69	0.43
13 Material de Construcción	0.42	0.00	0.00	3.48	0.00	0.00
14 Hielo seco	0.41	0.50	0.21	0.26	0.23	1.37
15 Vidrio	0.36	6.23	0.80	2.13	1.47	5.88
16 Aluminio	0.22	0.01	0.01	0.02	0.30	0.04
17 Pilas eléctricas	0.22	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00
18 Papel	0.13	0.00	0.18	2.13	0.08	0.00
19 Residuos peligrosos	0.04	0.33	0.00	0.03	0.05	0.00
20 Loza y cerámica	0.01	0.00	0.18	1.71	0.49	1.19
21 Tetrapak	0.00	0.00	0.36	0.52	2.22	0.00
22 Hueso	0.00	0.18	0.00	0.05	0.10	0.03
23 Hule	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.32
24 Madera	0.00	0.00	1.09	1.58	0.66	1.58
25 Hojalata	0.00	0.00	0.05	1.97	0.92	0.12
26 Material Ferroso	0.00	0.10	0.07	0.03	6.39	4.00
27 Papel higiénico	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
28 Heces fecales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
29 Bolsa de botana	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00
30 Bolsa laminada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00
31 Papel celofán	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.52
32 Material eléctrico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
33 Colillas	0.00	0.00	0.00	0.08	0.04	0.00
34 Papel metálico	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
35 Zapatos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.21
36 Cabello	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00
37 Pelo de animal	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.00
Total	100	100	100	100	100	100

En el Cuadro 12, se presenta el total de subproductos encontrados por estrato en cada uno de los puntos de muestreo.

Cuadro 12. Total de subproductos encontrados por estrato y tiempo de confinamiento

TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
	ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5 Años	12	13	13	11	13	9	11	11	12	19	11	16
10 Años	15	13	10	14	19	11	18	16	10	13	18	14

En el Cuadro 13 se muestra la cantidad de las fracciones orgánica e inorgánica de todos los componentes encontrados en los RSU analizados. El análisis mostró una mayor proporción de la fracción orgánica en las muestras con cinco años de confinamiento (Cuadro 14).

Cuadro 13. Fracciones orgánica e inorgánica en los sitios de muestreo (Gramos base húmeda)

PARÁMETRO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
		ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Fracción Orgánica ¹	5 Años	4651	3566	4522	1746	2066	1737	1585	574	863	1740	1649	4583
	10 Años	800	531	601	529	1231	684	602	2894	497	656	978	1033
Fracción Inorgánica ²	5 Años	812	1119	1321	466	754	673	891	1052	677	1420	752	1516
	10 Años	593	495	1053	1338	1279	828	868	1418	1023	756	1028	1233

¹Fracción orgánica: residuo fino, residuo de jardinería y residuo alimenticios, ²Fracción inorgánica: todos los demás subproductos encontrados en las muestras analizadas.

Cuadro 14. Porcentaje por estrato y tiempo de confinamiento de la fracción orgánica e inorgánica

Tiempo de Confinamiento	Estrato	Fracción Orgánica	Fracción Inorgánica	Total
10 años	1	42.12	57.88	100
	2	57.17	42.83	100
	3	40.49	59.51	100
5 años	1	73.04	26.96	100
	2	68.11	31.89	100
	3	73.65	26.35	100

Las mediciones de la temperatura de las muestras analizadas mostraron una tendencia creciente con la profundidad (Cuadro 15) y el tiempo de confinamiento (Fig. 16) de las muestras.

Cuadro 15. Temperatura promedio registrada por sitio de muestro (°C)

PARÁMETRO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
		ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatura	5 Años	30.0	26.2	27.2	22.3	23.5	24.4	24.3	27.8	29.2	27.7	27.9	26.2
	10 Años	28.2	34.6	35.3	29.1	32.6	33.4	30.9	42.5	41.8	32.5	40.1	41.9



Figura 16. Temperatura registrada en los sitios de muestreo de 5 y 10 años de confinamiento

Los resultados de la medición del pH, mostraron un comportamiento, predominantemente básico en los sitios de muestreo (Cuadros 16). En los sitios de confinamiento de 10 años fue los que registraron las muestras más básicas.

Cuadro 16. pH de las muestras de RSU analizados

PARÁMETRO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1 ESTRATO			SITIO 2 ESTRATO			SITIO 3 ESTRATO			SITIO 4 ESTRATO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	5 Años	8.1	8.3	8.3	8.5	8.2	8.3	8.0	8.4	8.4	8.5	8.5	8.7
	10 Años	7.4	5.9	7.8	8.2	8.0	8.2	8.4	8.7	8.7	8.9	9.0	8.5

En el Cuadro 17 se presentan los resultados obtenidos al realizar los análisis del contenido de humedad por sitio de muestro y tiempo de confinamiento, en general no se observó ninguna tendencia de esta característica con la profundidad y tiempo de confinamiento.

Cuadro 17. Contenido de humedad registrada por sitio de muestro

PARÁMETRO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
		ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Humedad	5 Años	24.23	23.36	42.13	27.86	31.82	37.61	17.19	31.26	31.43	63.20	31.06	30.10
	10 Años	33.52	41.65	33.32	23.48	30.98	31.66	27.71	27.88	27.01	33.99	38.14	32.34

Los resultados de la determinación de cenizas, ST y SV se presentan en el cuadro 18 por sitio de muestro y tiempo de confinamiento, en general no se observó ninguna tendencia de estos parámetros con la profundidad y tiempo de confinamiento.

Cuadro 18. Determinación de Cenizas, Sólidos Totales y Sólidos Volátiles.
(% peso seco)

PARÁMETRO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
		ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Cenizas	5 Años	22.68	15.70	30.10	11.28	18.93	41.45	12.01	21.08	21.42	71.01	34.33	22.32
	10 Años	40.15	67.01	61.74	64.96	52.90	67.82	75.22	27.92	39.24	25.04	32.41	20.18
Sólidos Totales	5 Años	75.80	76.60	57.90	72.10	68.20	62.30	82.80	68.70	68.60	46.80	68.90	69.90
	10 Años	66.47	58.35	66.67	76.52	69.01	68.34	72.29	72.11	72.98	66.00	61.86	67.66
Sólidos Volátiles	5 Años	77.31	84.29	69.89	88.71	81.07	58.54	87.98	78.92	78.57	28.99	65.67	77.68
	10 Años	59.84	32.99	38.25	35.03	47.10	32.17	24.77	72.07	60.75	74.95	67.59	79.82

DISCUSIÓN

El conocimiento de los parámetros físicos y químicos de los RSU es esencial para el diseño apropiado de sistemas para el control de la contaminación en los sitios de disposición final, así como para encontrar alternativas de gestión sustentable de los residuos. Lo anterior, es particularmente importante en países como México, en los que resulta apremiante disponer adecuadamente los crecientes volúmenes de RSU que se generan.

En México, es incipiente la gestión sustentable de los RSU, que involucre medidas de minimización, separación y reciclaje, por lo que la disposición final de los residuos sólidos en rellenos sanitarios, continuará siendo el sistema de disposición final predominante, por lo menos en el mediano plazo. No obstante, este sistema tradicional de confinamiento de los RSU, ha ocasionado severos problemas de contaminación del suelo y de los sistemas de agua subterránea, que afectan seriamente la salud de la población. Por lo que en la actualidad, se enfrenta el reto de disponer los RSU de forma tal, que se evite y/o minimice el impacto ambiental que involucran estas obras de ingeniería, así como la de revertir el daño ocasionado por los sitios de disposición final que existen actualmente.

Cumplir con los retos anteriores, requiere de acciones en materia de legislación e investigación sobre residuos sólidos. En nuestro país, no obstante que se ha avanzado en la primera, con la promulgación de Normas Oficiales Mexicanas y de la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la investigación para ampliar el conocimiento científico y técnico sobre residuos sólidos es insuficiente. Esto está resultando un serio limitante para cumplir con la normatividad y alcanzar los estándares suficientes para la gestión eficiente de los residuos sólidos.

El antiguo relleno de tierra de Morelia, clausurado recientemente, a finales del año 2007, representa un serio reto ambiental para el municipio, ya que a lo largo del periodo de vida útil del sitio, se han reportado fallas técnicas y afectaciones al ambiente por la producción de lixiviados, humos y olores (Israde *et al.*, 2005, Israde *et al.*, 2009). Por lo que se contemplan acciones de post-clausura que minimicen el impacto ambiental y que exploren la posibilidad de utilización de subproductos de la estabilización de los residuos sólidos, como lo es el biogás.

De lo anterior, los resultados de este estudio son trascendentales para cumplir con las metas anteriores. El levantamiento topográfico del sitio, además de permitir conocer la topografía del sitio, en aspectos, como el relieve, pendiente y área del sitio, permitió estimar un total de 639,157 toneladas de RSU confinados en el sitio. Asimismo, el mapa tridimensional obtenido del estudio topográfico, fue clave en el diseño experimental de la investigación, pues permitió ubicar los puntos de muestreo que cumplieran con los requisitos estadísticos de un diseño aleatorio

estratificado. Esto fue particularmente importante para asegurar la representatividad de este estudio de todo el sitio.

Los 37 subproductos encontrados de la caracterización de las muestras de los RSU, permitió conocer que no obstante el tiempo de degradación, aún se mantienen una gran cantidad de componentes por la resistencia de los materiales a los procesos de degradación, sobretodo, los derivados de plásticos que se encontraron más en los sitios de 10 años y el vidrio que fue mayor en los sitios de cinco años. El mayor número de componentes encontrados en las muestras de RSU de cinco años, con respecto a las de 10, además de mostrar una mayor heterogeneidad, confirma la influencia de variables económicas, sociales y culturales en la composición de los RSU, lo cual ha sido reportado en otros trabajos (Buenrostro *et al.*, 2007).

Es importante notar que el residuo fino se encontró en menor cantidad en la muestras de 10 años de confinamiento (Cuadro 11). Se esperaría que los sitios con 10 años de tiempo de confinamiento, la fracción orgánica estuviera más degradada en comparación con los sitios de más reciente depósito (5 años). De acuerdo con el estudio de caracterización de los RSU, los subproductos con alto contenido de componentes biodegradables como el residuo fino, residuos de jardinería, cartón, los residuos alimenticios, el papel y la madera se encontraron en mayor porcentaje en las muestras de cinco años de confinamiento, en comparación con las muestras de 10 años de confinamiento. De lo anterior, la fracción orgánica se encontró en mayor proporción en las muestras con cinco años de confinamiento (Cuadro 14), indicando una mayor degradación de la fracción orgánica de los RSU, con 10 años de confinamiento, con respecto a las de cinco años.

Con respecto a la temperatura, las mediciones de este parámetro se realizaron a profundidades máximas de tres metros, se observa la tendencia del incremento de la temperatura con la profundidad del estrato. Esto mismo ha sido reportado por Henriques y Sopena (2005), quienes, además encontraron mayores fluctuaciones de la temperatura en las capas más superficiales de la cortina de los residuos en un estudio sobre el contenido de humedad y temperatura a diferentes

profundidades de un relleno de Madrid, España. En esta investigación se pudo determinar con mayor precisión la influencia de la época del año y la profundidad del estrato en la temperatura de los residuos sólidos, ya que las mediciones se realizaron durante el invierno y verano. Encontraron una variación de 30° a 55° C en la capa más superficial (0 a 5 m), después un aumento progresivo con la profundidad, alcanzando una variación de 63° a 70° C en la capa más profunda, a los 20 m de profundidad. En la investigación realizada en Morelia, aunque las mediciones de la temperatura solo se realizaron en una época del año, se encontró el mismo patrón de comportamiento de la temperatura del relleno de España. Un incremento de la temperatura con la profundidad del estrato y una mayor fluctuación de temperatura en las capas más superficial del sitio.

