

ESTUDIOS DE GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



Cecilia Jales

CONVENIO DCC 020 2022

Universidad Autónoma de Chihuahua
Directorio

COORDINACIÓN GENERAL UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

Dr. Ricardo Aarón González Aldana

Cédula: 13221657

Dra. María Cecilia Valles Aragón

Cédula: 09093423

COORDINACIÓN FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

Dra. Leonor Cortés Palacios

Cédula: 09093567

Dr. Gilberto Sandino Aquino de los Ríos

Cédula: 7244083

LABORATORIO DE PARÁMETROS AMBIENTALES

Dra. Leonor Cortés Palacios

Cédula: 09093567

M.E. y M.A. Rafael Escobedo Bautista

Cédula: 10182323

COORDINACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA

M.I. Mario Arturo López Santa Anna

Cédula: 9846910

M.I. Rodrigo de la Garza Aguilar

Cédula: 3856796

COLABORADORES

Estudiantes de las carreras de: Ingeniero en Ecología, Ingeniero en Desarrollo Territorial y estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

Contenido

Resumen	5
Introducción.....	6
Revisión de literatura.....	7
Estudios y proyectos anteriores en Chihuahua, México.....	7
Aspectos relevantes para considerar del Relleno Sanitario “La Perseverancia”, Cuautla, Morelos, México.....	11
Materiales y métodos	15
Descripción del área de estudio	15
(1) Clasificación de la población en sectores (NMX-AA-61-1985).....	15
(2) Determinación del número de muestras (NMX-AA-61-1985).....	17
(3) Colecta de muestras: capacitación a brigadistas, encuestas a domicilios y recolecta (NMX-AA: 15, 19 y 22 de 1985)	18
(4) Cuarteo, determinación de peso volumétrico, clasificación y cuantificación de los subproductos (NMX-AA: 15, 19 y 22 de 1985)	22
Resultados y discusión.....	30
Residuos orgánicos	35
Residuos inorgánicos	38
Conclusiones y recomendaciones	42
Referencias bibliográficas	43

Índice de tablas

Tabla 1 Cantidad per cápita y porcentaje en peso de fracción de residuos por nivel, Chihuahua, Chih., 2006 (Gómez et al. 2008).....	9
Tabla 2 Cantidad de residuos generados por casa habitación para los tres niveles socioeconómicos durante las tres estaciones del año estudiadas (Gómez et al. 2009).	10
Tabla 3 Probabilidad, riesgo y tamaño de premuestra acorde a NMX-AA-61-1985.	17
Tabla 4 Clasificación de subproductos y ejemplos de residuos clasificados.	25
Tabla 5 Relación del rendimiento de metano dependiendo el tipo de sustrato (Atelge et al., 2020).....	38
Tabla 6 Estimaciones de reciclaje de los principales subproductos para el Municipio de Chihuahua.....	39

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de Chihuahua con el detalle de los tres niveles socioeconómicos y sus localizaciones geográficas (Gómez et al. 2008).	8
Figura 2 Composición promedio de los residuos sólidos municipales de Chihuahua (2006, 2007), Gómez et al. 2009.	10
Figura 3 Límites de las 12 zonas de estudio del municipio de Chihuahua.	16
Figura 4 Detalle de algunas zonas con las ubicaciones de los domicilios elegidos de manera aleatoria.	17
Figura 5 Organización del trabajo y capacitación a brigadistas.	19
Figura 6 Ejemplo de captura de información en la encuesta diseñada.	20
Figura 7 Capacitación a brigadistas, visita a domicilios aleatorios, definición de muestra aleatoria, aplicación de encuestas.	21
Figura 8 Recolección de residuos.	21
Figura 9 Ejemplo de llenado del formato de captura de información conforme a norma.	22
Figura 10 Preparación para el cuarteo.	23
Figura 11 Cuarteo de residuos sólidos municipales.	24
Figura 12 Formato de registro para la selección y cuantificación de subproductos, ejemplo de llenado.	27
Figura 13 Cédula de informe para la determinación de Peso volumétrico “in situ” de los RSU domiciliarios del municipio Chihuahua.	29
Figura 14 Histograma de la generación per cápita de RSU en kg/hab/d.	30
Figura 15 Diagrama de caja y bigotes de la distribución de la generación per cápita en los dos estratos sociales observados.	31
Figura 16 Diagrama caja bigotes de la distribución del peso volumétrico en los dos niveles observados.	31
Figura 17 Clasificación de RSU domésticos del municipio de Chihuahua.	32
Figura 18 Clasificación de RSU domésticos del estrato socioeconómico Alto.	33
Figura 19 Clasificación de RSU domésticos del estrato socioeconómico Bajo.	34
Figura 20 Toneladas de residuos generados diariamente por la población del Municipio de Chihuahua, clasificación acorde a norma NMX-AA-22-1985.	37
Figura 21 Manejo de residuos en esquema circular (Burneo et al., 2020).	41

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar la generación de RSU domiciliarios, para lo cual se desarrolló una metodología para aplicar las normas mexicanas:

NMX-AA-61-1985 Determinación de la generación.

NMX-AA-15-1985 Método de cuarteo.

NMX-AA-19-1985 Determinación del peso volumétrico in situ.

NMX-AA-22-1985 Determinación de los subproductos.

La aplicación de la metodología acorde a lo indicado por la normatividad proporciona datos indispensables para la toma de decisiones en los municipios y localidades de México. Así, el presente estudio de generación y cuantificación de subproductos de residuos sólidos urbanos fue desarrollado en el Municipio de Chihuahua durante el mes de junio de 2022. Mediante un proceso que consistió en las siguientes etapas: (1) clasificación de la población en sectores, (2) determinación del número de muestras (definición del error acorde a la norma NMX-AA-61-1985) y selección de domicilios de manera aleatoria, (3) colecta de muestras (capacitación a brigadistas, encuestas a domicilios), (4) cuarteo, determinación de peso volumétrico, clasificación y cuantificación de los subproductos (NMX-AA: 15, 19 y 22 de 1985), (5) análisis de resultados.

Como resultado se determinó que la generación per cápita de residuos sólidos urbanos es de 0.78 kg/hab/d con un intervalo de confianza de la media 95% que va de 0.7321 a 0.8423 kg/hab/d, el peso volumétrico equivale a 103.6 kg/m³ con un intervalo de confianza de la media 95% que va de 98.18 a 109.02 kg/m³. La variabilidad en la composición se encontró que la fracción de residuos alimenticios tiene un porcentaje de 26.5%, seguido de papel 12.11%, plástico rígido 10.21%, cartón 7.49%, plástico de película 6.88%, vidrio de color 4.38% como principales. Aproximadamente el 40% es susceptible de recuperación, por lo que podrían ser aprovechados para no enviarlos directamente a disposición final y con ello alargar la vida útil del Nuevo relleno sanitario metropolitano (NRSM) además de tener una ganancia económica de aproximadamente 269 millones de pesos mensuales. Aproximadamente el 28% de los residuos se pueden aprovechar por sus características orgánicas en un proceso de digestión anaerobia y su consecuente producción de energía eléctrica. Estos resultados ayudan a plantear la posibilidad de un posible escenario donde la recolección sea por separado: orgánicos e inorgánicos. De esta manera, los días de recolecta orgánica (28.76%), podrían destinarse a una celda exclusiva para este tipo de residuos y especialmente acondicionada para favorecer las condiciones de producción de biogás para un

buen funcionamiento de un posible biodigestor (o codigestor) y su consecuente aprovechamiento con generación de energía eléctrica. Los días que se programe la recolección de residuos inorgánicos (55%) podría dirigirse a una planta separadora de residuos, de diseño de alguna IES local, en la que podrían laborar las personas que actualmente se encuentran ocupadas de separar los residuos en el relleno sanitario, comúnmente nombrados como “Pepenadores”. Estas acciones ayudarían a alargar la vida del NRSM e impulsan el logro de un esquema circular del manejo de residuos.

Introducción

México genera 109,145.75 Ton/d, la generación per cápita es de 0.87 kg/hab/d, valor mayor al promedio mundial de 0.74 kg/hab/d. Se proyecta que la generación anual mundial aumentará un 70% del nivel del 2016 a 3.40 billones de toneladas en 2050 en las poblaciones urbanas. Así, México también experimentará un incremento significativo en la generación de residuos. Esta generación acelerada ha llevado al gobierno de México basar su servicio público en técnicas rudimentarias usando equipo obsoleto y adoptando el uso de vertederos, tiraderos o en el mejor de los casos de Rellenos sanitarios como estrategia de manejo de residuos predominante (Escamilla et al. 2020).

Gómez et al., 2008 comentan que la variabilidad en la composición de residuos sólidos en México es altamente influenciada por los movimientos de la población, resultado de las temporadas de migración a Estados Unidos. Este comportamiento tiene un impacto mayor en los patrones regionales de consumo que el debido al crecimiento económico.

El Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR 2020) publicado en mayo 2020 por la SEMARNAT, reporta para la Zona norte del país un promedio de 0.891 kg/hab/d de RSU.

El DBGIR señala un Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos (PEPGIR 2012) sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Chihuahua con fecha del 2012, elaborado por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).

El DBGIR comenta que se envía 1190 Ton/d al relleno sanitario actual en Chihuahua y el PEPGIR 2012 comenta algunas estimaciones para el 2018: 3093 ton/día generación de RSU calculada por región socioeconómica, 3032 ton/día generación de RSU calculada por tamaño de población y 3035 ton/día por generación de RSU.

El objetivo del presente estudio fue aplicar las normas mexicanas para determinar la generación de RSU domiciliarios en el municipio de Chihuahua.

Revisión de literatura

Estudios y proyectos anteriores en Chihuahua, México

En Chihuahua se han llevado a cabo proyectos de manejo de residuos financiados por instituciones internacionales, como el Proyecto de Manejo Integral de Residuos Sólidos Municipales en Ojinaga¹ por NADBank con fecha de certificación del 16 de octubre del 2001 y un monto de US 0.5 M. El costo total del proyecto fue de US 1.78 M y se costó con la ayuda de otros fondos complementarios. En este proyecto, se modificó de un tiradero a cielo abierto a un relleno sanitario que proyectó operación hasta 2015. Además, el proyecto consistió en mejorar el servicio de recolección y disposición final de residuos sólidos, incluyendo la clausura del tiradero a cielo abierto, la modificación y ampliación del relleno sanitario y la compra de equipo.

Estudio anterior en Chihuahua (Gómez et al. 2008), indica un promedio de generación de residuos domiciliarios de 0.676 kg/hab/d realizado en abril de 2006. Las principales fracciones fueron 48% de orgánicos, 16% de papel y 12% de plástico. En estos resultados se comenta un incremento en la generación de residuos asociado al nivel socioeconómico. Gómez et al., 2008 comenta que el tipo de residuo tiende a ser de mayor valor (posibilidades de venta) mientras más urbanizado sea el lugar de procedencia. Este comportamiento se ha observado en otras partes de México como lo reporta el Relleno sanitario “La Perseverancia” ubicado en Cuautla², Morelos. El trabajo de Gómez et al., 2008 consideró tres niveles socioeconómicos establecidos como se indica en la Figura 1.

1 <https://www.nadb.org/es/nuestros-proyectos/proyectos-de-infraestructura/proyecto-de-manejo-integral-de-residuos-solidos-municipales-en-ojinagachihuahua>- consultado el 9 de julio de 2022.

2 <https://laperseverancia.mx/planta-de-tratamiento-de-residuos-y-generacion-de-energia/> Consultado el 9 de julio de 2022

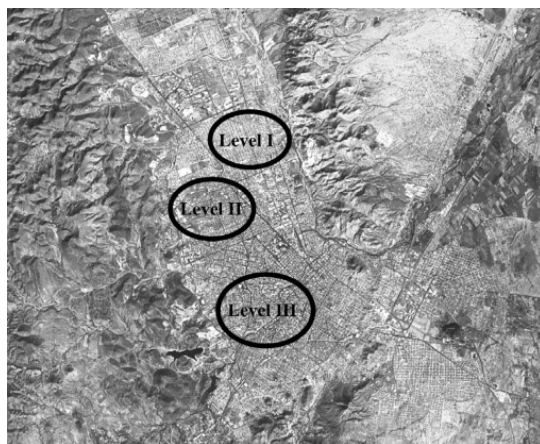


Figura 1 Mapa de Chihuahua con el detalle de los tres niveles socioeconómicos y sus localizaciones geográficas (Gómez et al. 2008).

