

Cuantificación y caracterización de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario San Mateo, en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México

Noviembre 2023



WASTEMAP



Cuantificación y caracterización de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario San Mateo, en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México

Noviembre 2023



WASTEMAP



El presente reporte fue preparado por Soluciones Integrales para la Problemática Ambiental (SIPRA) para el H. Ayuntamiento de Naucalpan, como parte del proyecto *Waste Methane Assessment Platform (Waste MAP)* en México de Clean Air Task Force (CATF) junto con RMI y con financiamiento del Global Methane Hub.

SIPRA

Nadya Selene Alencastro Larios
Gustavo Solorzano Ochoa
Eduardo Parra Ramos
Rocío de la Torre de la Mora
Cristina Méndez García

Equipo en campo

Araceli Cisneros Castro
Lourdes Rodríguez Campos
Marco Antonio Pérez Luna
Norma Elizabeth Farías Arroyo
Alicia Cisneros Castro

■ Contenido

Resumen ejecutivo	6
Introducción	9
Gestión integral de RSU en el municipio de Naucalpan de Juárez	10
Características generales de la zona de estudio	13
Metodología de estudio de cuantificación y caracterización de RSU en el relleno sanitario de San Mateo	16
Resultados del estudio de cuantificación y caracterización de RSU en el relleno sanitario de San Mateo	27
Conclusiones	38
Bibliografía	39
Acrónimos	41
Glosario	42

■ Índice de Tablas

Table 1. Generación estimada de RSU por delegación en el Municipio de Naucalpan de Juárez	11
Table 2. Delegaciones consideradas para el estudio de caracterización	17
Table 3. Registro de entrada de camiones en el SDF (San Mateo) de Naucalpan de Juárez durante el desarrollo del estudio de caracterización	18
Table 4. Categorías y subcategorías para el estudio de caracterización	18
Table 5. Representatividad del muestreo	25
Table 6. Composición de los RSU en las zonas populares del municipio de Naucalpan	29
Table 7. Perfil de composición de RSU residenciales basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan	31
Table 8. Comparación del % de los RSU en las zonas populares, residenciales y global del municipio de Naucalpan	32
Table 9. Perfil de composición global de RSU basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan	35
Table 10. Comparación de los resultados del 2017 respecto 2023	36

■ Índice de Figuras

Figure 1. Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México	13
Figure 2. Usos de suelo en el municipio de Naucalpan de Juárez 1997	14
Figure 3. Uso de suelo en el municipio de Naucalpan de Juárez 2021	15
Figure 4. Equipo en campo	20
Figure 5. Área de segregación de muestras	20
Figure 6. Entrevista a operadores de los camiones de recolección.	21
Figure 7. Diagrama del proceso general de muestreo	22
Figure 8. Camión seleccionado descargando RSU	23
Figure 9. Brigadistas tomando muestra de RSU	23
Figure 10. Muestras etiquetada lista para segregarse	24
Figure 11. Muestra en el área de segregación	25
Figure 12. Segregación por subcategorías.	26
Figure 13. Muestra segregada manualmente	26
Figure 14. Pesada por subcategoría de materiales	26
Figure 15. Recolección informal en el municipio	27
Figure 16. Composición promedio de los RSU para las zonas populares basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan.	28
Figure 17. Composición promedio de RSU para las zonas residenciales en el municipio de Naucalpan de Juárez, basado en los vehículos entrantes al SDF	30
Figure 18. Composición general de RSU basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan	33

Listado de anexos

Anexo A Este anexo es una base de datos en Excel, que tiene la información estadística de las 46 muestras analizadas en campo.

Anexo B Este documento contiene información de los vehículos recolectores de RSU del municipio de Naucalpan de Juárez, vehículos de la Biomerik para la gestión de residuos dentro del relleno sanitario San Mateo.

Anexo C Colonias pertenecientes a las delegaciones que tienen el municipio de Naucalpan de Juárez.

Anexo D Contiene notas y observaciones de los 46 camiones muestreados.

Anexo E Evidencia escrita sobre la información que proporcionó el municipio en las entrevistas de planeación.

Anexo F Logística minuto a minuto para el día uno

Resumen ejecutivo

En 2023 se inició el proyecto *Waste Methane Assessment Platform (Waste MAP)* de Clean Air Task Force (CATF) en colaboración con RMI y financiamiento del Global Methane Hub. Waste MAP proporcionará una herramienta en línea accesible que destaque las emisiones de metano de residuos sólidos, oportunidades de mitigación y mejores prácticas para reducirlas. Esto con el objeto de proporcionar una vía clara para reducir el metano del sector y alcanzar el Compromiso Global de Metano, así como otros objetivos nacionales y subnacionales de reducción de gases de efecto invernadero. Como parte de Waste MAP en México, CATF está ayudando al municipio de Naucalpan de Juárez (Naucalpan) a actualizar los estudios necesarios para apoyar la toma de decisiones sobre tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos, específicamente un digestor anaerobio, y facilitar los procesos de alcance y financiamiento para su aplicación.

Por ello, bajo la encomienda del CATF, la empresa consultora SIPRA, realizó un estudio de cuantificación y caracterización de los residuos sólidos municipales del relleno sanitario San Mateo en Naucalpan (ver Figura RE 1) y así actualizar el “Estudio de Caracterización de Residuos: Estación de Transferencia Naucalpan” por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos que se elaboró en 2017 (USEPA).

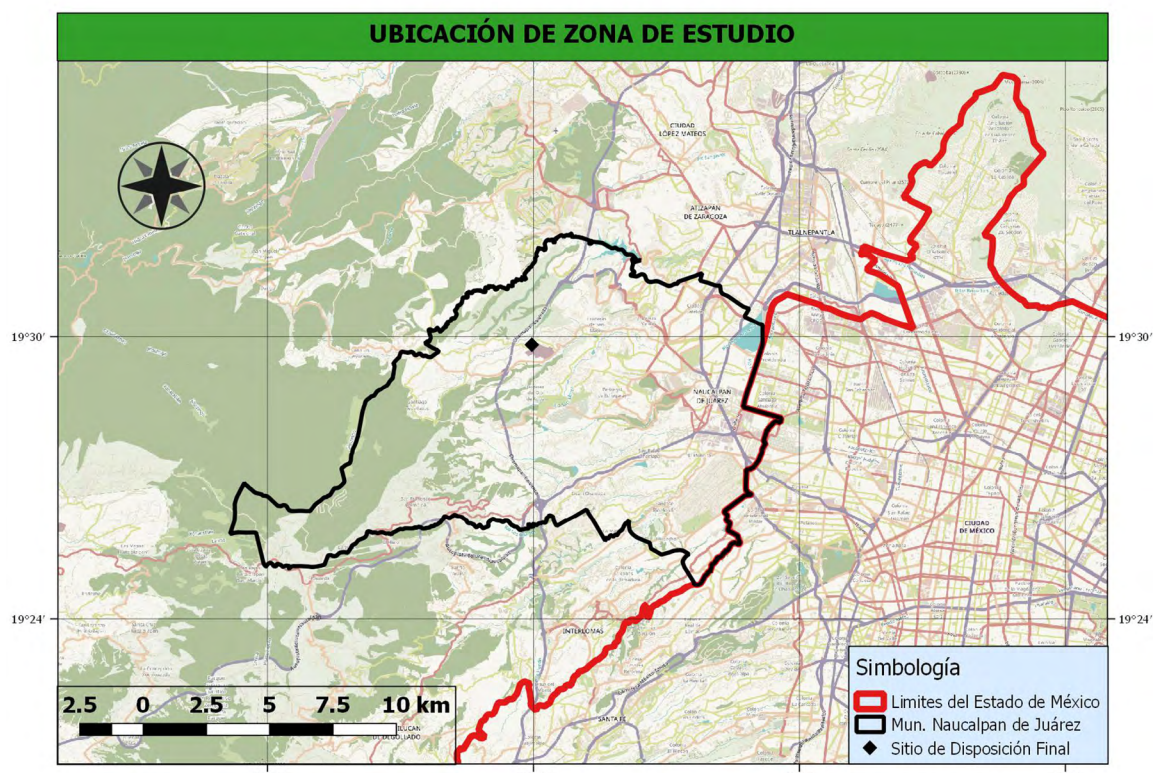


Figura RE 1. Mapa del municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México

La caracterización de los RSU del relleno sanitario San Mateo se realizó, en campo, del 22 al 26 de mayo del 2023. Para ello, se muestrearon 46 camiones y se clasificaron de acuerdo con su ruta de recolección; 23 de estos correspondientes a zonas populares y 23 a zonas residenciales, de cada camión se tomó una muestra de entre 90 y 120 kg de residuos.

