

Analisis de generaci3n y composici3n de los Residuos S3lidos Urbanos en la ciudad de Motul, Yucat3n

RESUMEN: Los cambios en los h3bitos de consumo, los avances tecnol3gicos y el aumento de la poblaci3n, han ocasionado incremento en la generaci3n de los residuos s3lidos urbanos (RSU). La disposici3n a cielo abierto o en rellenos sanitarios de los RSU pueden causar efectos adversos al ambiente y salud de la poblaci3n; adem3s, las emisiones de gases de bi3xido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) originado por la descomposici3n de la materia org3nica incrementan el efecto de invernadero y calentamiento global. El prop3sito de este trabajo fue identificar las zonas en donde existe una mayor generaci3n de RSU y los diferentes elementos que lo componen; para alcanzar los resultados se realizaron muestreos al azar; en la determinaci3n del tama1o de las muestras se tom3 como universo las casas habitaci3n que se encuentran en la ciudad de Motul. Se encontr3 que el pl3stico y el papel integran la mayor proporci3n de los residuos s3lidos; el 50% de los encuestados genera de 1- 2 kg y el 36% de 3 - 4 kg. La materia org3nica que componen los RSU es de 48% y la cantidad residuos que se generan por habitante es de 0.7 kg/hab/dia. Hay una proporci3n (m3s del 50%) de la poblaci3n que est3 insatisfecha con el servicio de recolecci3n de residuos; por consiguiente, el servicio debe ser m3s eficiente y en horarios establecidos para facilitar la recolecta de los desechos; adem3s, los resultados obtenidos se utilizar3n para proponer proyectos y profundizar m3s el 3rea de estudio.

PALABRAS CLAVE: habitantes, residuos s3lidos, materia org3nica, generaci3n, relleno sanitario



Colaboraci3n

Fernando Canul Bacab; Jos3 Antonio Alonzo Pacheco; Pedro Ezequiel May Hoil; Claudia Guadalupe Dzib Pool, Tecnol3gico Nacional de M3xico / Instituto Tecnol3gico Superior de Motul

Fecha de recepci3n: 04 de mayo de 2024

Fecha de aceptaci3n: 10 de diciembre de 2024

ABSTRACT. With the increase in population, the generation of solid waste (RSU) has increased, becoming an important issue for developing countries caused by changes in living standards and technological advances. Poor disposal of RSU causes adverse effects on the environment and the health of the population, especially when disposed of in open air or near populated areas; In addition, the emissions of carbon dioxide and methane gases caused by the decomposition of organic matter increase the greenhouse effect and global warming. To achieve results, the sources of generation were identified. A survey was applied taking as universe the households located in the city of Motul. From the results obtained, it was found that plastic and paper make up the largest proportion of solid waste. 50% of those surveyed generate 1-2 kg, 36% generate 3-4 kg, the organic matter that makes up RSU is 48%, and the amount of waste generated per capita is 0.7 kg/capita/day. There is a proportion (more than 50%) of the population that is dissatisfied with the waste collection service; therefore, the collection service must be more efficient and at established times to facilitate the collection of waste; in addition, the results obtained can be used to propose projects and further deepen the study area.

KEYWORDS: inhabitants, solid waste, organic matter, generation, landfill.

INTRODUCCI3N

La mala disposici3n de los RSU causa efectos adversos al ambiente y la salud de la poblaci3n, sobre todo cuando se disponen a cielo abierto o en rellenos sanitarios cercanas en zonas pobladas [1]; adem3s, el CH₄ y el CO₂ generado por la descomposici3n de la materia org3nica contribuye al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero y al calentamiento global [2]; adem3s, en un futuro cercano, la disposici3n final de los RSU en rellenos sanitarios podr3a no ser un m3todo efectivo debido el incremento en la generaci3n y la escasez de terreno; las pr3cticas de reducci3n y reciclaje de los RSU son elementos

importantes en las estrategias de la gestión de forma global [3]; por tal motivo, deben ir acompañadas de programas de concientización a los ciudadanos para fomentar la reducción y el reciclaje; por consiguiente, es necesario promover el consumo responsable por parte de la población para disminuir su generación. El conocimiento de la composición de los RSU es fundamental para planificar estrategias para el manejo; sin embargo, es complejo obtener datos confiables y consistentes, es común encontrar reportes oficiales de la composición y generación de RSU [4]; sin embargo, es difícil determinar qué tan precisos son estos datos que proceden de promedios nacionales e incluyen áreas rurales, urbanas y distintos estratos socio económicos.

