

# Capítulo No. 2

## INDICADORES Y PARÁMETROS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL

## INDICADORES Y PARÁMETROS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL.

Con el fin de contar con parámetros representativos de los residuos generados en el municipio de León Guanajuato, se realizó un estudio de acuerdo con la normatividad aplicable en la materia para conocer la generación per cápita, la composición física de los subproductos y el peso volumétrico “in-situ” de los residuos sólidos urbanos generados en casas-habitación.

Es importante mencionar que como parte del estudio de generación de residuos sólidos, se obtuvieron muestras representativas para determinar en el laboratorio, los siguientes parámetros:

- Composición Química: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno.
- Composición Física: Humedad, Materia Volátil y Cenizas.
- Poder Calorífico Superior.

Por otro lado, para el cálculo de la generación de residuos provenientes de otras fuentes, se identificó el número de unidades económicas establecidas en el municipio de León, correspondiente al sector industrial, comercial y de servicios, para determinar su generación, relacionando el No. de empleados registrados por el INEGI, con indicadores de generación de residuos por empleado; para después ubicarlos empleando un sistema de información geográfica, además de clasificarlos en las tres categorías que se enlistan a continuación, según los conceptos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, que precisa los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a un Plan de Manejo:

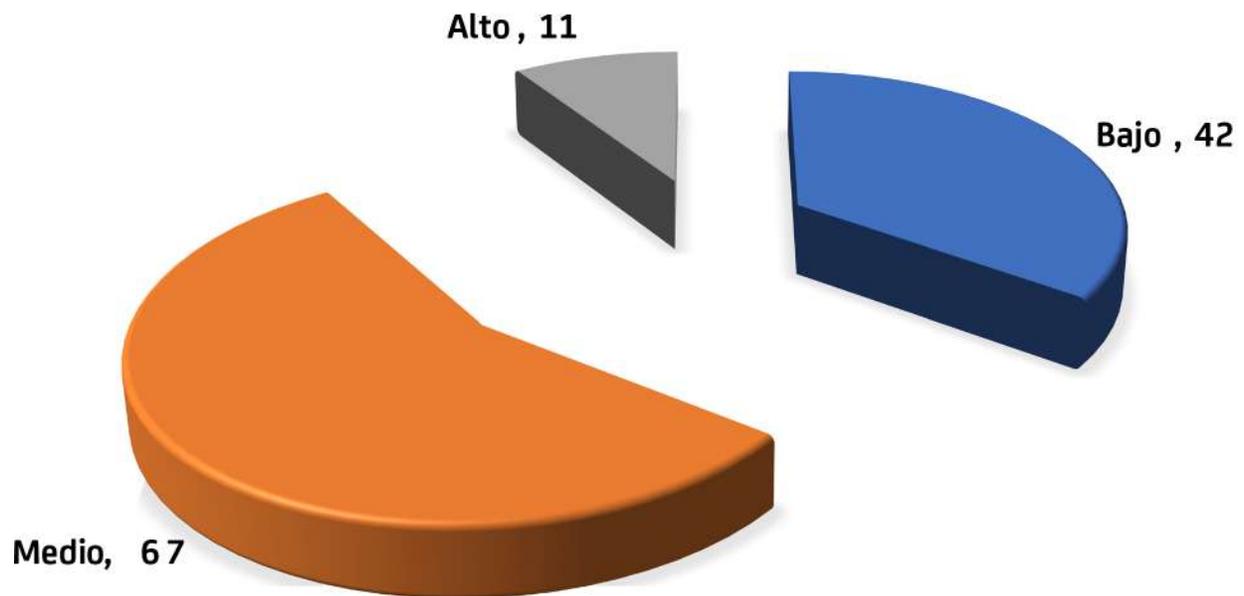
- Residuos Sólidos Urbanos generados en Instalaciones Comerciales y de Servicios.
- Residuos Sólidos Urbanos de instalaciones consideradas como Grandes Generadores, por lo que se asumen como residuos de manejo especial.

## CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS Y PARAMETRIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL.

### DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PROVENIENTES DE CASAS-HABITACIÓN.

Para la determinación de la generación de los residuos provenientes de casas-habitación se aplicó la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, considerando 120 hogares distribuidos en tres diferentes estratos socioeconómicos como se muestra a continuación.