Las diferentes muestras fueron segmentadas a mano en 31 subcategorías y, para fines de cálculo reagrupadas en 11 categorías, de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-022-1985 y con la caracterización previa del 2017 para fines de comparabilidad (USEPA, 2017). A continuación, se muestra la composición de los residuos muestreados para cada estrato social, así como en general (ver Figura RE 2 y Tabla RE 1). Los residuos orgánicos no reciclables representan aprox. 40% de los RSU dispuestos en el relleno sanitario.

Tabla RE 1. Composición de los RSU por porcentaje en las zonas populares, residenciales y global del municipio de Naucalpan

Categorías	Fracción en peso % de RSU zona popular	Fracción en peso % de RSU zona residencial	Fracción en peso % RSU general
Residuos de comida	24.59	19.94	22.33
Residuos Verdes	7.08	23.91	15.82
Otros residuos orgánicos	2.04	2.11	2.07
Textiles	8.20	2.96	6.00
Papel y Cartón	9.81	6.41	8.06
Plástico	13.63	9.93	11.84
Metal	1.51	1.76	1.68
Vidrio	2.77	3.68	3.21
Otros	28.92	24.67	26.30
Electrónicos	0.34	3.02	1.31
Otros	1.11	1.61	1.38
TOTAL	100.00	100.00	100.00

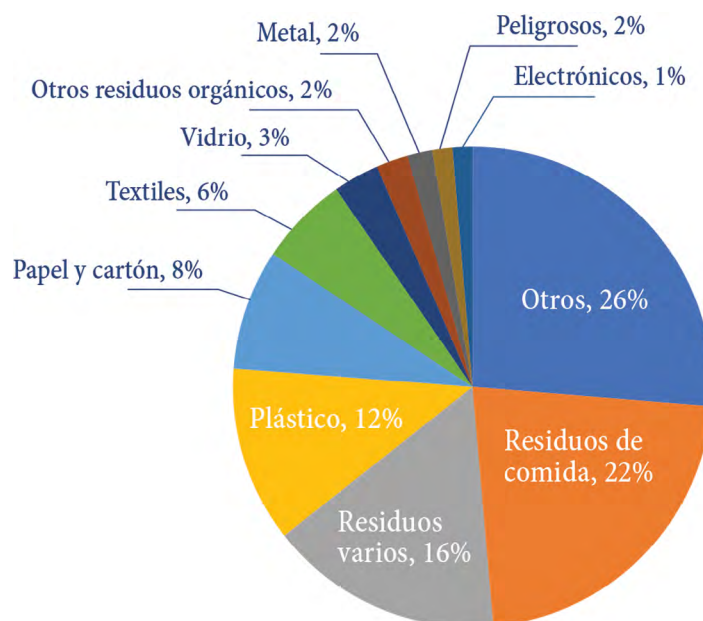


Figura RE 2. Composición general de los RSU en el Municipio de Naucalpan de Juárez con base en los vehículos entrantes al relleno sanitario San Mateo

El estudio se realizó con una metodología estricta y se tomaron precauciones para que las estimaciones se ajustaran lo más posible a la realidad; sin embargo, hubo situaciones que pudieron modificar los resultados obtenidos y que es importante tomar en consideración, estas se enlistan a continuación:

- A lo largo de la ruta de recolección existe segregación informal de materiales valorizables, tanto por trabajadores del sector informal como por trabajadores del servicio de limpieza municipal, dada dicha situación previo a la entrada de los vehículos al SDF, la generación de materiales valorizables como papel, cartón y algunos metales probablemente esté subestimada.
- Durante el estudio de caracterización transcurrieron lluvias en la zona metropolitana del Valle de México, por lo que se tomaron las medidas apropiadas para prevenir que los residuos adquirieran humedad asociada a la lluvia. Adicionalmente, se tomaron observaciones cualitativas sobre la humedad de los residuos muestreados.

Aún con estas consideraciones, es importante recalcar cerca del 50% de los residuos corresponden a la categoría de orgánicos y podrían ser susceptibles a biodigestión.

Introducción

En el 2023, la organización no-gubernamental **Clean Air Task Force (CATF)**, con financiamiento del *Global Methane Hub*, y en colaboración con RMI lanzó el proyecto **Waste MAP**¹ (CATF, 2023), enfocada a mejorar la comprensión de las emisiones de metano provenientes del sector residuos sólidos a nivel internacional y apoyar los esfuerzos para reducir las mismas. Como parte de sus esfuerzos en México, CATF estableció una cooperación técnica no reembolsable con el municipio de Naucalpan de Juárez (Naucalpan) bajo la cual, entre otras actividades, realizó este estudio de cuantificación y caracterización de los residuos sólidos municipales del relleno sanitario San Mateo en Naucalpan y, así, actualizar el “Estudio de Caracterización de Residuos: Estación de Transferencia Naucalpan” por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) que se elaboró en 2017. Mediante esta caracterización actualizada se espera facilitar el manejo de residuos sólidos en el municipio e informar el desarrollo del proyecto de una planta de digestión anaerobia en el relleno sanitario de Naucalpan.

Considerando que la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) va cambiando a través del tiempo, ya sea por cuestiones de incremento de población, patrones de consumo de los pobladores, desarrollo de actividades económicas en la localidad en cuestión, producción y consumo de bienes y servicios, e incluso contexto social en general; resulta necesario actualizar la cuantificación y caracterización de los residuos sólidos del municipio que se había llevado a cabo en el 2017.

Adicionalmente, la gestión de RSU por el municipio de Naucalpan ha cambiado desde la elaboración del “Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos del Municipio de Naucalpan” por USEPA en 2017, por lo que es de relevancia actualizarlo. Específicamente, el estudio del 2017 se llevó a cabo en la estación de transferencia que habilitó el municipio de Naucalpan de manera temporal para facilitar el manejo y transporte de los RSU de la localidad, los cuales se transportaban a dos rellenos sanitarios en municipios vecinos (Xonacatlán y Tepetzotlán). Actualmente, el municipio de Naucalpan solo deposita RSU en el relleno sanitario de San Mateo que se encuentra a cargo de la empresa Biomerik, cuyo final de concesión se encuentra prevista para el 2026, con una vida útil estimada de 20 años. Cabe mencionar que la estación de transferencia estaba diseñada para ser una instalación temporal hasta el establecimiento de un sitio de disposición final (SDF) de residuos permanente (USEPA, 2017). En contraste con las circunstancias del 2017 (año en que el relleno sanitario de San Mateo ubicado en el municipio de Naucalpan de Juárez se encontraba clausurado), este estudio de cuantificación y caracterización se desarrolló en el SDF.

Este estudio de cuantificación y caracterización se llevó a cabo en el relleno sanitario de San Mateo durante 5 días (22 al 26 de mayo 2023), los muestreos duraron en promedio 12 horas por día y se realizaron con 10 brigadistas y 5 especialistas. Para este estudio, se tomaron muestras de entre 90 y

1 Waste Methane Assessment Platform. <https://www.catf.us/resource/global-waste-sector-methane/>

120 kg de residuos de 46 camiones los cuales se clasificaron de acuerdo con su ruta de recolección en zonas populares y zonas residenciales (23 camiones cada una) conforme al estudio realizado por la USEPA en 2017.

Más información sobre la gestión integral de RSU en el municipio de Naucalpan de Juárez se encuentran a continuación, el resto de este reporte está compuesto por las siguientes secciones:

- Características generales de la zona de estudio;
- Metodología de estudio de cuantificación y caracterización de RSU en el relleno sanitario de San Mateo;
- Resultados del estudio de cuantificación y caracterización de RSU en el relleno sanitario de San Mateo, y
- Conclusiones y recomendaciones.

Gestión integral de RSU en el municipio de Naucalpan de Juárez

La gestión integral de RSU en Naucalpan es mencionada en la visión del Plan de Desarrollo Municipal (PDM) 2022-2024 (Municipio de Naucalpan, 2022), bajo el pilar territorial de un municipio *Ordenado, Sustentable y Resiliente*. Es importante mencionar que el PDM del municipio se encuentra alineado con el Plan de Desarrollo Estatal y Nacional, que a su vez se incorporan al marco normativo del país y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 de la ONU. Bajo este contexto, Naucalpan de Juárez, como municipio sustentable, requiere que los recursos se aprovechen óptimamente para satisfacer sus necesidades de infraestructura de servicios públicos básicos, procurando que estos lleguen oportuna y ampliamente a las comunidades de manera integral. Entre estos servicios destaca el manejo correcto de los RSU, el cuidado del medio ambiente y como prioridad, la promoción de la producción y consumo de bienes y servicios sustentables.

