

Caracterización de Residuos Sólidos Comunes del Municipio de Guatemala

Octubre 2021



Contenido

INTRODUCCIÓN	3
1. Socialización del proyecto	4
2. Caracterización de los desechos	6
3. Resultados	9
3.1. Resultados de la socialización	9
3.2. Resultados de la recolección de los desechos sólidos comunes.....	10
3.3. Resultados de la caracterización de los desechos sólidos comunes.....	11
3.4. Desechos orgánicos.....	15
3.5. Desechos reciclables	17
3.6. Desechos coprocesables	18
3.7. Otros desechos no aprovechables	22
4. Resultados por estrato	23
4.1. Resultados del estrato alto:	23
4.2. Resultados del estrato medio:	25
4.3. Resultados del estrato bajo:.....	27
5. Conclusiones.....	29
6. Referencias bibliográficas	30

INTRODUCCIÓN

La caracterización de los residuos y desechos sólidos comunes de la Ciudad de Guatemala fue realizada entre el 20 de agosto y el 2 de septiembre de 2021. Esta actividad está dentro del marco del proyecto “Apoyo a la implementación de la estrategia nacional de desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero a través de la integración de economía circular en los planes de desarrollo municipal”. El proyecto de caracterización de desechos sólidos comunes fue liderado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN), financiado por el Centro y Red de Tecnología del Clima (CTCN, Climate Technology Centre and Network), administrado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y ejecutado por el Centro Guatemalteco de Producción más Limpia (CGP+L).

El presente documento muestra la memoria del trabajo realizado en las fases de socialización, recolección y caracterización, así como los resultados obtenidos por los estratos alto, medio y bajo definidos con la metodología de la “Guía para Elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes” del MARN (2018), la cual fue utilizada como referencia para realizar el trabajo técnico y de escritorio de este estudio.

Tabla 1. Composición de los desechos sólidos.

Tipo de desecho	Porcentaje (%)
Orgánicos	57.2%
Reciclables	24.2%
Coprocesables	18.4%
Otros desechos	0.2%
Total	100.0%

Elaborado por el equipo técnico del CGP+L, septiembre 2021.

La Tabla 1 muestra la distribución general de los residuos y desechos sólidos comunes de la ciudad de Guatemala, la cual se relacionó con la población estimada (995,393 personas) para el 2021 y se determinó que se generan 256,865.38 toneladas de desechos sólidos comunes al año.

1. Socialización del proyecto

El 23 de junio de 2021 se tuvo la primera reunión con los representantes de la Municipalidad de Guatemala, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y del Centro Guatemalteco de Producción más Limpia (CGP+L). Esta reunión se realizó para presentar a la Municipalidad de Guatemala el proyecto “Caracterización de Residuos y Desechos Sólidos Comunes del Municipio de Guatemala” que está dentro del marco del programa de “Apoyo a la Implementación de la Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a través de la integración de Economía Circular en los planes de Desarrollo Municipal”, para buscar el apoyo de las autoridades correspondientes y explicar el método de trabajo.

El 13 de julio de 2021 se convocó a los alcaldes auxiliares de las zonas (2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15 y 18) que se delimitaron dentro de los estratos bajo, medio y alto. La delimitación se hizo con base en los tipos de construcción de las casas que están ubicadas en cada zona de la ciudad de Guatemala y con el uso de curvas de disposición de asentamientos, barrios y colonias (El Periódico, 2016¹).

El 8 de agosto de 2021 se presentó a la Municipalidad de Guatemala el siguiente cronograma de trabajo para la caracterizar los residuos y desechos sólidos del Municipio de Guatemala, para poder ejecutar las actividades en la cuarta semana de agosto. Esta fue la última reunión con las alcaldías auxiliares, antes de iniciar la socialización puerta a puerta con los vecinos.

Tabla 2. Cronograma de actividades (propuesta 1).

Fase	Fecha	Actividad
Coordinación	23 de junio	Primera reunión de acercamiento con la Municipalidad de Guatemala.
	13 de julio	Acercamiento y socialización con los alcaldes auxiliares de las zonas delimitadas por estratos.
	8 de agosto	Presentación del cronograma de trabajo para la caracterización de residuos y desechos sólidos comunes.
Socialización	16 de agosto	Reunión con los recolectores.
	Del 16 al 18 de agosto	Socialización puerta a puerta con los vecinos.
Caracterización	Del 19 al 26 de agosto	Caracterización de residuos y desechos sólidos de la Ciudad de Guatemala.

Debido a los bloqueos ocurridos en la ciudad de Guatemala y en todo el país, por la situación política, las actividades tuvieron que ser aplazadas, porque no se podía contar con el apoyo de la Municipalidad de Guatemala y porque no se podría brindar seguridad física a las personas

¹ Méndez, C. (2016) *La capital registra 297 asentamientos precarios*. El Periódico. Guatemala. Publicado el 10/01/2016. Consultado en: <https://elperiodico.com.gt/nacionales/2016/01/10/la-capital-registra-297-asentamientos-precarios/>

involucradas en la socialización del proyecto. Por lo que se presentó un segundo cronograma de actividades (Tabla 3).

Tabla 3. Cronograma de actividades (propuesta 2).

Fase	Fecha	Actividad
Coordinación	23 de junio	Primera reunión de acercamiento con la Municipalidad de Guatemala.
	13 de julio	Acercamiento y socialización con los alcaldes auxiliares de las zonas delimitadas por estratos.
	8 de agosto	Presentación del cronograma de trabajo para la caracterización de desechos sólidos comunes.
Socialización	25 de agosto	Reunión con los recolectores.
	Del 20 al 25 de agosto	Socialización puerta a puerta con los vecinos.
Caracterización	Del 26 de agosto al 2 de septiembre	Caracterización de residuos y desechos sólidos de la Ciudad de Guatemala.

Las viviendas se clasificaron en estratos socioeconómicos (alto, medio y bajo), para un mejor análisis de los datos. El CGP+L y el MARN definieron que la muestra ideal es de 77 viviendas por cada estrato, según la sugerencia de la Tabla 4, la cual se muestra a continuación:

Tabla 4. Tabla para determinar la cantidad casas (muestra) que participan en un estudio de caracterización de residuos y desechos sólidos comunes”.

		Desviación estándar de las muestras del estrato en cuestión (gramos/habitante/día)				
		50	100	150	200	250
No. Total de viviendas del estrato en cuestión	500	3.8	14.9	32.3	54.7	80.6
	1000	3.8	15.1	33.4	57.9	87.6
	5000	3.8	15.3	34.3	60.7	94.2
	10000	3.8	15.3	34.5	61.1	95.1
	>10000	3.8	15.4	34.6	61.4	95.9

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2018.

La “Guía para Elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes”, sugiere que al no existir estudios de caracterización previos se utilice como referencia una desviación estándar de 200 gramos/habitante/día, en la generación de desechos. Además, no se cuenta con los datos sobre la cantidad de viviendas por estrato, así que se asumió una cantidad mayor a 10,000 viviendas para cada estrato, para garantizar una muestra representativa. También se agregó el 25% a la muestra estimada, para garantizar que la muestra mínima se cubra, en caso de que algunos hogares decidan no continuar con su participación en la caracterización.