El contenido de humedad de las muestras fue muy amplio; del 17 al 63%, sin poder determinarse alguna tendencia con la profundidad o el tiempo de confinamiento de los residuos. No obstante, al igual que la temperatura, se ha determinado la influencia de la época del año, el clima y la profundidad en los contenidos de humedad de los RSU (Henriques y Sopeña, 2005; Machado et al., 2008; Chung y Poon 2001). El estudio realizado en Morelia, no pudo determinar la influencia de ninguna de estas variables, debido a que el muestreo solo cubrió una época del año y se realizó solo a profundidades de tres metros. Pero si permiten determinar que el contenido de humedad se encuentra dentro de los parámetros encontrados por los autores citados anteriormente. Por ejemplo, Henriques y Sopeña (2005), encontraron una variación en los valores, entre un 13% a 70%. Siendo el valor más elevado a 16.5 m de profundidad y los más bajos en las capas más superficiales, determinando que la adición de suelos provenientes de las capas diarias de cobertura, así como una mayor evaporación, incidían en los valores más bajos de las capas más superficiales.

Con respecto a los contenidos de ceniza, sólidos totales y sólidos volátiles, en las muestras de RSU analizados se puede observar que los contenidos de ceniza menores obtenidos de las muestras de cinco años, indican una menor proporción de materiales de más difícil biodegradación, como lo es la fracción inorgánica. Lo anterior, coincide con la caracterización de las fracciones orgánica e inorgánica, ya

que se encontró una menor cantidad de inorgánicos en las muestras de cinco años. Similarmente, los sólidos volátiles fueron mayores en las muestras de cinco años, que indican una mayor biodegradabilidad de los residuos, con respecto a las muestras de 10 años y los sólidos totales no mostraron ninguna tendencia y por lo tanto se estuvo trabajando con los mismos porcentajes de muestra. No obstante las deficiencias de la cobertura que tradicionalmente tuvo el antiguo relleno de Morelia, y de las limitantes del muestreo de este estudio. Los resultados de los análisis de los parámetros físicos y químicos de los RSU, indican que aunque el proceso de estabilización de los residuos es lento, con respecto a los promedios de tiempo reportados en la literatura (Barlaz *et al.*, 1989; Zule *et. al*, 2007; Tchobanoglous, *et al.*, 1997). Se observa también una influencia del tiempo de confinamiento, pero no de la profundidad de los residuos en la degradación de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia.

CONCLUSIONES

La cantidad total de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) analizados fue de 63.712 Kilogramos de los cuales 23.404 Kilogramos corresponden a los sitios de confinamiento de 10 años y 40.308 Kilogramos de los sitios de confinamiento de 5 años.

Del volumen de RSU confinados de 1,065,261.8 m³. El peso volumétrico de los RSU se estimó en 600 kg/m³. De esto, se obtuvo una cantidad de 639,157.08 toneladas de RSU confinados en el sitio.

En total se encontraron 37 subproductos diferentes en las muestras de RSU analizados, de los cuales destacan los residuos finos en ambos tiempos de confinamiento.

La caracterización de los RSU, arrojó una composición predominantemente orgánica; ya que la fracción orgánica fue mayor en las muestras con 5 años de confinamiento. La fracción orgánica encontrada en este estudio es

ostentosamente mayor a lo reportado en otras investigaciones. Esta diferencia se debe a que en la fracción orgánica se incluyó el residuo fino, el cual está conformado por material no separable y tierra.

El parámetro de temperatura fue el único que mostró diferencias estadísticamente significativas, ya que las temperaturas mayores fueron en los sitios con 10 años de confinamiento.

Los parámetros de pH, Humedad y Sólidos Totales no reportaron diferencias estadísticamente diferentes con respecto al tiempo de confinamiento y estratos.

Los parámetros de Cenizas y Sólidos Volátiles fueron las variables analizadas que presentaron diferencias estadísticamente diferentes solo en el tiempo de confinamiento pero no en la profundidad.

LITERATURA CITADA

Barlaz, M. A, Schaefer, D. K., Ham, R. K. 1998. Bacterial population development and Chemicals characteristics of refuse decomposition in a simulated sanitary landfill. *Applied and Environmental Microbiology*. 55 (1) 55-65Pp.

Chung, S. S. y Poon, C. S. 2001. Characterization of municipal solid waste and its recyclable contents of Guangzhou. *Waste Management & Research* 19: 473-485Pp.

Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Recursos Naturales (INE y SEMARNAT) 2001. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. SEMARNAT. 97 Pp.

Israde, I.; Buenrostro, O; Carrillo, A. (2005) Geological Characterization and Environmental Implications of the Placement of the Morelia Dump, Michoacan, Central Mexico. Waste Management and Research. 55:123-134Pp.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) 2003 Título 3°. Capitulo único. Art. 20°. Diario Oficial de la Federación

Machado, S.L, Carvalho. M. F, Gourc. J.C y Vilar, O.M. 2008. Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. Waste Management & Research 29: 106-118Pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de Protección Ambiental para la Selección del Sitio, Diseño, Construcción, Operación, Monitoreo, Clausura y Obras Complementarias de un Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.

NMX-AA-016-1984. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Determinación de Humedad. México.

NMX-AA-18-1984. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. Determinación de Cenizas. México.

NMX-AA-022-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección Al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos Municipales. Selección y Cuantificación de Subproductos. México.

NMX-AA-25-1984. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección

al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos. Determinación del pH. Método Potenciométrico. México.

NMX-AA-052-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas Por El Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. Residuos Sólidos Municipales preparación de muestras en el laboratorio para su análisis. México.

Sancho y Cervera, J. – Rosiles, G. 2005a. El Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en México. SEDESOL. Capítulo 4, Residuos sólidos urbanos. 54Pp.

Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Ed.; American Public Health Association: Washington, DC, 1995.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2006. Una propuesta para la gestión ambiental municipal de los residuos sólidos. El Sistema Integral de Gestión Ambiental Municipal (SIGAM)

SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) (1985). Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. 104 Pp.

Tchobanoglous, G. Theisen, H. y Vigil, S. 1997. Gestión Integral de los Residuos Sólidos (Volumen I). McGraw-Hill. México. 88-103 Pp.

Zule, J; Cernec, F; y Likon M. 2007. Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludges to be used for landfill covering. Waste Management & Research 25: 538–546Pp.

Referencias de Internet

Henriques, A. Sopeña, L. Propiedades Físicas De Los Residuos Sólidos Urbanos Del Vertedero De Valdemingómez. XXVII Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária e Ambiental. <http://www.acepesa.org/docu/Encuentro>

Sosa A. 2007. ¿Cuál es el contexto de las pilas dentro de la Gestión Integral de Residuos? Política y Estrategias para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos en México. www.semarnat.gob.mx/gestionambientalos.

CAPITULO II

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CONFINAMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS CONFINADOS EN EL ANTIGUO RELLENO DE TIERRA DE MORELIA MICHOACÁN, MÉXICO.

Revista: Revista Internacional de Contaminación Ambiental

RESUMEN

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) depositados en un Relleno Sanitario (RESA), contiene material biodegradable, el cual conduce a la producción de metano y lixiviado, su generación esta influenciado por los parámetros físicos, químicos y biológicos del RESA Esta investigación se realizó para determinar la influencia del tiempo de confinamiento en las parámetros físicos y químicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán. Se tomaron muestras dentro del RESA con dos diferentes tiempos de confinamiento (5 y 10 años) con una profundidad de un metro cada una, hasta una máxima de tres metros, se seleccionaron aleatoriamente ocho puntos de muestreo (4 para cada tiempo de confinamiento). Ya en el laboratorio con las muestras trituradas se determino los siguientes parámetros: temperatura, pH, contenido de humedad, sólidos totales y sólidos volátiles. El parámetro de temperatura fue el único que mostró diferencias estadísticamente significativas, ya que las temperaturas mayores fueron en los sitios con 10 años de confinamiento. Los parámetros de pH, Contenido de Humedad y Sólidos Totales no reportaron diferencias estadísticamente diferentes con respecto al tiempo de confinamiento y la profundidad. Los parámetros de Cenizas y Sólidos Volátiles fueron las variables analizadas que presentaron diferencias estadísticamente diferentes solo en el tiempo de confinamiento pero no en la profundidad. Este estudio nos permite suponer que en las capas superficiales de los sitios de disposición final (de 0 a 5 metros) no hay diferencias en sus parámetros físicos y químicos y que a una mayor profundidad si habrá diferencia estadísticamente en las variables analizadas.

ABSTRACT

The Municipal Solid Waste (MSW) settlement in a landfill, contain biodegradable material, which produce methane y leachate, the amount of leachate and methane generated is influenced by the physical, chemical and biological parameters of landfill. This research were determinate the influence of the age of MSW in the composition and the physical and chemical parameters of MSW at the closed landfill in Morelia, Michoacan. In this place were collected 3 samples of 5 kilograms of weight in 3 different depths of 8 boreholes drilled in the landfill. The age of the collected samples was estimated at five and ten years of disposal (4 boreholes per age). Aftercare, in the laboratory the samples were shredding to analyze the physical and chemical parameters. The parameters that were determinated: moisture content, pH, ash, total solid (TS), volatile solid (VS) and the temperature was determinated *in situ*. The parameter of temperature was the only that showed statistic differences, because the biggest temperatures were in the sites with ten years of disposal, The parameters of moisture content, pH and TS not showed statistic differences in the time of were disposal and the depth of MSW. The ash and volatile solid (VS) were the parameters of that showed statistic differences in the time of were disposal but not in the depth of MSW. This research cans suppose in the up layer of the site of final disposal (0 to 5 m) not show differences in their physical and chemicals parameters and a more depth will find a difference in the analyzed parameters.

INTRODUCCIÓN

Los parámetros fisicoquímicos de los RSU varían según las características del sitio de disposición final, ya que después de que son depositados los RSU, sufren una serie de fenómenos, los cuales conducen a condiciones de anoxia y posteriormente a condiciones de anaerobiosis, favoreciendo de esta manera el desarrollo de la actividad anaeróbica, está dependerá de la naturaleza de los residuos sólidos, del tamaño de partícula, la humedad de estos, pH y la temperatura, ya que por ejemplo, las condiciones favorables para el crecimiento de las bacterias anaerobias se desarrollan a temperaturas de entre 10°C y 60°C, teniendo un óptimo entre 30°C y 40°C (fase mesofílica) y otro que está entre 50°C y 60°C (fase termofílica) Una vez que se agota el oxígeno disuelto en la matriz de los residuos sólidos, inician los procesos de degradación, resultando, como subproductos, lixiviados y biogás con características fisicoquímicas diversas. (Robles, 2005)

Influencia de las Condiciones climáticas y meteorológicas en los sitios de disposición final de residuos sólidos

Las condiciones climáticas y meteorológicas comprenden todos los factores ambientales que influyen en los procesos de transformación, como la precipitación pluvial, temperatura y vientos, principalmente.

La temperatura externa ejerce su efecto sólo en las capas superiores de los rellenos sanitarios (RESA), mientras en el perfil interior ésta es afectada por los procesos de degradación de los residuos sólidos urbanos (RSU).

La precipitación juega un papel determinante en la generación del lixiviado, favoreciendo la solubilidad de los componentes tóxicos de los RSU, ya que el agua cataliza los procesos de degradación a través de la hidrólisis y disolución de componentes tóxicos de la materia orgánica e inorgánica, y da como resultado la producción del lixiviado. Las transformaciones físico-químicas que se derivan del contacto del agua con los RSU, se presentan de manera resumida en la figura 17.