En el municipio predomina el modelo convencional de manejo de RSU, que consiste en recolectar y disponer los residuos en SDF, desaprovechando aquellos que son susceptibles a reincorporarse al sistema productivo, lo que disminuiría la demanda y explotación de materias primas vírgenes y ayudaría a pasar de una economía lineal a una circular. Aunque dentro del marco normativo mexicano, los municipios deben hacerse cargo de la gestión integral de los RSU que son generados en su territorio, estos enfrentan diversos retos para afrontar la tarea con éxito, como la implementación de alternativas sostenibles para el manejo de los RSU, la educación ambiental de la población, la inversión y desarrollo de investigación en el tema de residuos, la gobernanza y la transición de la economía lineal a la economía circular.

De acuerdo con datos del Banco Mundial, las localidades de países en desarrollo tienden a gastar la mayor parte de su presupuesto asignado al manejo de residuos sólo en recolectarlos y disponerlos (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018), y es el caso de Naucalpan ya que el manejo de los

RSU en el municipio sigue este modelo (Municipio de Naucalpan; 2022). Aunado a esto, el corto tiempo de las administraciones municipales, conlleva a la ruptura de la curva de aprendizaje y por ende a una falta de continuidad en las acciones y proyectos que garanticen una gestión integral de los RSU en el municipio. En este sentido, Naucalpan, al igual que otros muchos otros municipios del país, enfrenta grandes oportunidades de mejora en su gestión integral de RSU.

Según el *Plan de Desarrollo Municipal*, 22-24 se estima que la generación per cápita es de 0.767 kg/hab/día, lo que equivale a una generación de 233,562 toneladas de residuos sólidos urbanos en el año. Es importante notar que este estudio, estima una disposición en el relleno sanitario promedio de 616.91 ton/día, por lo que utilizando la población proyectada por INEGI para el 2023 de 934,557 habitantes, se tendría una disposición de RSU per cápita de 0.660 kg/hab/día. Sin embargo, la diferencia entre la generación de 0.767 kg/hab/día y la disposición de 0.660 kg/hab/día puede ser resultado de la valorización de residuos a lo largo de la ruta de recolección y previo a la llegada al sitio de disposición final (descrita a continuación).

◆ **Recolección de RSU en Naucalpan**

La Dirección General de Servicios Públicos presta el servicio de recolección de RSU por medio de 154 vehículos adscritos a la dependencia. Personal de Servicios Públicos informó que para la recolección de RSU en Naucalpan, el municipio se encuentra dividido políticamente por 9 delegaciones (Table 1) donde existe una cobertura de recolección municipal que va del 74% al 100%. Adicionalmente, el personal del municipio informó que dichas delegaciones generan desde 25 ton/día hasta 75 ton/día (Table 1).²

Table 1. Generación estimada de RSU por delegación en el Municipio de Naucalpan de Juárez

Delegación	ton/semana	ton/día
Tecamachalco	150 a 200	25 a 33.33
Satélite	150 a 200	25 a 33.33
San Mateo	400 a 450	66.66 a 75
San Agustín	400 a 450	66.66 a 75
Molino	400 a 450	66.66 a 75
Lomas Verdes	200 a 250	33.33 a 41.66
Izcalli	400 a 450	66.66 a 75
Echegaray	400 a 450	66.66 a 75
Central	400 a 450	66.66 a 75

Fuente: Entrevistas con actores clave en el manejo de RSU en el municipio de Naucalpan de Juárez.

² Nota: El total de toneladas generadas por día es distinto al valor obtenido durante este estudio; sin embargo, esto se puede deber a la calidad de los datos recopilados y a las condiciones en las que se desarrolló el estudio.

◆ **Valorización de RSU en Naucalpan**

Como se mencionó anteriormente, la gestión de los RSU es un tema fundamental en el PDM 22-24 (Municipio de Naucalpan; 2022). En este contexto, la administración del municipio está interesada en implementar planes, programas bajo el marco regulatorio, donde el manejo de los RSU se realice bajo esquemas de gestión integral, que incluyan la prevención y reducción de su generación, su valorización económica y su disposición de manera adecuada. Sin embargo, actualmente no se lleva a cabo por parte del municipio ninguna recuperación de materiales para su valorización.

Actualmente toda la recuperación de materiales que se lleva a cabo es de manera informal, situación que no es ajena al resto de México, donde los recuperadores informales- y, en ocasiones, trabajadores del municipio del servicio de limpia- hacen una segregación previa al ingreso al SDF. A fin de dimensionar el alcance de esta recuperación informal en rutas de recolección, un estudio realizado por el Instituto Politécnico Nacional para la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México en 2016, afirma que hay una recuperación promedio de valorizables de 1,026 kg por camión al día (IPN, 2016).

Es importante considerar que este proceso puede influenciar los resultados del estudio de cuantificación y caracterización de los RSU en el SDF, ya que, al ingresar los camiones, llevarían menos residuos valorizables de los que originalmente se generaron.

◆ **Disposición final de RSU de Naucalpan**

El municipio de Naucalpan se encuentra interesado en implementar estrategias de manejo de RSU más sustentables e integrales, enfocadas en desviar la mayor parte posible de estos RSU a aprovechamiento, evitando así que lleguen al SDF, tanto su fracción orgánica como la inorgánica. Esto conlleva aumentar la cantidad de recuperación de valorizables y destinarlos a reciclaje (fracción inorgánica), y utilizar la fracción orgánica de los residuos para la generación de energía renovable través de un sistema integral de biodigestión. Es por esto último que se realiza este estudio de caracterización.

Todos los residuos generados y recolectados por el municipio ingresan al relleno sanitario San Mateo de lunes a sábado, ya que, conforme a lo indicado por el personal entrevistado, los domingos el SDF no se encuentra operando, por lo tanto, y asumiendo que la información registrada en este estudio sea representativa a lo largo del año, se estima una generación de *192,475.92 toneladas anuales*.

El relleno sanitario San Mateo se encuentra operando desde el 2006 bajo la concesión a la empresa Servicios de Tecnología Ambiental SETASA, sin embargo, la empresa concesionaria ha cambiado en múltiples ocasiones a lo largo de los años. Desde el 2018 la empresa Biomerik opera el mismo y se prevé el cierre en el 2026 con una profundidad promedio de 30 m. A pesar de lo mencionado anteriormente se conoce que desde 1976 se disponen residuos en las zonas aledañas (Mexan, 2020).

■ Características generales de la zona de estudio

El municipio de Naucalpan es uno de los 125 municipios que conforman el Estado de México, cuenta con una superficie de 157.04 km² que representa aproximadamente 0.7% del territorio del Estado de México. Sus colindancias con otros municipios son las siguientes: Atizapán de Zaragoza (al norte), Jilotzingo (al noreste), Tlalnepantla de Baz (al noreste), Huixquilucan (al sur), Lerma (al suroeste), Xonacatlán (al este), las alcaldías Miguel Hidalgo (al suroeste) y Azcapotzalco (al este) de Ciudad de México.

◆ Ubicación

El Figure 1, muestra la ubicación del municipio y la ubicación del relleno sanitario de San Mateo, lugar donde se llevó a cabo el estudio de caracterización de RSU del municipio.

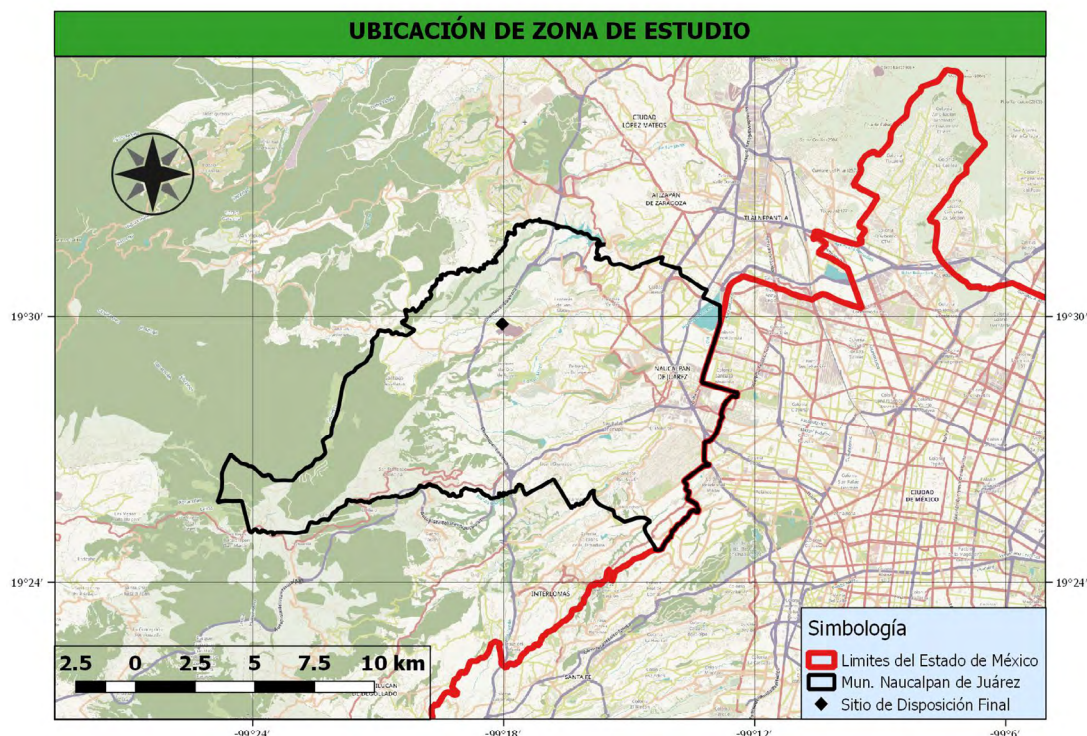


Figure 1. Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

◆ Población

En general, la generación de RSU está directamente relacionada con el crecimiento poblacional en cada localidad, aunque existen otros factores que influyen en el volumen generado. El desarrollo económico, los estilos de vida y los patrones de consumo, son factores que incrementan el consumo de