En México, el manejo de los RSU se ha enfocado a la recolección y disposición final en tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios, con diferencias en capacidad técnica y financiera, entre municipios y Estados; hay 95 rellenos sanitarios en el país; de estos, sólo 13 cumplen parcialmente la norma ambiental [5]. Diversos especialistas han mencionado que se debe de acabar con estos métodos de disposición final (tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios), no solo por sus altos costos de operación sino porque causan daño permanente e irreversible a los suelos; por lo tanto, es importante que las autoridades analicen y comprendan la relación entre las medidas de las políticas públicas y el comportamiento en las prácticas de reciclaje [6].

En el entorno de recolección y transporte de los RSU influyen variables como son la separación, selección de los elementos reutilizables y la parte biodegradable; al respecto, las autoridades municipales deben desarrollar programas efectivos de recolección para la eliminación eficaz; todo esto con la finalidad de reducir los costos altos ocasionado por el consumo de combustible durante el transporte y colecta; por lo tanto, existe oportunidad de mejorar este aspecto y hacerlo rentable; en México el transporte de los RSU operan bajo el esquema básico de retiro de residuos [7]; es decir, recolectarlos y transportarlos al sitio de disposición sin ningún tratamiento previo.

La separación de los elementos que integran los RSU consiste en seleccionar materiales valiosos (cartón, papel, plástico, aluminio); por tal motivo, la recolección y transferencia de RSU debe realizarse con la frecuencia determinada para evitar la acumulación de desechos, minimizando los riesgos para el ambiente y la salud pública; además, debe de utilizarse vehículos diseñados para esa actividad, elegidos de acuerdo a la cantidad y tipo de elementos que componen los RSU [8].

El proceso de recolección y transporte ineficientes de RSU afectan a las empresas de gestión al incrementar los costos operativos y reduce sus ganancias [9]; por tal motivo, la optimización de costos es esencial para lograr una gestión sostenible de los desechos sólidos

en las economías en desarrollo; por consiguiente, es necesario que la recolección de RSU sea eficiente y eficaz mediante el análisis del sistema y optimización de las operaciones; aunado a esto, existe carencia de infraestructura para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los RSU, así como la correcta planeación y manejo de los RSU; además, los recursos financieros insuficientes, la falta de experiencia técnica y la actitud pública han hecho que la situación sea desesperante debido a que los problemas relacionados con el ambiente y la salud están aumentando , [10].

Ante este contexto, es necesario determinar y conocer las características de los diferentes elementos que componen los RSU con la finalidad de plantear estrategias que apoyen la gestión y la toma de decisiones; además, involucrar a las empresas interesadas en el proceso de recolección de RSU; por lo anterior, el interés debe de centrarse y desarrollar herramientas que vinculen aspectos económicos y ambientales en los diferentes procesos, como son el transporte, el reciclado, la reutilización y la disposición final de los diferentes componentes que integran los RSU; por tal motivo, la finalidad de este trabajos es realizar un diagnóstico de la generación de RSU, identificando los elementos que lo integran, áreas de mayor generación y el número de recorridos necesarios; además, generar información que sirva de apoyo a la gestión y toma de decisiones a las personas involucradas.

MATERIALES Y METODOS

Selección del área de estudio

Este trabajo se realizó en la ciudad de Motul, Yucatán, México; se encuentra ubicada en la parte centro-norte del Estado de Yucatán Figura 1, siendo la agricultura la principal actividad económica; además, se encuentran empresas y microempresas como son tiendas de abarrotes, talleres de costura, hoteles y unidades de servicio.



Figura. 1. Mapa de la ciudad de Motul.
Fuente. www.google.com.

La ciudad de Motul no cuenta con un programa de recolección de residuos; por consiguiente, las empresas que prestan este servicio no cubren la totalidad de las casas habitación; los RSU son recolectados y desechados sin ningún tipo de clasificación de sus componentes, además, la información de la problemática de los RSU que se tiene es escasa. Se desconoce la cantidad porcentual de los elementos que integran los residuos que generan; por lo tanto, no se sabe su verdadero valor económico, así como el destino final que deben de tener; además, se ha observado que existen habitantes que aun queman los RSU en sus patios y en ocasiones son llevados a la orilla de la carretera propiciando la creación de basureros clandestinos, lo que representa un peligro potencial para la salud de las personas.

Para la recolección de la información se diseñó una encuesta (no mostrado) y fue aplicado a los habitantes de las casas habitación; se señala que, previamente a la aplicación de la encuesta fue valorada aplicándola a 40 viviendas como prueba piloto, se realizó con la finalidad de verificar la comprensión de las preguntas a aplicar; además, se obtuvo información que sirvió para alcanzar las metas planteadas.

Determinación del tamaño de muestra

Los RSU son materiales heterogéneos, sus tasas de generación y composición varían de lugar y de un periodo estacional a otro [11]; para estimar con mayor precisión las cantidades generadas fue necesario llevar a cabo un muestreo.