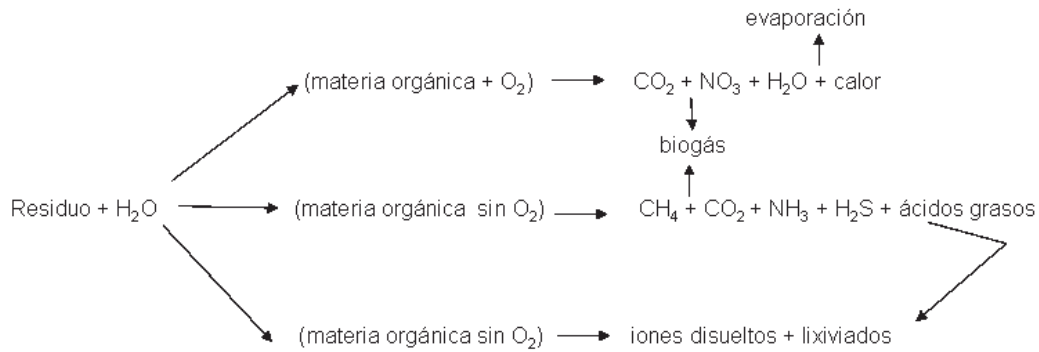


Figura 17. Esquema general de la degradación de los residuos sólidos (Kiss y Mendoza, 1998).

El agua juega un papel importante en la producción de lixiviados, por lo que, si se logra controlar la cantidad de agua (impidiendo la entrada de aguas pluviales y subterráneas mediante la impermeabilización del fondo y de la cubierta del relleno), el agua disponible se limitará al contenido de humedad de los RSU y en consecuencia disminuiría considerablemente la generación de lixiviados y el riesgo de contaminación al ambiente. En el Cuadro 19 se presenta un Cuadro comparativo de los promedios de humedad, a diferentes tiempos de confinamiento de RSU, obtenidos por Machado et al., (2008), en un RESA en un área tropical y los obtenidos en esta investigación.

Cuadro 19. Contenido de humedad en RSU (porcentaje base húmeda)

Autor	Tiempo de confinamiento (Años)									
	1	3.9	4	4.4	5	5.5	7.8	8.7	9	10
Manchado <i>et al.</i> , 2008	63.8	36.33	46.01	46.01	-	41.27	41.22	40.97	38.91	-
Esta investigación	-	-	-	-	31.77	-	-	-	-	31.80

Chung y Poon (2001), determinaron la influencia de la estación del año y el tipo de clima, así como el agua contenida en la fracción orgánica los RSU. De acuerdo con la EPA (Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés) (2003), una humedad inferior al 15% resulta desfavorable para la degradación de los RSU.

No obstante, en estudios de laboratorio, Hartz y Ham (1983), reportaron un mínimo de 10% de humedad.

La mayor parte de las de las bacterias anaerobias, se desarrollan a un pH cercano a la neutralidad, un ejemplo son las bacterias acetogénicas, que son sensibles a las variaciones de pH, con un óptimo de 7.2 (Robles, 2005), estas bacterias son inhibidas de forma total a un pH inferior a 6.0, lo que puede traer como consecuencia una acumulación de ácidos orgánicos. Los microorganismos que participan en la digestión termófila son más sensibles a los cambios de pH que aquellos que participan en rangos mesófilos (Barlaz, 1989). Los cambios de pH son atenuados de forma natural por el efecto regulador del medio (efecto buffer), el cual depende esencialmente de la concentración de carbonatos (CO_3), bicarbonatos (HCO_3) y CO_2 disueltos, así como de los iones amonio presentes en el medio. Estos últimos son producidos durante la degradación anaerobia de las proteínas. Los ácidos orgánicos y sus sales formadas durante las fases de acidogénesis y acetogénesis, contribuyen en el efector regulador del pH (Tchobanoglous *et al.*, 1997).

El contenido de SV se utiliza para expresar el total de materia orgánica presente en los residuos (Barlaz *et al.*, 1997 y Mehta *et al.* 2002), Tchobanoglous *et al.*, (1997), reportan para los residuos de jardín un porcentaje de SV de un 5% a 7%, para el papel de periódico un 94%, cartón de 50% a 90%, por lo que la velocidad a la que diversos componentes pueden ser degradados varía notablemente. A este respecto, Zule, *et. al* (2007), analizaron el contenido de cenizas en lodos provenientes de fabricas de papel, concluyendo que tienen un contenido inorgánico alto, determinando un 60% de cenizas en estos residuos, por lo que proponen el uso de estos residuos como material de cobertura para los rellenos sanitarios.

Tecnología aplicada en la disposición final de los RSU

La tecnología aplicada en el sitio de disposición final afecta al desarrollo de los procesos de degradación, influyendo en las condiciones ambientales prevalecientes, a través de la altura de las celdas, o bien, el perfil total del RESA,

la tecnología de compactación y el tipo de cubierta. Existen además algunas prácticas que consisten en recircular el lixiviado a la superficie del RESA con el objeto de acelerar los procesos de degradación en la matriz de los RSU, y con el mayor aprovechamiento de la evaporación, cuya práctica incluso puede ser una opción para el tratamiento de los lixiviados.

Edad del sitio de disposición final

La edad del sitio de disposición final, también es un factor importante, ya que la composición del lixiviado y biogás depende no sólo de las características de los RSU dispuestos y de las condiciones ambientales y tecnológicas, sino también de la capacidad de reacción de los materiales depositados, la cual a largo plazo va disminuyendo. Las experiencias demuestran que el contenido de elementos contaminantes como metales pesados, o bien la toxicidad del lixiviado cambia a través del tiempo, manifestando generalmente un rápido incremento inicial y luego una lenta disminución (Johannessen, 1999).

La construcción de los RESA's incluyen obras de ingeniería para evitar la exposición de los RSU confinados al aire y agua, no obstante, estas obras también disminuyen las tasas de degradación de los RSU confinados y por consiguiente aumentando los tiempos de estabilización y de monitoreo de los RESA's (Anex, 1996). Para incrementar las tasas de estabilización de los RSU, la tendencia es convertir los RESA's en biorreactores aerobios o anaerobios (Borglin *et al.*, 2004). Para mitigar la contaminación al ambiente por la disposición de los RSU, resulta imprescindible conocer los procesos de degradación y lixiviación que conllevan a la generación de biogás y lixiviado, así como tomar en consideración las posibles consecuencias de una disposición no adecuada. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo determinar la relación de las variables en los parámetros fisicoquímicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán. Los objetivos específicos fueron determinar si existen diferencias estadísticamente significativas con respecto a las variables ubicación (tiempo de confinamiento de los residuos) y el estrato (profundidad) con las variables respuesta analizadas

(temperatura, fracción orgánica e inorgánica, pH, contenido de humedad, cenizas, Sólidos Totales (ST) y sólidos Volátiles (SV)).

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de los residuos sólidos

Muestras de residuos sólidos provenientes del antiguo relleno de tierra de Morelia, se analizaron y las características fisicoquímicas de éstos se determinaron con base en las técnicas siguientes:

La caracterización de los RSU para determinar los subproductos y las fracciones orgánica e inorgánica, se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-22-1985 (SECOFI, 1985).

La preparación de las muestras para los análisis de laboratorio se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-52-1985 (SECOFI, 1985), para determinar los siguientes parámetros físicos y químicos de los RSU.

La Temperatura se determinó *in situ*; el Potencial Hidrógeno (pH) con base en la Norma Mexicana NMX-AA-25-1984 (SECOFI, 1984); el contenido de humedad con base en la Norma Mexicana NMX-AA-016-1984 (SECOFI, 1984); cenizas con base en la Norma Mexicana NMX-AA-18-1984 (SECOFI, 1984); Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV), de acuerdo con las técnicas descritas en Standard Methods (Clesceri *et al.*, 1998).

Análisis estadísticos de los datos

Los datos de los parámetros analizados (temperatura, pH, humedad, cenizas, ST y SV) de las muestras de los diferentes puntos de muestreo, se ordenaron de acuerdo con la ubicación (tiempo de confinamiento) y profundidad (estrato 1, 2 y 3) y se conformó una matriz de datos con el programa Excel 2007. Con esta matriz, se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía y bifactorial, utilizando el programa estadístico JMP (Versión: 6.0.0 SAS Institute Inc, 2005).

De acuerdo con la estructura del diseño bifactorial son estimables tres efectos; por lo cual se plantean tres hipótesis: una para el tiempo de confinamiento, otra para el estrato y la tercera para la interacción entre el estrato y el tiempo de

confinamiento. Si los valores de Prob >F para el tiempo de confinamiento, para el estrato y para la combinación de éstos, son menores que 0.05 se rechaza la H0 y por lo tanto, hay diferencias estadísticamente significativas.

Después de realizar el ANOVA, se aplicó la prueba de Tukey para poder atribuir las diferencias en los parámetros analizados. Se trabajó con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Resultados

De la caracterización de los RSU, dio como resultado 37 componentes, donde la composición fue predominantemente orgánica, encontrándose el residuo fino con 5 años de confinamiento en mayor proporción en comparación con las muestras de 10 años de confinamiento.

Cuadro 20. Principales subproductos encontrados en las muestras analizadas por tiempo de confinamiento (Porcentaje base húmeda)

SUBPRODUCTO	5 AÑOS DE CONFINAMIENTO			10 AÑOS DE CONFINAMIENTO		
	ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3
Residuo Fino	69.92	65.18	70.66	38.72	53.79	39.77
Piedras	9.81	10.30	6.61	5.93	8.76	9.38
Bolsa de película	3.14	4.73	4.13	15.66	6.57	11.97
Pañal desechable	2.75	3.24	4.56	0.00	2.10	1.67
Residuos de jardinería	2.60	1.33	2.99	1.35	2.70	0.29
Plástico rígido	2.17	1.27	2.47	9.38	4.05	5.88
Cartón	2.09	0.68	1.71	3.17	5.39	7.70

Los análisis de los parámetros físicos y químicos se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Parámetros físicos y químicos de los Residuos Sólidos Urbanos del Antiguo Relleno de Tierra de Morelia

PARÁMETRO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
		ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatura	5 Años	30.0	26.2	27.2	22.3	23.5	24.4	24.3	27.8	29.2	27.7	27.9	26.2
	10 Años	28.2	34.6	35.3	29.1	32.6	33.4	30.9	42.5	41.8	32.5	40.1	41.9
pH	5 Años	8.1	8.3	8.3	8.5	8.2	8.3	8.0	8.4	8.4	8.5	8.5	8.7
	10 Años	7.4	5.9	7.8	8.2	8.0	8.2	8.4	8.7	8.7	8.9	9.0	8.5
Humedad	5 Años	24.23	23.36	42.13	27.86	31.82	37.61	17.19	31.26	31.43	63.20	31.06	30.10
	10 Años	33.52	41.65	33.32	23.48	30.98	31.66	27.71	27.88	27.01	33.99	38.14	32.34
Cenizas	5 Años	22.68	15.70	30.10	11.28	18.93	41.45	12.01	21.08	21.42	71.01	34.33	22.32
	10 Años	40.15	67.01	61.74	64.96	52.90	67.82	75.22	27.92	39.24	25.04	32.41	20.18
Sólidos Totales	5 Años	75.80	76.60	57.90	72.10	68.20	62.30	82.80	68.70	68.60	46.80	68.90	69.90
	10 Años	66.47	58.35	66.67	76.52	69.01	68.34	72.29	72.11	72.98	66.00	61.86	67.66
Sólidos Volátiles	5 Años	77.31	84.29	69.89	88.71	81.07	58.54	87.98	78.92	78.57	28.99	65.67	77.68
	10 Años	59.84	32.99	38.25	35.03	47.10	32.17	24.77	72.07	60.75	74.95	67.59	79.82

Los ANOVAS realizados a los diferentes resultados de los parámetros fisicoquímicos, se muestran a continuación.