#### NO. DE VIVIENDAS MUESTREADAS



## GENERACIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES DE OTRAS FUENTES.

Para determinar la generación tanto de los residuos sólidos urbanos como los residuos de manejo especial, generados en la industria, los comercios y el sector de los servicios en general; se consideró pertinente utilizar los inventarios y sistemas informativos que obran en poder del Instituto Nacional de Estadística y Geografía conocido como DENU. Con esta información fue posible identificar las 81,855 unidades económicas asentadas en el territorio del Municipio de León por tipo de actividad y personal ocupado, además de ubicarlas por región, localidad, manzana y frente de calle, cuya clasificación se muestra a continuación:

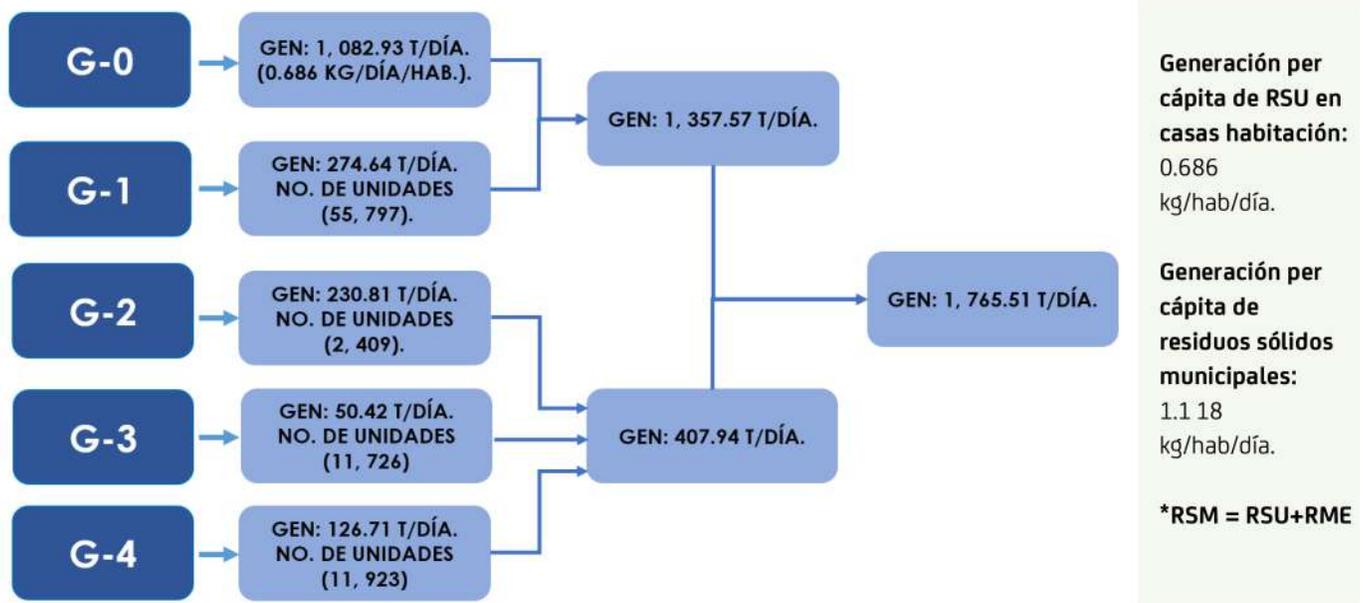
ACTIVIDAD ECONOMICA	No. DE ESTABLECIMIENTOS
(11) AGRICULTURA, CRIA Y EXPLOTACION DE ANIMALES, APROVECHAMIENTO FORESTAL, PESCA Y CAZA	4
(21) MINERIA	14
(22) GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA, SUMINISTRO DE AGUA Y GAS POR DUCTOS	43
(23) CONSTRUCCION	511
(31-33) INDUSTRIAS MANUFACTURERAS	0
(43) COMERCIO AL POR MAYOR	4165
(46) COMERCIO AL POR MENOR	32262
(48-49) TRANSPORTES, CORREOS Y ALMACENAMIENTO	0
(51) INFORMACION EN MEDIOS MASIVOS	249
(52) SERVICIOS FINANCIEROS Y DE SEGUROS	1391
(53) SERVICIOS INMOBILIARIOS Y DE ALQUILER DE BIENES MUEBLES E INTANGIBLES	1330
(54) SERVICIOS PROFESIONALES, CIENTIFICOS Y TECNICOS	1837
(55) CORPORATIVOS	6
(56) SERVICIOS DE APOYO A LOS NEGOCIOS Y MANEJO DE DESECHOS Y SERVICIOS DE REMEDIACION	1851
(61) SERVICIOS EDUCATIVOS	1705
(62) SERVICIOS DE SALUD Y DE ASISTENCIA SOCIAL	3227
(71) SERVICIOS DE ESPARCIMIENTO CULTURALES Y DEPORTIVOS, Y OTROS SERVICIOS RECREATIVOS	1069
(72) SERVICIOS DE ALOJAMIENTO TEMPORAL Y DE PREPARACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS	9325
(81) OTROS SERVICIOS EXCEPTO ACTIVIDADES GUBERNAMENTALES	10557
(93) ACTIVIDADES LEGISLATIVAS, GUBERNAMENTALES, DE IMPARTICION DE JUSTICIA Y DE ORGANISMOS INTERNACIONALES Y EXTRATERRITORIALES	453
<b>TOTAL</b>	<b>81,855</b>