Es importante mencionar que para facilitar la socialización y tener la confianza de los vecinos, se solicitó el acompañamiento del personal de las alcaldías auxiliares. Esto permitió ampliar el número de participantes en algunas colonias, debido al interés de los vecinos en participar en la caracterización de los residuos y desechos sólidos comunes. También hay que mencionar que algunas colonias se excluyeron, por cuestiones de agenda de alcaldes auxiliares y porque no se aprobó el ingreso del personal a las colonias, por reglas internas, para reducir casos de COVID-19.

2. Caracterización de residuos y desechos sólidos comunes

La caracterización de residuos y desechos sólidos comunes de la Ciudad de Guatemala se realizó por 8 días seguidos, inició el 26 de agosto y finalizó el 2 de septiembre. La caracterización se realizó por medio de la coordinación del CGP+L, con apoyo de la Municipalidad de Guatemala (Dirección de Gestión Ambiental) y el apoyo de las Alcaldías Auxiliares de las zonas 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15 y 18.

La caracterización contó con 6 rutas de recolección, para trasladar los residuos y desechos desde las casas de las familias participantes hacia la bodega de BIOREM Norte (ubicada en el municipio de Palencia, departamento de Guatemala). En las instalaciones de BIOREM Norte se realizó el proceso de caracterización de residuos y desechos sólidos y posteriormente se trasladaron al Vertedero Municipal de la Ciudad de Guatemala (ubicado en la zona 3).



Imagen 1. Proceso de recolección de desechos en campo.

Las rutas de recolección de residuos y desechos sólidos comunes (bolsas con basura doméstica) incluyen casas de diferentes estratos, así que todas las bolsas fueron identificadas con un código, para evitar confusiones en el proceso de transporte y clasificación. En el sitio de caracterización, las bolsas con los desechos se ordenaron en pilas separadas por estrato, para que fuera más simple el proceso de cuarteado e identificación de las muestras. Esto permitió identificar correctamente los desechos sólidos por estrato y reducir el tiempo de transporte de los desechos sólidos, desde las viviendas hacia la bodega de BIOREM Norte.

Las bolsas con residuos y desechos sólidos comunes se pesaron (por estrato) antes de iniciar el proceso de caracterización, para determinar la generación *per cápita* de residuos y desechos sólidos. Luego se tomaron las bolsas con basura doméstica (residuos y desechos sólidos comunes) del estrato bajo, se abrieron todas las bolsas, para realizar el proceso de cuarteo de la basura doméstica, hasta obtener una muestra de 100 libras, como lo indica la Guía de Caracterización de Desechos Sólidos Comunes, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018). La muestra de 100 libras del estrato bajo se caracterizó y se procedió a limpiar el área de trabajo. Para repetir el proceso y caracterizar los residuos y desechos sólidos comunes de los estratos medio y alto. Es importante recordar que la primera muestra de residuos y desechos sólidos comunes se descartó (la del día 1) y la caracterización se inició documentar a partir del segundo día de recolección, con base en la Guía de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes.

El horario de las personas en las rutas de recolección era de 6:00 a 13:30 horas, iniciaba con la partida de los vehículos, desde la Cámara de Industria de Guatemala, para recolectar las bolsas con basura doméstica. También, las personas recolectoras esperaban que la caracterización finalizara, para ir a dejar los residuos y desechos sólidos comunes al basurero de la zona 3 (ciudad de Guatemala), por lo que se puede decir que el horario de uso del vehículo fue de 6:00 a 18 horas.



Imagen 2. Clasificación de las bolsas y proceso de cuarteo.



Imagen 3. Proceso de cuarteo en la bodega de BIOREM Norte para obtener la muestra a caracterizar.



Imagen 4. Proceso de caracterización de residuos.

3. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de residuos y desechos sólidos comunes de la Ciudad de Guatemala.

3.1. Resultados de la socialización

La socialización tuvo lugar del 20 al 25 de agosto con apoyo de las alcaldías auxiliares de cada zona participante y los resultados son los siguientes:

Tabla 5. Sitios de socialización.

Estrato alto		Casas por socializar	Casas socializadas
Zona 10	Colonia Oakland 1	10	21
	Colonia Oakland 2	10	21
Zona 14	Colonia La Cañada	5	0
	Colonia Las Conchas	5	0
	Colonia El Campo	5	0
Zona 15	Encinos de Cayalá	16	0
	Bougavilias de Cayalá	15	0
	De la 10ª calle al Boulevard Rafael Landívar, entre las 16 y 19 avenida	11	0
	Mariano Gálvez	0	17
	AVEVE 15	0	18
Total		77	77
Estrato medio		Casas por socializar	Casas socializadas
Zona 2	Residenciales Ciudad Nueva 2	15	0
	San Angel IV	0	22
Zona 7	Colonia Centro América	11	12
Zona 11	Jardines de Utatlán II	15	22
	Colonia Mariscal	15	21
	Colonia Granai Townson 3	10	0
Zona 12	De la 27 calle a la 23 calle, de la 7ma avenida a la Calzada Aguilar Batres	11	0
Total		77	77

Estrato bajo:		Casas planificadas a socializar	Casas socializadas
Zona 5	Colonia El Edén	12	0
	Colonia 15 de Agosto	12	12
	Colonia La Fuente	0	12
Zona 6	Barrio San Antonio (Casco Central)	15	15
Zona 7	De la 11 calle hasta el Hospital San Vicente (no incluyendo el Hospital), sobre la Calle de la Verbena, Colonia La Verbena	12	8
Zona 18	Colonia La Alameda	15	19
	Colonia El Paraíso I	11	11
Total		77	77

3.2. Resultados de la recolección de los desechos sólidos comunes.

La recolección de desechos sólidos fue realizada por medio de 6 rutas, que se encargaron de recopilar la basura doméstica (residuos y desechos sólidos comunes) de los vecinos que participaron en la caracterización y la trasladaron a la bodega de BIREM Norte, para su caracterización. Los resultados de la recolección se presentan a continuación:

Tabla 6. Resultados del proceso de recolección de los residuos y desechos sólidos comunes.

Descripción	Estrato Alto	Estrato Medio	Estrato Bajo
Promedio de viviendas que participaron de forma activa durante la caracterización	72	71	68
Habitantes en la muestra considerada por estrato (77 casas)	303	314	396
Promedio de la generación de desechos sólidos en la muestra considerada por estrato (77 casas)	533.60 lb	559.84 lb	480.96 lb
	242.04 kg	253.94 kg	218.16 kg

3.3. Resultados de la caracterización de los residuos y desechos sólidos comunes.

Los resultados generales de la caracterización de residuos y desechos sólidos comunes se presentan con la siguiente clasificación:

Tabla 7. Composición de los residuos y desechos sólidos comunes.

Tipo de desecho	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje (%)
Orgánicos	1,218.50	57.2%
Reciclables	516.30	24.2%
Coprocesables	392.40	18.4%
Otros desechos	4.70	0.2%
Total	2,131.90	100.0%

Gráfica 1. Composición de los residuos y desechos sólidos comunes.