1. Temperatura

El ANOVA mostró diferencia significativa entre el tiempo de confinamiento y la profundidad (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<.001; y Fc. 3, 23, 05, Prob > F<.0299 respectivamente).

El ANOVA bifactorial mostró diferencia significativa entre el efecto combinado de las dos variables (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<.0022).

La prueba de Tukey mostró que la diferencia estadísticamente significativa está en los sitios de 10 años, del estrato tres, con respecto al del estrato dos; de los sitios de 10 años, del estrato uno, con los sitios de cinco años de estratos dos y tres, y con los de cinco años de los tres estratos.

2. pH

El ANOVA no mostró diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de confinamiento y la profundidad (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<.1628; y Fc. 3, 23, 05, Prob > F<.3576 respectivamente).

El ANOVA bifactorial tampoco mostró diferencia significativa entre el efecto combinado de las dos variables (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<.5568).

3. Contenido de humedad

El ANOVA no mostró diferencia significativa entre el tiempo de confinamiento y la profundidad (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<.0.9862; y Fc. 3, 23, 05, Prob > F<0.4824 respectivamente).

El ANOVA bifactorial tampoco mostró diferencia significativa entre el efecto combinado de las dos variables (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<0.1673).

4. Cenizas

El ANOVA mostró diferencia significativa entre el tiempo de confinamiento (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<.0.001), y la profundidad no mostró diferencia significativa (Fc. 3, 23, 05, Prob > F<0.4959).

El ANOVA bifactorial tampoco mostró diferencia significativa entre el efecto combinado de las dos variables (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<0.9956).

5. Sólidos Totales

El ANOVA no mostró diferencia significativa entre el tiempo de confinamiento y la profundidad (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<.0.9862; y Fc. 3, 23, 05, Prob > F<0.4824 respectivamente).

El ANOVA bifactorial tampoco mostró diferencia significativa entre el efecto combinado de las dos variables (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<0.1673).

6. Sólidos Volátiles

El ANOVA mostró diferencia significativa entre el tiempo de confinamiento (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<0.0001), y la profundidad no mostró diferencia significativa (Fc. 3, 23, 05, Prob > F<0.5949).

El ANOVA bifactorial tampoco mostró diferencia significativa entre el efecto combinado de las dos variables (Fc. 2, 71, 0.5, Prob > F<0.9266).

DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de esta investigación, indican que el proceso de degradación de los RSU dentro de los estratos a los que fueron tomadas las muestras (profundidad de cero a tres metros), con respecto a la temperatura, los sitios de confinamiento de 10 y 5 años, se encuentran por debajo y hasta el límite inferior del rango mesofílico (22.3 a 29.2°C y 28.2 a 42.5°C para los sitios de confinamiento de cinco y 10 años, respectivamente). Los ANOVAS realizados con los valores obtenidos de la temperatura, dieron una diferencia estadísticamente significativa con la profundidad y el tiempo de confinamiento. Aunque el estudio realizado en Morelia, solo cubrió hasta la profundidad de tres metros de la cortina de RSU, se pudo detectar la influencia de estas dos variables en la temperatura de los RSU confinados en el sitio de estudio.

Ya desde los años ochentas Rees (1980), señalaba que los cambios estacionales influyen solamente en ambientes próximos a la superficie del sitio, encontrando que esta influencia es minimizada, con la profundidad del estrato, reflejándose esta influencia estacional a profundidades máximas de 10 metros de profundidad. Posteriormente, Ham & Bookter (1982), midieron la temperatura en un relleno sanitario, durante siete años, observando que ésta disminuía con el paso del tiempo. Atribuyeron este proceso a las diferentes fases de degradación, en el que al final de la estabilización de los residuos, la temperatura, también disminuía. En este sentido, Henriques y Sopena (2005), registraron las mayores fluctuaciones de temperatura de 30° a 55°C en la capa más superficial del estrato (0 a 5 m), después un aumento progresivo con la profundidad, alcanzando una variación de

63°C a 70°C en la capa más profunda, a los 20 m de profundidad. Asimismo Carvalho (1999), determinó que las temperaturas letales en un RESA pueden alcanzar un nivel máximo de 70°C a 80°C.

Los otros parámetros que también presentaron diferencia estadísticamente significativa, fueron el contenido de cenizas y de sólidos volátiles (Sólidos Volátiles) ambos con el tiempo de confinamiento, pero no con la profundidad. Los SV presentaron una media de 73.14% y de 52.11%, para los sitios de 10 y 5 años de confinamiento, respectivamente. No obstante, el que si haya diferencia estadísticamente significativa con el tiempo de confinamiento, indica claramente una diferencia en la fase en la cual se encuentra la degradación de los RSU. Lo anterior se confirma con los resultados de las determinaciones de ceniza (promedio de 26.85% y de 49.45% para los sitios de 5 y 10 años de confinamiento, respectivamente), Los Sólidos Totales (los sitios de 5 años de confinamiento reportaron una media de 68.28% y para los sitios de 10 años de confinamiento de 68.19%). Los resultados de este estudio, sobre un menor contenido de cenizas y un mayor contenido de SV en las muestras de cinco años, con respecto a las de 10 años de confinamiento, indican también una mayor biodegradabilidad de los RSU de los sitio de muestreo provenientes de cinco años, con respecto a los provenientes de los sitios de 10 años. Lo anterior, se atribuye claramente a los resultados de las medidas sobre separación de reciclables, adoptadas en los últimos años, por el Servicio de recolección municipal, que se refleja en la disminución de la cantidad de la fracción inorgánica a disponer en el relleno sanitario de Morelia. Chen *et. al.*, (2009), determinaron las cenizas en un estudio para determinar el efecto del tiempo de confinamiento sobre la compresibilidad de los RSU. Encontraron un 18% y un 78% de cenizas en residuos de dos y 12 años de confinamiento, respectivamente. El mayor contenido de cenizas en las muestras de 12 años, lo atribuyeron a una mayor degradación de los RSU. Estos resultados muestran similitud a los obtenidos en esta investigación, ya que las muestras con mayor contenido de cenizas fueron las de 10 años de confinamiento. El pH y la humedad también fueron parámetros que no presentaron diferencia estadísticamente significativa con el tiempo de confinamiento, ni con la

profundidad. Para el pH, los sitios de 5 años de confinamiento reportaron una media de 8.35 y para los sitios de 10 años de confinamiento de 8.14. La humedad presentó valores promedio en los sitios de 5 años de confinamiento de 31.77% y para los sitios de 10 años de confinamiento de 31.80%. Esto último sugiere que la profundidad máxima muestreada no fue suficiente, ni es representativa del total de la profundidad de la cortina de los RSU, por lo que sería necesario ampliar los muestreos a estratos más profundos, para establecer inferencias concluyentes sobre la influencia de estos parámetros. Sin embargo, esto quedó fuera del alcance de este estudio.

El contenido de humedad en los RSU confinados proviene en mayor parte del agua contenida en los residuos y la que aporta la lluvia. Los resultados de la presente investigación coinciden con los obtenidos por Machado, *et al.*, (2008), en los que no se encontró relación con el tiempo de confinamiento. Similarmente, Henriques y Sopeña (2005), tampoco encontraron diferencias a profundidades de cero a cinco metros, pero a profundidades de 25 metros, si encontraron diferencias en el contenido de humedad de los RSU. Por lo que se concluye que las labores de postclausura que implicaron la remoción de RSU y adicción de material de suelo para nivelar la cortina de éstos, alteró ostensiblemente la distribución de los residuos dentro de los niveles de profundidad y de antigüedad en que se tomaron las muestras. De lo anterior, se recomienda ampliar los muestreos a estratos de profundidad mayores para mejorar la robustez de las aseveraciones sobre la influencia de estas variables en la degradación de los RSU confinados en el antiguo relleno de tierra de Morelia. No obstante, estos resultados son útiles para proyectar el promedio de tiempo para la estabilización del sitio.

CONCLUSIONES

El parámetro de temperatura fue el único que mostró diferencias estadísticamente significativas, ya que las temperaturas mayores fueron en los sitios con 10 años de confinamiento.

Los parámetros de pH, Humedad y Sólidos Totales no reportaron diferencias estadísticamente diferentes con respecto al tiempo de confinamiento y estratos.

Los parámetros de Cenizas y Sólidos Volátiles fueron las variables analizadas que presentaron diferencias estadísticamente diferentes solo en el tiempo de confinamiento pero no en la profundidad.

LITERATURA CITADA

Anex, R. P. 1996. Optimal decomposition landfill as a treatment process. *Journal Environment Engineering*. 122:964-974Pp.

Barlaz, M. A; Schaefer, D.M y Ham R.K.1989. Bacterial population development and Chemicals characteristics of refuse decomposition in a simulated sanitary landfill, *Applied and Environmental Microbiology* .55:1

Biodegradative analysis of municipal solid waste in landfills. EPA-600/SR-97/071, US Environmental Protection Agency.

Barlaz, M. A; Eleazer, W.E; Odle,W.S., Qjan,X. y Wang,Y-S. 1997. Biodegradative analysis of municipal solid waste in landfills. EPA-600/SR-97/071, US Environmental Protection Agency.

Borglin, S.E; Hazen, T. C; Oldenburg, C. M; Zawislanski P.T. 2004. Comparison of aerobic and anaerobic biotreatment of municipal solid waste. *Air & Waste Management Association*. 54:815–822Pp.

Chen,Y.M., Tony, L.T, Zhan,H.Y y Wei,H. 2009. Aging and compressibility of municipal solid waste. *Waste Management & Research* 29: 86–95Pp.

Ham, R. K y Brookter, K.E. 1982. Temperature effects: methane generation from landfill samples. *Journal of Environmental Engineer* 108 (4) 203-215Pp.

Hatz, K.E y Ham, R.K; 19983. Moisture level and movement effects on methane production rates in landfill samples. *Waste Management & Research* 1: 25–36Pp.

Kiss, G. y Mendoza. 1998. Generación de materias contaminantes en rellenos sanitarios de residuos sólidos municipales. *Ingeniería y Ciencias Ambientales* 38:6-9Pp.

Machado, S.L, Carvalho. M. F, Gourc. J.C y Vilar, O.M. 2008. Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. *Waste Management & Research* 29: 106-118Pp.

Mehta, R., Barlaz, M.A., Yazdani, R., Augensein, D y Sinderson, L. 2002. Refuse decomposition in the presence and absence of leachete recirculation. *Journal of Environmental Engineer* 128 (3) 228-236Pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de Protección Ambiental para la Selección del Sitio, Diseño, Construcción, Operación, Monitoreo, Clausura y Obras Complementarias de un Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.

NMX-AA-016-1984. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Determinación de Humedad. México.

NMX-AA-18-1984. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. Determinación de Cenizas. México.

NMX-AA-022-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección

Al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos Municipales. Selección y Cuantificación de Subproductos. México.

NMX-AA-25-1984.SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1984. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos. Determinación del pH. Método Potenciométrico. México.

NMX-AA-052-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas Por El Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. Residuos Sólidos Municipales preparación de muestras en el laboratorio para su análisis. México.