Una vez que se aplicaron los indicadores per cápita de generación de residuos, por empleado y por actividad económica, a los 81,855 establecimientos indicados en el cuadro anterior; se obtuvo la generación diaria de residuos correspondiente, la cual se muestra a continuación:

ACTIVIDAD ECONOMICA	GENERACIÓN (t/día)	%
(11) AGRICULTURA, CRIA Y EXPLOTACION DE ANIMALES, APROVECHAMIENTO FORESTAL, PESCA Y CAZA	0.32	0.05
(21) MINERIA	0.32	0.05
(22) GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA, SUMINISTRO DE AGUA Y GAS POR DUCTOS	0.63	0.09
(23) CONSTRUCCION	9.58	1.40
(31-33) INDUSTRIAS MANUFACTURERAS	111.98	16.41
(43) COMERCIO AL POR MAYOR	17.53	2.57
(46) COMERCIO AL POR MENOR	92.76	13.59
(48-49) TRANSPORTES, CORREOS Y ALMACENAMIENTO	7.10	1.04
(51) INFORMACION EN MEDIOS MASIVOS	2.83	0.41
(52) SERVICIOS FINANCIEROS Y DE SEGUROS	9.10	1.33
(53) SERVICIOS INMOBILIARIOS Y DE ALQUILER DE BIENES MUEBLES E INTANGIBLES	6.94	1.02
(54) SERVICIOS PROFESIONALES, CIENTIFICOS Y TECNICOS	21.32	3.12
(55) CORPORATIVOS	0.32	0.05
(56) SERVICIOS DE APOYO A LOS NEGOCIOS Y MANEJO DE DESECHOS Y SERVICIOS DE REMEDIACION	17.14	2.51
(61) SERVICIOS EDUCATIVOS	167.69	24.57
(62) SERVICIOS DE SALUD Y DE ASISTENCIA SOCIAL	33.01	4.84
(71) SERVICIOS DE ESPARCIMIENTO CULTURALES Y DEPORTIVOS, Y OTROS SERVICIOS RECREATIVOS	31.82	4.66
(72) SERVICIOS DE ALOJAMIENTO TEMPORAL Y DE PREPARACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS	97.38	14.27
(81) OTROS SERVICIOS EXCEPTO ACTIVIDADES GUBERNAMENTALES	47.20	6.92
(93) ACTIVIDADES LEGISLATIVAS, GUBERNAMENTALES, DE IMPARTICION DE JUSTICIA Y DE ORGANISMOS INTERNACIONALES Y EXTRATERRITORIALES	7.59	1.11
<b>TOTAL</b>	<b>682.56</b>	<b>100</b>