La estratificación la realizaron con base en datos de INEGI 2005 y SCINCE 2000. Y los estratos se establecieron acorde al número de salarios mínimos que reciben las personas: Nivel I de 1 a 2, Nivel 2 de 2 a 5, Nivel 3 de 5 o más salarios mínimos. No consideraron la población con menos de un salario mínimo debido a que, según Gómez et al., 2008, la consideran como población extremadamente inestable, cambian de trabajo y es más susceptible a migrar a Estados Unidos. La metodología de colecta de muestras de Gómez et al., 2008 se llevó a cabo con las normas mexicanas: NMX-AA-022-1985, NMX-AA-061-1985 y NMX-AA-091-1987, con algunas adaptaciones como la clasificación de subproductos en 15 categorías (Tabla 1): orgánicos, papel, periódico y revista, cartón, plástico, contenedores de plástico, metales, latas de aluminio, vidrio claro, vidrio de color, residuo fino, fibra vegetal, fibra sintética, baterías y misceláneos. En este estudio se consideraron 80 casas habitación repartidas en los tres niveles (Figura 1), durante 8 días, el primer día solamente se recolecta y no se clasifica para asegurar los residuos de 24 horas en el segundo día. A partir de este día se lleva a cabo el pesaje y clasificación de residuos. En total, durante todos los días se recolectaron 560 muestras. La cantidad de residuos colectados durante el periodo del estudio fue 365, 532 y 620 kg de cada nivel. El total de residuos sólidos analizados fue de 1517 kg, el cual fue generado durante la semana por 105 residentes de los domicilios estudiados. El promedio de generación de residuos sólidos por nivel fue de 0.599, 0.697 y 0.732 kg/hab/d para los niveles I, II y III, respectivamente (Tabla 1). El promedio de la generación de residuos para el municipio de Chihuahua en abril 2006, reportado por Gómez et al., 2007, fue de 0.676 kg/hab/d con un promedio de 3.9 de residentes por casa habitación.

Tabla 1 Cantidad per cápita y porcentaje en peso de fracción de residuos por nivel, Chihuahua, Chih., 2006 (Gómez et al. 2008).

Amount per capita and weight percentage of USW fractions by socioeconomic level, Chihuahua City, April 2006

Fractions	Level I		Level II		Level III	
	kg/(capita.day)	%	kg/(capita.day)	%	kg/(capita.day)	%
Organic	0.283	47.2	0.334	48.0	0.356	48.6
Paper	0.054	9.0	0.062	8.8	0.060	8.1
Newspaper–magazines	0.013	2.2	0.039	5.6	0.047	6.5
Cardboard	0.015	2.5	0.013	1.9	0.023	3.1
Plastics	0.051	8.6	0.054	7.8	0.054	7.4
Plastic containers	0.023	3.9	0.029	4.2	0.030	4.0
Metals	0.016	0.3	0.011	0.8	0.012	0.3
Aluminum cans	0.002	2.7	0.006	1.6	0.002	1.6
Clear glass	0.038	6.3	0.024	3.4	0.031	4.2
Color glass	0.003	0.5	0.007	1.1	0.010	1.4
Fine residue	0.006	1.0	0.013	1.9	0.012	1.6
Vegetal fiber	0	0	0.01	1.5	0.02	2.8
Synthetic fiber	0	0	0	0	0	0
Batteries	0	0	0	0	0	0
Miscellaneous	0.095	15.8	0.093	13.3	0.075	10.3
Total	0.599	100	0.697	100	0.732	100

Gómez et al., 2009, realizaron estudios complementarios al estudio anterior de características de residuos sólidos, pero en dos periodos estacionales subsecuentes, abril y agosto 2006 y enero 2007, en los tres niveles socioeconómicos definidos en el estudio anterior (Tabla 2). Este estudio analizó en total 4098 kg de residuos sólidos de 1687 muestras generadas en 80 casas habitación durante estos tres periodos del año. El promedio en peso de residuos generados, considerando las tres estaciones fue de 0.592 kg/hab/d. Estos resultados muestran que el nivel de menor cantidad de salarios mínimos genera la menor cantidad de residuos, 0.516, 0.631 y 0.631 kg/hab/d. También encontraron que la menor cantidad de residuos se generan en la temporada invernal. La composición de residuos que obtuvieron fue: 45% orgánica, 17% papel y 16% de otros.

Tabla 2 Cantidad de residuos generados por casa habitación para los tres niveles socioeconómicos durante las tres estaciones del año estudiadas (Gómez et al. 2009).

Amount of waste generated by households of the three socio-economic levels during the three periods studied.

Number of households	Level I						Level II						Level III					
	April		August		January		April		August		January		April		August		January	
	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg	No. of resid.	kg
1	3	27.3	3	12.0	4	23.1	5	27.4	2	17.4	4	8.8	5	13.9	5	17.2	4	17.6
2	2	2.2	4	19.4	2	6.2	4	18.5	2	18.8	5	9.2	4	20.0	3	24.3	5	8.5
3	4	17.8	4	13.5	6	10.3	2	10.2	4	28.9	3	16.2	4	17.4	5	19.9	4	17.4
4	2	29.5	7	16.8	4	15.9	4	21.7	2	21.9	4	23.4	5	31.5	3	19.2	5	10.0
5	2	6.9	3	4.1	5	9.9	4	20.4	2	9.4	5	9.4	4	15.4	5	49.4	4	18.6
6	4	10.5	7	33.4	7	17.4	4	35.2	6	9.9	5	11.6	5	57.3	3	15.2	5	13.3
7	4	4.4	2	11.0	4	16.2	5	22.5	5	19.5	4	21.4	4	24.2	5	26.2	4	12.8
8	4	11.1	5	15.4	4	21.9	4	13.7	2	19.5	3	20.1	6	37.0	5	12.2	2	18.7
9	6	8	8	20.6	5	13.1	2	8.9	5	20.9	7	20.8	4	13.4	5	41.0	5	18.2
10	2	18.7	4	19.4	2	4.7	6	19.7	3	11.5	4	16.0	5	20.3	4	18.6	4	11.7
11	2	19.2	5	17.2	2	12.2	1	5.4	3	20.9	5	19.6	5	17.4	4	9.4	2	7.8
12	5	27.2	4	9.6	4	6.4	3	14.9	5	20.9	4	16.6	5	38.6	5	17.4	5	14.0
13	5	8.6	4	11.6	5	8.1	2	6.3	4	17.3	4	20.7	4	8.8	4	17.3	5	24.2
14	8	25.5	4	11.2	6	16.6	3	16.9	3	11.4	7	16.6	5	15.0	4	23.3	4	7.6
15	4	15.8	7	5.0	3	5.8	2	35.6	5	21.1	2	16.5	6	21.4	6	21.6	5	7.4
16	5	14	2	8.6	1	10.9	4	21.5	4	15.5	3	8.1	6	14.5	4	13.3	3	13.3
17	2	14.3	1	3.8	4	21.2	6	13.5	6	13.7	3	17.3	3	20.0	3	18.2	6	16.2
18	3	18.7	3	26.8	5	23.8	4	17.5	3	15.3	3	20.4	5	26.8	4	12.2	5	14.9
19	4	15	5	13.8	6	9.4	5	19.6	2	8.9	6	22.9	5	11.0	3	29.4	5	34.7
20	3	11.8	3	12.0	2	4.8	4	16.9	6	16.5	4	24.0	5	32.2	4	22.0	5	11.2
21	4	15.7	4	13.6	4	7.4	4	33.7	1	4.6	6	17.5	4	15.8	4	10.6	7	17.8
22	2	20.2	2	35.4			5	21.4	3	10.6	4	8.2	5	19.6	3	13.0	2	9.1
23	3	15.7	3	20.6			4	13.4	2	12.4	5	12.6	4	22.8	6	23.5	2	8.7
24	4	7.2	4	14.6			3	17.5	3	13.3	1	15.2	5	19.1	7	13.2	2	30.5
25			4	14.4			6	16.4	4	20.6	5	29.6	3	46.5			5	6.4
26			5	9.6			3	13.8	7	16.2	3	12.7	5	40.2			7	22.6
27			6	30.4			2	9.3	3	15.1	3	16.6					4	16.9
28			6	11.2			1	16.3	3	9.5	2	19.8					5	20.2
29							4	10.7	3	13.1	5	4.1						
30							3	13	4	20.1	3	11.2						
Total	87	365	119	435	85	265	109	532	107	476	122	487	121	620	104	488	121	430
Total number of samples collected	168		196		147		210		210		210		182		168		196	

Por último, Gómez et al. 2009 comentan que los factores económicos y las actividades sociales, determinan la composición de residuos generados en diferentes estaciones y localidades. La composición de residuos sólidos es la información clave para basar un método de tratamiento efectivo para los residuos sólidos generados (Figura 2).

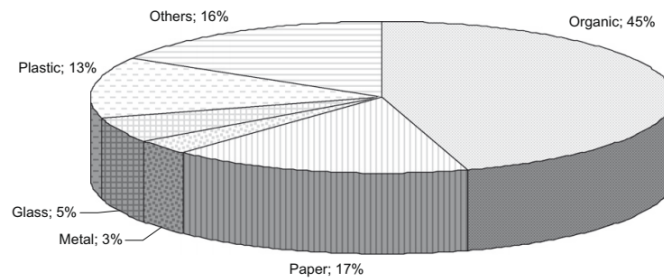


Figura 2 Composición promedio de los residuos sólidos municipales de Chihuahua (2006, 2007), Gómez et al. 2009.

Aspectos relevantes para considerar del Relleno Sanitario “La Perseverancia”, Cuautla, Morelos, México.

El 12 de julio del 2022, personal de la Universidad Autónoma de Chihuahua llevó a cabo una visita al Relleno sanitario “La Perseverancia” y a partir de esta, se recolectó la siguiente información.

1. Recibe 1000 Ton/d de RSU.
2. Genera energía eléctrica a partir de la digestión anaerobia de los RSU que están almacenados en las celdas de confinamiento.
3. Cuenta con una planta de separación de residuos.
4. Reciben RSU de: capital del estado de Morelos (en total 16 municipios de Morelos), algunos municipios de Ciudad de México y Tiultepec, a cada municipio se le cobra una cantidad dependiendo de la cantidad ingresada.
5. El Relleno sanitario no se hace responsable de la recolección de RSU, cada municipio contrata a su personal y opera el transporte.
6. Las instalaciones de este relleno sanitario, como la operación y el mantenimiento lo lleva a cabo por la empresa Operadora de Ferrocarril y Manejo de Rellenos S.A. de C.V.
7. Anteriormente esto era un Tiradero a cielo abierto y desde el año 1999 comienza su transformación a relleno sanitario.
8. A partir del 2011 lo administra la empresa privada.
9. Actualmente lleva a cabo estudios de aguas arriba y aguas abajo que reporta al estado cada 6 meses, aplican la NOM-001.
10. 2015 arranca operaciones la Planta de generación de energía eléctrica y produce 1MW/h, lo que da un total de 24 MW/d.
11. La empresa se inscribió al Protocolo de California, se sometieron a las auditorías y procesos de certificación de Bonos de carbono. En 2020 vendieron los bonos de carbono a una empresa de Nueva York.
12. En 2020 la Planta de separación de residuos opera de las 6 a la 22 Hrs. Cuenta con dos turnos y cuenta con las certificaciones ISO 9000, 14000, Etc.
13. La planta separadora de residuos recibe de 600 a 700 Ton/d (de las 1000 Ton/d que llegan en total). Dependiendo del lugar de procedencia de los residuos, se ingresan o no a la planta. Esta selección la hicieron con base en un estudio realizado en camiones de basura, dependiendo del lugar de procedencia ya que mientras más rural el porcentaje de residuos orgánicos

es mayor y por lo tanto conviene llevarlos directo a la celda de confinamiento (sin pasar por la planta separadora de residuos). En esta planta separadora se separa todo lo valorizable y se empacan en pacas comprimidas mediante una máquina de prensado y embalaje.

14. El proceso de la Planta de separación de residuos a grandes rasgos es de la siguiente manera. (1) Separación del material voluminoso (llantas, etc). (2) Se conduce por una banda para separar el cartón. (3) Se separa el vidrio. (4) Para terminar de romper las bolsas el Trumel ayuda en esta parte, después de esto se tiene un imán para separar los metales pequeños como agujas, navajas chicas, Etc. (5) Se dirige a dos bandas y por medio del sensor Balístico (óptico 2D y 3D) y un segundo sensor magnético se separan pequeños y medianos. (6) Banda al sensor inductivo. Este proceso se complementa con la separación manual donde se termina de separar: cartón, cartón de huevo, PET, Tetrapack, plástico cremero (yogurt, etc), plástico de electrolitos, PET HD, electrónicos.
15. Con este proceso se logra separar de manera semiautomática: PET cristal, plástico de envase de electrolitos, PET verde, plástico HD (tapas), tetrapack, residuo Film. De cada material se comprime en pacas para su posterior pesaje y venta.
16. Antes de la instalación de la planta separadora de residuos, empezaron una socialización con los Señores Pepenadores que trabajaban en el lugar. La empresa les propuso lo siguiente: seguro médico, salario estable dependiendo la categoría del trabajo (\$1,300.00 a \$2,100.00 semanal), aguinaldo, vacaciones y todas las prestaciones de ley. Durante el trabajo en la planta separadora de residuos, existen residuos que no se pueden clasificar y es difícil su venta, pero puede tener un valor para el trabajador (antes pepenador). Cuando sucede esto, el trabajador reporta el interés en adquirir ese material y la planta se lo vende a un precio simbólico (precios variables de unos cuantos pesos). Al final del año, este dinero se les regresa a los trabajadores en regalos que se les otorgan en un pequeño convivio que se organiza.
17. Aparte de los subproductos que separan, tienen más residuos que los clasificados por la norma, pero dependiendo del mercado se realiza su separación y venta. Este es el caso del vinil y disco.
18. El residuo Film (bolsas de colores, metálicas y a veces transparentes) al ser difícil su venta, es posible reprocesarlo mediante pirólisis y vender el líquido que se produce, tiene mayor valor en el mercado que vender directamente el

residuo. Por esta razón, actualmente se encuentran en la construcción de una nueva área de pirólisis del residuo Film.