Robles, M.F. 2005. Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Instituto Politécnico Nacional. Primera Edición

Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Ed.; American Public Health Association: Washington, DC, 1995.

SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) (1985). Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo.104 Pp.

Tchobanoglous, G. Theisen, H. y Vigil, S. 1997. Gestión Integral de los Residuos Sólidos (Volumen I). McGraw-Hill. México. 88-103 Pp.

Zule, J; Cernec, F; y Likon M. 2007. Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludges to be used for landfill covering. Waste Management & Research 25: 538–546Pp.

Referencias de Internet

Henriques, A. Sopeña, L. Propiedades Físicas De Los Residuos Sólidos Urbanos Del Vertedero De Valdemingómez. XXVII Congreso Interamericano De Engenharia Sanitária e Ambiental. <http://www.acepesa.org/docu/Encuentro>

8. DISCUSIÓN GENERAL

En México, la generación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) ha aumentado y su composición se ha tornado más heterogénea. No obstante, la disposición de los RSU continúa realizándose en el suelo y con tecnologías que no impiden la afectación del medio circundante, por lo que el problema ambiental que los sitios de disposición final representan para México, un serio pasivo ambiental a resolver.

La composición y los parámetros fisicoquímicos de los RSU depositados en un Relleno Sanitario (RESA) varían por factores como son los diferentes hábitos de consumo, el poder adquisitivo de la población, la ubicación geográfica, el clima, las estaciones del año y el tipo de confinamiento de los RSU. De esto último, depende en gran medida el impacto que tienen los sitios de disposición final en el ambiente. Sin embargo, en México, existe poca información sobre los parámetros físicos y químicos de los RSU confinados en un relleno sanitario.

Se han realizado experimentos con biorreactores en laboratorios de investigación sobre la degradación de los RSU, así como la producción de lixiviados y biogás, siendo que los parámetros físicos y químicos le confieren las características a los procesos de degradación, lixiviados y biogás. Por lo que resulta importante realizar estudios tendientes a conocer estos procesos y sus características. Esto es importante para la toma de decisiones con respecto a las acciones de clausura y postclausura de un sitio como el antiguo relleno de tierra de Morelia. Lo anterior porque los impactos sociales y ambientales que provoca el manejo inadecuado de los residuos, radica en la alteración del paisaje natural, la imagen tanto urbana como rural, con la consecuente devaluación, tanto de los predios donde se localizan las áreas de confinamiento de RSU como de las áreas vecinas por el abandono y la acumulación de RSU, siendo uno de los efectos fácilmente observados por la población.

La degradación de los residuos orgánicos produce olores desagradables, atrae plagas y fauna nociva, lo que genera focos de infección de enfermedades,

situación que se agrava cuando se depositan los RSU en tiraderos clandestinos, carreteras, barrancas o rellenos sanitarios mezclándose con residuos de los hogares, restos de madera, cajas de cartón, plásticos, escombro, metales, estopas, botes de aceite, focos, entre muchos otros: Estos sitios de disposición final no cumplen con la normatividad ambiental conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Además de los problemas sanitarios, puede causar la erosión de suelos e impedir la recarga de acuíferos, la modificación de las características naturales de los sistemas de cuerpos de agua, la disminución de los caudales, entre otros (SEMARNAT, 2006).

La disposición final de los RSU en un RESA o en tiraderos a cielo abierto da lugar a la generación de diferentes productos contaminantes, derivados de los procesos de degradación microbiana. La contaminación puede presentarse en tres formas: forma sólida (polvo y materiales ligeros arrastrados por el viento), líquida (lixiviado) y gaseosa (biogás), o incluso como partículas sólidas suspendidas en el lixiviado o en el humo de incendios provocados y autoincendios eventuales en los tiraderos (Kiss y Encarnación, 2006). El levantamiento de polvo y arrastre de residuos ligeros como plásticos, papeles y envolturas ocurre con frecuencia en tiraderos a cielo abierto donde no se cubren los residuos, lo que provoca problemas en la actividad agrícola y en el tránsito vehicular en los alrededores. Esto representa un impacto al paisaje, así como una potencial contaminación directa al medio ambiente. Por otro lado, resultado del contacto de los RSU dispuestos con las aguas pluviales infiltradas, se genera lixiviado, que por su alto contenido de elementos contaminantes, puede ser un peligro potencial de contaminación al suelo y a las aguas freáticas si no se le da un manejo adecuado (Kiss y Encarnación, 2006)

Para mitigar la contaminación al ambiente por la disposición de los RSU, resulta imprescindible conocer los procesos de que conllevan a la generación de biogás y lixiviado, así como tomar en consideración las posibles consecuencias de una disposición no adecuada de los RSU. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo determinar la relación del tiempo de confinamiento y de la profundidad en

los parámetros fisicoquímicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán. Los objetivos específicos fueron determinar si existen diferencias estadísticamente significativas con respecto a las variables ubicación (tiempo de confinamiento de los residuos) y el estrato (profundidad) con las variables respuesta analizadas (temperatura, fracción orgánica e inorgánica, pH, contenido de humedad, cenizas, Sólidos Totales (ST) y sólidos Volátiles (SV).

El antiguo relleno de tierra de Morelia, clausurado a finales del año 2007, representa un serio reto ambiental para el municipio, ya que a lo largo del periodo de vida útil del sitio, se han reportado fallas técnicas y afectaciones al ambiente por la producción de lixiviados, humos y olores (Israde et al., 2005, Israde et al., 2009). Por lo que se contemplan acciones de postclausura que minimicen el impacto ambiental y que exploren la posibilidad de utilización de subproductos de la estabilización de los residuos sólidos, como lo es el biogás.

De lo anterior, los resultados de este estudio son trascendentales para cumplir con las metas anteriores. El levantamiento topográfico del sitio, además de permitir conocer la topografía del sitio, en aspectos, como el relieve, pendiente y área del sitio, permitió estimar un total de 639,157 toneladas de RSU confinados en el sitio. Asimismo, el mapa tridimensional obtenido del estudio topográfico, fue clave en el diseño experimental de la investigación, pues permitió ubicar los puntos de muestreo que cumplieran con los requisitos estadísticos de un diseño aleatorio estratificado. Esto fue particularmente importante para asegurar la representatividad de este estudio de todo el sitio.

Los 37 subproductos encontrados de la caracterización de las muestras de los RSU, permitió conocer que no obstante el tiempo de degradación, aún se mantienen una gran cantidad de componentes por la resistencia de los materiales a los procesos de degradación, sobretodo, los derivados de plásticos que se encontraron más en los sitios de 10 años y el vidrio que fue mayor en los sitios de cinco años. El mayor número de componentes encontrados en las muestras de RSU de cinco años, con respecto a las de 10, además de mostrar una mayor

heterogeneidad, confirma la influencia de variables económicas, sociales y culturales en la composición de los RSU, lo cual ha sido reportado en otros trabajos (Buenrostro et al., 2007).

Es importante notar que el residuo fino se encontró en menor cantidad en la muestras de 10 años de confinamiento (Cuadro 11). Se esperaría que los sitios con 10 años de tiempo de confinamiento, la fracción orgánica estuviera más degradada en comparación con los sitios de más reciente depósito (5 años). De acuerdo con el estudio de caracterización de los RSU, los subproductos con alto contenido de componentes biodegradables como el residuo fino, residuos de jardinería, cartón, los residuos alimenticios, el papel y la madera se encontraron en mayor porcentaje en las muestras de cinco años de confinamiento, en comparación con las muestras de 10 años de confinamiento. De lo anterior, la fracción orgánica se encontró en mayor proporción en las muestras con cinco años de confinamiento (Cuadro 14), indicando una mayor degradación de la fracción orgánica de los RSU, con 10 años de confinamiento, con respecto a las de cinco años.

Con respecto a la temperatura, las mediciones de este parámetro se realizaron a profundidades máximas de tres metros, se observa la tendencia del incremento de la temperatura con la profundidad del estrato. Esto mismo ha sido reportado por Henriques y Sopena (2005), quienes, además encontraron mayores fluctuaciones de la temperatura en las capas más superficiales de la cortina de los residuos en un estudio sobre el contenido de humedad y temperatura a diferentes profundidades de un relleno de Madrid, España. En esta investigación se pudo determinar con mayor precisión la influencia de la época del año y la profundidad del estrato en la temperatura de los residuos sólidos, ya que las mediciones se realizaron durante el invierno y verano. Encontraron una variación de 30° a 55° C en la capa más superficial (0 a 5 m), después un aumento progresivo con la profundidad, alcanzando una variación de 63° a 70° C en la capa más profunda, a los 20 m de profundidad. En la investigación realizada en Morelia, aunque las mediciones de la temperatura solo se realizaron en una época del año, se

encontró el mismo patrón de comportamiento de la temperatura del relleno de España. Un incremento de la temperatura con la profundidad del estrato y una mayor fluctuación de temperatura en las capas más superficial del sitio.

El contenido de humedad de las muestras fue muy amplio; del 17 al 63%, sin poder determinarse alguna tendencia con la profundidad o el tiempo de confinamiento de los residuos. No obstante, al igual que la temperatura, se ha determinado la influencia de la época del año, el clima y la profundidad en los contenidos de humedad de los RSU (Henriques y Sopeña, 2005; Machado et al., 2008; Chung y Poon 2001). El estudio realizado en Morelia, no pudo determinar la influencia de ninguna de estas variables, debido a que el muestreo solo cubrió una época del año y se realizó solo a profundidades de tres metros. Pero si permiten determinar que el contenido de humedad se encuentra dentro de los parámetros encontrados por los autores citados anteriormente. Por ejemplo, Henriques y Sopeña (2005), encontraron una variación en los valores, entre un 13% a 70%. Siendo el valor más elevado a 16.5 m de profundidad y los más bajos en las capas más superficiales, determinando que la adición de suelos provenientes de las capas diarias de cobertura, así como una mayor evaporación, incidían en los valores más bajos de las capas más superficiales.

Con respecto a los contenidos de ceniza, sólidos totales y sólidos volátiles, en las muestras de RSU analizados se puede observar que los contenidos de ceniza menores obtenidos de las muestras de cinco años, indican una menor proporción de materiales de más difícil biodegradación, como lo es la fracción inorgánica. Lo anterior, coincide con la caracterización de las fracciones orgánica e inorgánica, ya que se encontró una menor cantidad de inorgánicos en las muestras de cinco años. Similarmente, los sólidos volátiles fueron mayores en las muestras de cinco años, que indican una mayor biodegradabilidad de los residuos, con respecto a las muestras de 10 años y los sólidos totales no mostraron ninguna tendencia y por lo tanto se estuvo trabajando con los mismos porcentajes de muestra. No obstante las deficiencias de la cobertura que tradicionalmente tuvo el antiguo relleno de Morelia, y de las limitantes del muestreo de este estudio. Los resultados de los

análisis de los parámetros físicos y químicos de los RSU, indican que aunque el proceso de estabilización de los residuos es lento, con respecto a los promedios de tiempo reportados en la literatura (Barlaz *et al.*, 1989; Zule *et al.*, 2007; Tchobanoglous, *et al.*, 1997). Se observa también una influencia del tiempo de confinamiento, pero no de la profundidad de los residuos en la degradación de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia.