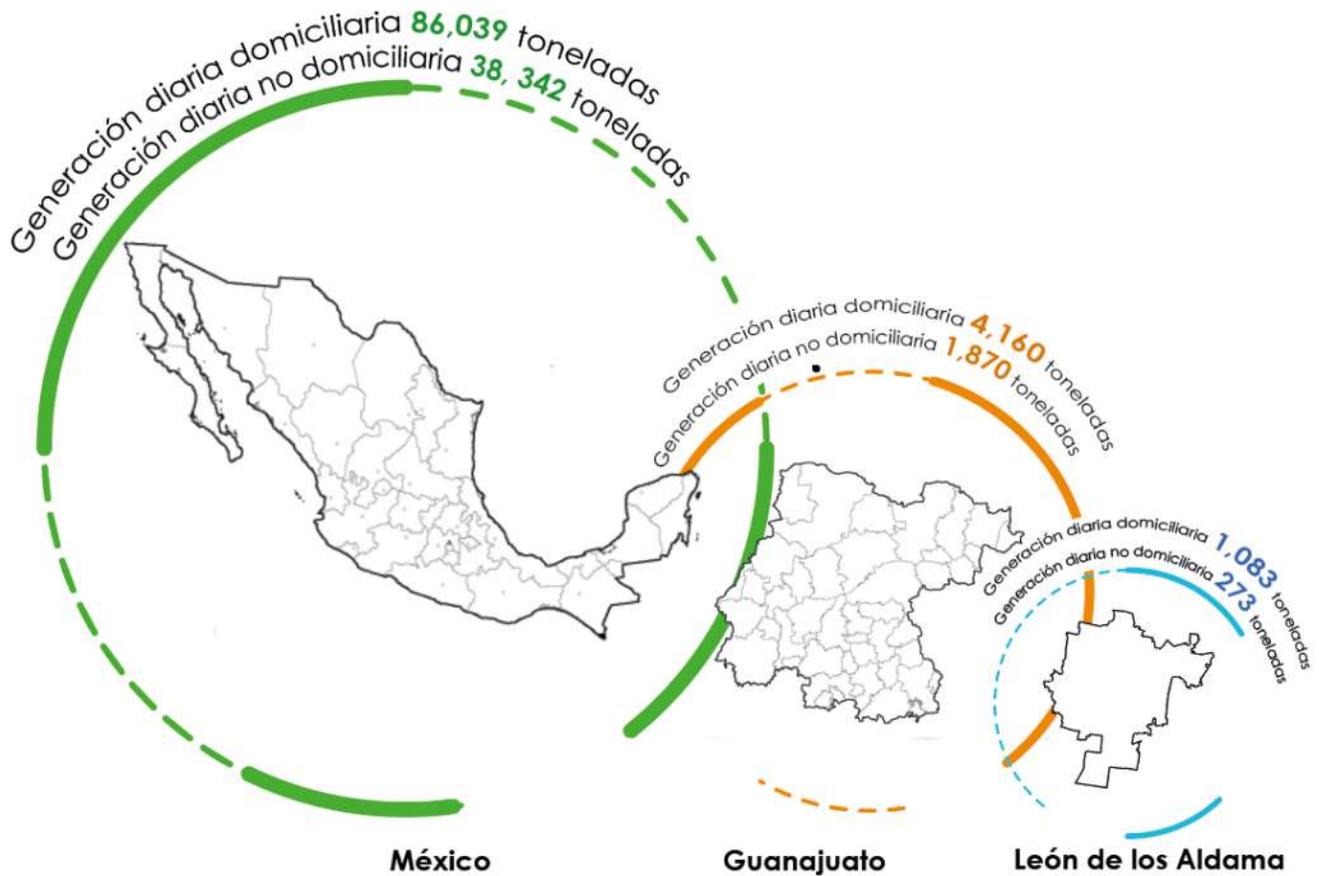
Ahora bien, empleando un sistema de información geográfica, los 81,855 establecimientos se localizaron por todo el municipio, la mayor parte se ubicaron sobre la mancha urbana y se agruparon en 4 categorías, según lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial.

Con los resultados obtenidos a partir del cálculo de los residuos sólidos urbanos provenientes de casas-habitación y con la cuantificación de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, generados por el sector industrial, comercial y de servicios en general; se desarrollaron los siguientes diagramas que muestran la generación de residuos por región y por diferentes categorías:



- G-0: Residuos sólidos urbanos de casas-habitación.
- G-1: Residuos sólidos urbanos de otras instalaciones.
- G-2: Residuos sólidos urbanos de grandes generadores (residuos de manejo especial).
- G-3: Residuos de manejo especial no sujetos a planes de manejo.
- G-4: Residuos de manejo especial sujetos a planes de manejo.

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.



Generación per cápita de rsu nacional	
Promedio de generación per cápita	kg/hab/día
De origen domiciliar	0.653
De origen no domiciliar	0.291
<b>Total</b>	<b>0.944</b>

Generación per cápita de rsu estatal	
Promedio de generación per cápita	kg/hab/día
De origen domiciliar	0.683
De origen no domiciliar	0.307
<b>Total</b>	<b>0.990</b>

Generación per cápita de rsu municipal	
Promedio de generación per cápita	kg/hab/día
De origen domiciliar	0.686
De origen no domiciliar	0.173
<b>Total</b>	<b>0.859</b>

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental. A partir del DBGIR, SEMARNAT (2019).

## COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LEÓN GUANAJUATO.

Como parte del estudio de generación de residuos sólidos urbanos provenientes de casas-habitación, diariamente se hizo la determinación de su composición física a partir de una muestra de 50 Kg., seleccionando y pesando cada uno de los subproductos identificados, tal como lo establecen las Normas Mexicanas NMX-AA-015-1985 y NMX-AA-022-1985. Posteriormente los más de 50 subproductos en que fueron clasificadas cada una de las 7 muestras diarias obtenidas en el estudio de generación, se agruparon en 4 grandes corrientes (Residuos orgánicos, inorgánicos combustibles, inorgánicos reciclables y residuos descartables), como se muestra en los siguientes gráficos.