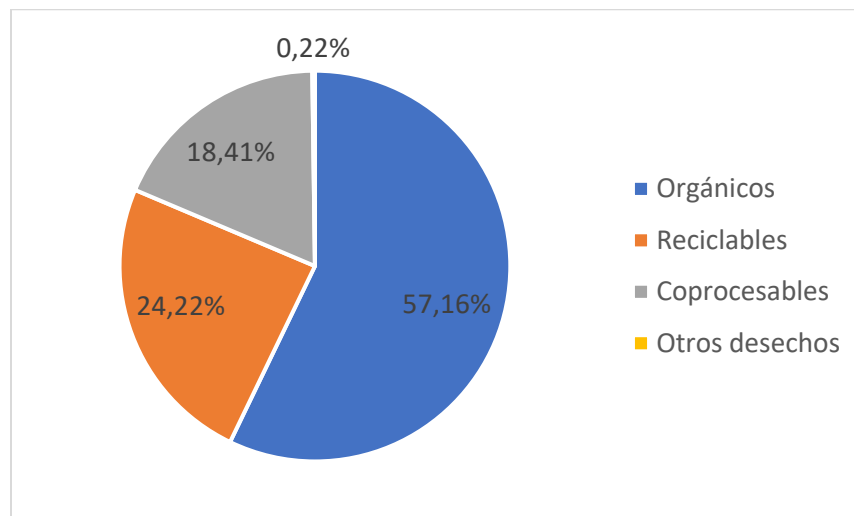


Tabla 8. Población estimada para el municipio de Guatemala.

Estrato Socioeconómico	Porcentaje de la población, según el PNUD ²	Cantidad de población estimada por el INE ³
Alto	6%	59,724
Medio	58%	577,328
Bajo	36%	358,341
Total	100%	995,393

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2020).

El cálculo para determinar la tasa de generación de desechos sólidos considera la tasa promedio de generación de desechos sólidos/persona de cada estrato (Tabla 6), la distribución socioeconómica en las áreas urbanas de Guatemala (PNUD, 2014) y la cantidad de personas (estimadas) que habitan el municipio de Guatemala (INE, 2020). Al considerar estos datos, se determinó que en la Ciudad de Guatemala se generan 256,865.38 toneladas métricas/año de residuos y desechos sólidos (basura doméstica).

Se ejemplifica el cálculo para el estrato alto:

$$Tasa\ de\ generación = \frac{Promedio\ de\ generación\ diaria}{Personas\ participantes\ en\ la\ caracterización\ del\ estrato\ alto}$$

Ecuación 1. Tasa de generación *per cápita* diaria para el estrato alto.

Sustituyendo los datos presentados en la Tabla 6, se tiene el siguiente resultado:

$$Tasa\ de\ generación = \frac{533.6\ lb/día}{303\ personas} = \frac{1.761\ lb}{persona/día}$$

Cálculo 1. Tasa de generación *per cápita* diaria para el estrato alto.

² Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD (2014). *Perfil Estratos Sociales 2014*. Consultado en: <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/library/poverty/perfil-estratos-sociales-2014.html>

³ Instituto Nacional de Estadística - INE. (2020). *Guatemala: Estimaciones de la población total por municipio. Período 2008-2020 (al 30 de junio)*. Guatemala. 6 pp. Consultado en: [http://www.oj.gob.gt/estadistica/reportes/poblacion-total-por-municipio\(1\).pdf](http://www.oj.gob.gt/estadistica/reportes/poblacion-total-por-municipio(1).pdf)

Con esta tasa de generación y la cantidad de población (estimada) se calculó la generación para el estrato alto del municipio de Guatemala, con la siguiente forma:

$$Tasa\ de\ generación\ anual = Tasa\ de\ generación\ diaria * \frac{30\ días}{1\ mes} * \frac{12\ meses}{1\ año}$$

Ecuación 2. Tasa de generación *per cápita* anual.

Al sustituir los datos obtenidos en el cálculo 1, se obtiene para el estrato alto se generan:

$$Tasa\ de\ generación\ anual = \frac{1.76\ lb}{persona\ al\ día} * \frac{30\ días}{1\ mes} * \frac{12\ meses}{1\ año} = \frac{633.98\ lb}{persona/año}$$

Cálculo 2. Tasa de generación *per cápita* anual para el estrato alto.

La tasa de generación anual por persona se multiplica por la población (estimada), para obtener la generación anual del estrato alto en el municipio de Guatemala:

$$Generación\ anual\ (en\ lb) = Tasa\ de\ generación\ anual\ (en\ lb) * Población\ proyectada$$

Ecuación 3. Generación anual por estrato (en lb).

Los datos de población (estrato alto) de la tabla 8 se usan para obtener la tasa de generación anuales:

$$Generación\ anual\ (en\ lb) = \frac{633.98\ lb}{persona/año} * 59,724\ personas = 37,863,833\ lb/año$$

Cálculo 3. Generación anual por estrato (en lb) para el estrato alto.

Para convertir esta generación anual de libras a toneladas métricas se tiene la ecuación 4:

$$Generación\ anual\ (en\ tonelada\ métrica) = Generación\ anual\ (en\ lb) * \frac{1\ tonelada\ métrica}{2,200\ lb}$$

Ecuación 4. Generación anual por estrato (en tonelada métrica)

$$\text{Generación anual (en tonelada métrica)} = \frac{37,863,833 \text{ lb}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ tonelada métrica}}{2,200 \text{ lb}} = \frac{17,210 \text{ ton}}{\text{año}}$$

Cálculo 4. Generación anual (en tonelada métrica) para el estrato alto.

Al aplicar los cálculos para los tres estratos, se obtiene la siguiente información sobre la generación anual de desechos sólidos:

Tabla 9. Datos sobre la generación de residuos y desechos sólidos comunes en el municipio de Guatemala.

Descripción	Estrato Alto	Estrato Medio	Estrato Bajo
Promedio de generación de desechos sólidos por persona	1.76 ± 0.39 lb/persona/día	1.78 ± 0.27 lb/persona-día	1.21 ± 0.21 lb/persona/día
	0.799 ± 0.177 kg/persona/día	0.809 ± 121 kg/persona/día	0.551 ± 0.094 kg/persona/día
Proyección de generación para todo el municipio de Guatemala	17,210.83 toneladas métricas/año	168,436.70 toneladas métricas/año	71,217.85 toneladas métricas/año

El total (estimado) de desechos sólidos que genera el Municipio de Guatemala es de 256,865.38 toneladas métricas al año, que actualmente llegan al Vertedero Municipal de la zona 3.

Para determinar la generación de cada tipo de desecho, con base en los datos de la caracterización realizada (ver Tabla 6) se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Generación por desecho} = \text{Generación anual total} * \text{Porcentaje del desecho según caracterización}$$

Ecuación 5. Generación anual por tipo de desecho (en tonelada métrica).

Al sustituir los datos (Tabla 8) de la ecuación 5 se obtiene la siguiente información para los desechos orgánicos:

$$\text{Generación de desechos orgánicos} = 256,864.56 \text{ ton/año} * 57.2\% = 146,824.25 \text{ ton/año}$$

Cálculo 5. Generación anual por tipo de desecho, ejemplo para los desechos orgánicos.

El mismo cálculo se repitió para todos los tipos de desecho y la especificación de su composición. A continuación, se presenta el resultado obtenido para cada tipo de desecho:

3.4. Desechos orgánicos

Los desechos orgánicos son aquellos provenientes de fuentes naturales y que son biodegradables, por ejemplo, los restos de alimentos de origen animal/vegetal y la madera. Según el resultado obtenido, este tipo de desecho representa el 57.16% de los residuos y desechos sólidos comunes totales, que son generados en la ciudad de Guatemala (Tabla 7). Esto conlleva que de las 256,865.38 toneladas de desechos generados en la ciudad de Guatemala, 146,824.25 toneladas/año corresponden a desechos orgánicos, que pueden ser utilizados para la generar abono.