19. Se recuperan entre 18 a 20 Ton/d, con el trabajo de la planta separadora. La ganancia económica depende del tipo del residuo y el mercado.
20. Aproximadamente son 300 camiones diarios los que ingresan al relleno sanitario.
21. En total cuentan con 105 trabajadores y supervisores, los supervisores son Ing. Industriales y Ambientales.
22. Las celdas construidas por la compañía cuentan con una membrana Geotextil, una geomembrana (termofusión) de 1.5 mm de espesor. Arriba de esto se comienza con una capa de tierra de 60 cm (para sellar la base), arriba de esto se inicia el proceso de confinamiento o depósito de los RSU, cuando la capa de residuos llega a una altura de 6 m y después de aplanar, se colocan 60 cm de tierra y así sucesivamente con las siguientes capas hasta alcanzar el nivel máximo de la celda al que fue diseñada. Una vez que sale del nivel del suelo se inicia el trabajo del recubrimiento exterior de cada capa. Los subproductos de la celda son biogás y lixiviado. Cuando está a punto de terminar de conformarse la pirámide de la celda se colocan los pozos de extracción, excavan 19 m, son en total 36 pozos de extracción, la superficie total de las celdas es de 5 hectáreas, en profundidad 19 m, en altura total 25 m (arriba del suelo). Cuando llega a esta altura, se cierra la celda, se colocan los tubos de extracción de biogás de manera vertical (la configuración horizontal se taponea y se descartó) a 19 m de profundidad (evitan llegar al fondo por el lixiviado). Con esto inicia la producción de biogás. Actualmente tienen 6 celdas construidas, tres llenas y cerradas, el estudio de impacto ambiental (MIA) tiene contemplado el construir otras dos celdas más. Parte de la construcción de las celdas se fue adecuando mientras transcurre la operación de la celda, esto ha derivado en la unión de varias celdas. Actualmente, en la celda 5 está por instalarse el pozo de lixiviado. Los operadores del relleno compactan los residuos conforme a lo indica la norma (NOM-083-SEMARNAT-2003). Para el cierre de la celda tienen contemplado una cortina de árboles en el perímetro de la celda y sembrar vegetación sobre las celdas, también se instalará mampostería y malla que define el límite del predio.
23. El lixiviado sale por la parte de abajo y las tinas de lixiviado se ubican para recibirlo por gravedad, como ejemplo, la tina #1 se ubica 10 m abajo del nivel del suelo. Los lixiviados se analizan con pruebas CRETl, pruebas de DBO, DQO y conforme a la normatividad (NOM-001-SEMARNAT-2021).

24. La lluvia tiene cierta influencia en el lixiviado. Los operadores del Relleno comentaron que no tienen problemas en la producción del biogás. El lixiviado lo reinyectan en la parte de arriba de la celda (mediante pipas), dependiendo si la celda sigue abierta o se encuentra cerrada es el lugar de la reinyección. El lixiviado solamente se utiliza para seguir estimulando la producción de biogás.
25. Para el biogás, contrataron una empresa para la instalación del equipamiento que incluye: tubería, manómetros, filtro de carbón activado para retener los compuestos no deseados (xilanos, etc), quemadores de emergencia, generadores de electricidad, transformadores, analizadores portátiles para el análisis del biogás (GEM5000). Actualmente, la producción de gas, la generación de energía y todo lo relacionado a esta operación, lo lleva a cabo la empresa que opera el relleno sanitario.
26. El biogás tiene una composición promedio de: 51% metano, 48% CO₂ y 0% O₂.
27. Los quemadores de emergencia se utilizaron al inicio del cierre de la celda 5 y 6, mientras se concluían las gestiones para producir energía eléctrica, venderla e inyectarla a la red. Actualmente se vende a dos empresas (que pertenecen al mismo clúster de empresas al que pertenece el Relleno sanitario).
28. Se adquirió un nuevo generador de energía para las celdas recientemente cerradas, pero las gestiones están detenidas por las políticas actuales federales, por lo que no se ha podido arrancar el nuevo generador y el exceso de gas se quema.
29. Cada 8 días se monitorean los pozos de gas con el medidor portátil y cuidan el porcentaje de metano, principalmente, dependiendo si sube o baja el porcentaje abren o cierran las válvulas. En caso de que la presión exceda al nominal, inician el quemado de gas, ya que no es posible transformar todo el gas a energía eléctrica. Esto es debido a que todavía tienen parado el segundo generador.
30. Producción de biogás. Actualmente producen las celdas 1, 2 y 3, aproximadamente 6 hectáreas en total. Faltan de producir las celdas 4, 5 y 6, actualmente se encuentran en la instalación y acondicionamiento para la colecta de este biogás. Se ha observado que, en las condiciones climáticas de Cuautla, Morelos, el “frío y agua” mejora la producción de biogás. El biogás se monitorea cada 4 horas (en la planta de generación de energía) y se cuida que se respeten los límites: 53% metano, 47% dióxido de carbono

y 0.5% de oxígeno. Durante la visita realizada el 12 de julio de 2022, el biogás se estaba quemando, debido a actividades de mantenimiento.

31. Generación de electricidad. El generador es un motor combinado de 16 pistones. Está conectado a CFE en media tensión y con esto se inyecta a la red de electricidad. La tensión normal es de 480 V. Se vende la energía a Industrias: Buin Mor y Metapel. Y además venden los bonos de carbono.
32. Una de las verificaciones que el relleno sanitario solicita es la que se lleva a cabo por PROFEPA.
33. La NOM-083-SEMARNAT-2003 es aplicada por los ingenieros que operan el relleno sanitario.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El municipio de Chihuahua, Chih., México, tiene una población de 937,674 habitantes (INEGI 2020), la densidad de población es de 111.9 hab/km². Existe un total de 300,787 viviendas particulares habitadas (representan el 26.2% del total estatal), con un promedio de 3.1 ocupantes por vivienda y 0.7 ocupantes por cuarto. El 97.9 % cuenta con agua entubada, 99.4% drenaje, 99.6% servicio sanitario, 99.7% energía eléctrica, 76.3% tinaco y el 8.1% cisterna o aljibe. 88.8% de la población se encuentra afiliada a algún servicio de salud. El 98.2% del total de la población es económicamente activa (INEGI 2020).

El estado de Chihuahua ocupa el 9º lugar en la aportación al PIB nacional por entidad federativa (INEGI 2020) con 3.6 %, por arriba de estados como: Puebla, San Luis Potosí, Querétaro, entre otros. La población del estado es el 3% del total de México y su extensión es el 12.6 % del territorio nacional.

(1) Clasificación de la población en sectores (NMX-AA-61-1985)

Para determinar la generación per cápita de los residuos sólidos provenientes de casas habitación como en otro tipo de fuentes (excepto las industriales) se ha de emplear la NMX-AA-61-1985. Dentro de la norma se hace la aclaración que se parte de un muestreo estadístico aleatorio en sectores o zonas.

Se establecieron los sectores o zonas de estudio en el municipio de Chihuahua considerando los sectores que tiene delimitado Servicios Públicos Municipales para la recolección de residuos en casas habitación, esto es 12 zonas, aunque no son estratos socioeconómicos, si obedece a la organización técnica y operativa de la

dependencia mencionada, ya que las 12 zonas en las que está dividida la ciudad, corresponden a las rutas de recolección de RSU y dichas rutas están organizadas por la relativa homogeneidad que guardan con respecto a ciertas variables socioeconómicas así como a las vías de acceso y comunicación existentes. Esta estratificación arroja información respecto al comportamiento en la generación de RSU por cada zona, con lo que se pudieran definir estrategias de educación ambiental, así como de valorización y eficiente recolección. Además, junto con la información obtenida a nivel municipal, se realiza el análisis para el diseño de las propuestas de educación ambiental, así como de valorización de los RSU. Con estas 12 zonas se procede a los cálculos para definir el tamaño de la muestra. La información de los sectores socioeconómicos propuesta por Gómez et al., 2008 y Gómez et al., 2009 es una estratificación más amplia, por lo que se pierde información valiosa para los fines del estudio. Además, acorde a la información facilitada por el Relleno Sanitario “La Perseverancia”, la ubicación geográfica es un dato útil para la selección de los residuos (provenientes de camiones de basura) que pueden contener RSU de mayor valor para el mercado y por lo cual puede llegar a ser factible el trabajo de separación para la posterior venta o aprovechamiento de los residuos.

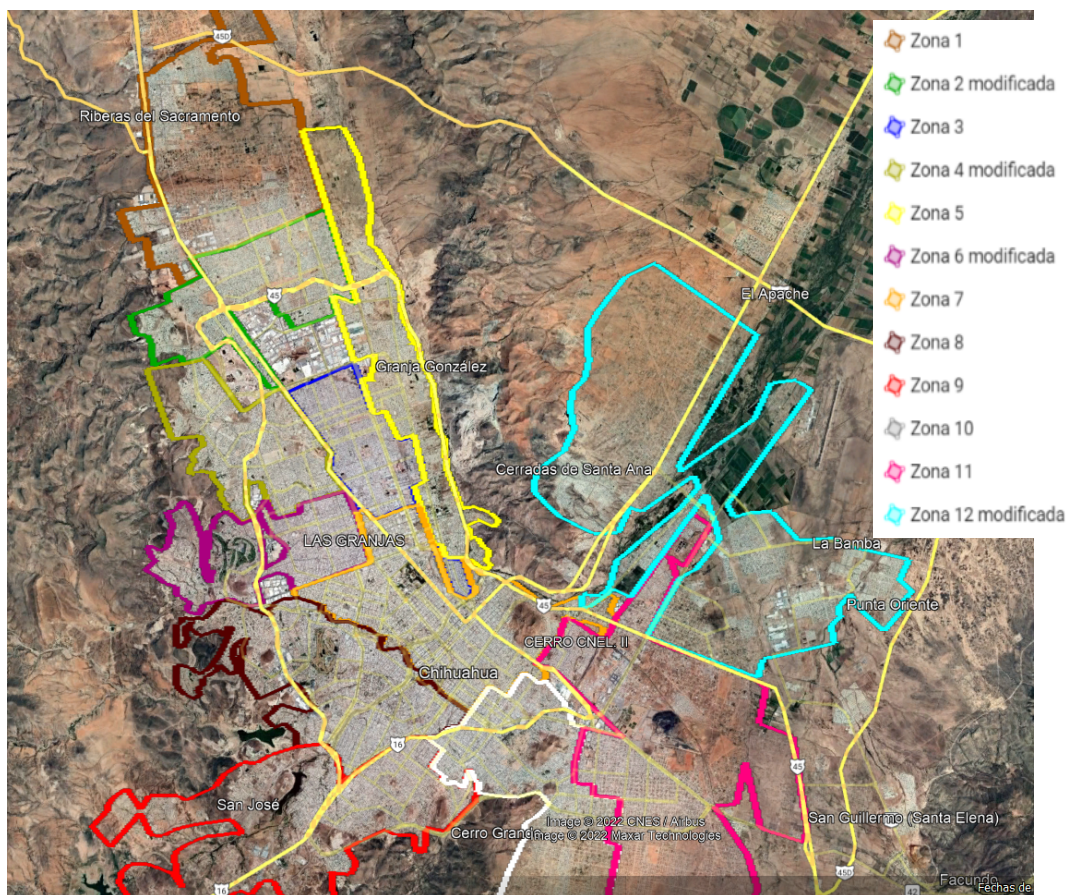


Figura 3 Límites de las 12 zonas de estudio del municipio de Chihuahua.

(2) Determinación del número de muestras (NMX-AA-61-1985)

El riesgo con que se realiza el muestreo se elige con base en los siguientes factores:

1. Conocimiento de la localidad
2. Calidad técnica del personal participante
3. Facilidad para realizar el muestreo
4. Características de la localidad a muestrear
5. Exactitud de la báscula por emplear

Tabla 3 Probabilidad, riesgo y tamaño de premuestra acorde a NMX-AA-61-1985.