Al respecto es importante mencionar que, los subproductos inorgánicos sin valor comercial fueron los menos abundantes, mientras que los residuos orgánicos fueron los más abundantes (con más del 60% en todos los casos).

Por otro lado, en el cuadro siguiente se reportan los porcentajes de los principales plásticos que fueron identificados dentro de la mezcla de materiales. Cabe resaltar que el porcentaje de popotes representa el 0.04 por ciento.

PRINCIPALES PLÁSTICOS	%
POLIETILENO ALTA DENSIDAD (PEAD)	2.64
POLIETILENO BAJA DENSIDAD (PEBD)	1.95
TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)	1.90
POLIPROPILENO (PP)	1.22
POLIESTIRENO (PS)	0.85
OTROS (POPOTES, POLIESTIRENO EXPANDIDO, ETC.)	0.76
POLICLORURO DE VINILO (PVC)	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>9.32</b>

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

Así mismo en el cuadro siguiente se reportan los porcentajes de los principales subproductos que fueron identificados dentro de la mezcla de materiales denominada “basura”, agrupados en función de 4 categorías que fueron establecidas en función de la su vocación o posibilidad de aprovechamiento.

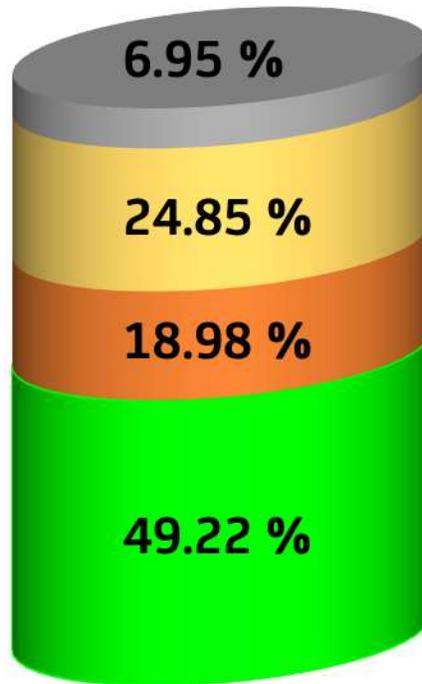
PRINCIPALES SUBPRODUCTOS	%
RESIDUOS ORGÁNICOS	39.94
PAÑAL DES., TOALLAS SANITARIAS Y OTROS	9.78
RESIDUOS ALIMENTICIOS	9.02
RESIDUO FINO	6.35
SANITARIO	6.27
TEXTILES	3.21
POLIETILENO ALTA DENSIDAD	2.64
CARTON	2.61
POLIETILENO BAJA DENSIDAD	1.95
VIDRIO TRANSPARENTE	1.93
PET	1.90
FIBRAS SINTETICAS	1.64
MADERA	1.45
POLIPROPILENO	1.22
HUESO	1.17
VIDRIO DE COLOR	1.03
OTROS RESIDUOS	7.87
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

Lo antes descrito, reitera la importancia de promover la segregación de los residuos en los sitios donde son generados, ya que con esta práctica sería posible generar ingresos económicos para sustentar financieramente los servicios de aseo urbano del municipio de León, así como acceder a los beneficios asociados de carácter ambiental, al evitar confinar residuos que no solo no se van a degradar en los rellenos sanitarios, sino que pueden promover la contaminación ambiental.

En el gráfico siguiente, se presenta la distribución de los porcentajes de cada una de las 4 categorías en que fueron agrupados los subproductos presentes en la basura, identificados con el estudio mencionado anteriormente.

### Composición de los RSU de León



Orgánico



Inorgánicos  
combustibles



Reciclable



Descartable

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

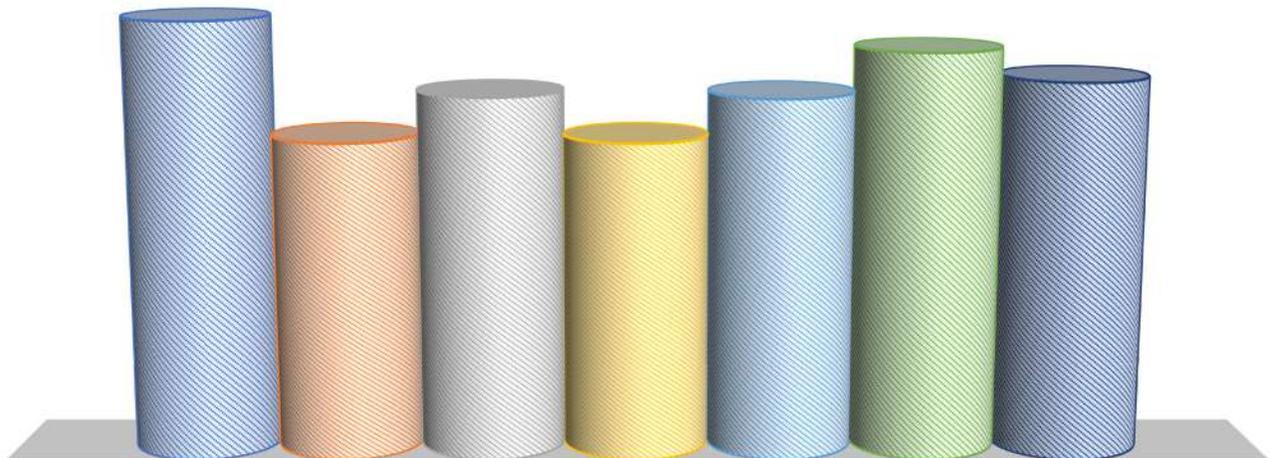
## PEÑO VOLUMÉTRICO “IN-SITU” DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LEÓN GUANAJUATO.