La elaboración de abono (146,824.25 toneladas/año) permitirá reducir la huella de carbono, porque se tiene el potencial de eliminar la liberación de 616,661.87 toneladas de CO_{2eq} en la Ciudad de Guatemala. Para estimar la huella de carbono que se puede evitar se multiplicó el volumen de generación por el factor de 4.20 toneladas de CO_{2eq}⁴ por tonelada de desechos sólidos según las guías de la IPCC⁵.

El cálculo según esta metodología es el siguiente:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Factor de emisión} * \text{Dato de generación de la fuente}$$

Ecuación 6. Cálculo de huella de carbono.

Sustituyendo estos datos en la Ecuación, se obtiene:

$$\text{Huella de carbono} = \frac{4.20 \text{ tonCO}_{2eq}}{\text{ton desechos orgánicos}} * 146,812.46 \text{ ton desechos orgánicos} = 616,661.87 \text{ tonCO}_{2eq}$$

Cálculo 6. Cálculo de huella de carbono.

⁴ CO_{2eq} = Unidad de medida estándar para la determinación de huella de carbono. Esta posee un potencial de calentamiento global de 1 unidad.

⁵ IPCC. (S.F.) *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 5. Desechos*. Páginas 5.1 a 5.35. Consultado en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/5_Waste_ES.pdf

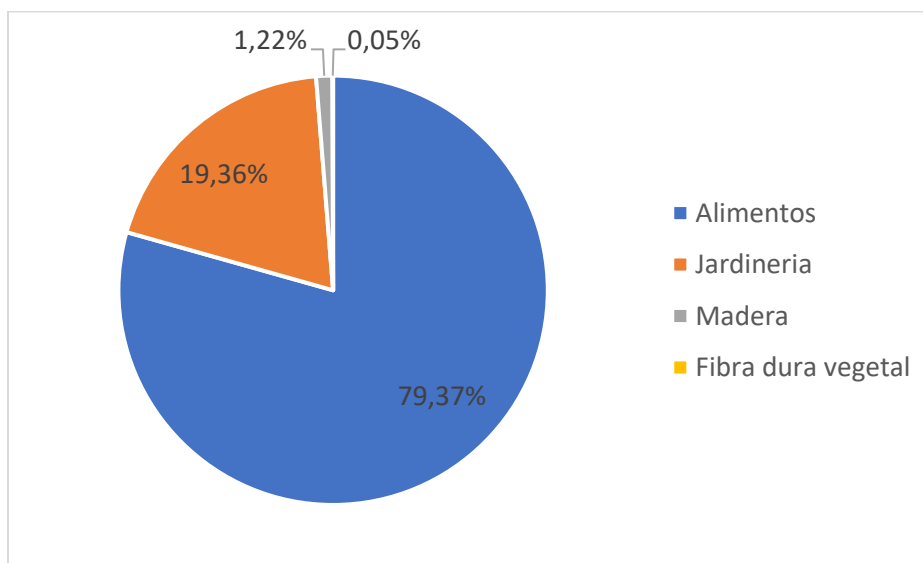
Los desechos orgánicos se componen de la siguiente manera:

Tabla 10. Distribución de los desechos orgánicos en la Ciudad de Guatemala.

Composición	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje de este tipo de desecho (%)	Porcentaje del total generado (%)
Alimentos de origen vegetal y animal	967.10	79.37%	45.36%
Jardinería, consistentes en hojas, ramas y flores	235.90	19.36%	11.07%
Madera	14.90	1.22%	0.70%
Fibra dura vegetal	0.60	0.05%	0.03%
Total	1,218.50	100.00%	57.16%

Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

Gráfica 2. Distribución de los desechos orgánicos generados en la Ciudad de Guatemala.



Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

El 98.73% (alimentos y jardinería) de los desechos orgánicos se pueden usar para elaborar compostas y el 1.27% (madera/aglomerados de madera y fibra dura vegetal <troncos que no son considerados maderables>) de los desechos orgánicos se pueden utilizar como biomasa para

procesos de combustión o coprocesamiento, lo que significa que el 100% de los desechos orgánicos se pueden aprovechar.

3.5. Residuos reciclables

Los desechos reciclables son aquellos que es posible introducirlos a un nuevo ciclo productivo, mediante un reproceso industrial. Este tipo de desechos está compuesto por plástico, papel, cartón, vidrio, metales, entre otros. El 24.22% de todos los desechos sólidos comunes de la Ciudad de Guatemala pueden reciclados. Aunque se necesita hacer campañas de educación ambiental para implementar un sistema de clasificación de residuos y desechos. A continuación, se detalla la composición de los residuos reciclables:

Tabla 11. Composición de los residuos reciclables en la Ciudad de Guatemala.

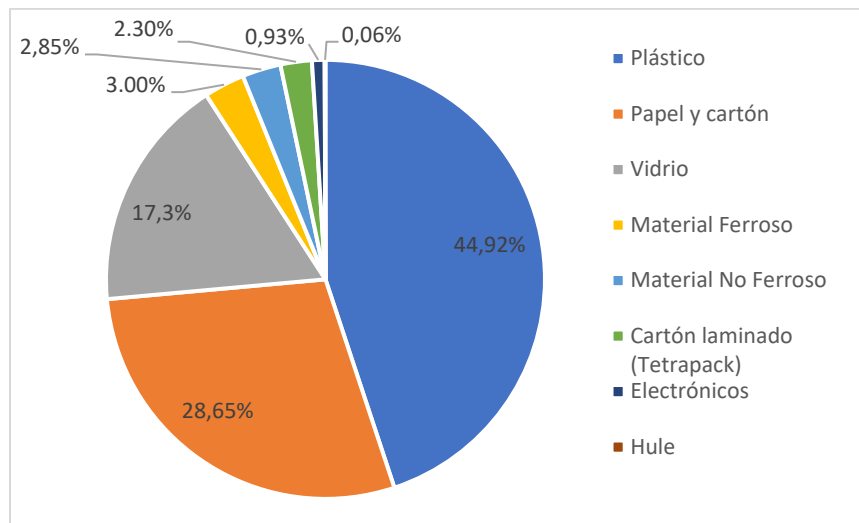
Descripción	Detalle
Plástico	Polietileno, polipropileno y tereftalato de polietileno
Papel y cartón	Papel no sanitario, cartón liso y corrugado
Vidrio	Vidrio transparente y de color
Material Ferroso	Latas de conservas, clavos, alambre y cualquier material ferromagnético
Material No Ferroso	Latas de aluminio y cualquier material no ferromagnético
Envase de cartón laminado (Tetrapack)	Envases de alimentos líquidos, como leche
Electrónicos	Equipos que posean integrados de control (electrónicos)
Hule	Mangueras flexibles, llantas y cualquier material fabricado de hule

Los resultados obtenidos sobre los residuos reciclables se presentan a continuación:

Tabla 12. Distribución de los residuos reciclables en la Ciudad de Guatemala.

Composición	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje de este tipo de desecho (%)	Porcentaje del total generado (%)
Plástico	231.90	44.92%	10.88%
Papel y cartón	147.90	28.65%	6.94%
Vidrio	89.30	17.30%	4.19%
Material Ferroso	15.50	3.00%	0.73%
Material No Ferroso	14.70	2.84%	0.69%
Envase de cartón laminado	11.90	2.30%	0.56%
Electrónicos	4.80	0.93%	0.23%
Hule	0.30	0.06%	0.01%
Total	516.30	100.00%	24.22%

Gráfica 3 – Distribución de los residuos reciclables generados en la Ciudad de Guatemala.



Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

El 90.87% de los materiales reciclables lo componen el plástico, papel, cartón y vidrio, por tanto, se sugiere que la primera estrategia de reciclaje que se implemente se enfoque en la separación y aprovechamiento de estos. En el caso del plástico, se determinó que el polietileno (plástico de película, como las bolsas plásticas) representa el 53.13%, el polipropileno (plástico duro, como recipientes utilizados para jabones y taparrosas de botellas) el 27.47% y el tereftalato de polietileno (PET, como las botellas de las bebidas) el 19.40%.

Debido a la baja cantidad de generación que representan otros materiales reciclables, como los materiales ferrosos y no ferrosos, cartón laminado, electrónicos y hule, se sugiere que en una segunda fase de reciclaje se tenga previsto el aprovechamiento de estos. El hule puede ser aprovechable mediante el proceso de pirólisis, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos que pueden ser usados en los sistemas térmicos industriales y contribuir a la reducción de uso de combustibles fósiles.

3.6. Residuos coprocesables

Los materiales coprocesables son aquellos que se pueden tratar térmicamente y permiten recuperar energía como parte de su tratamiento. Dentro de esta categoría se considera al papel sanitario, pañales, trapos contaminados y el poliestireno expandido (Duroport). Este último, a pesar de ser un polímero o plásticos, se considera un coprocesables porque no tiene un proceso de reciclaje industrializado que sea viable económicamente. Según la estimación realizada, en la ciudad de Guatemala se generan aproximadamente 47,288.77 toneladas métricas anuales de residuos coprocesables.

Tabla 13. Descripción de los desechos coprocesables.

Descripción	Detalle
Papel Sanitario y pañales desechables	Papel higiénico, incluyendo desechos sanitarios, servilletas, toallas de papel, toallas húmedas, productos de higiene femenina y pañales desechables.
Trapo	Tela de algodón y sintética
Poliestireno Expandido	Termoplástico utilizado para traslado de alimentos que requieran aislamiento térmico, como vasos para café y bandejas de almuerzo.

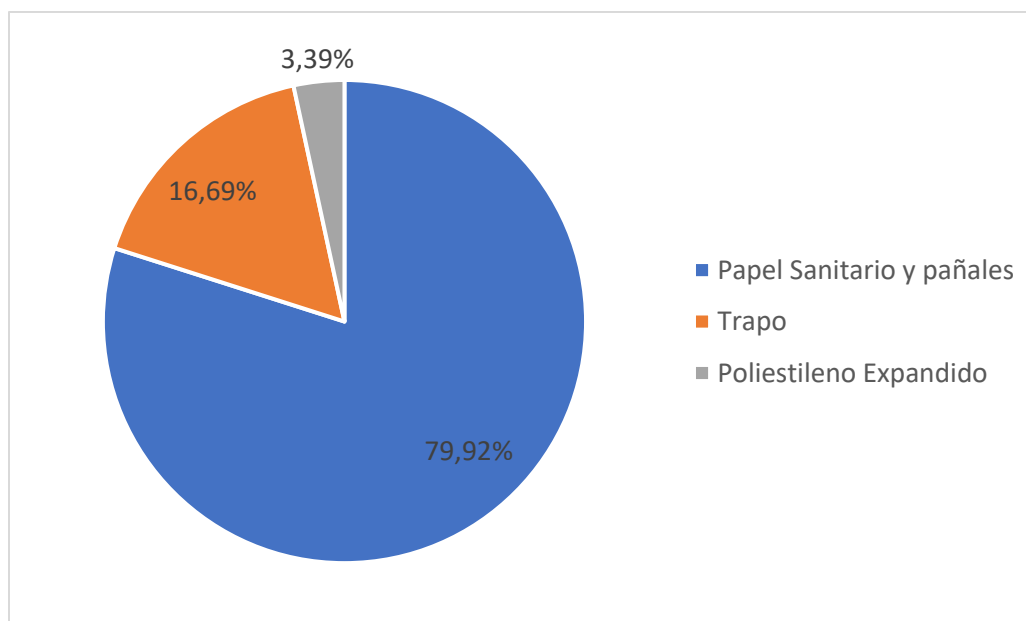
Los resultados de la caracterización de estos desechos se presentan a continuación:

Tabla 14. Distribución de los desechos coprocesables en la Ciudad de Guatemala.

Composición	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje de este tipo de desecho (%)	Porcentaje del total generado (%)
Papel Sanitario y pañales desechables	313.60	79.92%	14.71%
Trapo	65.50	16.69%	3.07%
Poliestireno Expandido	13.30	3.39%	0.62%
Total	392.40	100.00%	18.41%

Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

Gráfica 4 – Distribución de los desechos coprocesables generados en la Ciudad de Guatemala.



El cálculo para determinar la generación de energía que es posible obtener con los desechos coprocesables usa el poder calorífico inferior (PCI) medio de los desechos coprocesables (10.466 MJ/kg⁶) y las siguientes ecuaciones:

$$Energía \text{ (en GWh)} = PCI * \text{Desechos coprocesables generados} * \frac{2.77 \times 10^{-7} \text{ GWh}}{1 \text{ MJ}}$$

Ecuación 7. Determinación de energía posible de generar proveniente de la cogeneración con desechos sólidos coprocesables.

Al sustituir los datos se obtiene:

$$Energía \text{ (en GWh)} = \frac{10.466 \text{ MJ}}{\text{kg}} * \frac{47,288,765 \text{ kg}}{\text{año}} * \frac{2.77 \times 10^{-7} \text{ GWh}}{1 \text{ MJ}} = 137.45 \text{ GWh/año}$$

Cálculo 7. Determinación de energía posible de generar proveniente de la cogeneración con desechos sólidos coprocesables.

Con este dato es posible calcular la potencia de la planta generadora, la Ecuación 8:

$$Energía \left(\text{en} \frac{\text{MWh}}{\text{día}} \right) = Energía \left(\text{en} \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \right) * \frac{1,000 \text{ MWh}}{1 \text{ GWh}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$Potencia \text{ (en MW)} = \left(Energía \left(\frac{\text{MWh}}{\text{día}} \right) \right) * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

Ecuación 8: Cálculo de potencia de generación.

Al sustituir los datos se obtiene:

⁶ Gobierno Vasco. (2007). *Guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire. Capítulo 17. Valorización de Residuos Sólidos Urbanos*. Consultado en: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eptr/es_guia/adjuntos/residuos_urbanos.pdf

$$\text{Energía (en } \frac{MWh}{\text{día}}) = 137.45 \text{ GWh} * \frac{1,000 \text{ MWh}}{1 \text{ GWh}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cong 137,450 \text{ MWh}$$

$$\text{Potencia (en MW)} = (137,450 \text{ MWh}) * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 15.69 \text{ MW}$$

Cálculo 8: Cálculo de potencia de generación.

Al sustituir el PCI y los datos de los desechos coprocesables (Tabla 7), se determinó que la capacidad de generar energía de los desechos coprocesables es de 15.69 MW, lo que equivale a una generación total de 137.45 GWh al año.

Para determinar el porcentaje de energía que es posible cubrir con los desechos coprocesables se utiliza la Ecuación 9:

$$\text{Porcentaje de generación} = \frac{\text{Generación con desechos coprocesables}}{\text{Demanda del Departamento de Guatemala}} * 100$$

Ecuación 9: Porcentaje de participación en la generación eléctrica del Departamento de Guatemala.