PROBABILIDAD %	RIESGO SELECCIONADO	TAMAÑO DE LA PREMUESTRA
95	0.05	115
90	0.10	80
80	0.20	50

Para el presente estudio se eligió el 0.20 de riesgo (Tabla 3), con un 80% de probabilidad, lo que da un tamaño de premuestra de 50, localizadas de manera aleatoria (por medio de SIG) en cada zona (Figura 4). Debido a que son 12 zonas, el número de muestras totales es de 600 casas, es decir 600 muestras por día, dando un total de 4200 muestras (para los 7 días). Para esta selección se apoyó en las herramientas del INEGI 2022 y datos del SCINCE 2022.

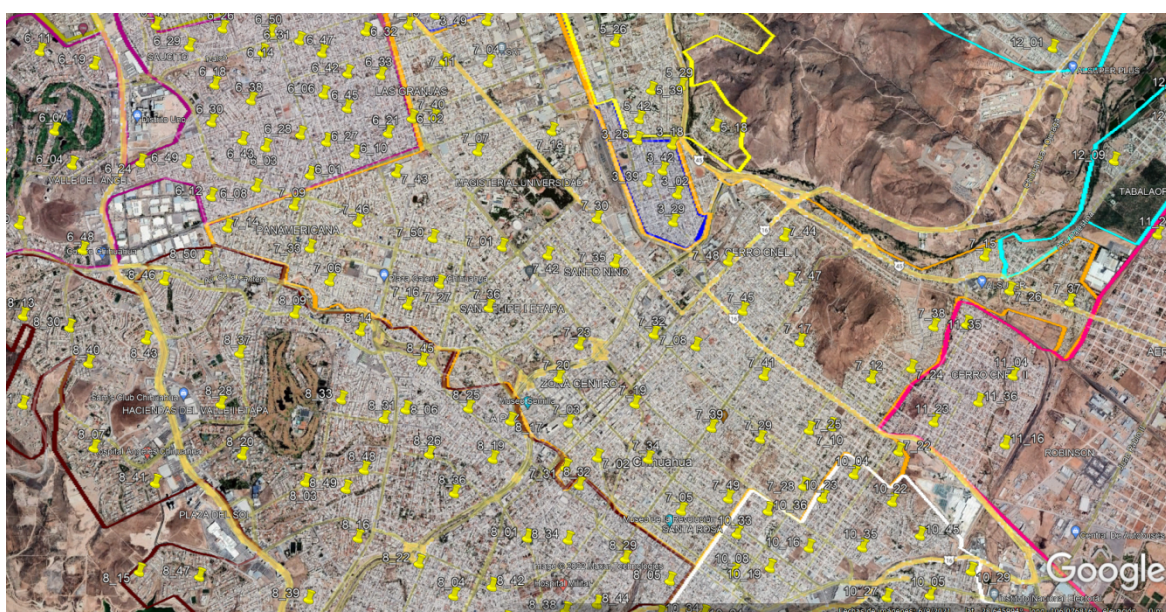


Figura 4 Detalle de algunas zonas con las ubicaciones de los domicilios elegidos de manera aleatoria.

La generación per cápita de RSU domésticos se obtiene con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante, medido en kg/hab/d (o también kg/hab.d), a partir de la información obtenida del muestreo estadístico aleatorio en campo, con duración de ocho días para cada una de las zonas establecidas.

(3) Colecta de muestras: capacitación a brigadistas, encuestas a domicilios y recolecta (NMX-AA: 15, 19 y 22 de 1985)

Sujetándose a la normatividad establecida, el primer paso para el desarrollo de un estudio de generación es la planeación de las actividades de gabinete y campo (Figura 5), una vez que se ha determinado el tamaño de la muestra representativa que está en función del nivel de confianza que se desea obtener, como se describió en el paso anterior, se diseña la encuesta y los formatos conforme a norma (Figura 6).

Se conformaron 6 brigadas, cada una formada por: 1 jefe de brigada (profesor o técnico de la UACH), 4 brigadistas (estudiantes de Servicio social). Igualmente se contó con: 1 supervisor (Técnico de la UACH) y 1 capturista de datos (estudiante). Debido a la cantidad de trabajo, se conformó de manera emergente una brigada más, formada por: 1 jefe de brigada, 5 brigadistas y 1 auxiliar para la captura de datos. Dando un total de 39 personas. El desarrollo del trabajo se describe de manera general en la Figura 5, a continuación se detallan algunos pasos importantes.

Identificar físicamente los elementos de la muestra en el universo de trabajo, anotando con pintura el número aleatorio correspondiente al elemento, en algún lugar visible de la calle donde encuentra la casa habitación o elemento por muestrear (Figura 7).

Recorrer el universo de trabajo, visitando a los habitantes de las casas seleccionadas para la premuestra, con el fin de explicarles la razón del muestreo por realizar, así como para captar la información general que se indica en la cédula de encuesta de campo (Figura 6). Entregando una bolsa de polietileno (Figura 7).

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

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

A partir del segundo, hasta el séptimo días del período de muestreo, se recogen las bolsas conteniendo los residuos generados el día anterior y a su vez se entrega una nueva bolsa para almacenar los residuos por generar las siguientes 24 horas (Figura 8).

A la bolsa conteniendo los residuos generados, se le anota el número aleatorio correspondiente, con el fin de identificar los elementos de la premuestra, se pesa y se vacía la información en el formato acorde a norma (Figura 9).

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

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

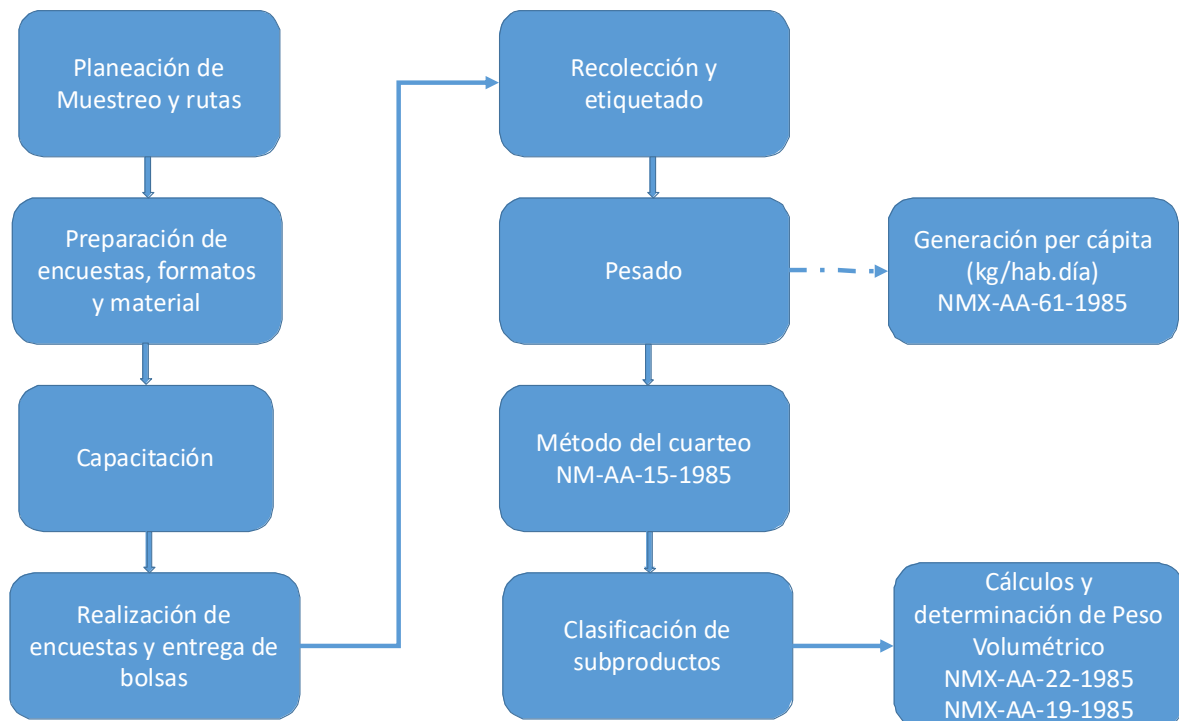


Figura 5 Organización del trabajo y capacitación a brigadistas.

Folio 5-4
Encuestador A. R. G.
Fecha 10/06/2019

Buenos días/tardes, la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) se encuentra realizando una investigación acerca del manejo de la basura por parte de la ciudadanía. El poder contar con su participación es muy importante. La información será analizada respetando el aviso de privacidad y se tratará de manera confidencial. ¡MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

AVISO DE PRIVACIDAD: Doy mi consentimiento y autorizo a la UACH para que resguarde la información personal proporcionada y utilice mis datos con fines académicos y de investigación.

PARTE I. IDENTIFICACIÓN DE LA VIVIENDA Y NORMA

De Muestra 12-43 # Aleatorio 12-43 ID 12-43
Localidad Chihuahua Municipio CHIHUAHUA Estado CHIHUAHUA
Domicilio Calle Urbana Colonia 166.026080W
C.P. 31513 Georreferenciación 25° 16' 33.4" N, 106° 02' 60.8" W

No. 1 Días de Recolección de Basura: L M T J V S Tipo de Recipiente que usa: Volcan
Habitantes: 4
El servicio de recolección de basura es: Bueno ☒ Regular ☐ Malo ☐

PARTE II. ANÁLISIS SOCIODEMOGRÁFICO Y ECONÓMICO

1. Sexo del encuestado Femenino ☐ Masculino ☒
2. Edad del encuestado 26
3. ¿Cuál es el grado de estudios máximo terminado del responsable económico?
Primaria ☐ Secundaria ☐ Preparatoria/Bachillerato ☒ Universidad ☐ Posgrado ☐
Otro (especificar): _____
4. ¿Cuánto paga de tarifa eléctrica en promedio cada dos meses?
Menos \$100.00 ☐ Entre \$101.00 a \$400.00 ☐ Entre \$401.00 a \$800.00 ☐ Entre \$801.00 a \$1200.00 ☐ Más de \$1200.00 ☐
5. En tiempo de calor ¿Qué equipo de enfriamiento utiliza?
Aire Lavado ☒ Ventilador ☐ Minisplit ☐ Ninguno ☐
Otro (especificar): _____
6. ¿Cuántos automóviles tienen en su hogar? 2

PARTE III. EDUCACIÓN Y CONOCIMIENTO

7. ¿Cuenta con seguro de gastos médicos mayores? Si ☐ No ☒
8. ¿Cuenta con algún tipo de seguridad social?
IMSS ☒ PCM ☐ ISSTE ☐ PCE ☐ ICHISAL ☐ SEDENA ☐ INSABI ☐ PEMEX ☐ Ninguno ☐
Otro (especificar): _____
9. ¿Acostumbra a separar la basura? Si ☒ No ☐ (Si la respuesta es "No" pase a la pregunta 11)
10. ¿Qué tipo de basura separa?
Cartón ☐ Plástico ☐ Aluminio ☐ Vidrio ☐ Desechos de Comida ☐
Otro (especificar): _____
11. Indique de los siguientes artículos de cuáles conoce a donde se llevan para reciclar:
Cartón ☒ Aluminio ☒ Vidrio ☒ Electrónicos ☐ Plástico ☒ Tapas Plástico ☐
Pilas ☐ Papel ☐ Fierro ☐ Ropa ☐ Medicamentos Caducos ☐
Otro (especificar): _____
12. ¿Ha participado en alguno de los servicios de destilchaderos municipales? Si ☐ No ☒
13. En caso de que la respuesta haya sido negativa, ¿por qué no?
No sabía que existía ☐ No sé dónde se ubica ☐ No me he enterado de las campañas ☐ No se me ha ofrecido ☒
Otro (especificar): _____

PARTE IV. MANEJO DE LOS HOGARES

14. Cuando ya no usa los siguientes artículos ¿Qué hace normalmente con ellos?

Opción	Lo tiro a la basura común	Lo llevo al relleno sanitario	Lo saco a la calle para que alguien lo recoja	Lo guardo hasta el destilchadero	Lo regalo o vendo a alguien que le interese
Ropa					
Escombro					
Llantas					
Muebles					

PARTE V. INTENCIÓN DE PARTICIPACIÓN

15. ¿Cómo tira a la basura los siguientes productos?