También como parte del estudio de generación de residuos sólidos urbanos provenientes de casas-habitación, se hizo la determinación diaria del peso volumétrico “in-situ”, a partir de los residuos que fueron segregados de las muestras de 50 Kg utilizadas para la determinación de la composición física.

Para ello se aplicó la Norma Mexicana NMX-AA-19-1985, obteniéndose una gama de valores que van de los 220 Kg/m<sup>3</sup> a 302 Kg/m<sup>3</sup>, valor este último muy alto, lo cual se debe sin duda al elevado porcentaje registrado de materiales orgánicos presentes en los residuos que se generan en dicho municipio, los cuales integran la fracción que retiene la mayor parte de la humedad presente en la basura, además se debe de tomar en cuenta que, en los días de la realización del muestreo se registraron precipitaciones pluviales, aunado a que la población dejaba los residuos a la intemperie, ocasionando que tuvieran un exceso de humedad.

### PEÑO VOLUMETRICO “IN SITU” (EN KG/M<sup>3</sup>)

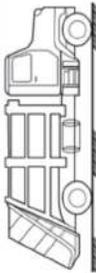
■ Día 1 ■ Día 2 ■ Día 3 ■ Día 4 ■ Día 5 ■ Día 6 ■ Día 7



Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

Como complemento a estos indicadores, a continuación, también se reportan los valores promedio del peso volumétrico de los residuos, que se registran en otros segmentos de su manejo.

**PESO VOLUMÉTRICO DE LOS RESIDUOS EN DIFERENTES SEGMENTOS DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS.**

<p>EN EL SITIO DONDE SE GENERA.</p>		<p>Peso volumétrico promedio en León. 250.00 kg/m<sup>3</sup>.</p>	<p>EN VEHÍCULOS RECOLECTORES.</p>			
		<p>Compactor de carga trasera, peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>). 400-450.</p>	<p>Tiradero a cielo abierto.</p>			
		<p>Compactor de carga lateral, peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>). 300-400.</p>	<p>Vertederos controlados.</p>			
		<p>Mini compactador de carga lateral, peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>). 300-350.</p>	<p>Rellenos sanitarios.</p>			
		<p>Contenedores y Góndolas, peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>). 200-350.</p>	<p>Vertederos controlados.</p>			
		<p>Camión de rellitas, peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>). 200-250.</p>	<p>Rellenos sanitarios.</p>			
		<p>Camión de volteo, peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>). 250-300.</p>	<p>Rellenos sanitarios.</p>			
		<p>Remolques de todo tipo peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>). 150-200.</p>	<p>Rellenos sanitarios.</p>			
<p>EN SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL.</p>		<p>PESO VOL. (kg/m<sup>3</sup>) 250-300.</p>		<p>PESO VOL. (kg/m<sup>3</sup>) 300 A 500.</p>		<p>PESO VOL. (kg/m<sup>3</sup>) 650 A 750.</p>

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

## CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LEÓN GUANAJUATO.

Los parámetros que determinan la caracterización física de los residuos sólidos, son la humedad, la materia volátil y las cenizas. Los valores de estos parámetros en porcentaje, y sirven para determinar la biodegradabilidad o combustibilidad de los residuos. Para conocer estos parámetros, se realizó un muestreo con los residuos provenientes de tales estudios, con el fin de determinar en laboratorio la caracterización mencionada. Para ello se tomaron dos muestras de residuos y una exclusivamente de material orgánico.