bienes y servicios de los pobladores principalmente en las zonas urbanas (SEMARNAT, 2020); esto se refleja inmediatamente en la generación de desperdicios de comida, empaques y embalajes de diversos tipos de materiales como cartón, papel, plásticos, así como residuos provenientes de dispositivos electrónicos, especialmente en zonas urbanas (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018).

La población proyectada por INEGI para el 2023 de Naucalpan es de 934,557 habitantes (COESPO, 2019). “En términos absolutos, la población de Naucalpan de Juárez se ha incrementado en forma lenta desde 2010, obedeciendo tal crecimiento a las políticas nacionales y estatales de control natal” (PDM, 2022-2024). En comparación con el censo poblacional de 2010, la población del municipio creció 0.079% al 2020 (Naucalpan, 2022). Respecto a la tasa de crecimiento de la población urbana, de acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2022-2024, se sabe que la superficie urbanizada se ha incrementado a una tasa promedio constante de entre 20 y 35 hectáreas/año desde 1990, (Municipio de Naucalpan, 2022-2024). En las siguientes figuras (Figure 2 y Figure 3) se puede apreciar que con el pasar de los años la mancha urbana ha aumentado, dejando en evidencia el crecimiento de población urbana.

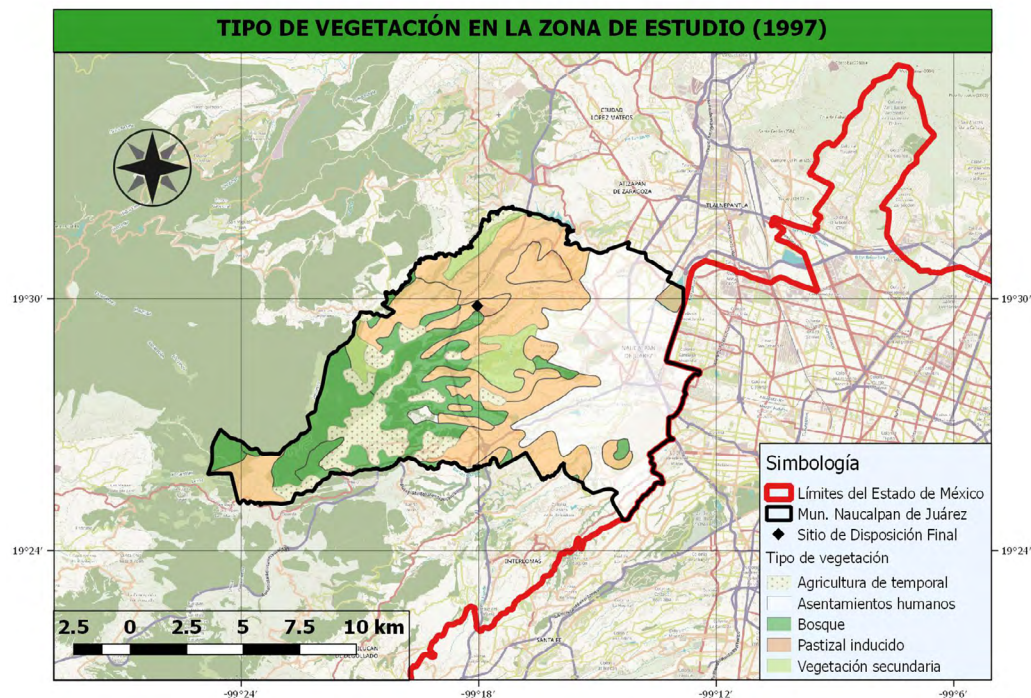


Figure 2. Usos de suelo en el municipio de Naucalpan de Juárez 1997

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

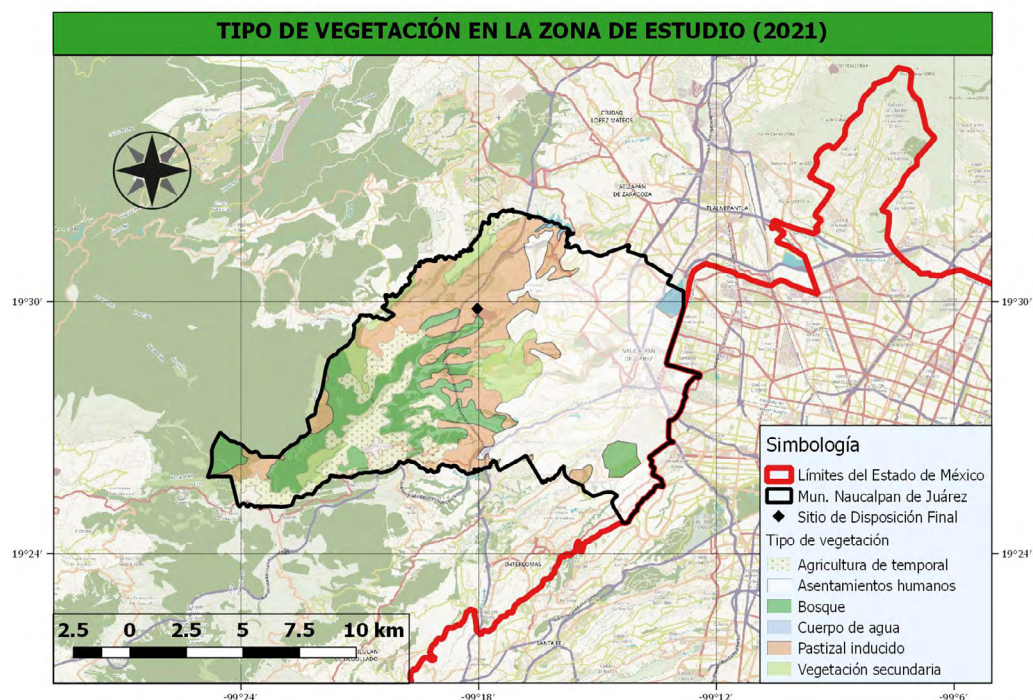


Figure 3. Uso de suelo en el municipio de Naucalpan de Juárez 2021

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

Aunado al aumento en la población, Naucalpan se ha posicionado como uno de los municipios de mayor desarrollo económico en el Estado de México, ya que aporta casi 18% del Producto Interno Bruto (PIB) mexiquense (Municipio de Naucalpan, 2022).

◆ *Clima*

En cuestiones climatológicas, el municipio de Naucalpan es templado subhúmedo, con lluvias en verano. La precipitación promedio anual es de 807 mm y la mínima de 570 mm (IPOMEX, 2023). Esto último es relevante ya que el estudio de caracterización se llevó a cabo durante el inicio de la época de lluvias en la zona metropolitana del Valle de México, por lo que se tomaron las medidas apropiadas para prevenir que los residuos adquirieran humedad asociada a la lluvia. Adicionalmente, se tomaron observaciones cualitativas sobre la humedad de los residuos muestreados.

■ Metodología de estudio de cuantificación y caracterización de RSU en el relleno sanitario de San Mateo

◆ *Planificación del estudio de caracterización de residuos*

Previo a la realización del estudio de caracterización se llevó a cabo una serie de entrevistas con actores clave en el manejo de RSU del municipio de Naucalpan de Juárez. Las entrevistas incluyeron servidores públicos del municipio del Área de Servicios Públicos Municipales como son los siguientes: Director de Servicios Públicos, Subdirector de Unidades Administrativas, Coordinadora de disposición final de RSU, todos pertenecientes al Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez, y por último al responsable del relleno sanitario de San Mateo, éste último empleado por la empresa Biomerik. Es importante mencionar que con estos actores clave, se aseguró cubrir todas las fases del manejo de los RSU del municipio, desde su generación hasta su disposición final. Con la información recabada se llevó a cabo la planeación del estudio de caracterización y cuantificación de RSU del municipio de Naucalpan.