Opción	Directo en la basura común	En un contenedor separado en la basura común	Lo tiro al baño, resuridero o tarja	Lo llevo a un centro de acopio	Lo tiro en lotes baldíos
Jeringas					
Medicamentos caducos					
Pilas					
Aceites					

16. ¿Qué hace antes de tirar los siguientes artículos:

Opción	Los separo	Los limpio	Los aplasto	Separo, limpio y llevo a centro de acopio	Nada
Plástico transparente PET					
Plástico blanco					
Plástico de colores					
Envases Tetra pack					
Papel (libros, cuadernos)					
Latas de aluminio					
Cartón					
Otros plásticos					

17. En caso de no pasar el servicio de recolección de basura, ¿Qué hace con la basura?
La dejo en la calle ☐ La tiro por mí cuenta ☐ La guardo para cuando pase ☒ La deposito a un vecino ☐
Otro (especificar): _____

18. ¿Está dispuesto(a) a separar la basura? Si ☒ No ☐ (Si la respuesta es "Si" pase a la pregunta 20, si la respuesta es "No" pase a la pregunta 19)

PARTE V. INTENCIÓN DE PARTICIPACIÓN

19. Considerando que usted no está dispuesto a separar la basura, ¿podría indicar la o las causas? (Pasar a la pregunta 21)
Falta de costumbre de separar ☐
No sé cómo separar la basura ☐
No creo que sea necesario separar la basura ☐
Falta de tiempo para separar la basura ☐
No me gusta separar la basura ☐
Otro (especificar): _____
20. ¿Qué tan disponible estaría a separar la basura en orgánica e inorgánica y sacarla en diferentes días? Del 1 al 5 (1=totalmente en desacuerdo, 5= totalmente de acuerdo) 4
21. ¿Qué recompensa le gustaría recibir por separar la basura? (selecciona 3 opciones)
Despensa ☐ Descuentos en servicios o tiendas ☒
Dinero ☒ Boletos para eventos (cine, conciertos, ferias, etc.) ☐
Una insignia social ☐ Participar en rifas (Automóviles, pantallas, etc.) ☐
Satisfacción personal ☐ Otros (especifique): _____
22. ¿Alguna recomendación acerca del manejo de la basura que usted quiera hacer?
No lo sé
23. Comentarios del encuestador:

24. ¿Estaría dispuesto a participar en el programa de recolección de basura por 8 días?
Si ☒ No ☐

Figura 6 Ejemplo de captura de información en la encuesta diseñada.



Figura 7 Capacitación a brigadistas, visita a domicilios aleatorios, definición de muestra aleatoria, aplicación de encuestas.



Figura 8 Recolección de residuos.

GENERACIÓN PERCAPITA

SECTOR 4 Fecha 27/06/2022

ID	Peso en Kg	ID	Peso en Kg
4-11	0.530	4-27	3.090
4-09	1.100	4-06	6.000
4-20	1.050	4-38	7.205
4-39	2.950	4-50	0.415
4-23	6.635	4-18	3.255
4-41	1.980	4-49	(2)
4-13	5.500	4-47	1.375
4-07	0.665	4-42	7.055
4-33	2.910	4-15	1.355
4-03	5.590	4-17	5.925
4-30	3.170	4-35	3.245
4-29	0.780	4-45	6.790
4-32	2.785	4-39	2.510
4-26	(2)	4-44	8.255
4-40	8.625	4-22	1.240
4-51	2.150	4-21	2.825
4-12	6.320	4-28	1.130
4-62	0.925	4-16	2.405
4-08	3.280	4-43	3.000
4-10	3.140	4-31	1.215

Peso
*8.625
kg
*6.320
kg

(2) No
deja
basura

Figura 9 Ejemplo de llenado del formato de captura de información conforme a norma.

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

(4) Cuarteo, determinación de peso volumétrico, clasificación y cuantificación de los subproductos (NMX-AA: 15, 19 y 22 de 1985)

La Norma Mexicana NMX-AA-15-1985 establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis de laboratorio. Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta norma. Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área de estudio, obtenida según NMX-AA-61-1985.

Aparatos y equipo empleado:

1. Báscula de piso, con capacidad de 200 kg
2. Bolsas de polietileno de 1.10 x 0.9 m y calibre mínimo del No. 200, para el manejo de subproductos
3. Palas curvas
4. Bieldos

5. Overoles
6. Guantes de carnaza
7. Escobas
8. Botas de hule
9. Cascos de seguridad
10. Mascarillas protectoras
11. Papelería y varios (encuestas, formatos, marcadores, entre otros)

Procedimiento:

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas. El equipo requerido antes descrito, está de acuerdo con el número de personas que participan en el cuarteo (Figura 10).



Figura 10 Preparación para el cuarteo.

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos por zona de estudio, resultado de la generación según la NMX-AA-61-1985. En ningún caso se toma más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo, en este caso, máximo son 50. El contenido de dichas bolsas se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.

El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o bieldo, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D como se observa en la Figura 11.



Figura 11 Cuarteo de residuos sólidos municipales.

Y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 kg de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-22-1985 (Figura 11).

La norma NMX-AA-022-1985 establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos o residuos con potencial valorización contenidos en los Residuos Sólidos Municipales.

Aparatos y equipo empleado:

12. Báscula de piso, con capacidad de 200 kg
13. Balanza granataria con capacidad para 20 kg y sensibilidad de 1 g.
14. Criba M 2.00 según NMX-B-231.
15. Mascarillas protectoras
16. Recogedores

17. Overoles
18. Escobas
19. Botas de hule
20. Guantes de carnaza
21. 30 bolsas de polietileno de 1.10 x 0.8 m y calibre mínimo del No. 200
22. Papelería y varios (cédula de informe de campo, marcadores, ligas, etc.)

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

Procedimiento:

La muestra se extrae como se establece en la NMX-AA-015 y se toman como mínimo 50 kg, que procede de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas. Después, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos, de acuerdo con la clasificación de la norma NMX-AA-022-1985. En la Tabla 4 se muestran los subproductos y ejemplos de residuos clasificados durante el trabajo.

Tabla 4 Clasificación de subproductos y ejemplos de residuos clasificados.

Subproductos	Ejemplos de residuos
Algodón	Ropa, telas, trapos (todos de algodón)
Cartón	Cajas, carteras de huevo
Cuero	Zapatos, bolsas, ropa
Residuo fino	Arena, polvo
Envase de cartón encerado	Botes tipo Tetra Pak, botes de leche y jugos
Fibra dura vegetal	Estropajos
Fibras sintéticas	Fibras lava trastes
Hueso	Residuos de pollo, res, pescado
Hule	Residuos de llantas, bolsas, cámaras de llantas
Lata	De chile, verduras, atún
Loza y cerámica	Pedacería de azulejos, pisos
Madera	Palos de escoba, cuadros
Material de construcción	Pedazos de ladrillos, restos de escombro
Material ferroso	Pedazos de varilla, ángulos, clavos, tornillos
Material no ferroso	Pedacería de material
Papel	Periódicos, cuadernos, libros
Pañal desechable	Pañales desechables

Plástico de película	Bolsas de supermercados (e.g., Al Super, Soriana)
Plástico rígido	Botes de cosméticos, limpiadores
Poliuretano	Esponjas, rellenos de asientos
Poliestireno	Nieve seca, platos, vasos
Residuos alimenticios	Residuos de comida, cascara de naranja, plátano
Residuos de jardinería	Plantas, hojas, flores
Trapo	Ropa de poliéster y material sintético
Vidrio de color	Vidrio de colores, residuos de botellas de colores
Vidrio transparente	Residuos de botellas transparentes
Otros	Todo lo no descrito en espacios anteriores.

Cuantificación:

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

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

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

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

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

G = Peso total de la muestra.

Los resultados se anotan, como se indica en la hoja de registro (Figura 10).

La norma NMX-AA-19-1985 establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo".

Aparatos y equipo:

1. Básculas de piso con capacidad de 200 kg
2. Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 200 L
3. Palas curvas
4. Overoles

5. Guantes de carnaza
6. Escobas
7. Recogedores
8. Botas de hule
9. Mascarillas
10. Papelería y varios necesarios para la operación (cédula de información de campo, marcadores, entre otros)



GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS

ID Sector 1 Fecha 21/06/2022

Responsable del registro Adrián Barrera

Subproductos	Peso en Kg	% en peso	Observaciones
Algodón			
Cartón	2.8	14.29	
Cuero			
Residuo fino			
Envase de cartón encerado	0.2	1.02	
Fibra dura vegetal			
Fibras sintéticas			
Hueso			
Hule			
Lata	0.6	3.06	
Loza y cerámica			
Madera			
Material de construcción			
Material ferroso			
Material no ferroso			
Papel	1.8	9.18	
Pañal desechable	0.8	4.08	
Plástico de película	1.6	8.16	
Plástico rígido	1.6	8.16	
Poliuretano	0.2	1.02	
Poliestireno			
Residuos alimenticios	2.6	13.27	
Residuos de jardinería	5.6	28.57	
Trapo			
Vidrio de color	0.6	3.06	
Vidrio transparente	1.2	6.12	
Otros			
19.6			

Figura 12 Formato de registro para la selección y cuantificación de subproductos, ejemplo de llenado.

Para determinar el peso volumétrico *in situ*, se debe tomar los residuos eliminados de la primera operación del cuarteo y se requiere de cuando menos dos personas. El equipo requerido antes descrito está de acuerdo con el número de personas que participen en la determinación.

Antes de efectuar la determinación se verifica que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras; así como también que la báscula esté nivelada. Se pesa el recipiente vacío, tomando este peso como la tara del recipiente. En caso dado de no conocer la capacidad del recipiente, ésta se determina a partir de las formulaciones

aritméticas existentes, según sea la geometría del recipiente. Después, llenar el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma Mexicana NMX-AA-15-1985; golpee el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm. Nuevamente agregue residuos sólidos hasta el tope, teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar.

Se debe tener cuidado de vaciar dentro del recipiente todo el residuo, sin descartar los finos. Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pesa el recipiente con estos y se resta el valor de la tara. Cuando no se tenga suficiente cantidad de residuos sólidos para llenar el recipiente se marca en éste, la altura alcanzada y se determina dicho volumen.

El peso volumétrico del residuo sólido se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_V = \frac{P}{V}$$

en donde:

P_V = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m³

P = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m³

Los resultados obtenidos al realizar la operación que se describe en esta norma mexicana, deben reportarse en la cédula de informe de campo (Figura 13).



SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

GENERACIÓN DE SIMPTOMAS

CÉDULA DE INFORME PARA LA DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO
"IN SITU" DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Localidad CUU Municipio CUU Estado CUU

Fecha y hora de la determinación 22/06/2022 15:25

Estrato socio-económico muestreado _____

Condiciones climatológicas imperantes durante la determinación Salvado

Capacidad del recipiente 150 litros

Peso bruto (peso del recipiente con residuos sólidos) 30.4 kg

Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto tara) 16.6 kg

Peso volumétrico "in situ", de los residuos sólidos _____

Responsable de la determinación:

Nombre Angela Romero cargo Jefe de brigada

Dependencia o institución UACH

Observaciones _____

Figura 13 Cédula de informe para la determinación de Peso volumétrico "in situ" de los RSU domiciliarios del municipio Chihuahua.

La captura de estos resultados, junto con todos los anteriores ya descritos, se recolectan en una base de datos de diseño de la UACH, donde se maneja y generan los estadísticos para el análisis posterior.

La norma NMX-AA-61-1985 indica un análisis de los resultados de la premuestra y propone un análisis estadístico para ver si es suficiente el número de muestras colectado. Para el presente estudio no se realizó premuestra ya que la muestra que se tomó excede lo que se pide en la fórmula para trescientas mil casas habitación de la Ciudad de Chihuahua.

Resultados y discusión

En total, durante todos los días se recolectaron 466 muestras. El total de residuos sólidos analizados fue de 5159 kg, el cual fue generado durante la semana por 1613 residentes de los domicilios estudiados. El promedio de la generación de residuos para el municipio de Chihuahua en junio 2022 fue de 0.78 kg/hab/d con una desviación estándar muestral de 0.2385 kg/hab/d el cual fue generado por un promedio de 3.47 residentes por casa habitación. El resultado de la generación per cápita muestra una distribución como se muestra en la figura 14 y tiene un intervalo de confianza de la media al 95% de: $0.7321 \leq \mu \leq 0.8423$ kilogramos por habitante por día.

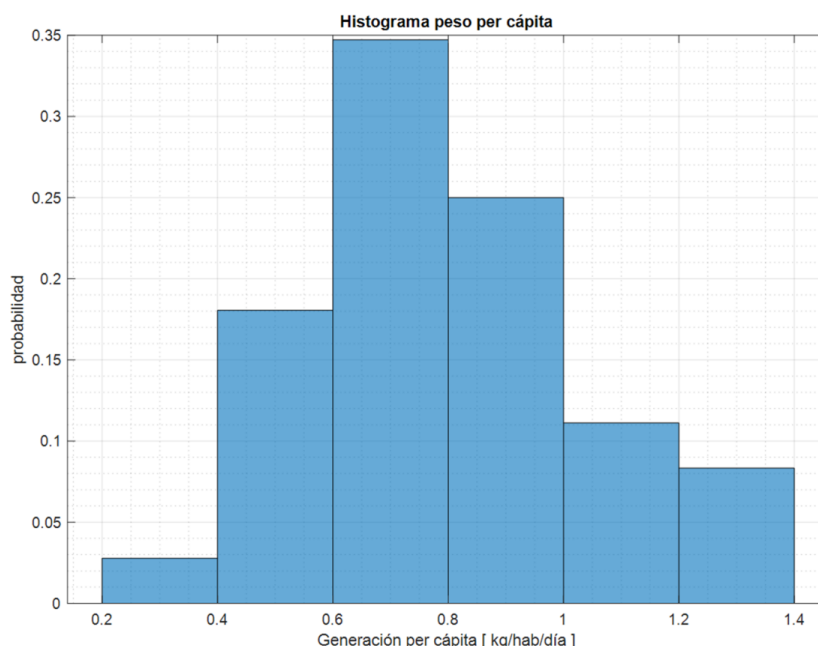


Figura 14 Histograma de la generación per cápita de RSU en kg/hab/d.