Es importante precisar que, evaluando la información reportada por el laboratorio, se puede citar que con respecto a la humedad (H), los porcentajes variaron de 40.05% a 60.28%. Esta variación está íntimamente ligada con el porcentaje de la materia orgánica (MO), por lo que indirectamente indica la mayor o menor presencia de los materiales orgánicos, que son los que mayormente retienen humedad; es decir, un elevado porcentaje de MO, implica también una cantidad elevada de la H y viceversa. La variación de la MO fue de 77.49% para la muestra ML-01 y 68.835% en la muestra ML-02.

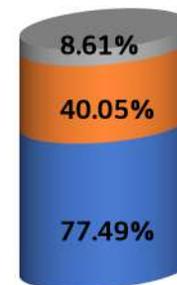
Por lo anterior, considerando los valores promedio de la caracterización de los residuos sólidos, se puede concluir que prácticamente en todas las muestras, la presencia de la materia orgánica sigue siendo un atributo de suma importancia que conlleva elevados porcentajes de humedad; contexto que le otorga una vocación natural a los residuos evaluados, para ser manejados a través de procesos de biodegradación aerobios (composteo) y anaerobios (rellenos sanitarios); siempre que se busque reducir la fracción de materiales inorgánicos mediante la segregación y el aprovechamiento de subproductos con alto valor comercial (PET, cartón, papel, etc.), además de modernizar y mejorar las prácticas de operación y funcionamiento en los rellenos sanitarios, con el fin de convertirlos en biorrellenos acelerados de alta sustentabilidad.

Como corolario de lo antes expuesto, se puede decir que, si la materia orgánica es elevada, también lo es la humedad, por lo que la combustibilidad de los residuos es cuestionable, mientras que, si la humedad es baja, la materia orgánica se reduce y las cenizas se incrementan, lo cual implica una mayor combustibilidad en los residuos.

Es por ello que la aplicación de procesos sustentados en la combustibilidad de los residuos, es prácticamente imposible, a menos que los residuos sean segregados previamente, para eliminar la fracción orgánica y la corriente de residuos inorgánicos con alto valor comercial; lo cual redundará en un incremento sustancial de la combustibilidad del material remanente y la posible viabilidad de la aplicación de la incineración y otros procesos semejantes.

A continuación, se presentan los resultados reportados por el laboratorio, correspondientes a la caracterización física de los residuos sólidos generados en la ciudad de León.

MUESTRA ML-01



■ MATERIA ORGÁNICA ■ HUMEDAD ■ CENIZA

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.\*

\*Nota: Los resultados están en base seca. La muestra presenta alto contenido de plásticos

MUESTRA ML-02



■ MATERIA ORGÁNICA ■ HUMEDAD ■ CENIZA

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.\*

\*Nota: Los resultados están en base seca. La muestra presenta alto contenido de plásticos

### CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LEÓN GUANAJUATO.

Los parámetros que definen la caracterización química de los residuos sólidos, son los porcentajes del carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N), que representan la fracción orgánica presente en dichos residuos. Para conocer estos parámetros, se realizó un muestreo con los residuos provenientes del estudio de generación. Para ello se tomaron dos muestras de residuos y una exclusivamente de material orgánico.

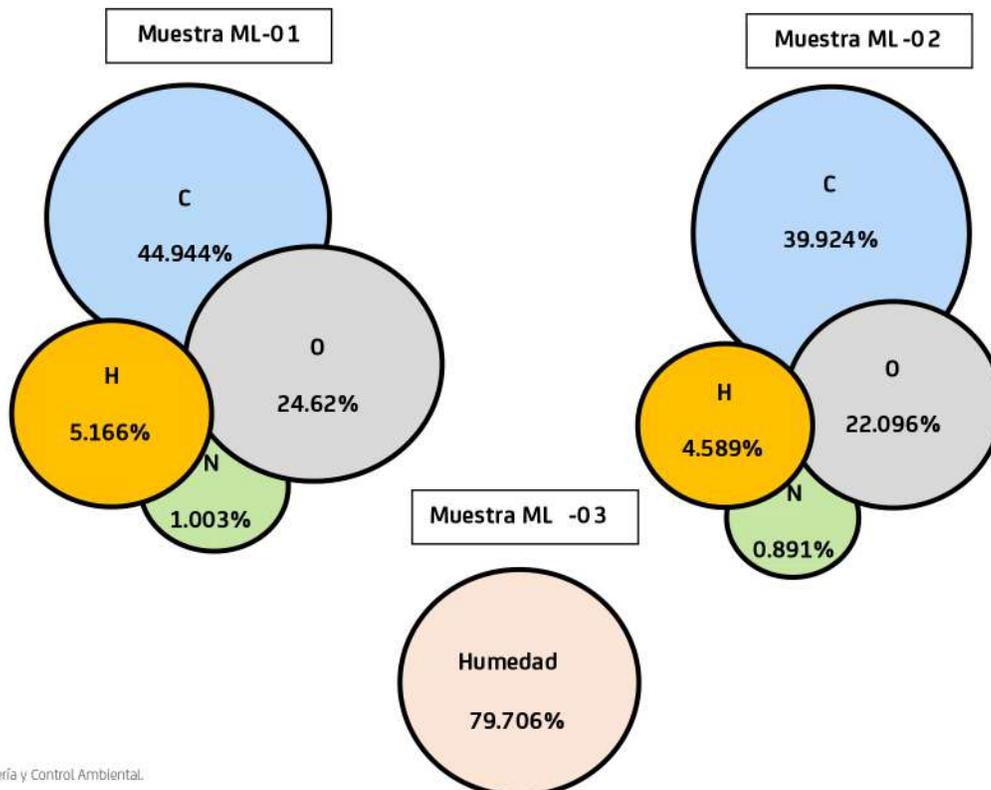
El Reporte de los resultados de los parámetros que integran la caracterización química de los residuos sólidos provenientes de las muestras analizadas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma Metropolitana Campus Azcapotzalco, indica que en todos los casos el elemento de mayor cuantía es el carbono, lo cual se debe al elevado porcentaje de materia orgánica presente en todas las muestras de residuos, como quedó demostrado con los resultados de la caracterización física de las mismas muestras.