Para llevar a cabo las entrevistas de manera presencial de forma consistente y efectiva, se elaboraron una serie de reactivos que fueron entregados a los actores clave previos a la reunión con cada uno de ellos (Anexo E). Esta serie de reactivos fueron divididos en cinco secciones:

- 1) Indicadores e información de generación de RSU en el municipio de Naucalpan de Juárez,
- 2) Indicadores e información sobre la recolección de los RSU originados en el municipio de Naucalpan de Juárez,
- 3) Información sobre la recuperación de valorizables en el municipio de Naucalpan de Juárez,
- 4) Información sobre la disposición final de RSU en el relleno Sanitario de San Mateo en Naucalpan de Juárez, y
- 5) Solicitud de documentos oficiales elaborados por y/o para el municipio que tengan que ver con el manejo de los RSU, por ejemplo: bases de datos socioeconómicos del municipio, diagnósticos de RSU del municipio, manifiestos de rutas de recolección del municipio, estudios previos de composición de RSU, programas de manejo de RSU del municipio, reglamentos referentes al manejo de RSU, inventarios de RSU del municipio y bases de datos de residuos de manejo especial (RME) (i.e., electrónicos, residuos de la construcción, etc.) originados en el municipio.

Para este estudio, con el objetivo de replicar las características del estudio por la USEPA del 2017 y de acuerdo con las entrevistas municipales y un análisis estadístico, se eligieron dos sectores socioeconómicos a muestrear: popular (las zonas de menor ingreso definidas por el municipio)

y residencial (las zonas de mayor ingreso definidas por el municipio)³. La Table 2 muestra las delegaciones consideradas en el estudio y su designación como popular o residencial.

Table 2. Delegaciones consideradas para el estudio de caracterización

Delegaciones	
Popular	Residencial
Molinito	Lomas Verdes
San Mateo	Echegaray
San Agustín	Satélite
Izcalli	Tecamachalco
Centro	

Fuente: Elaboración propia con datos del Área del Servicios Municipales del Municipio de Naucalpan de Juárez.

Con base en los datos anteriores e intentando replicar las características del estudio anterior, se definió un muestreo por 5 días, para que se pudieran obtener como mínimo 44 muestras (alrededor de 10 camiones por día) donde la mitad proviniera de zonas populares y la otra mitad de zonas residenciales. Dado que el municipio confirmó que las rutas de recolección no estaban definidas específicamente por colonias, sino que más bien atendían áreas geográficas, fue decidido que se entrevistarían a los operadores de los camiones muestreados antes de ingresar al área de tiro y después de haber pasado por el área de báscula del SDF.

³ Aunque existen más estratos sociales, se limitó a dos por los siguientes motivos: No se tendrían suficientes muestras para obtener un nivel de confianza aceptable durante la duración del estudio y considerando que las muestras dependen de las condiciones en las que se obtienen, y Conforme conversaciones con personal del municipio, no existe una recolección de RSU específica por estratos socio-económicos, por lo que un camión podría traer residuos de diferentes estratos.

Para fines de análisis a continuación, se muestra la cantidad de camiones y las toneladas de RSU que entraron por cada día del muestreo (Table 3).

Table 3. Registro de entrada de camiones en el SDF (San Mateo) de Naucalpan de Juárez durante el desarrollo del estudio de caracterización

Día	Camiones	Toneladas
22/05/2023	142	765.02
23/05/2023	121	642.21
24/05/2023	97	495.61
25/05/2023	105	564.31
26/05/2023	122	617.42
Total		3084.57
Promedio		616.91

Fuente: Datos proporcionados por el personal de báscula del relleno sanitario de San Mateo en el municipio de Naucalpan de Juárez del 22 al 26 de mayo de 2023.

La categorización y subcategorización para el estudio se identificó de acuerdo con la normatividad aplicable mexicana (NMX-AA-022-1985 “Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo Residuos Sólidos Municipales, Selección y Cuantificación de Subproductos”) y las adecuaciones que implementó la USEPA en el estudio del 2017, para fines comparativos. Las categorías y subcategorías están enlistadas en la tabla a continuación.

Table 4. Categorías y subcategorías para el estudio de caracterización

Categoría	Subcategoría	Ejemplos
Residuos de comida	Residuos de comida	Retos de verdura, fruta, carne, pan, tortillas
Residuos verdes	Madera	Paletas de madera, pedazos o residuos de madera
	Fibra vegetal	Sombreros, costales, sogas, rafias, cordeles
	Residuos de jardinería	Resto de poda (follaje), pasto
Otros residuos orgánicos	Hueso	Huesos
	Cuero	Cinturones, bolsas, zapatos
	Hule (guantes)	Guantes, globos, algunas piezas de juguetes
	Algodón	Algodón

Textiles	Ropa/textil	Ropa como playeras, pantalones de mezclilla, blusas
	Trapo	Pedazos de textiles sin forma
Papel y cartón	Periódico/impreso	Periódico
	Cartón corrugado	cajas de empaque, mensajería
	Papel reciclable	Revistas, cuadernos, papel de oficina, papel bond
	Contenedores encerados	Tetrapak (leche, jugo)
Plástico	Contenedores de plástico #1-7 identificados	Botellas de refresco, yogurt, productos de limpieza, restos de tubería, mangueras
	Película de plástico	Bolsas de supermercado, bolsas de basura, empaques de alimentos, playo
	Poliestireno	Cubiertos o vasos desechables, empaques
	Otro plástico rígido	Cubetas, juguetes, muebles y recipientes
Metal	Residuos de metal	Residuos de tubería como cobre, llaves de baño, llaves
	Material ferroso	Latas de alimentos, aerosoles, sopas
	Material no ferroso	Latas de aluminio de cerveza o refresco u otras bebidas
Vidrio	Vidrio color	Botellas de vino verdes o ámbar, botellas de aceite de olivo
	Vidrio transparente	Botellas de vidrio transparente
Otros	Cerámica	Platos, vasos, tazas, decoración.
	Materiales de la construcción	Grava, ladrillos, restos de cascajo, asfalto
	Neumáticos	Llantas, residuos de caucho sintético.
	Pañales desechables	Pañales
	Residuos finos	Material pequeño indistinguible de < 2cm
	Otros residuos municipales	Materiales que no corresponden a ninguna otra categoría, papel higiénico, toallas sanitarias
Electrónicos	Residuos electrónicos	Teléfonos, celulares, computadoras y radio
Peligrosos	Residuos peligrosos	Pintura, baterías, sustancias químicas y residuos médicos

Previo al inicio del muestreo, se llevó a cabo una reunión de arranque con los integrantes del equipo en campo para explicar el plan de cómo se llevaría a cabo la logística minuto a minuto desde el día 1 hasta el día 5 del muestreo (ver Anexo F).

◆ Metodología del muestreo y clasificación del estudio de caracterización.

El 22 de mayo de 2023 inició el estudio de caracterización que concluyó el 26 de mayo del 2023. Durante los 5 días del muestreo, se trabajó un promedio de 12 horas al día iniciando a las 6:30 y terminando a las 18:00 horas con un equipo de 15 personas. Las actividades constaron de la preparación y colocación de las brigadas, selección del camión, toma de muestra, segregación de la muestra y pesaje. Estas actividades se encuentran descritas a continuación.

◆ Colocación de brigadas al inicio del muestreo

Previo al inicio de actividades tanto especialistas como brigadistas fueron instruidos con una plática de higiene y seguridad el día del inicio del muestreo (sólo el día uno). De igual forma se proveyó de equipo de seguridad personal a cada uno de los integrantes de las brigadas durante los 5 días de muestreo. Como se visualiza en la Figure 4 todos los participantes cuentan con trajes especiales de protección, chalecos reflectivos, guantes y mascarillas.



Figure 4. Equipo en campo

Las brigadas se instalaron en un área designada por personal del SDF como segura y que fue despejada por ellos con maquinaria especializada, la cual estaba cercana al área de tiro. Las brigadas se asentaron en una carpa de 3x3 m y una lona de 4x3 m que cubría la superficie del suelo para colocar la muestra (Figure 5). Estas brigadas fueron colocadas a 50 m aproximadamente del área de tiro.



Figure 5. Área de segregación de muestras

El equipo de campo constaba de 5 especialistas y 10 brigadistas, esto para formar 2 brigadas donde cada una de las brigadas contaba con 2 especialistas y 5 brigadistas. El quinto especialista era el coordinador del estudio, mismo que se incorporaba de manera intermitente en cada brigada para inspeccionar la segregación de las muestras. Los especialistas en cada brigada estaban encargados de inspeccionar la clasificación que harían los brigadistas, y estos

a su vez tenían que ir separando los materiales que se les asignaron al inicio del muestreo. Cabe mencionar que 4 de los 10 brigadistas fueron personal del municipio (Figura 3.). Las actividades eran coordinadas y establecidas por la coordinadora de trabajo en campo.