La distribución de la generación per cápita en los diferentes sectores, estudiados desde el punto de vista de clasificación socioeconómica, aproximación que se puede realizar por la información obtenida a partir de las encuestas a cada domicilio en los 12 sectores, se puede observar que el comportamiento es principalmente en dos bloques principales, bajo y medio (Figura 15).

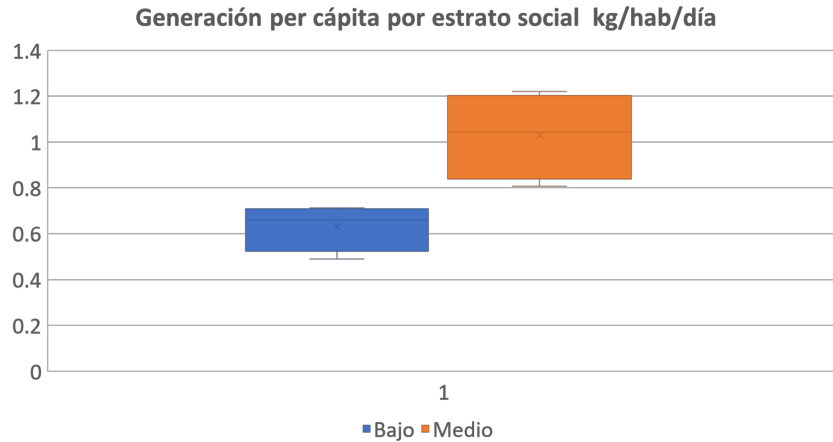


Figura 15 Diagrama de caja y bigotes de la distribución de la generación per cápita en los dos estratos sociales observados.

La media muestral del peso volumétrico obtenido da un valor de 103.60 kg/m³ con una desviación estándar muestral de 23.44 kg/m³. Estos valores tienen un intervalo de confianza de la media al 95% de: $98.18 \leq \mu \leq 109.02$ kg/m³. La distribución del peso volumétrico observado se muestra en la Figura 16, donde se observan dos niveles bien definidos que fueron etiquetados como bajo y alto.

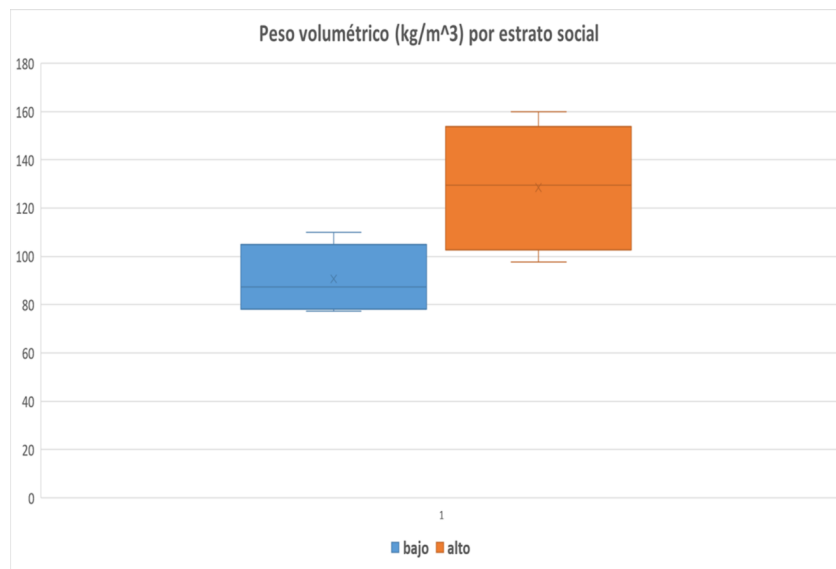


Figura 16 Diagrama caja bigotes de la distribución del peso volumétrico en los dos niveles observados.

La clasificación observada de RSU domésticos para el municipio de Chihuahua, se puede observar en la Figura 17. En las figuras 18 y 19 se observa la clasificación de RSU para los estratos socioeconómicos alto y bajo, respectivamente.

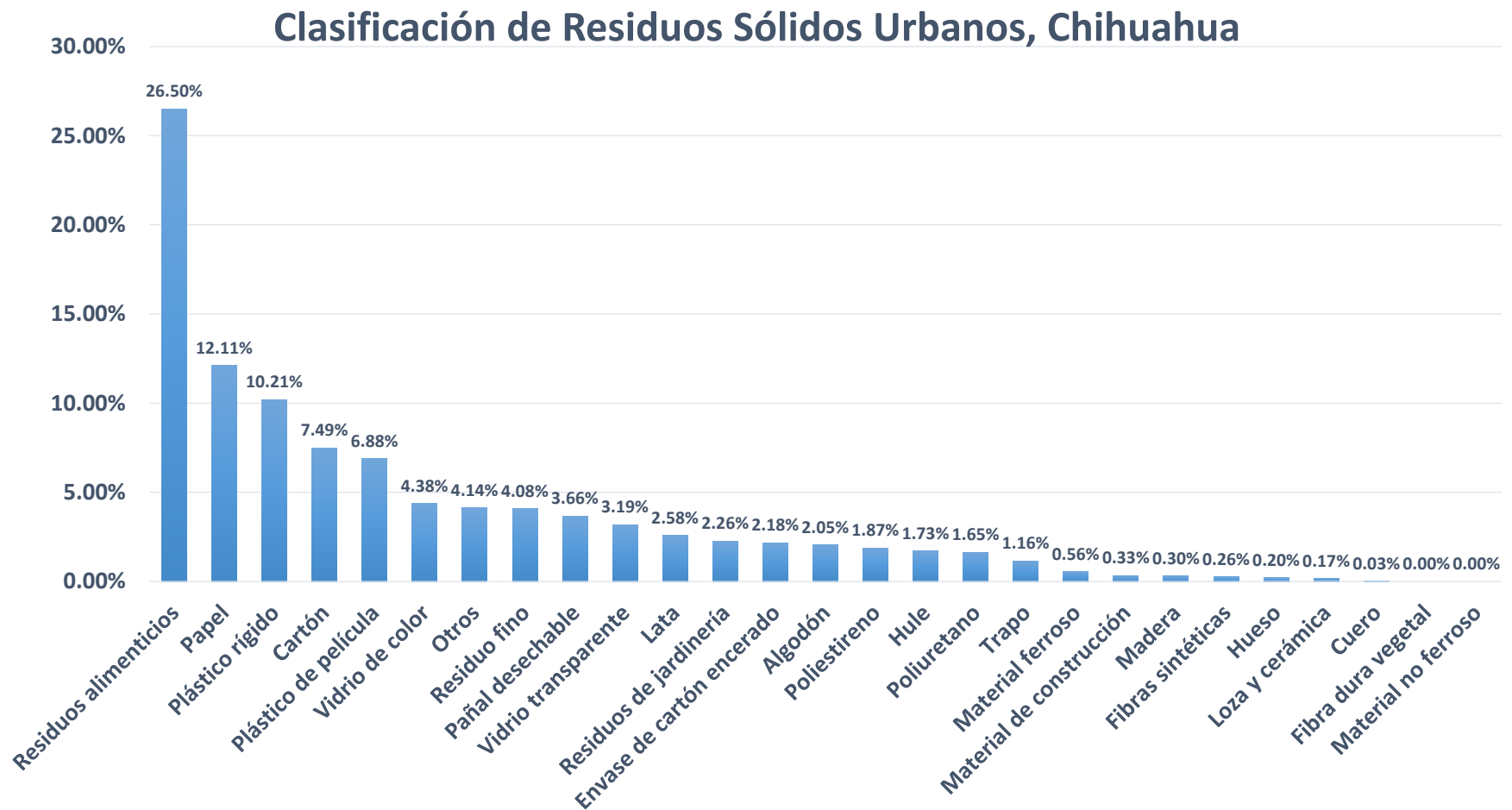


Figura 17 Clasificación de RSU domésticos del municipio de Chihuahua.

Clasificación de Residuos Sólidos-Estrato Socioeconómico Alto

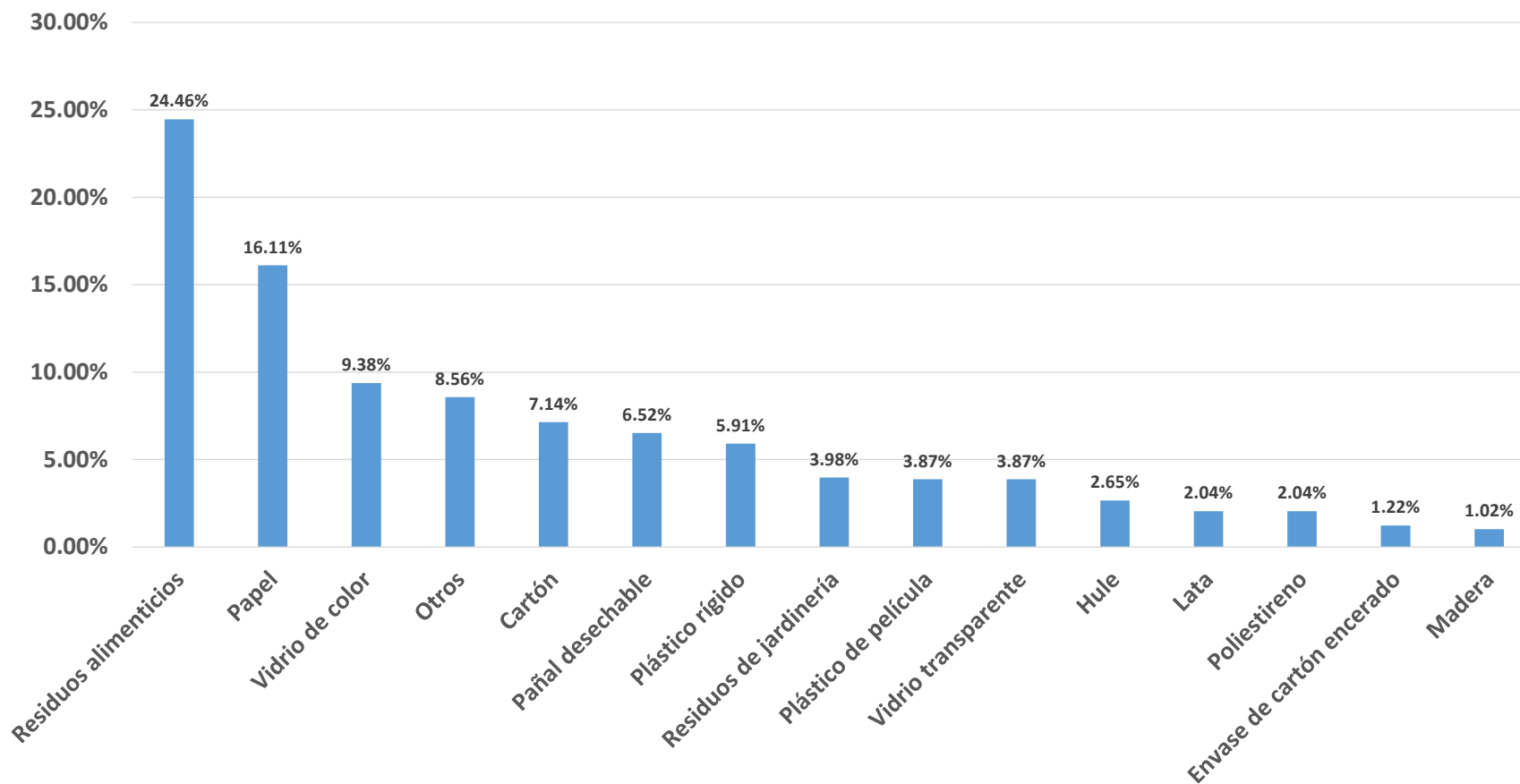


Figura 18 Clasificación de RSU domésticos del estrato socioeconómico Alto.