El registro del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala por medio del Administrador del Mercado Mayorista⁷, en el departamento de Guatemala tuvo una demanda de 4,416.92 GWh, durante el 2020. Al sustituir este dato en la Ecuación 9 se determinó que, la energía proveniente de coprocesamiento puede proveer el equivalente al 3.11% de la energía eléctrica que demanda el departamento de Guatemala.

$$\text{Porcentaje de generación} = \frac{137.45 \text{ GWh/año}}{4,416.92 \text{ GWh/año}} * 100 = 3.11\%$$

Ecuación 9: Porcentaje de participación en la generación eléctrica del Departamento de Guatemala.

⁷ Administrador del Mercado Mayorista (2021) *Revista Digital*. GUATEMALA 2020: DEMANDA DE ENERGÍA A NIVEL DEPARTAMENTAL. Consultado en: <https://rd.amm.org.gt/2021/02/10/demanda-energia-departamental/>

3.7. Otros desechos no aprovechables

Dentro de los resultados obtenidos, la generación de “loza y cerámica” (de momento no aprovechable en ningún proceso de recuperación debido a la forma y naturaleza de estos desechos) y de “varios” (en donde se incluyen desechos de baja generación y no aprovechables, como pilas alcalinas, focos, insecticidas, productos de limpieza y material médico, incluyendo gasas, algodones, medicamentos caducos) representan el 0.22% del total de los residuos y desechos sólidos comunes que son generados en la Ciudad de Guatemala. La situación sanitaria provocada por el virus SARS-COV-2, causante del COVID-19, es la principal causa de generación de guantes y mascarillas desechables, las cuales se están destinando en la basura común, aunque éstas sean potencialmente bio-infecciosas, por lo que deberían de destinarse a una incineración controlada, con base en el Acuerdo Gubernativo 509-2001, “Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios” emitido por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

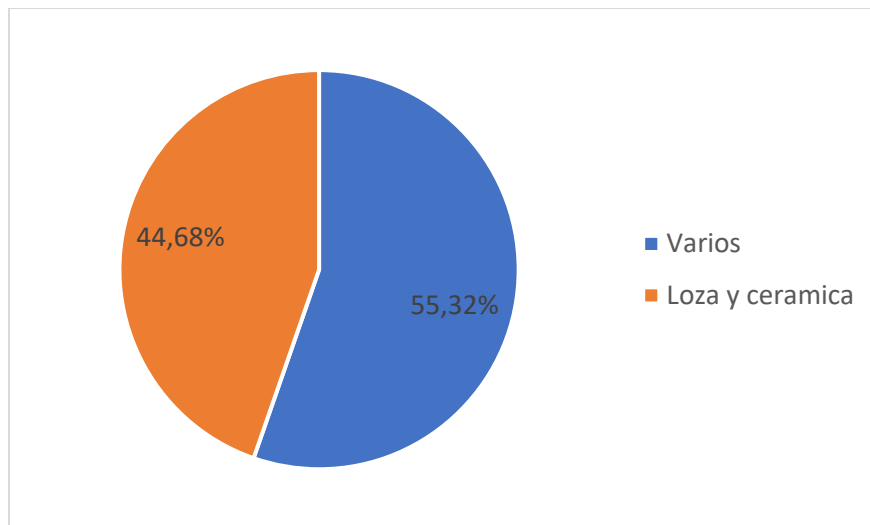
A continuación, se presenta el resumen de la generación de estos desechos:

Tabla 15. Distribución de los desechos no aprovechables en la Ciudad de Guatemala.

Composición	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje de este tipo de desecho (%)	Porcentaje del total generado (%)
Varios	2.60	55.32%	0.12%
Loza y cerámica	2.10	44.68%	0.10%
Total	4.70	100.00%	0.22%

Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021

Gráfica 5. Distribución de los desechos coprocesables generados en la Ciudad de Guatemala.



Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

4. Resultados por estrato

4.1. Resultados del estrato alto:

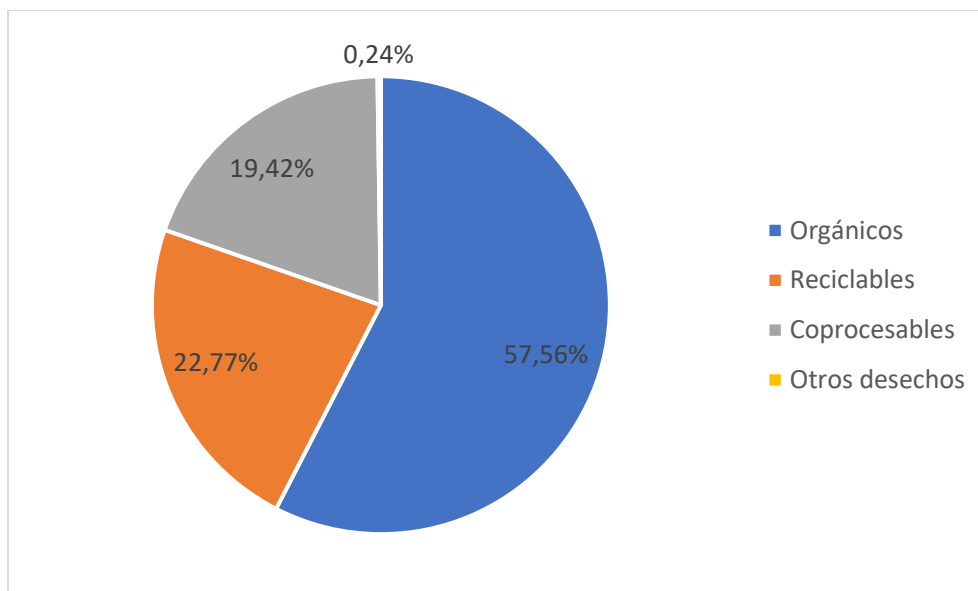
En el estrato alto predominó la generación de residuos orgánicos (57.56%). El 99.75% de los residuos y desechos generados en este estrato socioeconómico son potencialmente valorizables mediante las diferentes estrategias presentadas en el inciso 3. Si se tuviera un correcto manejo de los residuos y desechos sólidos comunes en el municipio de Guatemala, únicamente el 0.24% (otros desechos) de los desechos generados irían al vertedero ubicado en la zona 3.

Tabla 16. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato alto de la Ciudad de Guatemala.

Composición	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje (%)
Orgánicos	408.70	57.56%
Reciclables	161.70	22.77%
Coprocesables	137.90	19.42%
Otros desechos	1.70	0.24%
Total	710.00	100.00%

Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

Gráfica 6. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato alto de la Ciudad de Guatemala.



Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

Los datos recopilados durante la caracterización muestran que la generación (estimada) de residuos y desechos sólidos es de 798.80 gramos/persona/día, con una variación de 176.82 gramos/persona/día, por lo que se considera que la sugerencia de desviación que la guía brinda es la adecuada para este estrato poblacional, ya que brinda confiabilidad a los datos recopilados. Además, el resumen detallado por tipo de desecho se presenta a continuación:

Tabla 17. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato alto.