De lo anterior, es posible concluir que prácticamente todos los residuos sólidos urbanos generados en el municipio de León, podrían ser manejados con la tecnología del relleno sanitario, sobre todo si se aplican los conceptos del bio-relleno o reactor acelerado; infraestructura que permitirá promover la estabilización de los residuos al interior de las celdas de basura, dando por resultado un notable incremento en las tasas de producción de biogás, estimándose que se pueden producir hasta 300 m<sup>3</sup> de biogás, por cada tonelada de basura.

Así mismo, el alto contenido de carbono en los residuos sólidos, permitirá la aplicación de tecnologías para promover la producción de composta; siempre que sean eliminados de su composición los materiales inorgánicos como plásticos, vidrios y metales; con el fin de evitar que puedan contener metales pesados y materiales que impidan o no favorezcan su aprovechamiento.

Una vez hechas las aclaraciones anteriores, en las siguientes imágenes se presentan los resultados reportados por el laboratorio.

Porcentaje de C, H, O, N y de humedad de las muestras ML-1, ML-2 y ML-3, respectivamente.



Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

## PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LEÓN GUANAJUATO.

Para complementar los análisis de laboratorio realizados para determinar la caracterización física y química de los residuos muestreados, se determinó el Poder Calorífico Superior de la muestra obtenida para tal fin, en un laboratorio particular especializado en este tipo de análisis, ya que no es una determinación rutinaria que pueda realizarse en cualquier laboratorio ambiental. Es importante señalar que este análisis, se hizo una vez que a la muestra se le eliminó totalmente la humedad con la que se recibió.

A partir de este valor, se determinó el Poder Calorífico Inferior, utilizando expresiones algebraicas comunes para tal fin. Al respecto, parecería que los residuos muestreados tienen la combustibilidad suficiente para aplicar exitosamente tecnologías como la incineración, la pirolisis y la gasificación (tecnologías combustibles); puesto que para recuperar energía y procesar la basura sin combustible auxiliar, se requiere tener un Poder Calorífico Inferior de al menos 1,500 Kcal/kg. Sin embargo, no debemos perder de vista que este valor se obtuvo con residuos secos; es decir, previamente fueron deshidratados utilizando una fuente energética, de tal suerte que, en términos reales, si quisiéramos manejar los valores del Poder Calorífico Inferior reportados, tendríamos que secar previamente la basura utilizando combustible auxiliar, lo cual incrementaría los costos del proceso cancelando su viabilidad y rentabilidad económica y financiera.

Para complementar este análisis, se determinó el Poder Calorífico Superior Teórico, a partir de la composición física de los residuos sólidos muestreados, asignándoles un poder calorífico superior de 4,000 Kcal/Kg al papel, cartón, trapo, residuos de jardinería y restos de alimentos; así como un poder calorífico de 9,000 Kcal/kg, a materiales tales como los plásticos, el hule, el cuero, etc. Es importante señalar que la condición del poder calorífico según este análisis, considera que los residuos no se hayan deshidratado.



Poder calorífico de la muestra.

MUESTRA	UNIDAD	RESULTADO
ML-01	CAL/GR	5151.0+-98.90
ML-02	CAL/GR	4920.0+-94.46
ML-03	CAL/GR	4049.0+-77.74

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.