Clasificación de Residuos Sólidos-Estrato Socioeconómico Bajo

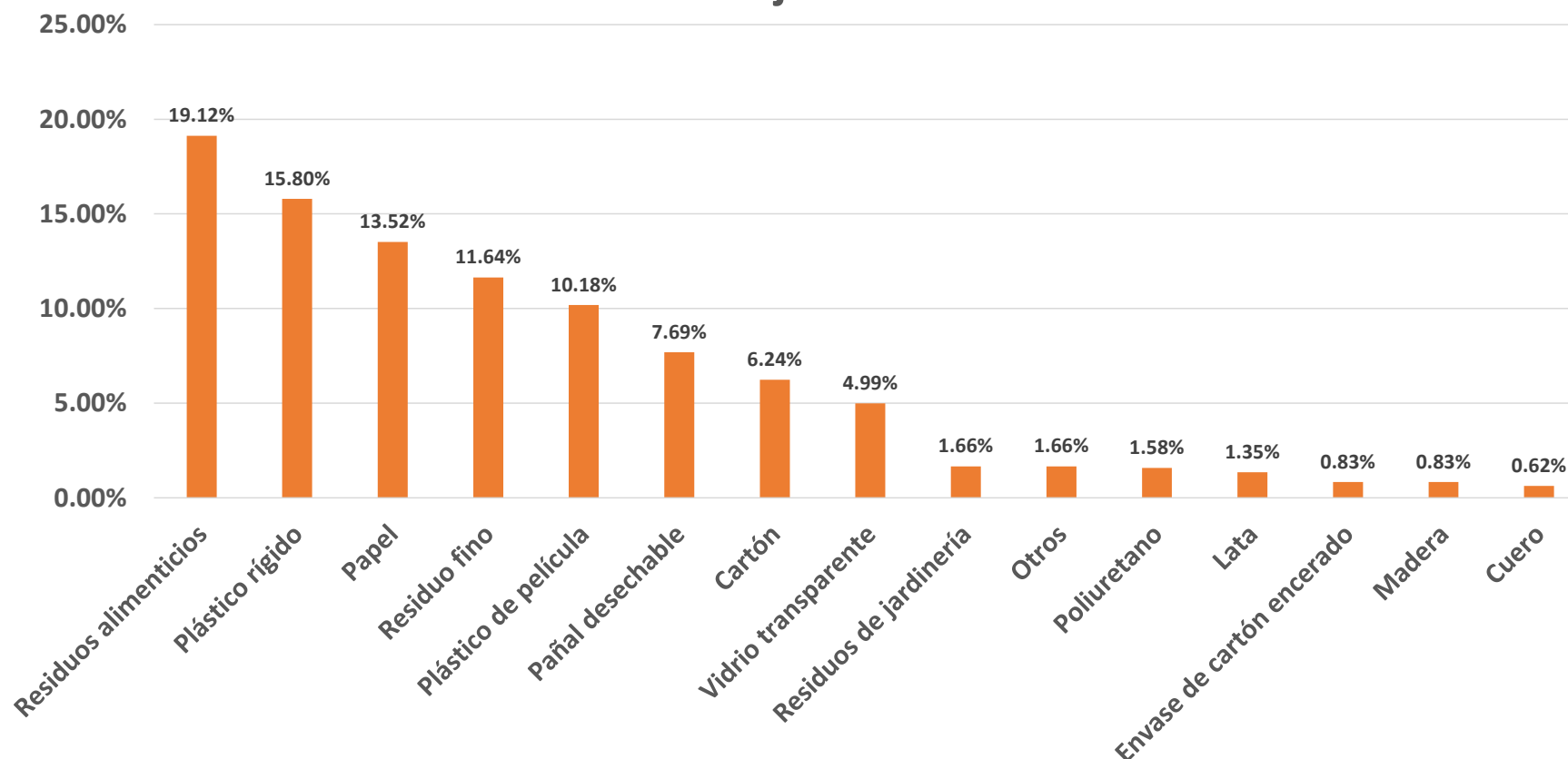


Figura 19 Clasificación de RSU domésticos del estrato socioeconómico Bajo.

Residuos orgánicos

En las figuras 17 a 18 se observa el potencial de aprovechamiento y valorización de ciertos residuos. Como se ha visto en trabajos anteriores (Gómez et al., 2008, Gómez et al., 2009) y en las experiencias de otros rellenos sanitarios como el caso de la “Perseverancia”, los residuos orgánicos son el mayor porcentaje en los RSU y se pueden aprovechar mediante un sistema de digestión anaerobio y transformarlos a biogás (Atelge et al., 2020; Sierra y Barrios 2013), que a su vez será convertido a energía eléctrica. Comúnmente se le conoce como proceso de digestión anaerobia, para el Municipio de Chihuahua es factible por la cantidad de residuos que se reporta en el presente estudio. Para este fin, los residuos que corresponden a la clasificación de la norma NMX-AA-22-1985 como residuo orgánico aprovechable para la generación de biogás son: residuos alimenticios y de jardín.

La Figura 20 muestra la cantidad de residuos diarios generados por el Municipio de Chihuahua en toneladas, el cálculo de estos residuos se realiza con la generación per cápita (0.78 kg/hab/d), los porcentajes de generación obtenidos por la clasificación de residuos y la población total del municipio. Esto da un total de 209.9 toneladas diarias de residuos orgánicos generados por los habitantes del Municipio de Chihuahua, que tienen un potencial de generación de biogás de $0.34 - 0.44 \text{ m}^3 / \text{kg}$ de sólido volátil (SV) (Atelge et al., 2020). El rendimiento aproximado de biogás de RSU por kg de materia seca es 0.5 m^3 , donde el contenido promedio de metano en el biogás puede llegar al 70% (Rao et al., 2000). APHA 1998, reporta una relación de masa de SV(%) = $(100 \times (\text{Residuos secos} - \text{Ceniza de Residuos}) / \text{Residuos secos})$. Con esto vemos la importancia de un estudio posterior del potencial que tienen los residuos orgánicos del municipio de Chihuahua para la producción de biogás, ya que su precio es 30% menos que el del gas natural, como ejemplo, se cuenta con los datos aproximados de \$1,097 pesos mexicanos/MWh (ó 55 €/MWh), el gas natural tiene un costo de \$1,595.00 pesos mexicanos/MWh (80 €/MWh).

Atelge et al., 2020 comenta el gran potencial que tienen **los desechos domésticos orgánicos** y los residuos de alimentos de los RSU municipales como sustrato de digestión anaerobia y por lo cual **deben ser recolectados por separado**. Esto mejora la eficiencia del proceso de reciclaje completo. De no ser recolectados los residuos orgánicos de manera adecuada, en vez de ser una fuente alterna de energía, se transforman en generadores de contaminación de agua y suelo por los metales pesados contenidos en los lixiviados, contaminan al aire por la emisión de olores y degradación biológica. Aproximadamente el 5% de las emisiones totales de CO₂ y el 9 % de las emisiones de CH₄ se generan a partir de los RSU (Hoornweg y Bhada 2012; Vergara y Tchobanoglous 2012). Por lo tanto, el concepto de reciclaje

y reutilización puede ser una solución clave para gestionar el problema de residuos. Los residuos orgánicos en los RSU constituyen del 50 al 70% en los países de ingresos bajos y del 20 al 40% en los países de ingresos altos (Hoornweg y Bhada 2012).

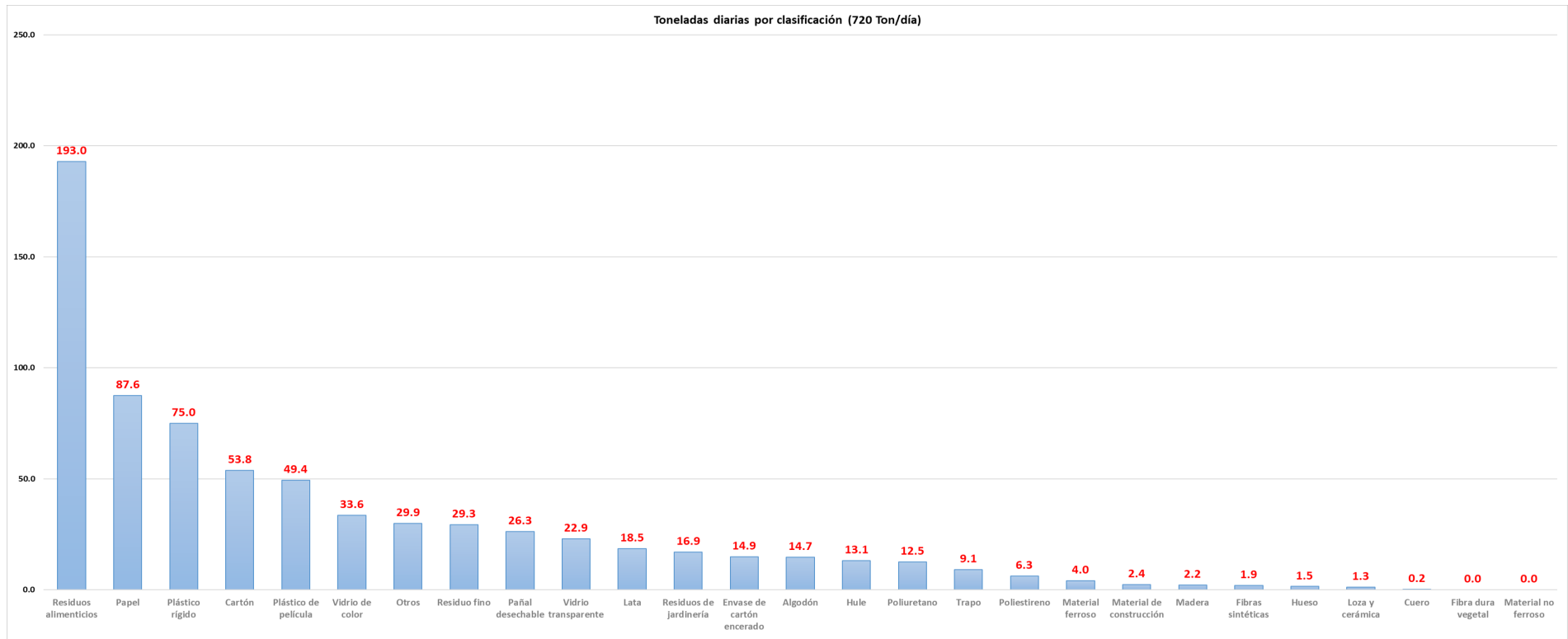


Figura 20 Toneladas de residuos generados diariamente por la población del Municipio de Chihuahua, clasificación acorde a norma NMX-AA-22-1985.

Algunos de los retos en la producción de biogás son: heterogeneidad en los residuos que provoca una variable relación carbono-nitrógeno, alto contenido de desechos sólidos para el proceso de digestión anaerobia y el gran tamaño de las partículas. Los desechos municipales recolectados por separado generalmente se usan como cosustrato con estiércol animal o lodo para aumentar la producción de metano. Así, un codigestor es la mejor opción para estos residuos. La literatura reporta que los desechos se pueden mezclar con lodos de plantas tratadoras de aguas residuales o estiércol. La Tabla 5 (Atelge et al., 2020), muestra estudios sobre residuos sólidos municipales y su producción de metano en las propuestas de codigestión estudiadas en los últimos años.

Tabla 5 Relación del rendimiento de metano dependiendo el tipo de sustrato (Atelge et al., 2020).

Tipo de sustrato	Rendimiento de metano (m³ / kg sólidos volátiles)	Referencia
Residuo orgánico de RSU y lodos activados	0.34 a 0.49	Cavinato et al., 2019
Residuo orgánico de RSU y lodos activados	0.376	Ara et al., 2015
Residuos orgánicos de RSU y estiércol de ganado	0.443	Tsapekos et al., 2018
Residuos orgánicos de RSU y estiércol de cerdo	0.377	Rodríguez et al., 2017

Residuos inorgánicos

En la Figura 20 se observan las toneladas de los residuos con porcentajes importantes y valores más atractivos para ser vendidos, estos son: papel, cartón, vidrio de color, vidrio transparente, lata y plástico rígido. Esto da un total de un poco más de 291 toneladas diarias (Tabla 6).

Tabla 6 Estimaciones de reciclaje de los principales subproductos para el Municipio de Chihuahua.

Estimaciones del valor de Reciclaje de los materiales principales			Precio promedio **
Tipo de residuo	Toneladas	Precio	\$ 2,569.61 Tonelada
Papel	87.587	\$ 153,276.62	\$ 2.57 kilogramo
Cartón	53.764	\$ 134,409.62	
Vidrio de color	33.603	\$ 30,242.95	
Vidrio transparente	22.864	\$ 20,578.00	
Lata*	18.509	\$ 185,089.80	
Plástico Rígido	75.000	\$ 225,000.000	
	291.327	\$ 748,596.97	Diario
		\$ 22,457,909.23	Mensual
		\$ 269,494,910.79	Anual

** Este precio está en función del precio por residuo y su proporción respecto a las 720 toneladas diarias recolectadas.

En la Tabla 6 se puede observar el valor estimado de reciclaje que tienen los residuos principales. Esta ganancia potencial se podría favorecer a través de una **recolección separada**, inorgánicos y orgánicos.