Composición		Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje por tipo de desecho (%)	Porcentaje del total de los desechos del estrato (%)
Orgánicos	Alimentos	321.50	78.66%	57.51%
	Jardinería	80.10	19.60%	
	Madera	6.80	1.66%	
	Fibra dura vegetal	0.30	0.07%	
	Total, orgánicos	408.70	100.00%	
Reciclables	Plástico	74.70	46.20%	22.76%
	Papel y cartón	44.10	27.27%	
	Vidrio	26.30	16.26%	
	Material Ferroso	5.80	3.59%	
	Material No Ferroso	4.70	2.91%	
	Envase de cartón laminado (tetrapack)	4.10	2.54%	
	Electrónicos	2.00	1.24%	
	Hule	0.00	0.00%	
	Total, reciclables	161.70	100.00%	
Coprocesables	Papel Sanitario y pañales	106.70	77.37%	19.41%
	Trapo	26.70	19.36%	
	Poliestireno Expandido	4.50	3.26%	
	Total, Coprocesables	137.90	100.00%	
Otros Desechos	Loza y cerámica	0.60	26.09%	0.32%
	Varios	1.70	73.91%	
	Total, Otros Desechos	2.30	100.00%	
Total		710.60	100.00%	100.00%

4.2. Resultados del estrato medio:

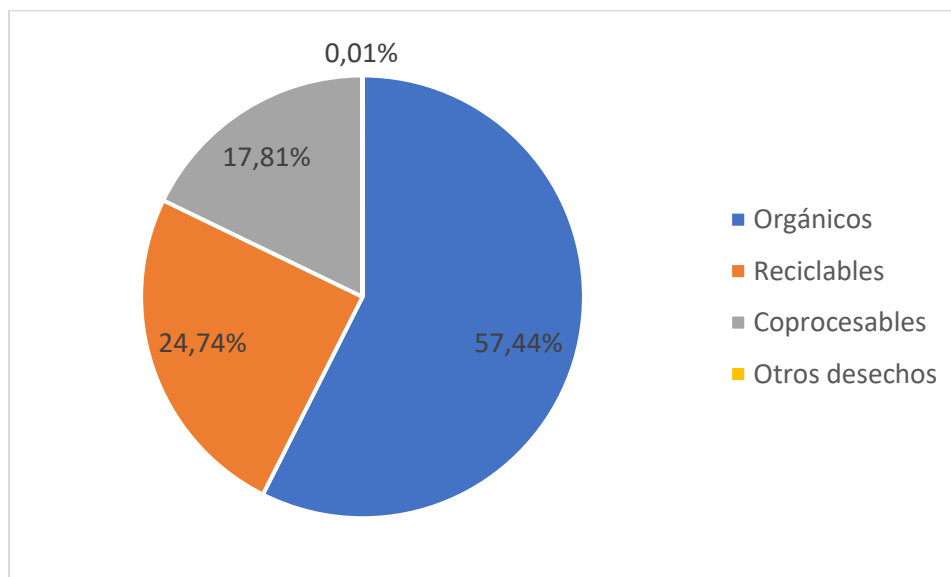
En el estrato medio predominó la generación de residuos orgánicos (57.44%). El 99.99% de los residuos y desechos generados en este estrato socioeconómico son potencialmente valorizables mediante las diferentes estrategias presentadas en el inciso 3. Si se tuviera un correcto manejo de los residuos y desechos sólidos comunes en el municipio de Guatemala, únicamente el 0.01% (otros desechos) de los desechos generados irían al vertedero ubicado en la zona 3.

Tabla 18. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato medio de la Ciudad de Guatemala.

Composición	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje (%)
Orgánicos	408.60	57.44%
Reciclables	176.00	24.74%
Coprocesables	126.70	17.81%
Otros desechos	0.10	0.01%
Total	711.40	100.00%

Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

Gráfica 7. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato medio de la Ciudad de Guatemala.



Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021.

Los datos recopilados durante la caracterización muestran que la generación (estimada) de desechos sólidos comunes es de 808.72 gramos/persona/día, con una variación de 120.88 gramos

/persona/día, por lo que se considera que la sugerencia de desviación estándar que brindó la guía es adecuada para este estrato poblacional, lo que brinda confiabilidad a los datos recopilados. Considerando la variación obtenida, se sugiere que para la siguiente caracterización se utilice la variación de 150 gramos/persona/día, para lo cual, la muestra ideal será de 44 viviendas, según lo que se indica la Tabla 4 (ya incluye el 25% extra del tamaño de la muestra). A continuación, se presenta la distribución de los desechos generados en el estrato medio.

Tabla 19. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato medio.

Composición		Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje por tipo de desecho (%)	Porcentaje del total de los desechos del estrato (%)
Orgánicos	Alimentos	302.0	73.91%	57.44%
	Jardinería	97.5	23.86%	
	Madera	9.1	2.23%	
	Fibra dura vegetal	0.0	0.00%	
	Total, orgánicos	408.6	100.00%	
Reciclables	Plástico	83.1	47.22%	24.74%
	Papel y cartón	50.2	28.52%	
	Vidrio	27.3	15.51%	
	Material Ferroso	4.9	2.78%	
	Material No Ferroso	5.6	3.18%	
	Envase de cartón laminado (tetrapack)	3.9	2.22%	
	Electrónicos	1.0	0.57%	
	Hule	0.0	0.00%	
	Total, reciclables	176.0	100.00%	
Coprocesables	Papel Sanitario y pañales	98.6	77.82%	17.81%
	Trapo	23.2	18.31%	
	Poliestireno Expandido	4.9	3.87%	
	Total, Coprocesables	126.7	100.00%	
Otros desechos	Loza y cerámica	0.1	26.09%	0.01%
	Varios	0.0	73.91%	
	Total, Otros desechos	0.1	100.00%	
Total		710.60	100.00%	100.00%

4.3. Resultados del estrato bajo:

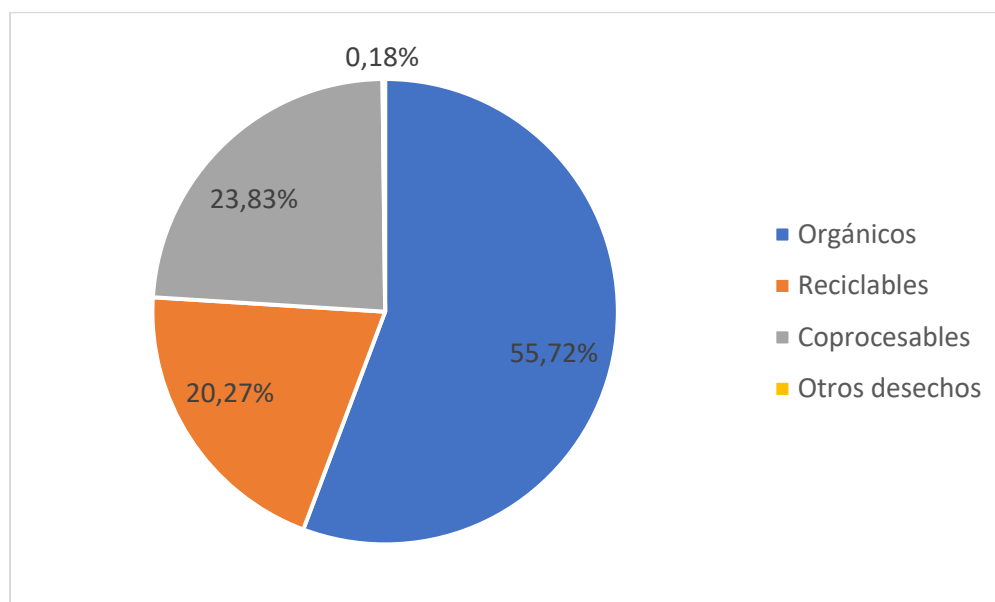
En el estrato bajo predominó la generación de residuos orgánicos (55.72%). De los tres estratos socioeconómicos, el estrato bajo fue en el que menor porcentaje de residuos orgánicos registró, mientras que en este estrato se determinó el mayor porcentaje de coprocesables, debido a la mayor cantidad de pañales desechables generados. El 99.82% de los residuos y desechos generados en este estrato socioeconómico son potencialmente valorizables mediante las diferentes estrategias presentadas en el capítulo 3. Si se tuviera un correcto manejo de los residuos y desechos sólidos comunes en el municipio de Guatemala, únicamente el 0.18% (otros desechos) de los desechos generados irían al vertedero ubicado en la zona 3.