◆ Selección de camión a muestrear

Mientras las brigadas eran instaladas en el área asignada por el encargado del SDF, la coordinadora del muestreo se entrevistaba con el personal en báscula. Esta entrevista se llevaba a cabo para saber que camiones normalmente entrarían ese día y si esto concordaba con la información dada por el municipio.

El personal de la báscula estuvo siempre en constante comunicación con la coordinadora del estudio de caracterización, para mantenerla al tanto de cuando entraba un camión candidato a ser muestreado, atendiendo la delegación de la que provenía. Una vez que el personal en báscula avisaba a la coordinadora del muestreo sobre un posible camión a muestrear, esta lo interceptaba antes de que el camión candidato llegara al área de tiro (Figure 6).



Figure 6. Entrevista a operadores de los camiones de recolección

Con base en la información proporcionada durante la entrevista con los operadores de los camiones, la coordinadora tomaba la decisión de si el camión se muestreaba o no, a partir del cumplimiento de los requisitos necesarios. Estos criterios básicos que el camión debía cumplir para ser muestreado eran: que el operador debía tener claras las colonias que recorrió y el orden en que lo hizo, saber qué sector representaba y que el número económico del camión correspondiera al número que se especificaba en el manifiesto de ruta de recolección que dio el personal del municipio (los detalles de los camiones muestreados se encuentran en el Anexo D). La información socioeconómica se podía corroborar solo a partir de la entrevista que se les hacía a los operadores. Una vez cumplidos todos los requisitos el camión se muestreaba.

◆ Toma de muestra

El proceso general del muestreo se puede observar en la Figure 7. Se muestrearon un total de 46 camiones⁴, 23 del sector residencial y 23 del sector popular, cumpliendo el objetivo de obtener por lo menos 44 muestras. No fue posible realizar más muestras, debido a lo siguiente:

- 1) El primer día del muestreo el equipo de campo no pudo iniciar actividades como fue planeado debido a que a brigadistas previstos no asistieron (se tuvo que buscar nuevo equipo el mismo día de arranque del estudio).
- 2) Las condiciones climatológicas que se presentaron el último día del muestreo fueron adversas.
- 3) Durante dos días del muestreo (miércoles 24 y jueves 25 de mayo) los camiones municipales no ingresaron al SDF con la misma frecuencia que los días anteriores, debido a falta de combustible, según lo reportaron los mismos operadores de los camiones.

Proceso general de muestreo

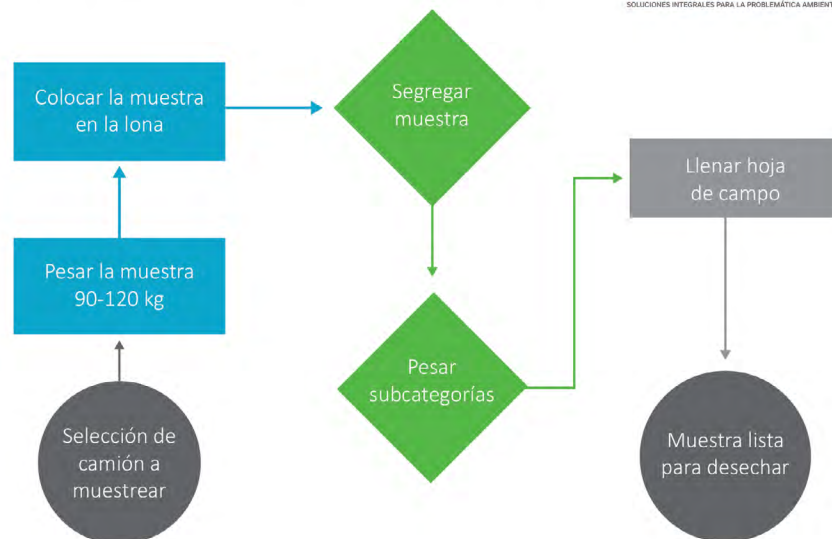


Figure 7. Diagrama del proceso general de muestreo

⁴ En caso de que se requiera conocer el detalle de los perfiles de las 46 muestras realizadas en este estudio, es necesario consultar la base de datos digital incluida en el Anexo A, que se adjunta a la entrega de este reporte.

Los 46 camiones que fueron seleccionados para ser muestreados eran dirigidos por el personal del relleno sanitario a un área especial para su descarga. Estos camiones se ponían en un área en específico designada para no interferir con la descarga de RSU del resto de los camiones en el área de tiro. Otro punto que resaltar es que la coordinadora del muestreo, junto con el encargado del relleno sanitario pedían al operador del camión que descargara los RSU de manera diferente a como regularmente son descargados. Es decir, normalmente el camión descarga los RSU en una pila vertical y cuando el camión se seleccionaba (Figure 8) para ser muestreado, este tenía que descargarlos en una pila horizontal para facilitar la toma de muestra por el equipo (Ver Anexo D).

La toma de muestra (Figure 9) se hizo de manera aleatoria a lo largo de la pila, especialmente cuando el camión había recorrido exclusivamente zonas populares o residenciales (como el caso de la delegación Satélite); sin embargo, había ocasiones que el operador del camión mencionaba, por ejemplo, que había recorrido la mayor parte de la ruta zonas residenciales y que al final había pasado por alguna zona popular. Cuando eso ocurría, la coordinadora del muestreo se aseguraba de pedir al personal encargado de recolectar la muestra, que sólo recolectara muestras aleatorias de la parte inicial de la pila y que no tocara el resto de la pila. Esto para intentar asegurar que la muestra representaba el sector residencial y que no se mezclara con residuos provenientes de otra zona.

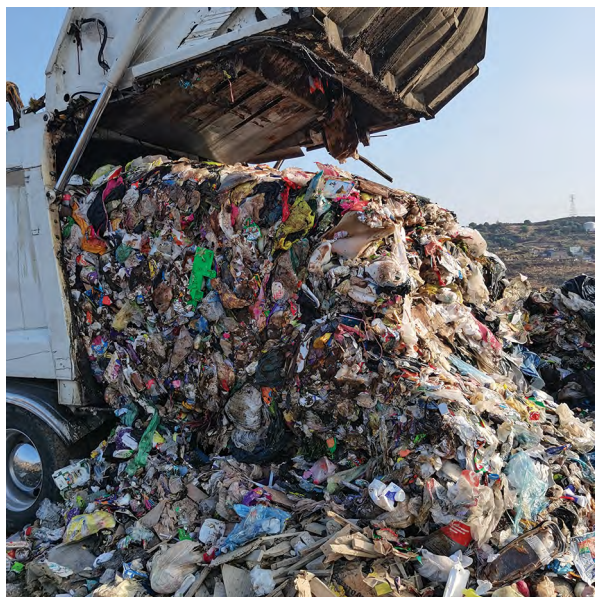


Figure 8. Camión seleccionado descargando RSU



Figure 9. Brigadistas tomando muestra de RSU

Se llenaban bolsas con la muestra seleccionada y se llevaban al área donde se habían colocado las brigadas, y se pesaba en una báscula de gancho con capacidad de 350 kg. Esta muestra debía ser pesada al instante para así asegurar que el peso de la muestra rebasara los 90 kg y no sobrepasara los 120 kg, buscando repetir las condiciones del estudio previo de caracterización del 2017. Una

vez que se alcanzaba el peso deseado, la coordinadora daba luz verde para que el encargado del relleno sanitario comunicara al maquinista encargado de apilar las descargas de los camiones a que pudiera deshacerse del resto de la muestra. Ya estando la muestra con el peso correcto y en el área de muestreo, se procedía a etiquetar adecuadamente para no confundirla con el resto de las muestras (**Figure 10**), si es que hubiera más muestras en espera para su segregación el área de muestreo.



Figure 10. Muestras etiquetada lista para segregarse

Todos estos datos se iban anotando cuidadosamente tanto en las hojas de campo diseñadas especialmente para recabar la información, así como en la bitácora de campo que estaba a cargo de la coordinadora del muestreo (Anexo D).

Es importante mencionar que, aunque el estudio inició un lunes y concluyó el viernes, no necesariamente existió correspondencia entre los días en que se generaron o se trasladaron los residuos al SDF debido a los días de operación del relleno sanitario o a las rutas de operación (Table 5). De esta forma, se considera que la representatividad de los días fue de sábado, domingo, lunes, martes, miércoles y jueves.