Igualmente, se observa la oportunidad de aprovechar otros residuos que también están presentes, aproximadamente 160 toneladas que no se están aprovechando. Se trata de los residuos: plástico de película 49.4, pañal desechable 26.3, envase de cartón encerado 14.9, algodón 14.7, hule 13.1, poliuretano 12.5, trapo 9.1, poliestireno 6.3, material ferroso 4.0, material de construcción 2.4, madera 2.2, fibras sintéticas 1.9, hueso 1.5, loza cerámica 1.3 y cuero 0.2 toneladas generadas diariamente. El reconocer la generación, abre la posibilidad de impulsar emprendimientos e innovaciones que aprovechen estos residuos, los acondicionen o transformen como nuevas materias primas o nuevos productos y nos ayudaría a alcanzar un esquema circular del manejo de residuos, como el que se puede observar en la Figura 21.

Burneo et al. 2020 en un estudio aplicado en Ecuador, emplea el término de minería urbana para nombrar al proceso de separación y aprovechamiento de los residuos aprovechables, ya sea por el proceso de digestión anaerobia como por el reciclaje. Supera lo tradicional con el esquema circular de manejo de residuos mediante el esquema de la Figura 21. Un reciclaje completo juega una pieza clave en la gestión local de los residuos. Contribuye no solamente a una correcta clasificación de los residuos, si no también amortigua los efectos de una cultura residente poco sensible al cuidado del medio ambiente. Genera ahorros para el sector público al prolongar la vida útil de los rellenos sanitarios al mismo tiempo que proporciona materias primas al sector industrial y reduce el nivel de emisiones de GEI. Existen mecanismos nacionales e internacionales para la acreditación de emisiones de carbono para quienes realizan esta minería urbana. En promedio, un reciclador contribuye a la prevención de 0.48 toneladas de CO₂ equivalente por tonelada de material reciclado y es responsable de 4.61 toneladas de CO₂ equivalente por tonelada de papel y cartón desviada de los rellenos sanitarios. Esta cifra puede

aumentar si se incluyen las emisiones evitadas por transporte y procesos no energéticos. Es frecuente que los recolectores de material a reciclar operen por debajo de su capacidad operativa, lo que puede debilitar la estructura organizativa. El material recolectado es comercializado diariamente bajo las condiciones fijadas por un intermediario, quien influye en el precio de venta de los materiales, genera valor agregado y comercio con el sector industrial.

En el esquema circular de manejo de residuos de la Figura 21, considera como agentes involucrados al Municipio, los Ciudadanos, al Sector privado y los mineros urbanos (recicladores o quienes dan aprovechamiento a los residuos). La aplicación del esquema enfrenta barreras y oportunidades propias de la ciudad, que aún no han sido analizadas. Por un lado, el déficit de algunas materias primas a nivel nacional representa una oportunidad comercial para quienes cuentan con una infraestructura para el procesamiento de materiales reciclables. Los recicladores deben buscar fortalecer su organización para aprovechar un mercado potencial. La optimización en la recolección de residuos, la responsabilidad ambiental, el impacto social y la innovación de las instalaciones de gestión de residuos municipales sirven como un impulso para la inversión del gobierno y crean un interés potencial en las industrias manufactureras involucradas.

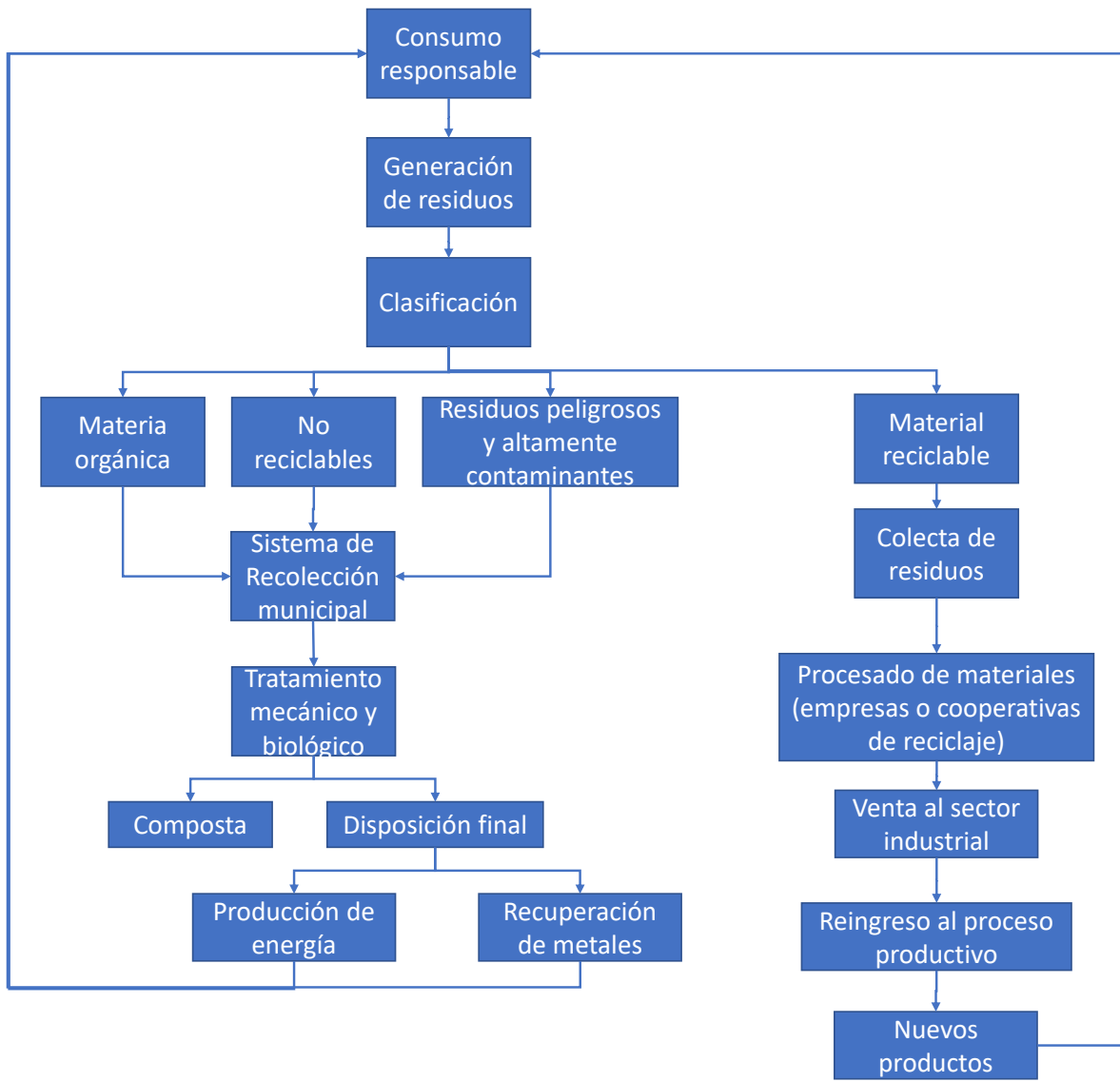


Figura 21 Manejo de residuos en esquema circular (Burneo et al., 2020).

Conclusiones y recomendaciones

1. A partir de la aplicación de las 4 normas mexicanas para la caracterización de residuos, se determinó la generación per cápita, el peso volumétrico, la clasificación de los residuos y sus porcentajes.
2. El promedio de la generación de residuos para el municipio de Chihuahua en junio 2022 fue de 0.78 kg/hab/d con un intervalo de confianza de la media al 95% de: $0.7321 \leq \mu \leq 0.8423$ kilogramos por habitante por día.
3. La media del peso volumétrico obtenido da un valor de 103.60 kg/m³ con un intervalo de confianza de la media al 95% de: $98.18 \leq \mu \leq 109.02$ kg/m³.
4. Esta información ayuda a ver con mayor claridad la factibilidad técnica de proponer un esquema circular de manejo de residuos, además son parte de los parámetros base para el diseño del Nuevo Relleno Sanitario Metropolitano.
5. Para los residuos: papel, cartón, vidrio de color, vidrio transparente, lata y plástico rígido, existe una generación diaria en el Municipio de Chihuahua de más de 290 toneladas, esto tiene un potencial de ganancia de casi 750 mil pesos mexicanos, al mes representa una ganancia bruta potencial de poco más de 269 millones de pesos mexicanos.
6. En el caso de los residuos que no son típicamente aprovechados como: plástico de película, pañal desechable, envase de cartón encerado, algodón, hule, poliuretano, trapo, poliestireno, material ferroso, material de construcción, madera, fibras sintéticas, hueso, loza cerámica y cuero; representan una generación de aproximadamente 160 toneladas diarias. Esto representa una posibilidad en el impulso de innovaciones y emprendimientos, para el procesamiento o transformación de estos residuos en nuevas materias primas.
7. La existencia de literatura que estudia y apoya la implementación de esquemas circulares en el manejo de residuos, brinda los posibles panoramas y fotografías futuras de un mejor aprovechamiento.
8. El esquema circular de manejo de residuos no solo ayuda a alargar la vida del relleno sanitario, también contribuye a la disminución de emisiones de GEI, evita la emanación de efluentes en forma de lixiviados con concentración de metales, contribuye a una recuperación de materiales en los procesos de reciclado e incluso puede impulsar el desarrollo de la innovación y el emprendimiento de nuevas empresas y su consecuente generación de empleo, tecnología y plusvalía.

Referencias bibliográficas

APHA AWWA, W. P. C. F. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater 20th edition. American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environment Federation, Washington, DC.

Ara, E., Sartaj, M., & Kennedy, K. (2015). Enhanced biogas production by anaerobic co-digestion from a trinary mix substrate over a binary mix substrate. *Waste Management & Research*, 33(6), 578-587.

Atelge, M. R., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D. D., Chang, S. W., ... & Unalan, S. (2020). Biogas production from organic waste: recent progress and perspectives. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 1019-1040.

Burneo, D., Cansino, J. M., & Yñíguez, R. (2020). Environmental and socioeconomic impacts of urban waste recycling as part of circular economy. The case of cuenca (Ecuador). *Sustainability*, 12(8), 3406.

Cavinato, C., Bolzonella, D., Pavan, P., Fatone, F., & Cecchi, F. (2013). Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot-and full-scale reactors. *Renewable Energy*, 55, 260-265.

DBGIR 2020. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera edición, mayo 2020.

Escamilla-García, P. E., Camarillo-López, R. H., Carrasco-Hernández, R., Fernández-Rodríguez, E., & Legal-Hernández, J. M. (2020). Technical and economic analysis of energy generation from waste incineration in Mexico. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100542.

Gomez, G., Meneses, M., Ballinas, L., & Castells, F. (2008). Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico. *Waste Management*, 28(12), 2465-2471.

Gómez, G., Meneses, M., Ballinas, L., & Castells, F. (2009). Seasonal characterization of municipal solid waste (MSW) in the city of Chihuahua, Mexico. *Waste management*, 29(7), 2018-2024.

Hoornweg, D., Bhada-Tata, P.: *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*, pp. 1–116. World Bank, Washington, DC (2012) 60.

INEGI 2020. Censo de Población y Vivienda (2020). Panorama Sociodemográfico de Chihuahua. Censo de Población y Vivienda 2020: CPV / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, C2021. 159 p.

NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo.

NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - peso volumétrico "in situ".

NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos.

NMX-AA-61-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de la generación.

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.

PEPGIR 2012. Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el Estado de Chihuahua, Reporte de investigación multidisciplinaria. Gobierno del Estado de Chihuahua y Ciudad Autónoma de Cd. Juárez, 2012.

Rao, M. S., Singh, S. P., Singh, A. K., & Sodha, M. S. (2000). Bioenergy conversion studies of the organic fraction of MSW: assessment of ultimate bioenergy production potential of municipal garbage. *Applied energy*, 66(1), 75-87.

Rodríguez, A., Ángel, J., Rivero, E., Acevedo, P., Santis, A., Rojas, I. C., ... & Hernández, M. (2017). Evaluation of the biochemical methane potential of pig manure, organic fraction of municipal solid waste and cocoa industry residues in Colombia. *Chemical engineering transactions*, 57, 55-60.

SCINCE 2020. SCINCE por colonias. Sistema de censado para información de referencia en Chihuahua, México, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI.

Sierra, C. A. S., & Barrios, R. L. A. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. *Ingenium Revista de la facultad de ingeniería*, 14(28), 6-15.

Tsapekos, P., Kougias, P. G., Kuthiala, S., & Angelidaki, I. (2018). Co-digestion and model simulations of source separated municipal organic waste with cattle manure under batch and continuously stirred tank reactors. *Energy Conversion and Management*, 159, 1-6.

Vergara, S.E., Tchobanoglous, G.: Municipal solid waste and the environment: a global perspective. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 37, 277–309 (2012). <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-050511-122532>