Para realizar el estudio, fue necesario estimar la cantidad el total de viviendas de la ciudad de Motul, el conteo de viviendas se realizó con la ayuda del google maps y fueron numeradas para su identificación. Los criterios para determinar el número de elementos de la muestra se basaron en el análisis de las características de la población y densidad de las viviendas en las diferentes zonas establecidas; además, no se consideró niveles socioeconómicos. Para la determinación del tamaño de muestra se tomó como referencia a Salgado-López-[12], y se utilizó la ecuación 1.

$$n = \frac{NZ^2_{\alpha/2}pq}{Nd^2 + Z^2_{\alpha/2}pq} \quad \text{Ec (1)}$$

Esta ecuación corresponde al modelo de muestreo simple aleatorio donde;

N= Tamaño de la población

n= Tamaño de la muestra

p= Probabilidad de éxito

q= Probabilidad de fracaso

Z= Cuartil $\alpha/2$ de la distribución normal estándar con 95 % de confiabilidad.

Los valores de q y p fueron tomados de una encuesta aplicada a un sector de la ciudad de Motul obteniéndose los siguiente (Tabla 1): se utilizó un porcentaje de confiabilidad (Z) de 95%, valores de q de 0.28 el cual

representó la probabilidad de viviendas en la que no se recoge los residuos y p de 0.72 representó la probabilidad de viviendas en la que se recogen los residuos.

Tabla 1. Resultados de la encuesta proporcionada por el H. Ayuntamiento de la ciudad de Motul,

Descripción	Porcentaje
Casas habitación que utilizan el sistema de transporte de basura.	72
Casas habitación que no utilizan el sistema de transporte de basura.	28
Total	100

Selección de los puntos de muestreo

Para facilitar el muestreo y por las características de la distribución de la población, la ciudad de Motul fue dividida en 4 zonas (Figura 2)



Figura 2. Mapa de la ciudad de Motul, con las zonas numeradas.

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los elementos de la muestra se tomó como referencia a Addo, et al.-[13], para el cálculo del número de viviendas requerido de cada zona, se aplicó el procedimiento de muestreo aleatorio simple y la ecuación 1; este procedimiento se realizó al azar.

Recolección de los residuos

Para la realización del muestreo se tomó como referencia la normas mexicana[14]. Las casas habitación seleccionadas para el trabajo fueron visitadas previamente; además, se les invitó a participar en la investigación; a estas viviendas se les proporcionó bolsas de nylon para el almacenaje de los RSU.

La toma de muestras se realizó en cada vivienda seleccionada determinando la cantidad de RSU y el número de habitantes que viven en ese hogar.

Cuantificación de los RSU

La determinación de la cantidad de los RSU y el número de muestreos se realizó tomando como referencia la norma NMX-AA-61-1985 [15]; sin embargo, debido a la cantidad de residuos que se recogió no se requirió de la realización del cuarteo tal como lo indica la norma NMX-AA-15-1985 [14]. Para el pesado de las bolsas con RSU se utilizó una balanza granataria marca Ohaus con una sensibilidad de 0.1 g a 10 kg y para el cálculo de la generación de los RSU por habitantes se utilizó la ecuación 2:

Una vez registrado el peso de los RSU de cada vivienda, el resultado se obtuvo al dividir el peso total de los residuos entre el número de habitantes de la vivienda y se expresó en kg/hab/día, ecuación 2.

$$\text{Generación de RSU} = \frac{\text{Kg de RSU por vivienda}}{\text{Número de habitante por vivienda}} \quad \text{Ec (2)}$$

Después de pesar cada bolsa, se determinó la composición de los elementos que lo integran; finalmente se obtuvo el porcentaje de cada uno mediante la aplicación de la ecuación 3 [16]:

$$PS = \frac{W1}{W} \times 100 \quad \text{Ec (3)}$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

W1 = Peso del subproducto considerado en kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

W = Peso total de la muestra recolectada en kg.

Determinación del número de vueltas

Para la determinación de la cantidad de residuos a recolectar se utilizó la ecuación 4, para facilitar los recorridos y por la cantidad de RSU que se estimó que generarían se consideró una frecuencia de recolección de una vez cada 7 días; por consiguiente, para el cálculo se utilizó la ecuación 4:

$$W = P \times PPC \times D \quad \text{Ec (4)}$$

Donde:

W= Es el peso total de los residuos.

P= Cantidad de habitantes a atender.

PPC= Generación de residuos.

D= Número de días a recolectar,

Para estimar el número de recorrido del vehículo se utilizó la ecuación 5, debido a las características de los elementos que integran los RSU se determinó utilizar un vehículo compactador de 8 toneladas; por lo tanto, tenemos:

$$Nr = \frac{W}{CV} \quad \text{Ec (5)}$$

Donde.

Nr= Número de recorridos.

W= Peso total de los residuos en toneladas.

CV= Capacidad del vehículo en toneladas.