Tabla 20. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato bajo de la Ciudad de Guatemala.

Composición	Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje (%)
Orgánicos	395.90	55.72%
Reciclables	144.00	20.27%
Coprocesables	169.30	23.83%
Otros desechos	1.30	0.18%
Total	710.50	100.00%

Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021

Gráfica 8. Distribución de los residuos y desechos generados en el estrato bajo de la Ciudad de Guatemala.



Elaboración: Equipo Técnico CGP+L, septiembre 2021

Los datos recopilados durante la caracterización muestran que la generación (estimada) de residuos y desechos sólidos comunes es de 550.90 gramos/persona/día, con una variación de 93.78 gramos/persona/día, por lo que se considera que la sugerencia de desviación estándar que brinda la guía es adecuada para este estrato poblacional, lo que brinda confiabilidad a los datos recopilados. Considerando la variación obtenida, se sugiere que para el siguiente proceso de caracterización se use la desviación estándar de 100 gramos/persona/día, para lo cual, la muestra ideal para este estrato será de 20 viviendas (ya considera el 25% extra del tamaño de las muestras), según la Tabla 4.

Tabla 21. Distribución de los desechos generados en el estrato bajo.

Composición		Cantidad caracterizada (lb)	Porcentaje por tipo de desecho (%)	Porcentaje del total de los desechos del estrato (%)
Orgánicos	Alimentos	343.6	86.79%	55.72%
	Jardinería	47.9	12.10%	
	Madera	3.9	0.99%	
	Fibra dura vegetal	0.5	0.13%	
	Total, orgánicos	395.9	100.00%	
Reciclables	Plástico	77.0	53.47%	20.27%
	Papel y cartón	37.1	25.76%	
	Vidrio	20.1	13.96%	
	Material Ferroso	2.4	1.67%	
	Material No Ferroso	3.6	2.50%	
	Envase de cartón laminado (Tetrapack)	2.5	1.74%	
	Electrónicos	1.3	0.90%	
	Hule	0.0	0.00%	
	Total, reciclables	144.0	100.00%	
Coprocesables	Papel Sanitario y pañales	134.9	79.68%	23.83%
	Trapo	31.7	18.72%	
	Poliestireno Expandido	2.7	1.59%	
	Total, Coprocesables	169.3	100.00%	
Otros desechos	Loza y cerámica	0.7	53.85%	0.18%
	Varios	0.6	46.15%	
	Total, Otros desechos	1.3	100.00%	
Total		710.5	100.00%	100.00%

5. Conclusiones

- Los datos de la estimación poblacional de la Ciudad de Guatemala para el año 2021 del Instituto Nacional de Estadística (INE)⁸ y los resultados del análisis realizado, se prevé una generación de residuos y desechos sólidos comunes de 256,865.38 toneladas anuales.
- Los residuos orgánicos son el principal residuos y desecho sólido común que se genera en la ciudad de Guatemala, corresponde al 57.16% de la generación total. Esto significa que 146,824.25 toneladas/año tienen el potencial de ser usadas para elaborar composta, lo que representa una reducción de hasta 616,661.87 toneladas de CO_{2eq}, esto permitiría reducir la huella de carbono total del municipio.
- Del total de los residuos orgánicos, el 98.73% se pueden utilizar para realizar compostas, porque son residuos de alimentos y desechos de jardinería. El 1.27% de material restante corresponde a madera y fibra dura vegetal, las cuales pueden ser aprovechadas mediante coprocesamiento.
- Los materiales reciclables corresponden al 24.22% de los residuos y desechos sólidos comunes caracterizados para todo el municipio, siendo de los de mayor presencia. De este material, el 80% se compone de plástico, papel, cartón y vidrio. Por ello, se sugiere que se inicie con una campaña para fomentar el reciclaje de estos materiales, para la cual se deberán de implementarse planes de educación ambiental, que sean impulsados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y de la Municipalidad de Guatemala.
- El 18.41% de los residuos y desechos sólidos comunes son coprocesables. Se estima que con las 47,278.79 toneladas/anuales de este tipo de desecho, se tiene el potencial de generar 137.45 GWh de energía eléctrica, que equivale a una planta de 15.69 MW, lo que supondría la cobertura del 3.11% de la necesidad de energética eléctrica del Departamento de Guatemala, con base en los datos del Ministerio de Energía y Minas⁹.
- El 0.22% de los residuos y desechos sólidos comunes se clasificaron como “Otros desechos”, los cuales no tienen un potencial de aprovechamiento en una economía circular, debido a su naturaleza. En este rubro se incluyeron desechos como loza y cerámica proveniente de platos y tazas, mascarillas, medicamentos caducos y baterías. Estos desechos deberían de tener una gestión especial en el vertedero de la zona 3, para evitar ser una fuente de contaminación, por el peligro biológico que representan, en especialmente a la biodiversidad.

⁸ Guatemala: Estimaciones de la población total por municipio. Período 2008-2020 (al 30 de junio).

⁹ Administrador del Mercado Mayorista (2021) *Revista Digital*. GUATEMALA 2020: DEMANDA DE ENERGÍA A NIVEL DEPARTAMENTAL. Consultado en: <https://rd.amm.org.gt/2021/02/10/demanda-energia-departamental/>

6. Referencias bibliográficas

Administrador del Mercado Mayorista (2021) *Revista Digital*. GUATEMALA 2020: DEMANDA DE ENERGÍA A NIVEL DEPARTAMENTAL. Consultado en: <https://rd.amm.org.gt/2021/02/10/demanda-energia-departamental/>

Gobierno Vasco. (2007). Guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire. Capítulo 17. Valorización de Residuos Sólidos Urbanos. Consultado en: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eprtr/es_guia/adjuntos/residuos_urbanos.pdf

Instituto Nacional de Estadística – INE. (2020). *Guatemala: Estimaciones de la población total por municipio. Período 2008-2020 (al 30 de junio)*.

Méndez, C. (2016) *La capital registra 297 asentamientos precarios*. El Periódico. Guatemala. Publicado el 10/01/2016. Consultado en: <https://elperiodico.com.gt/nacionales/2016/01/10/la-capital-registra-297-asentamientos-precarios/>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales - MARN. (2018). *Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes*. Guatemala. 28 pp. Consultado en: <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/13193.pdf>

Panel Intergubernamental del Cambio Climático – IPCC (S.F.) Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 5. Desechos. Páginas 5.1 a 5.35. Consultado en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/5_Waste_ES.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD (2014). *Perfil Estratos Sociales 2014*. Consultado en: <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/library/poverty/perfil-estratos-sociales-2014.html>