Los datos obtenidos de esta investigación, indican que el proceso de degradación de los RSU dentro de los estratos a los que fueron tomadas las muestras (profundidad de cero a tres metros), con respecto a la temperatura, los sitios de confinamiento de 10 y 5 años, se encuentran por debajo y hasta el límite inferior del rango mesofílico (22.3 a 29.2°C y 28.2 a 42.5°C para los sitios de confinamiento de cinco y 10 años, respectivamente). Los ANOVAS realizados con los valores obtenidos de la temperatura, dieron una diferencia estadísticamente significativa con la profundidad y el tiempo de confinamiento. Aunque el estudio realizado en Morelia, solo cubrió hasta la profundidad de tres metros de la cortina de RSU, se pudo detectar la influencia de estas dos variables en la temperatura de los RSU confinados en el sitio de estudio.

Ya desde los años ochentas Rees (1980), señalaba que los cambios estacionales influyen solamente en ambientes próximos a la superficie del sitio, encontrando que esta influencia es minimizada, con la profundidad del estrato, reflejándose esta influencia estacional a profundidades máximas de 10 metros de profundidad. Posteriormente, Ham & Bookter (1982), midieron la temperatura en un relleno sanitario, durante siete años, observando que ésta disminuía con el paso del tiempo. Atribuyeron este proceso a las diferentes fases de degradación, en el que al final de la estabilización de los residuos, la temperatura, también disminuía. En este sentido, Henriques y Sopeña (2005), registraron las mayores fluctuaciones de temperatura de 30° a 55°C en la capa más superficial del estrato (0 a 5 m), después un aumento progresivo con la profundidad, alcanzando una variación de 63°C a 70°C en la capa más profunda, a los 20 m de profundidad. Asimismo

Carvalho (1999), determinó que las temperaturas letales en un RESA pueden alcanzar un nivel máximo de 70°C a 80°C.

Los otros parámetros que también presentaron diferencia estadísticamente significativa, fueron el contenido de cenizas y de sólidos volátiles (Sólidos Volátiles) ambos con el tiempo de confinamiento, pero no con la profundidad. Los SV presentaron una media de 73.14% y de 52.11%, para los sitios de 10 y 5 años de confinamiento, respectivamente. No obstante, el que si haya diferencia estadísticamente significativa con el tiempo de confinamiento, indica claramente una diferencia en la fase en la cual se encuentra la degradación de los RSU. Lo anterior se confirma con los resultados de las determinaciones de ceniza (promedio de 26.85% y de 49.45% para los sitios de 5 y 10 años de confinamiento, respectivamente), Los Sólidos Totales (los sitios de 5 años de confinamiento reportaron una media de 68.28% y para los sitios de 10 años de confinamiento de 68.19%). Los resultados de este estudio, sobre un menor contenido de cenizas y un mayor contenido de SV en las muestras de cinco años, con respecto a las de 10 años de confinamiento, indican también una mayor biodegradabilidad de los RSU de los sitio de muestreo provenientes de cinco años, con respecto a los provenientes de los sitios de 10 años. Lo anterior, se atribuye claramente a los resultados de las medidas sobre separación de reciclables, adoptadas en los últimos años, por el Servicio de recolección municipal, que se refleja en la disminución de la cantidad de la fracción inorgánica a disponer en el relleno sanitario de Morelia. Chen et., al., (2009), determinaron las cenizas en un estudio para determinar el efecto del tiempo de confinamiento sobre la compresibilidad de los RSU. Encontraron un 18% y un 78% de cenizas en residuos de dos y 12 años de confinamiento, respectivamente. El mayor contenido de cenizas en las muestras de 12 años, lo atribuyeron a una mayor degradación de los RSU. Estos resultados muestran similitud a los obtenidos en esta investigación, ya que las muestras con mayor contenido de cenizas fueron las de 10 años de confinamiento.

El pH y la humedad también fueron parámetros que no presentaron diferencia estadísticamente significativa con el tiempo de confinamiento, ni con la

profundidad. Para el pH, los sitios de 5 años de confinamiento reportaron una media de 8.35 y para los sitios de 10 años de confinamiento de 8.14. La humedad presentó valores promedio en los sitios de 5 años de confinamiento de 31.77% y para los sitios de 10 años de confinamiento de 31.80%. Esto último sugiere que la profundidad máxima muestreada no fue suficiente, ni es representativa del total de la profundidad de la cortina de los RSU, por lo que sería necesario ampliar los muestreos a estratos más profundos, para establecer inferencias concluyentes sobre la influencia de estos parámetros. Sin embargo, esto quedó fuera del alcance de este estudio.

El contenido de humedad en los RSU confinados proviene en mayor parte del agua contenida en los residuos y la que aporta la lluvia. Los resultados de la presente investigación coinciden con los obtenidos por Machado, et al., (2008), en los que no se encontró relación con el tiempo de confinamiento. Similarmente, Henriques y Sopena (2005), tampoco encontraron diferencias a profundidades de cero a cinco metros, pero a profundidades de 25 metros, si encontraron diferencias en el contenido de humedad de los RSU. Por lo que se concluye que las labores de postclausura que implicaron la remoción de RSU y adición de material de suelo para nivelar la cortina de éstos, alteró ostensiblemente la distribución de los residuos dentro de los niveles de profundidad y de antigüedad en que se tomaron las muestras. De lo anterior, se recomienda ampliar los muestreos a estratos de profundidad mayores para mejorar la robustez de las aseveraciones sobre la influencia de estas variables en la degradación de los RSU confinados en el antiguo relleno de tierra de Morelia. No obstante, estos resultados son útiles para proyectar el promedio de tiempo para la estabilización del sitio.

9. CONCLUSIONES

- ✓ La cantidad total de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) analizados fue de 63.712 Kilogramos de los cuales 23.404 Kilogramos corresponden a los sitios de confinamiento de 10 años y 40.308 Kilogramos de los sitios de confinamiento de 5 años.
- ✓ Del volumen de RSU confinados de 1,065,261.8 m³. El peso volumétrico de los RSU se estimó en 600 kg/m³. De esto, se obtuvo una cantidad de 639,157.08 toneladas de RSU confinados en el sitio.
- ✓ En total se encontraron 37 subproductos diferentes en las muestras de RSU analizados, de los cuales destacan los residuos finos en ambos tiempos de confinamiento.
- ✓ La caracterización de los RSU, arrojó una composición predominantemente orgánica; ya que la fracción orgánica fue mayor en las muestras con 5 años de confinamiento. La fracción orgánica encontrada en este estudio es ostentosamente mayor a lo reportado en otras investigaciones. Esta diferencia se debe a que en la fracción orgánica se incluyó el residuo fino, el cual está conformado por material no separable y tierra.
- ✓ El parámetro de temperatura fue el único que mostró diferencias estadísticamente significativas, ya que las temperaturas mayores fueron en los sitios con 10 años de confinamiento.
- ✓ Los parámetros de pH, Humedad y Sólidos Totales no reportaron diferencias estadísticamente diferentes con respecto al tiempo de confinamiento y estratos.

- ✓ Los parámetros de Cenizas y Sólidos Volátiles fueron las variables analizadas que presentaron diferencias estadísticamente diferentes solo en el tiempo de confinamiento pero no en la profundidad.

- ✓ Las labores de post-clausura alteraron las capas superficiales por las labores de compactación, conformación de taludes y cubrimiento, sobre la cual se realizó este estudio, por lo cual se sugiere realizar estudios a mayor profundidad.

- ✓ Este estudio nos permite suponer que a una mayor profundidad si habrá diferencia estadísticamente en las variables analizadas.

10. RECOMENDACIONES

Realizar planes de posclausura conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, los cuales deben ser congruentes con el uso final del suelo que haya sido autorizado (ya sea área recreativa, jardines botánicos ó áreas de estacionamiento, entre otros), un ejemplo de este cambio de uso de suelo, es el proyecto de ciudad jardín bicentenario, que dejó de ser un pasivo ambiental que era conocido como el tiradero del Bordo de Xochiaca se esta transformado en un activo social y económico que permitirá a Nezahualcóyotl, convertirse en el principal polo de desarrollo de la región oriente del Valle de México; aunque el antiguo relleno de tierra de Morelia, no cuenta con estas dimensiones o este potencial económico de inversión, se propone sembrar especies de árboles que no requieren que la cobertura final de suelo tenga un gran espesor para servir como soporte a la cubierta vegetal, para que pueda ser utilizada como área recreativa de los fraccionamiento de reciente construcción que se encuentran cercanos a este sitio. Las referencias, no son suficientemente explícitas en cuanto a niveles de toxicidad y riesgos sanitarios de estas alternativa (Hirata, *et al.*,1995 y Wallace, *et al.*, 1995), lo que también genera una línea de investigación que puede ser estudiada dentro del sitio de estudio de este proyecto

También se Propone estandarizar los métodos de determinación de los parámetros físicos y químicos, ya que por ejemplo Machado, 2008, para la determinación de humedad se pusieron las muestras en una estufa durante 24 horas a 70°C, en comparación con la determinación de este mismo parámetro en este estudio, el cual la muestra se sometió a la estufa por un periodo de 24 horas a 120°C. Este mismo autor de igual manera realizo la determinación de los Sólidos Volátiles (SV) a una ignición de 600°C por 2 horas en comparación con este estudio el cual, se realizo a 550°C por un lapso de 5 horas.

11. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

GENERAL

Determinar la influencia del tiempo de confinamiento en la composición y parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán.

✓ **CUMPLIDO**

ESPECIFICOS

Estimar el volumen del área de confinamiento de los residuos sólidos y la cantidad de residuos sólidos depositados en el sitio.

✓ **CUMPLIDO**

Conocer los porcentajes de cada uno de los componentes de los residuos sólidos encontrados.

✓ **CUMPLIDO**

Determinar los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos.

✓ **CUMPLIDO**

Determinar la relación de las variables en los parámetros fisicoquímicos de los RSU del antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán.

✓ **CUMPLIDO**

12. VALIDACIÓN DE HIPOTESIS

La disposición de los Residuos Sólidos Urbanos en el antiguo relleno de tierra de Morelia, Michoacán; se realizó durante cerca de 20 años. Durante este periodo, la cantidad y la composición de los Residuos Sólidos Urbanos varió. Por lo tanto, la profundidad y la ubicación (tiempo de Confinamiento) están determinando diferentes parámetros fisicoquímicos de los RSU dentro del sitio.

Hipótesis 1

H0: No existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la profundidad (estrato).

Ha: Existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la profundidad (estrato).

Hipótesis 2

H0: No existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la ubicación (tiempo de confinamiento).

Ha: Existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la ubicación (tiempo de confinamiento).

Hipótesis 3

H0: No existe interacción (positiva o negativa), entre las variables estrato y tiempo de confinamiento.

Ha: Existe interacción (positiva o negativa), entre las variables estrato y tiempo de confinamiento.

VALIDACIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, no existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido a la profundidad (únicamente en el parámetro de temperatura).

No existe diferencia estadísticamente significativa en los parámetros físicos y químicos de los RSU, debido al tiempo de confinamiento (únicamente en los parámetros de temperatura, cenizas y sólidos volátiles).

No existe interacción (positiva o negativa), entre las variables estrato y tiempo de confinamiento.

13. LITERATURA COMPLEMENTARIA

Barlaz, M. A, Schaefer, D. K., Ham, R. K. 1989. Bacterial population development and Chemicals characteristics of refuse descomposition in a simulated sanitary landfill. *Applied and Environmental Microbiology*. 55 (1) 55-65Pp.

Carlson A. T. 2004. Generación y Disposición Final de los Residuos Sólidos Peligrosos en Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. UMSNH. Morelia Michoacán, México. 112Pp.

Gallardo, I. A. 2002. Poder Calorífico de los residuos sólidos. Análisis de los residuos sólidos. 139 Departamento de Tecnología. Universitat Jaume. 63-84Pp.