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados con los programas estadísticos Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Determinación de los elementos de cada zona

En la Tabla 2, se observa la cantidad de viviendas seleccionadas en cada zona, encontrando la mayor densidad de viviendas en la zona 3 y 4.

Tabla 2. Número de viviendas seleccionadas por zona.

Zona	Número de casas
1	62
2	81
3	99
4	68

En la Figura 3, se observa que el 50% de las viviendas generan una cantidad promedio de 1 a 2 kg por día, el 36% de 3 a 4 kg; además, el 15% de la población generan cantidades mayores de residuos de 5 kg por día; por lo tanto, la cantidad promedio de RSU que se determinó fue de 0.7 kg/hab/día. Si consideramos que el municipio de Motul tiene un total de 37804 [17], se estaría generando 26.46 Tm/día de RSU; es importante señalar que, no todos los habitantes entregan sus residuos al camión recolector, por lo que se desconocen el destino que le dan Figura. 3.

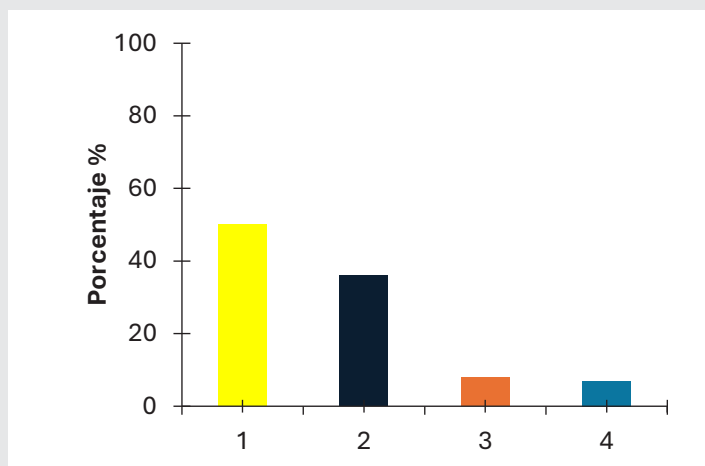


Figura 3. Cantidad de RSU que generan en las viviendas por día. 1, 1-2 kg; 2, 3-4 kg; 3, 5-6 kg; 4, 7-10 kg

Kaza, et al.-[18], menciona que a nivel global, se genera 0.74 kg/hab/día, sin embargo, las tasas nacionales de generación de desechos fluctúan ampliamente de 0.11 a 4.54 kg/hab/día; además describen que los volúmenes de generación de RSU están correlacionados con los niveles de ingresos y las tasas de urbanización; por otra parte, Espinoza, et al.-[19] describen que el rango de generación de RSU es de 0.49 a 2.08 kg/hab/

día, encontrando las mayores tasas de geración en los países mas desarrollados; además, las tasas de generación calculada guardan relación directa con indicadores de actividad, tamaño poblacional y desarrollo de los países; por tal motivo, a medida que la población se incrementa y sus habitantes utilizan productos recientes, las ciudades se vuelven más prósperas; además, participan en el comercio y el intercambio mundial de productos; por consiguiente, ofrecen más productos y servicios a los ciudadanos; por lo tanto, se enfrentan a mayores cantidades de RSU que deben gestionar mediante el tratamiento y la eliminación [7], en la región de estudio la cantidad que generan se encuentran dentro de la media (0.74 kg/hab/día), a pesar de estos resultados, es necesario crear programas de manejo de residuos para el desarrollo de una cultura ambiental.

En la Figura 4 se observa que los RSU está integrado en proporción elemental de 48% de plásticos, 34% de papel y 12% de material orgánica; además, en una menor proporción se encuentran los vidrios, baterías y otros materiales.

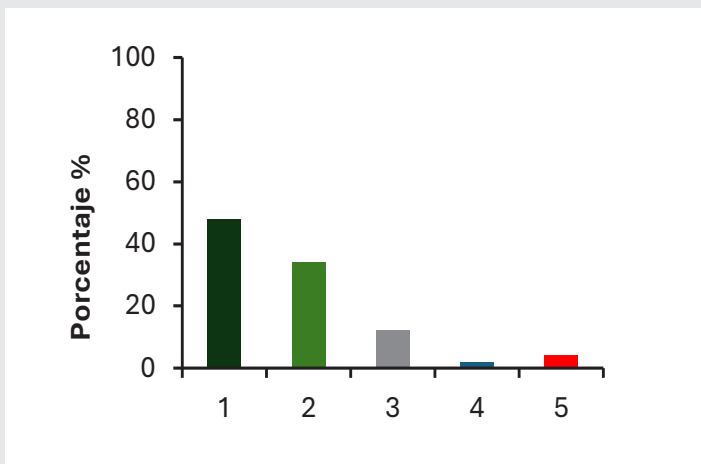


Figura 4. Elementos que integran los RSU.
1 Plástico; 2 Papel y cartón; 3 Materia orgánica; 4 Metales; 5 otros