Table 5. Representatividad del muestreo

Muestreo	Representatividad
Lunes por la mañana	Sábado y domingo
Lunes por la tarde	Lunes
Martes por la mañana	Lunes
Martes por la tarde	Martes
Miércoles por la mañana	Martes
Miércoles por la tarde	Miércoles
Jueves por la mañana	Miércoles
Jueves por la tarde	Jueves
Viernes por la mañana	Jueves
Viernes por la tarde	No aplica

◆ Segregación de la muestra



Figure 11. Muestra en el área de segregación

Una vez que la muestra ya estaba pesada, etiquetada y lista para ser segregada, se vertía en el área correspondiente, bajo la carpa y en una lona limpia de 3x3 m (Figure 11). Los brigadistas responsables de segregar manualmente (Figure 13) las muestras tenían que estar atentos a donde se colocaría el material que iban seleccionando ya que había distintas bolsas que representaban cada una de las subcategorías en las que se segregó la muestra (Figure 12). Los especialistas tenían que ir inspeccionando el material que se iba segregando además de atender dudas por parte de los brigadistas, en caso de ser necesario.

Los residuos se segregaron conforme a las categorías y subcategorías descritas en la Table 4. Se debe considerar que no en todas las muestras se encontraron las 31 subcategorías, pero que al realizar el promedio de cada sector y en el resultado global, todas las subcategorías tuvieron contribución (esto se puede apreciar en el apartado de resultados, en donde se muestran los datos obtenidos para todo el municipio de Naucalpan de Juárez).



Figure 12. Segregación por subcategorías.



Figure 13. Muestra segregada manualmente

◆ Pesaje de los materiales segregados

Las 46 muestras fueron segregadas en las categorías que se requerían, colocando bolsas para cada subcategoría. Los especialistas de cada brigada fueron registrando los pesos de cada muestra en el formato de campo correspondiente (Figure 14), al final se obtuvieron 46 formatos de campo debidamente llenados. Los formatos de campo fueron sólo de uso interno para el equipo en campo y así poder facilitar el registro de la información. Posteriormente toda la información fue vaciada a la base de datos digital (Anexo A) que se entregó junto con este reporte. En esta base de datos también se registró información sobre las condiciones climatológicas en campo, hora de inicio de muestreo, velocidad del viento, coordenadas geográficas, entre otros detalles. Una vez que todas las bolsas de cada muestra eran pesadas y registradas, estas fueron llevadas y desechadas en el área de tiro.



Figure 14. Pesada por subcategoría de materiales

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU, y las transformaciones que pueden afectar a la forma y la composición de estos, deben tenerse en cuenta para desarrollar y diseñar sistemas de GIRSU. Entre las características físicas más importantes destacan: peso específico; contenido de humedad; tamaño de partícula y distribución del tamaño; capacidad de campo y porosidad de los residuos compactados (Nádales, 2015). Bajo este contexto, es importante considerar que las propiedades físicas que tienen los residuos en SDF de Naucalpan pudieron variar derivado de condiciones climáticas como, por ejemplo, la lluvia. Es por ello que, durante todo el muestreo se hicieron registros cualitativos referentes a la humedad de las muestras, esto se puede consultar en el Anexo E.

■ Resultados del estudio de cuantificación y caracterización de RSU en el relleno sanitario de San Mateo

En esta sección se presentan los resultados de los perfiles de caracterización promedio de la zona residencial, la zona popular, y de la composición en términos globales del municipio de Naucalpan de Juárez.

Es importante mencionar que, a lo largo de las rutas de recolección, empleados municipales segregan los residuos para extraer en medida de lo posible los valorizables (Figure 15). Bajo este contexto, se da por hecho que la actividad informal de recolección de valorizables tendría alguna influencia sobre el estudio de caracterización que se llevó a cabo en el relleno sanitario San Mateo y que se discute a continuación.



Figure 15. Recolección informal en el municipio

◆ Composición promedio de RSU de Zonas Populares de Naucalpan

La Figure 16 muestra la composición de los RSU provenientes de las zonas populares del municipio de Naucalpan. Esta gráfica sólo considera las 11 categorías generales: residuos de comida, residuos verdes, otros residuos orgánicos, textiles, papel y cartón, plástico, metal, vidrio, otros, electrónicos y peligrosos en las cuales fueron agrupadas sus subcategorías con el objetivo de facilitar su análisis, sin embargo, el perfil completo se puede apreciar en la Table 6 donde se especifica el porcentaje de contribución de cada una de las 31 subcategorías en esta zona.

En este estrato, las categorías que predominaron fueron los ‘residuos de comida’ con una participación de casi el 25%, esto sin considerar la categoría de ‘otros’, ya que en gran medida estos corresponden a residuos irreconocibles para su segregación, seguido de la categoría de ‘plástico’ con un 14%, posteriormente ‘papel y cartón’ con 10%, ‘textiles’ con 8% y ‘residuos verdes’ con 7%.

Por otro parte, dichos resultados nos indica que al menos el 34% de residuos son orgánicos (residuos de comida, residuos verdes y otros residuos orgánicos), que pueden ser susceptibles a tratamiento como compostaje o digestión anaeróbica para la generación de energía o bien disminuir los impactos asociados a su manejo.

Además del potencial remanente de aprovechamiento del papel y cartón, destaca la categoría textil, que de manera usual es poco valorizada y cuenta con pocas iniciativas de reciclaje en el país.

Respecto a la categoría “Otros” que tiene un valor relativamente alto, pudo verse afectada en su porcentaje debido a la humedad que presentaban las muestras. Por un lado, las lluvias de la temporada en la que se llevó a cabo el estudio de caracterización y por otro la cantidad de lixiviados provenientes de la materia orgánica de las muestras. Cabe mencionar que el grupo de “otros residuos municipales” contemplaba residuos de cerámica, residuos de la construcción, neumáticos, residuos finos, residuos electrónicos e incluso peligrosos, que generalmente aporta un peso importante.

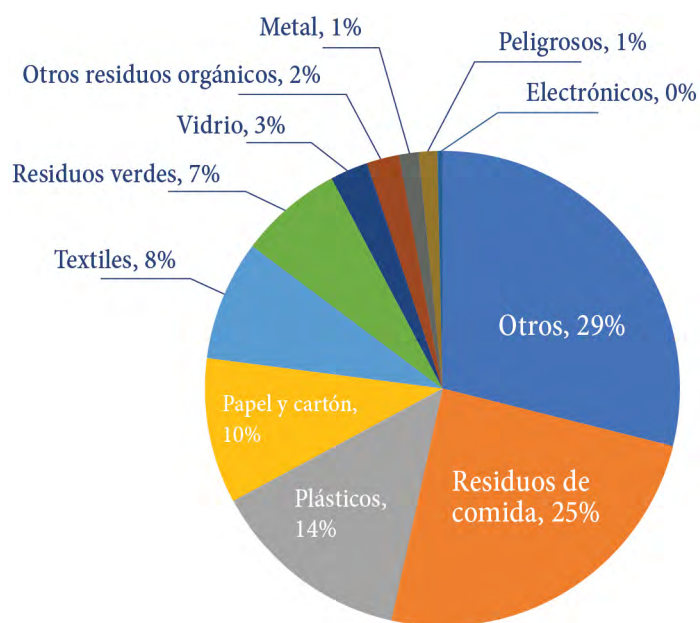


Figure 16. Composición promedio de los RSU para las zonas populares basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan.

Table 6. Composición de los RSU en las zonas populares del municipio de Naucalpan

Categorías	SUBCATEGORÍAS	% para Subcategorías	Fracción en peso % RSU
Residuos de comida	Residuos de comida	24.59	24.59
Residuos verdes	Madera	1.72	7.08
	Fibra vegetal	0.28	
	Residuos de jardinería	5.08	
Otros residuos orgánicos	Hueso	0.55	2.04
	Cuero	0.73	
	Hule	0.52	
	Algodón	0.24	
Textiles	Ropa/textil	6.10	8.20
	Trapo	2.10	
Papel y cartón	Periódico/impresos	0.77	9.81
	Cartón corrugado	5.83	
	Papel reciclable	1.50	
	Contenedores encerados	1.72	
Plástico	Contenedores de plástico #1-7 identificados	2.85	13.63
	Película de plástico (bolsas de supermercado o basura, empaque de alimentos)	7.24	
	Poliestireno (cubiertos o vasos desechables, empaques)	1.34	
	Otro plástico rígido (cubetas, juguetes, muebles y recipientes)	2.20	
Metal	Residuos de metal	0.05	1.51
	Material ferroso	0.47	
	Material no ferroso	0.99	
Vidrio	Vidrio color	1.53	2.77
	Vidrio transparente	1.25	
Otros	Cerámica	0.72	28.92
	Materiales de la construcción	1.79	
	Neumáticos	3.78	
	Pañales desechables	7.51	
	Residuos finos (material pequeño indistinguible <2cm)	0.47	
	Otros residuos municipales	14.65	
Electrónicos	Residuos electrónicos (teléfonos, celulares, computadoras y radio)	0.34	0.34
Peligrosos	Residuos peligrosos (pintura, baterías, sustancias químicas y residuos médicos)	1.11	1.11
TOTALES		100	100.00

◆ Composición promedio de RSU en Zonas Residenciales de Naucalpan

La Figure 17 muestra la composición general de los RSU en zonas residenciales. En general, las categorías con mayor contribución fueron ‘otros’ y ‘residuos verdes’ con una participación del 24%, ‘residuos de comida’ con una participación del 20%, posteriormente ‘plástico’ con el 6% y ‘papel y cartón’ con un 6%.