Hirata, T., Hanashima M., Matsufuji, Y., Yanase, R., and Maeno Y., (1995), "Construction of facilities on the closed landfills". Sardinia 95. Fifth International Landfill Symposium, (1995), Proceedings, volúmenes I, II y III, editorial CISA, Italia.

Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Recursos Naturales (INE y SEMARNAT) 2001. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. SEMARNAT. 97 Pp.

Israde, I.; Buenrostro, O; Carrillo, A. (2005) Geological Characterization and Environmental Implications of the Placement of the Morelia Dump, Michoacan, Central Mexico. *Waste Management and Research*. 55:123-134Pp.

Kiss, G. y Encarnación. G. 2006. Los productos y los impactos de la degradación de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica* 79:39-51Pp.

Kiss, G. y Mendoza. 1998. Generación de materias contaminantes en rellenos sanitarios de residuos sólidos municipales. *Ingeniería y Ciencias Ambientales* 38:6-9Pp.

Kumar, S; Mondal, A.N.; Gaikwad, S.A.; Devotta, S. y Singh, R.N. 2004. qualitative assessment of methane emission inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study. *Atmosphere Environmental*. 38: 4921-4929Pp.

Lay, J.J; Li, Y.Y y Noike, T. 1997. Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. *Pergamon*. 31(6) 1518-1524Pp.

Lethlean, J; Swarbrick G y Pantelis G. 1998. *Physicla and Biochemical Modelling of Landfill Degradation*. Fifth International Landfill Symposium. Italy.

Lobo García de Cortázar. A., Herrero L J; Montero F.O y Tejero M. I., 2002. Modelling for environmental assessment of municipal solid waste landfills (Part 1: Hydrology). *Waste Management & Research* 20: 198–210Pp.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) 2003 Título 3°. Capitulo único. Art. 20°. *Diario Oficial de la Federación*

Machado, S.L, Carvalho. M. F, Gourc. J.C y Vilar, O.M. 2008. Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. *Waste Management & Research* 29: 106-118Pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de Protección Ambiental para la Selección del Sitio, Diseño, Construcción, Operación, Monitoreo, Clausura y Obras Complementarias de un Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.

Sancho y Cervera, J. – Rosiles, G. 2005b. El Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en México. SEDESOL. Capítulo 3, Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. 24.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2006. Una propuesta para la gestión ambiental municipal de los residuos sólidos. El Sistema Integral de Gestión Ambiental Municipal (SIGAM)

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2007. Metodología para el desarrollo de un proyecto de biogás.

Tchobanoglous, G. Theisen, H. y Vigil, S. 1997. Gestión Integral de los Residuos Sólidos (Volumen I). McGraw-Hill. México. 88-103 Pp.

Wallace, R.B., Ulrich, C.M., (1995), "Closure of landfills: future land use". Sardinia 95. Fifth International Landfill Symposium S Margherita di Pula, Cagliari Italia, October.

Zule, J; Cernec, F; y Likon M. 2007. Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludges to be used for landfill covering. Waste Management & Research 25: 538–546Pp.

Referencias de Internet

Henriques, A. Sopeña, L. Propiedades Físicas De Los Residuos Sólidos Urbanos Del Vertedero De Valdemingómez. XXVII Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária e Ambiental. <http://www.acepesa.org/docu/Encuentro>

ANEXOS

Anexo 1

**FORMATO DE CLASIFICACIÓN PARA LA TOMA DE MUESTRAS DEL
ANTIGUO RELLENO DE TIERRA DE MORELIA, MICH.**

Número de Pozo _____

Coordenadas Geográficas _____

Fecha _____

Temperatura _____

No. de muestra	Temperatura (°C)	Profundidad (m)

OBSERVACIONES:

Anexo 2

**SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
NORMA MEXICANA**

NMX-AA-022-1985

**PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS
SÓLIDOS MUNICIPALES-SELECCION Y CUANTIFICACION DE
SUBPRODUCTOS**

*ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL POLLUTION-MUNICIPAL
SOLID RESIDUES-BY-PRODUCTS SELECTION AND QUANTIFICATION*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

En la formulación de la presente norma participaron los siguientes Organismos.

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.

Dirección general de Prevención y Control de la
Contaminación Ambiental.

- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

Comisión de Ecología

Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

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

2 REFERENCIAS.

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NOM-AA-091 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos

Sólidos-Terminología.

NOM-AA-015 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos

Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo.

NOM-B-231 Industria Siderúrgica-Cribas de laboratorio para Clasificación de Materiales Granulares-Especificaciones.

3 DEFINICIONES.

Para los efectos de esta Norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NOM-AA-091.

4 APARATOS Y EQUIPO.

- Báscula de piso con capacidad de 200 kg.
- Balanza granataria con capacidad para 20 kg y sensibilidad de 1 g.
- Criba M 2.00 según Norma Mexicana NOM-B-231.
- Mascarillas.
- Recogedores.
- Overoles.
- Escobas.
- Botas de hule.
- Guantes de carnaza.
- Treinta bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.80 m y calibre mínimo de 200.
- Papelería y varios.

El equipo antes descrito esta en función del número de participantes en la determinación que marca esta Norma; se requiere para ello, cuando menos de dos personas.

5 SELECCIÓN.

5.1 Obtención de la Muestra.

La muestra se extrae como se establece en la Norma Mexicana NOM-AA-015 y se toman como mínimo 50 kg, que procede de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas.

5.2 Procedimiento.

Con la muestra ya obtenida como se establece en 5.1, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Algodón.
- Cartón.
- Cuero.
- Residuo fino (todo material que pase la criba M 2.00).
- Envase de cartón encerado.
- Fibra dura vegetal (esclerenquima).
- Fibras sintéticas.
- Hueso.
- Hule.
- Lata.
- Loza y cerámica.
- Madera.
- Material de construcción.
- Material ferroso.
- Material no ferroso.
- Papel.
- Pañal desechable.
- Plástico rígido y de película.
- Poliuretano.
- Poliestireno expandido.
- Residuos alimenticios (Véase observaciones).
- Residuos de jardinería.
- Trapo.
- Vidrio de calor.
- Vidrio transparente.
- Otros.

6 CUANTIFICACION.

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la balanza granataria y se anota el resultado en la hoja de registro.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = \frac{G_1}{G} \times 100$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G= Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa 1 empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

7 REPORTE.

Los resultados se anotan, como se indica en la hoja de registro (véase apéndice).

8 OBSERVACIONES.

Los cambios en peso durante la determinación, se deben principalmente a la liberación o admisión de humedad.

Se recomienda efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo.

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

Anexo 3

Formato: NORMA DE CLASIFICACIÓN Variante de la NTRS-5 de SEDUE

Número de pozo

Número de muestra

Estrato

Fecha

Peso inicial

SUBPRODUCTO	PESO	SUBPRODUCTO	PESO
1. ALGODÓN		20.3. Laminado	
2. CARTÓN		21. PLÁSTICO RÍGIDO	
2.1 Empaque		21.1. Empaques	
2.2 No Empaque		21.1.1. PET (refrescos, agua)	
3. CUERO		21.1.2. Polietileno alta densidad	
4. RESIDUO FINO		21.1.3. PVC	
5. CARTÓN ENCERADO		21.1.4. Otros (garraiones)	
5.1 Empaque		21.2. No empaques	
5.1.1. Tetrapak		22. HULE ESPUMA	
5.1.2. Tetrabrick		23. HIELO SECO	
5.1.3. Otros (papel encerado)		23.1. Empaque	
5.2. No empaque		23.2. No empaque	
6. FIBRA DURA VEGETAL		24. POLIPROPILENO	
7. FIBRAS SINTÉTICAS		25. RESIDUOS ALIMENTICIOS	
7.1. Empaque		26. RESIDUOS DE JARDINERÍA	
7.2. No empaque		27. TRAPO	
8. HUESO		28. VIDRIO	
9. HULE		28.1. Vidrio color	
10. LOZA Y CERÁMICA		28.1.1. Empaque	
10.1. Empaque		28.1.2. No empaque	
10.2. No empaque		28.2. Vidrio transparente	
11. MADERA		28.2.1. Empaque	
11.1. Empaque		28.2.2. No empaque	
11.2. No empaque		29. PILAS ELÉCTRICAS	
12. MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN		30. OTROS	
13. LATAS (EMPAQUE)		30.1. Tierra	
13.1. Aluminio		30.2. Papel celofán	
13.2. Hojalata		30.3. Material eléctrico	
14. MATERIAL FERROSO		30.4. Colillas	
14.1. Empaque		30.5. Piedras	
14.2 No empaque		30.6. Plastilina	
15. MATERIAL NO FERROSO		30.7. Detergente	
15.1 Empaque		30.8. Vísceras	
15.2 No empaque		30.9. Papel Metálico	
16. PAPEL		30.10. Residuos Peligrosos	
16.1. Empaque		30.11. Zapatos	
16.2. No empaque		30.12. Cabello	
16.3. Papel Higiénico		30.13. Cera	
17. PAÑAL DESECHABLE		30.14. Pelo de animal	
17.1. Niño		30.15. Plumas	
17.2. Adulto		30.16. Paja	
18. Toalla femenina		30.2. Placenta	
19. Heces fecales		30.3. Filtro	
20. PLÁSTICO EN PELÍCULA		30.4. Escoba	
20.1. Bolsas de botana		Total	

Anexo 4

**SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
NORMA MEXICANA**

NMX-AA-052-1985

**PROTECCION AL AMBIENTE - CONTAMINACION DEL SUELO –RESIDUOS
SÓLIDOS MUNICIPALES - PREPARACION DE MUESTRAS EN EL
LABORATORIO PARA SU ANALISIS**

*ENVIRONMENTAL PROTECTION SOIL CONTAMINATION-MUNICIPAL SOLID
RESIDUES-PREPARATION OF SAMPLE IN LABORATORY FOR THEIR
ANALYSIS*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

En la elaboración de esta norma participaron los siguientes organismos:

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

- Dirección de General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

- Comisión de Ecología.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

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

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas:

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

NMX-AA-15 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Muestreo- Método de cuarteo.

NMX-AA-16 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales -Determinación de humedad.

3 DEFINICIONES

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

4 APARATOS Y EQUIPO

- Balanza granataria de 20kg con sensibilidad de 1 kg
- Guantes de carnaza.
- Brochas de 0.025 m de ancho.
- Pintura de esmalte color amarillo.
- Escobilla
- Mascarilla protectora
- Tijeras de jardinero
- Recogedores
- Pala de jardinero
- Lentes protectores
- Molino triturador
- Frascos de vidrio de color ámbar y cuello esmerilado de 2 L de capacidad.

5 PROCEDIMIENTO

Verificar si la muestra esta debidamente identificada, de no estarlo, se nota en el reporte del laboratorio.

A continuación se procede a vaciar la muestra de residuos sólidos, en una arrea limpia y seca del laboratorio; para que con unas tijeras de jardinero se desmenucen tales residuos, hasta un tamaño máximo de 5 cm.