El hecho de encontrar estos tipos de materiales dentro de los RSU, da una idea de la tendencia de los productos que consume los habitantes de las poblaciones al preferir producto con empaques no retornables, se ha encontrado en las bibliografías que las características y propiedades de los RSU están influenciado por contextos regionales, estacionales y socioeconómicos; por lo tanto, la variación de los desechos se atribuye a diferentes estilos de vida culturales y sistemas de gestión. Los análisis de los resultados de los lugares de generación proporcionan una mejor comprensión de la información de las características de residuos particulares, son necesarios para proponer programas de recuperación de energía y el reciclaje de los componentes que lo integra.

Con base a los resultados se observa que la tendencia del consumo de los habitantes es de adquirir productos

con empaques desechables; por lo tanto, es necesario plantear propuesta de proyectos enfocados al reciclado de este tipo de desechos.

Como puede observarse en la figura 5, de los diferentes tipos de plástico que generan los habitantes, la mayor cantidad corresponde a empaques de bebidas carbonatadas, siendo de un 54%; sin embargo, no se está considerando el porcentaje de envases utilizados para el embotellado de agua purificada; por consiguiente, sería de un 62%; además, este tipo de empaque pueden ser reutilizadas o reprocesadas como materia prima para la generación de otros productos; por lo tanto, disminuirá la carga de contaminante que son desechados; por consiguiente, es importante buscar materiales alternativos con propiedades similares pero que sean amigables con el ambiente, por otro lado, existen evidencias que sugieren que el reciclado del PET pueden ser menos dañinos para el próximo mundo verde. Varias tecnologías novedosas están progresando para hacer plásticos degradables como plásticos fotodegradables; sin embargo, los científicos buscan un mejor sustituto para resolver este problema y crear una sustancia degradable o controlar la vida útil.

Siddiqui, et al.-[20], mencionan que los envases utilizados en las bebidas carbonadas que están hechos a partir de polietileno tereftalato (PET) son utilizados en mayor volumen, principalmente en botellas para agua o bebidas carbonatadas; además, el PET es ampliamente utilizado en aplicaciones de películas para bandejas y tapas de alimentos, además, se tiene una capacidad total de producción mundial de más de 65 millones de toneladas de polímero virgen al año. Con base a los resultados anteriores, se puede observar que la población prefiere este tipo de producto con empaques desechables, a pesar de que el costo es mayor; es importante recalcar que, este tipo de materiales tienen un periodo de degradación muy alto; por lo tanto, es muy importante desarrollar tecnología para su reprocesamiento (Figura 5).

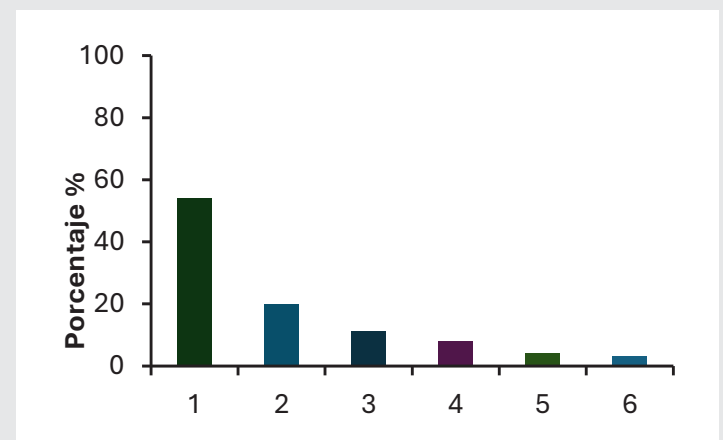


Figura 5. Tipos de envases que integran los RSU.
1, Bebidas carbonatadas; 2, Detergentes; 3, ácido muriático; 4, agua purificada; 5, Herbicidas; 6, otros.

La materia orgánica contenida en los RSU es la parte biodegradable que es susceptible de ser aprovechable para la recuperación de energía, el porcentaje en masa determinado fue del 48%, en la figura 6, se observa los elementos que integran la materia orgánica, el 31% estaba integrada por residuos de alimentos, el 8% estaba formada por residuos de fibras vegetales como residuos de jardín y partes de madera; además, el 12% estaba integrado por tallos de diferentes especies de plantas y hojas de árboles ver Figura 6.

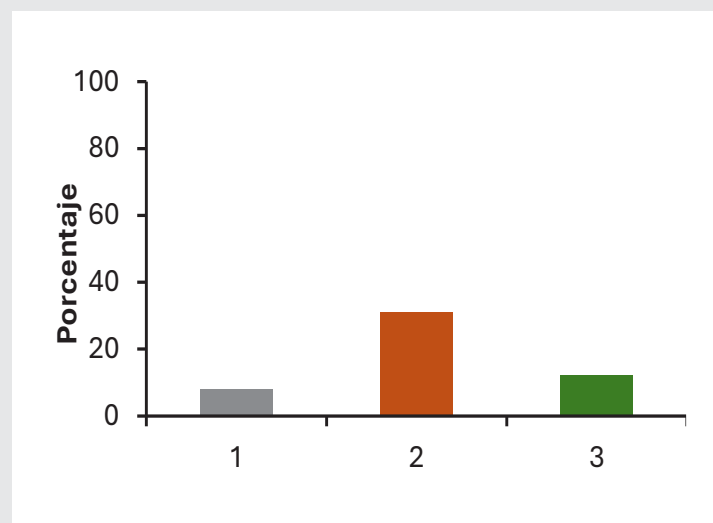


Figura 6. Elementos que integra la materia orgánica biodegradable en la RSU en masa

1, fibras vegetales; 2, residuos de alimento; 3, residuos de plantas

Chen, et al.-[21] mencionan que los residuos orgánicos representa una gran proporción de RSU, incluso se incrementan cuando las economías crecen; sin embargo, estiman que los residuos orgánicos variaran del 47% en el 2015 al 39.8% en el año 2050 en relación con el porcentaje de todos los demás tipos de residuos, esto es debido a la saturación de residuos orgánicos ocasionado por el consumo de alimentos; además, mencionan que los residuos orgánicos seguirán siendo la parte más importante de RSU debido a sus características y como fuente para la obtención de otros bio-productos; de manera análoga, Sharma and Jain-[22] describen que la región y el nivel de ingresos económicos de la población influye en el contenido en masa de la materia orgánica en la RSU; además, señalan que dependiendo de sus ingresos pueden oscilar en un rango de 56 a 44%; asimismo, a medida que el mundo avanza hacia su futuro urbano; por lo tanto, el incremento de la tasa de generación de RSU es mayor que la tasa de urbanización.

Por otra parte, la materia orgánica contenida en la RSU de la zona de estudio, puede ser utilizada como materia prima para la obtención de bio-productos y biogás a través de la digestión anaeróbica; este proceso ha recibido una atención creciente en todo el mundo y se

ha convertido en una de las tecnologías más extendida en el campo del tratamiento. Valentino, et al.-[23], describen que la fracción orgánica de los RSU es utilizada como materia prima en el proceso de digestión anaerobia, las macromoléculas son convertidas a ácidos grasos volátiles; además, las reacciones catalíticas fueron controladas evitando la inhibición de las bacterias metanogénicas; por consiguiente, la fracción de desechos orgánicos utilizado para la producción de ácidos grasos volátiles también puede ser utilizados para la síntesis de otros bio-productos con alto valor en el mercado; por otro lado Tyagia, et al.-[24] describen que la materia orgánica de los RSU puede ser utilizado para la generación de hidrogeno bajo condiciones mesofílica; además, este elemento favorece la producción de metano; por lo tanto, lo consideran como una alternativa para la recuperación de bioenergía.

En la Figura 7, se observa la opinión de las personas referente a la problemática ambiental, el 31 % de las personas considera que el problema de la contaminación ambiental es ocasionada por falta de educación de los habitantes, el 25 % por ignorancia y en menor proporción por el alto consumo de productos desechable; sin embargo, es importante considerar que de acuerdo a la encuesta aplicada existe una alta cantidad de la población que desconocen las características de los componentes que integran los RSU; por lo tanto, una propuesta de proyecto sobre manejo y disposición final daría mayor conocimiento acerca de los diferentes componentes.

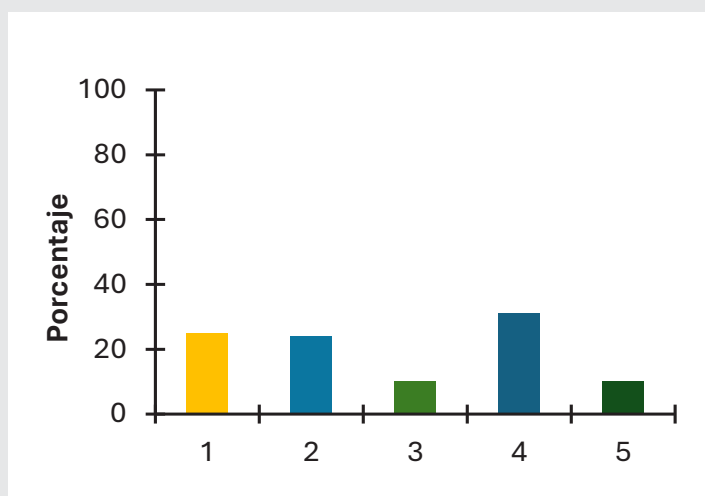


Figura 7. Causas del problema de la basura;