Con una pala de jardinero se homogenizan los residuos sólidos y mediante el método de cuarteo, se obtiene una muestra representativa de 1kg, la cual se vierte dentro de un molino triturador para obtener un producto mas homogéneo y de un tamaño semejante a la arena gruesa. De dicho producto, se toma la cantidad necesaria para realizar inmediatamente la determinación de humedad, según la Norma Mexicana, NMX-AA-16. El resto del producto obtenido de la molienda, de 2 L de capacidad, los cuales se almacenan a 277 K (4°C), para realizar las demás determinaciones físicas, químicas y biológicas, en las siguientes ocho horas. (Véase el diagrama)

Anexo 5

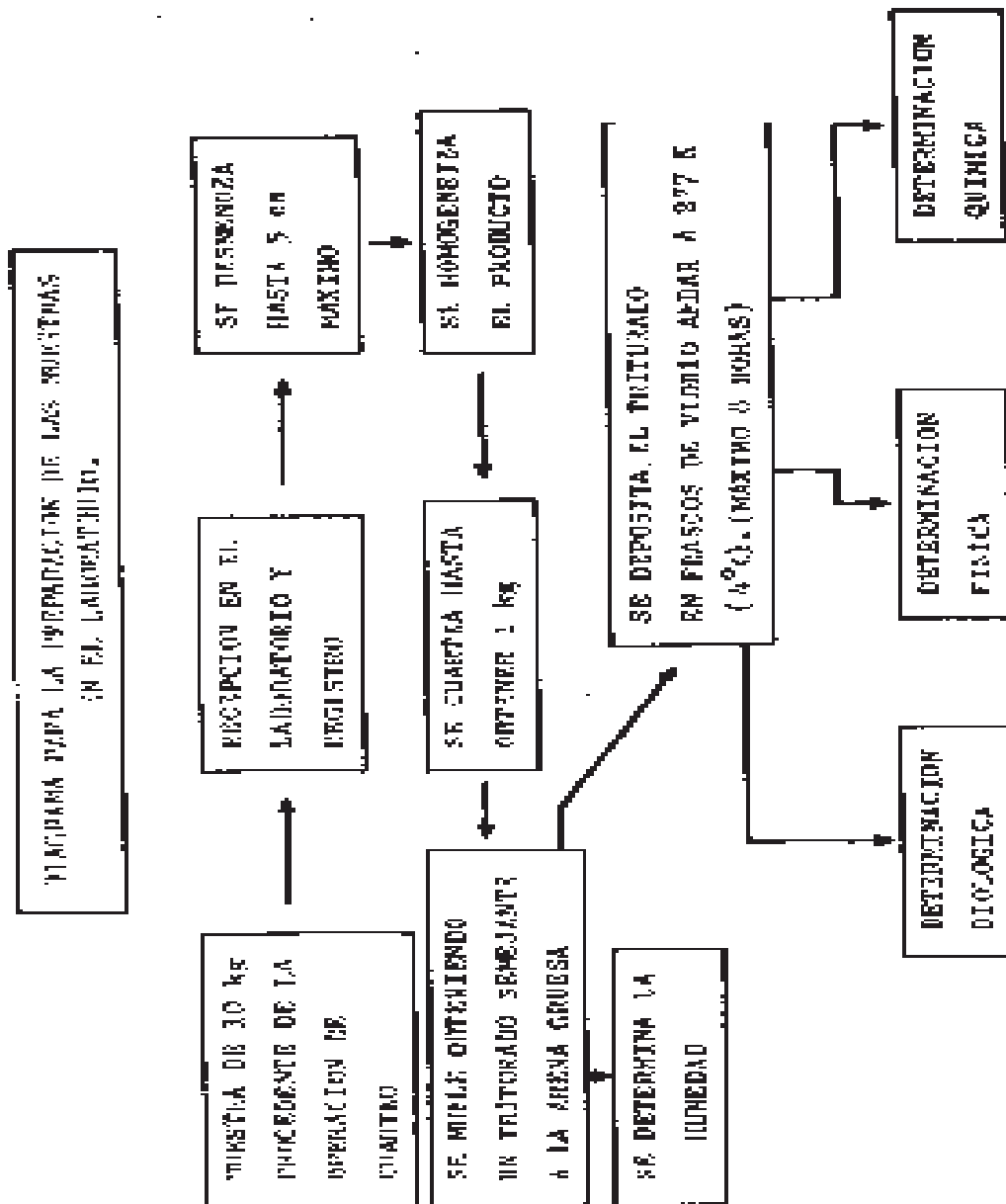
SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA MEXICANA

NMX-AA-25-1984

PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO RESIDUOS

SÓLIDOS-DETERMINACION DEL pH-METODO



POTENCIOMETRICO

ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL CONTAMINATION – SOLID RESIDUES-pH DETERMINATION-POTENTIOMETRIC METHOD

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

En la formulación de esta norma participaron los siguientes organismos.

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

-Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

-Dirección General de Estudios Prospectivos.

-Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

-Comisión de Ecología.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

La presente norma establece el método potenciométrico para la determinación del valor del pH en los residuos sólidos. El cual se basa en la actividad de los iones hidrógeno presentes en una solución acuosa de residuos sólidos al 10%.

2. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX -AA-091 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos-Terminología.

NMX -AA-052 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Preparación de Muestras en Laboratorio para su análisis.

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX -AA-091.

4. APARATOS Y EQUIPO

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g.
- 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 393 K (-10°C a 120°C).
- Equipo usual de laboratorio.

5. MATERIALES Y REACTIVOS

- Solución amortiguadora de pH = 4.0
- Solución amortiguadora de pH = 11.0
- Solución amortiguadora de pH = 7.0
- Agua destilada.

6. OBTENCION DE LA MUESTRA

De la muestra preparada como se establece en la Norma Mexicana NMX -AA-052 se toman 20 g para realizar la determinación por duplicado.

7. PROCEDIMIENTO

- Calibrar el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH=4, pH=7 y pH=11, según sea el tipo de residuo sólido por analizar.
- Pesar 10 g de muestra y transferirlos a un vaso de precipitado de 250 cm³
- Añadir 90 cm³ de agua destilada.
- Mezclar por medio del agitador durante 10 minutos
- Dejar reposar la solución durante 30 minutos.
- Determinar la temperatura de la solución. Sumergir los electrodos en la solución y hacer la medición de pH.

- Sacar los electrodos y lavar con agua destilada.
- Sumergir los electrodos en un vaso de precipitados con agua destilada.

Anexo 6

**SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
NORMA MEXICANA
NMX-AA-016-1984
PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL
SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION
DE HUMEDAD.**

*ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL POLLUTION-MUNICIPAL
SOLID RESIDUES-HUMIDITY DETERMINATION.*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

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

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- Comisión de Ecología

- Dirección General de Programación de Obras y Servicios

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

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

2. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-091. Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos sólidos - Terminología.

NMX-AA-052. Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales - Preparación de muestras en laboratorios para su análisis.

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma; las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-091.

4. OBTENCION DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según Norma Mexicana NMX-AA-052.

5. APARATOS Y EQUIPO

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- Espátula para balanza
- Estufa con temperatura 423K (150°C) con sensibilidad 1.5K (1.5°C) capaz de mantener una temperatura constante
- Cajas de aluminio con tapa de 250cm³
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Se coloca la caja abierta y su tapa en la estufa a 393K (120°C) durante dos horas, transcurrido ese tiempo, se tapa la caja dentro de la estufa, e

inmediatamente se pasa al desecador durante dos horas como mínimo o hasta obtener peso constante.

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

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

NOTA: Durante este procedimiento debe utilizarse pinzas.

7. CALCULOS

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

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

H = Humedad en %

G = Peso de la muestra humedad en g

G1 = Peso de la muestra seca en g

8. REPRODUCIBILIDAD

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

Anexo 7

**SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
NORMA MEXICANA**

NMX-AA-18-1984

**PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DE SUELORESIDUOS
SÓLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION DE
CENIZAS.**

*ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL POLLUTION-MUNICIPAL
SOLID RESIDUES-ASHES DETERMINATION*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

En la elaboración de esta norma participaron los siguientes organismos:

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

- Dirección de General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.
- Comisión de Ecología.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

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

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-052 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Preparación de Muestras en laboratorio para análisis.

NMX-AA-091 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Terminología.

3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-091

4 OBTENCION DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según la Norma Mexicana NMX-AA-052.

5 APARATOS Y EQUIPO

Equipo usual de laboratorio y:

- Balanza granataria con sensibilidad de 0.1 g
- Mufla
- Crisol de porcelana o platino de 50 cm³
- Desecador que contenga algún deshidratante adecuado con indicador de saturación.

4 OBTENCION DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según la Norma Mexicana NMX-AA-052.

5 APARATOS Y EQUIPO

Equipo usual de laboratorio y :

- Balanza granataria con sensibilidad de 0.1 g
- Mufla
- Crisol de porcelana o platino de 50 cm³

- Desecador que contenga algún deshidratante adecuado con indicador de saturación. 6 PROCEDIMIENTO

6.1 La muestra se seca hasta peso constante a 333 K (60°C) y se deja enfriar en el desecador.

6.2 Poner a peso constante el crisol a temperatura de 473 K (200°C) durante dos horas, se deja enfriar en el desecador y se pesa.

6.3 Transferir al crisol aproximadamente 20 g de la muestra seca (que se indica en 6.1) y se pesa con aproximación de 0.1 g

6.4 Calcinar en la mufla 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 queda expuesta a corrientes de aire.

7 CALCULOS

El porcentaje de cenizas en base seca se calcula con la siguiente fórmula.

$$C = \frac{G3 - G1}{G2 - G1} \times 100 \text{ en donde:}$$

C = Porcentaje de cenizas en base seca

G1 = Peso del crisol vacío en g

G2 = Peso del crisol más la muestra seca en g

G3 = Peso del crisol más la muestra calcinada en g

8 REPRODUCCION DE LA PRUEBA

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

Anexo 8
Subproductos encontrados por Estrato y Tiempo de Confinamiento
(Gramos Base Húmeda)

SUBPRODUCTO ENCONTRADO	5 AÑOS DE CONFINAMIENTO			10 AÑOS DE CONFINAMIENTO		
	ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3
	Peso en Gramos (gr)					
1 Cartón	278	78	271	195	531	535
2 Residuo Fino	9289	7516	11230	2378	5300	2765
3 Tetrapak	0	0	58	32	219	0
4 Hueso	0	21	0	3	10	2
5 Hule	0	1	0	0	1	22
6 Loza y cerámica	1	0	28	105	48	83
7 Madera	0	0	173	97	65	110
8 Material de Construcción	56	0	0	214	0	0
9 Aluminio	29	1	2	1	30	3
10 Hojalata	0	0	8	121	91	8
11 Material Ferroso	0	12	11	2	630	278
12 Papel	17	0	29	131	8	0
13 Papel higiénico	0	0	0	4	0	0
14 Pañal desechable	365	374	725	0	207	116
15 Toalla femenina	162	0	0	20	84	0
16 Heces fecales	0	0	0	0	5	0
17 Bolsa de botana	0	0	0	13	0	0
18 Bolsa de película	417	545	656	962	647	832
19 Bolsa laminada	0	0	0	0	8	0
20 Plástico rígido	288	146	393	576	399	409
21 PET	179	0	85	0	0	69
22 Hielo seco	54	58	34	16	23	95
23 Polipropileno	243	384	37	0	40	0
24 Residuos alimenticios	87	186	0	126	68	30
25 Residuos de jardinería	346	153	475	83	266	20
26 Trapo	89	113	494	501	105	250
27 Vidrio	48	718	127	131	145	409
28 Papel celofán	0	0	0	0	49	36
29 Pilas eléctricas	29	0	0	50	0	0
30 Material eléctrico	0	0	0	0	0	5
31 Colillas	0	0	0	5	4	0
32 Piedras	1304	1188	1050	364	863	652
33 Residuos peligrosos	5	38	0	2	5	0
34 Papel metálico	0	0	6	0	0	0
35 Zapatos	0	0	0	0	0	223
36 Cabello	0	0	0	4	1	0
37 Pelo de animal	0	0	0	6	2	0
Total	13934	11298	15076	6117	10109	7178