1, Ignorancia; 2, flojera; 3, consumismo; 4, falta de educación; 5, empaques desechables

Esmaeilzadeh, et al.-[25], mencionan la importancias de los programas para la culturización y educación en el conocimiento de los RSU así como la poca importancia que le dan las organizaciones, oficinas, instituciones y autoridades responsables en la aplicación de las normas y reglamentos; además, la debilidad en la toma de decisiones ejecutivas, la falta de participación de ver-

daderos expertos en la materia, así como la falta de utilización de prácticas y experiencias exitosas en el manejo de residuos a nivel global ocasionan mal manejo de los RSU; también, describen que las investigaciones han demostrado que la participación de los ciudadanos es uno de los factores efectivos y necesarios en la disposición de los residuos; por otra parte, Nanda and Berruti-[26], describen que los programas de participación y sensibilización ciudadana puede mejorar la gestión de RSU; además, es necesario educar e informar a los ciudadanos sobre los principios de reducir, reutilizar, reciclar y recuperar (4R), de tal manera que los residentes se vuelva menos dependientes en la recolección de los RSU; así mismo, debe existir cooperación y consenso entre las autoridades; además, comunicación en la planificación y ejecución de los sistemas de gestión de los servicios municipales de residuos sólidos.

La gestión de los RSU se ha convertido en importante preocupación tanto regional como global debido a la creciente urbanización; por consiguiente, si no tiene un manejo y disposición eficiente la generación de desechos puede tener impactos adversos en la salud pública y el ambiente.

La recolección y transporte de residuos contribuye a mantener las condiciones de salud de los habitantes; por consiguiente, se evita la generación de vectores, malos olores, líquidos contaminantes, así como la materia orgánica en descomposición; por lo tanto, es necesario considerar la cantidad, frecuencia, área de recolección y tipo de residuo,

Para estimar la cantidad total de RSU generados en la zona de estudio, se consideró el número de habitantes [17], cantidad de residuos generados por habitantes en un día (0.7 kg/hab/día) y frecuencia de recolección (7 días); para determinar el número de recorridos del vehículo recolector en cada zona, el cálculo se realizó tomando como referencia un transporte compactador de 8 toneladas (Tabla 3).

En la Tabla 3; se observa que, en la zona 2 y 3 la cantidad de residuos generados son mayores comparados con la 1 y 4; por lo tanto, es donde se encuentra la mayor densidad de la población; por consiguiente, es donde se encuentra la mayor cantidad de residuos por día.

Tabla 3. Cantidad de residuos generados por zona

Zona	kg	Número de recorrido
1	37051	5
2	48160	6
3	59276	7
4	40754	5

CONCLUSIÓN

La gestión de RSU se ha convertido en uno de los problemas que requiere de la participación de expertos del

área de la gestión ambiental, se ha prestado poca atención para mitigar los efectos negativos de la mala disposición de los RSU; por consiguiente, continúa mostrando un fuerte potencial de crecimiento. Este trabajo da a conocer los elementos que forman parte de los RSU y muestra la situación en la que se encuentra el sistema de gestión del área de estudio. Los resultados muestran una tendencia hacia el incremento en la generación de los residuos; además, se encontró una mayor utilización de productos con empaques desechables por parte de los habitantes, siendo en mayor porcentaje los plásticos; sin embargo, en cuanto a la composición másica se observó en mayor proporción la materia orgánica, la cual es susceptible de ser utilizada como materia prima para la obtención de otros productos como son los biocombustibles; además, destacó el porcentaje de materiales no biodegradables como son los metales pero que puede ser reciclables para la obtención de otros productos; también se encontró envases de cartón multicapas para bebidas, lo que indica que deben encaminarse esfuerzos por analizar alternativas viables para la valorización de estos residuos.

No se encontró influencias significativas en la composición elemental, siendo similares en las 4 zonas. En cuanto a la generación de RSU se estimó que fue de 0.7 kg/hab/día, la cual es similar a la media nacional. Con base a lo anterior se determina que la recolección de los residuos debe ser más eficiente, y en horarios establecidos; además, se debe profundizar más el estudio de la problemática ambiental del área de estudio y su evolución en un futuro próximo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Banerjee, P., Hazra, A., Ghosh, P., Ganguly, A., Murmu, N. C., and Chatterjee, P. K. (2019) *Solid Waste Management in India: A Brief Review, Research Gate.* 25-40, 3

[2] Fazeli, A., Bakhtvar, F., Jahanshaloo, L., Sidik, N. A. C., and Esfandyari, A. (2016) *Malaysia's stand on municipal solid waste conversion to energy: A review, Renew. Sust. Energ. Rev.* 1007-1016, 58

[3] Cruz Sotelo, S. E. and Ojeda Benítez, S. (2013) *Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos, Rev. Int. de Contam. Ambient.* 7-8, 29

[4] Hernández-Berriel, M. D. C. et al. (2016) *Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en américa latina y el caribe, Revista Internacional de. Contaminación Ambiental.* 11-22, 32

[5] Vlichis, F. L., Tovar, L. A. R., Flores, M. T., and Sepúlveda, J. A. M. (2013) *La gestión de residuos sólidos en México, Research Gate.* 117-153.

[6] Singh, A. (2019) *Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal, J. Environ. Manage.* 259-265, 240.

- [7] Olay-Romero, E., Turcott-Cervantes, D. E., Hernández-Berriel, M. d. C., Cortázar, A. L.-G. d., Cuartas-Hernández, M., and Rosa-Gómez, I. d. I. (2020) Technical indicators to improve municipal solid waste management in developing countries: A case in Mexico, *Waste Manage.* 201-210, 107.
- [8] Gonçalves, A. T. T., Moraes, F. T. F., Marques, G. L., Lima, J. P., and Lima, R. d. S. (2018) Urban solid waste challenges in the BRICS countries: a systematic literature review, *Rev. Ambient. Água.*
- [9] Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., and Oduro-Kwarteng, S. (2018) Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods, *J. Eng.* 1-13.
- [10] Srivastava, V., Ismail, S. A., Singh, P., and Singh, R. P. (2014) Urban solid waste management in the developing world with emphasis on India: challenges and opportunities, *Environmental Science and Bio/Technology.* 1-22.
- [11] Pandey, B. K., Vyas, S., Pandey, M., and Gaur, A. (2016) Municipal solid waste to energy conversion methodology as physical, thermal, and biological methods, *Current Science Perspectives* 39-44, 2.
- [12] Salgado-López, J. A. (2012) Solid Waste: Perception and factors which facilitate its separation at home: The study case of two habitable units in Tlalpan, *QUIVERA.* 91-112.
- [13] Addo, I. B., Adei, D., and Acheampong, E. O. (2015) Solid Waste Management and Its Health Implications on the Dwellers of Kumasi Metropolis, Ghana, *Current Research Journal of Social Sciences.* 81-93, 3
- [14] DOF (1992) NMX-AA-15-1985 , *Protección Al Ambiente - Contaminación Del Suelo -Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método De Cuarteo,* 1-3,
- [15] DOF, “NMX-AA-61-1985 , *Proteccion Al Ambiente-Contaminacion Del Suelo-Residuos Solidos Municipales-Determinacion De La Generacion,*” 1992.
- [16] SEMARNAT, “*Proteccion al ambiente-contaminacion del suelo residuos solidos municipales-seleccion y cuantificacion de subproductos (NMX-AA-022-1985),*” in “DOF,” 1985.
- [17] INEGI, “*Censo Nacional de Viviendas 2020 “2020,* Available: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=31052#collapse-Resumen>.
- [18] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., and Woerden, F. V. (2018) *What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050,*
- [19] Espinoza, P. T., Arce, E. M., Daza, D., Faure, M. S., and Terraza, H. (2010) *Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010 OMS.* 1-164,
- [20] Siddiqui, M. N., Redhwi, H. H., Al-Arfaj, A. A., and Achilias, D. S. (2021) *Chemical Recycling of PET in the Presence of the Bio-Based Polymers, PLA, PHB and PEF: A Review, Sustainability.* 1-26,
- [21] Chen, D. M.-C., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., and Popp, A. (2020) *The world’s growing municipal solid waste: trends and impacts, Environ. Res. Lett.* 1-13, 15
- [22] Sharma, K. D. and Jain, S. (2020) *Municipal solid waste generation, composition, and management: the global scenario, Soc. Responsib. J.* 1-33,
- [23] Valentino, F., Moretto, G., Gottardo, M., Pavan, P., Bolzonella, D., and Majone, M. (2019) *Novel routes for urban bio-waste management: A combined acidic fermentation and anaerobic digestion process for platform chemicals and biogas production, J. Clean. Prod.* 368-365, 2020
- [24] Tyagia, V. K., Fdez-Güelfoc, L. A., Zhoud, Y., Álvarez-Gallego, C. J., Garcia, L. I. R., and Nga, W. J. (2018) *Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges, Renew. Sust. Energ. Rev.* 380-399, 93.
- [25] Esmailizadeh, S., Shaghghi, A., and Taghipour, H. (2020) *Key informants’ perspectives on the challenges of municipal solid waste management in Iran: a mixed method study, J. Mater. Cycles Waste Manag.* 1-15,
- [26] Nanda, S. and Berruti, F. (2020) *Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review, Environmental Chemistry Letters.* pages1433-1456, 19