En este sector, se puede ver que las categorías que más participación tuvieron fueron los residuos de jardinería, incluso más que los residuos de comida (en las zonas populares este fue la categoría con mayor contribución), se puede asumir que los hogares con mayor poder adquisitivo tienden a tener jardines que generan este tipo de residuos. Es importante mencionar, que estos residuos de jardinería son de casa, ya que de la limpieza que hace el municipio de áreas verdes es atendida por camiones asignados especialmente a esa tarea y los cuales no fueron considerados para el muestreo.

Por otro lado, es importante mencionar que en general los residuos de estas zonas venían menos contaminados y húmedos que los residuos de las zonas populares, por ello también se podría asumir que en este tipo de zonas los camiones pueden hacer una mejor recuperación de valorizables, ya que al no venir sucios o mojados, materiales como plásticos, papel y cartón pueden recuperarse de manera más eficiente durante las rutas de recolección. En la mayoría de las muestras de zonas residenciales, se apreciaba una separación parcial en por lo menos residuos orgánicos e inorgánicos, una percepción compartida por los especialistas, brigadistas y por operadores de los camiones.

Bajo este contexto, la aportación de valorizables en zonas residenciales es menor que en zonas populares, sin embargo, esto puede deberse a que se ve mermada por la segregación que se da durante la recolección de los RSU del municipio.

En la Table 7 se puede apreciar el perfil completo de la descomposición porcentual de cada una de las 31 subcategorías de esta zona.

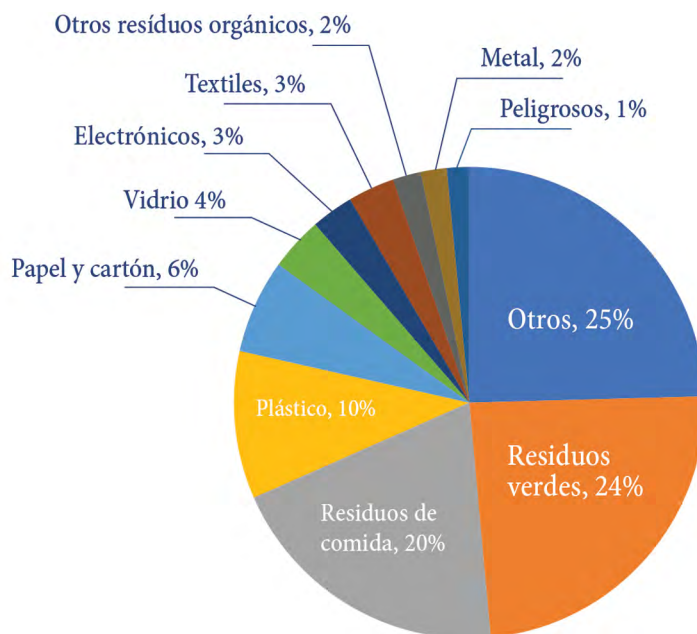


Figure 17. Composición promedio de RSU para las zonas residenciales en el municipio de Naucalpan de Juárez, basado en los vehículos entrantes al SDF

Table 7. Perfil de composición de RSU residenciales basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan

Categorías	SUBCATEGORÍAS	% para subcategorías	Fracción en peso % RSU
Residuos de comida	Residuos de comida	19.94	19.94
Residuos verdes	Madera	0.72	23.91
	Fibra vegetal	1.24	
	Residuos de jardinería	21.94	
Otros residuos orgánicos	Hueso	0.63	2.11
	Cuero	0.68	
	Hule	0.65	
	Algodón	0.14	
Textiles	Ropa/textil	1.98	2.96
	Trapo	0.98	
Papel y cartón	Periódico/impresos	0.65	6.41
	Cartón corrugado	3.80	
	Papel reciclable	0.69	
	Contenedores encerados	1.27	
Plástico	Contenedores de plástico #1-7 identificados	2.58	9.93
	Película de plástico (bolsas de supermercado o basura, empaque de alimentos)	5.46	
	Poliestireno (cubiertos o vasos desechables, empaques)	0.92	
	Otro plástico rígido (cubetas, juguetes, muebles y recipientes)	0.97	
Metal	Residuos de metal	0.32	1.76
	Material ferroso	0.62	
	Material no ferroso	0.81	
Vidrio	Vidrio color	1.26	3.68
	Vidrio transparente	2.41	
Otros	Cerámica	0.75	24.67
	Materiales de la construcción	0.99	
	Neumáticos	6.45	
	Pañales desechables	8.11	
	Residuos finos (material pequeño indistinguible <2cm)	0.59	
	Otros residuos municipales	7.78	
Electrónicos	Residuos electrónicos (teléfonos, celulares, computadoras y radio)	3.02	3.02
Peligrosos	Residuos peligrosos (pintura, baterías, sustancias químicas y residuos médicos)	1.61	1.61
TOTALES		100.00	100.00

En general, se puede decir que hay más valorizables inorgánicos en las muestras de zonas populares y esto podría deberse a dos factores. Uno, la población en zonas populares es mayor, por lo que hay mayor generación de RSU en las rutas de recolección de dichas zonas y esto a su vez puede impactar en el tiempo que los recolectores tienen para segregar los valorizables antes de llegar a SDF. Dos, las muestras que se estuvieron trabajando venían muy mezcladas con residuos orgánicos, en ese sentido, costaba mucho más hacer la clasificación, el material valorizable venía muy sucio. En el caso específico del cartón, venía mojado en la mayoría de las muestras que pertenecían a las zonas populares.

La Table 8 ofrece una comparación visual y práctica de la diferencia de las fracciones en peso de los RSU caracterizadas en ambas zonas, además de obtener la fracción porcentual en peso de los RSU totales recolectados.

Table 8. Comparación del % de los RSU en las zonas populares, residenciales y global del municipio de Naucalpan

Categorías	Fracción en peso % de RSU Zona Popular	Fracción en peso % de RSU Zona Residencial	Fracción en peso % RSU Global
Residuos de comida	24.59	19.94	22.33
Residuos Verdes	7.08	23.91	15.82
Otros residuos orgánicos	2.04	2.11	2.07
Textiles	8.20	2.96	6.00
Papel y Cartón	9.81	6.41	8.06
Plástico	13.63	9.93	11.84
Metal	1.51	1.76	1.68
Vidrio	2.77	3.68	3.21
Otros	28.92	24.67	26.30
Electrónicos	0.34	3.02	1.31
Peligrosos	1.11	1.61	1.38
TOTAL	100.00	100.00	100.00

Cabe resaltar que una de las diferencias más notorias entre las muestras de las zonas populares y las residenciales, fue que las muestras de zonas populares se encontraban con un mayor grado de mezcla. En ese sentido, se podría decir que los residuos venían en gran medida contaminados y húmedos

en comparación con las muestras de zonas residenciales. Esta situación dificultaba la segregación de algunos materiales, además de que en algunos casos se encontraron materiales de construcción y neumáticos (llantas), que por su peso tuvieron impacto en la distribución de la composición en las muestras respectivas. En este mismo rubro se encontraban pañales y papel sanitario, que sí tuvo una gran diferencia con respecto al porcentaje encontrado en la zona residencial.

Por el contrario, los ‘residuos verdes’, que incluyen los residuos de jardinería, tienen una participación mucho mayor en zonas residenciales (23.91%), a diferencia de un 7.08% en las zonas populares. Respecto a los ‘textiles’, la zona popular tiene una mayor aportación con un 8.2% a diferencia de la zona residencial con un 2.96%. De igual forma sucede con el ‘papel y cartón’, cuya participación en peso es mayor para zonas residenciales que para zonas populares.

◆ **Composición global de RSU en el SDF San Mateo del Municipio de Naucalpan**

La Figure 18 muestra la composición general o promedio de los RSU del municipio de Naucalpan de Juárez, estos engloban tanto las zonas populares como residenciales y reflejan la composición total de los residuos que fueron muestreados, y que son los que llegan a disposición final.

Estos datos junto con el desglose detallado de la Table 9 contemplan la composición de los RSU promedio tanto de zonas residenciales como de zonas populares. A partir de los datos brindados por el municipio y lo observado en campo, se sabe que alrededor del 67% de los residuos se están generando en zonas populares y el restante 33% se está generando en las zonas residenciales, de acuerdo con la información proporcionada por el municipio. Para este último punto, también es importante considerar que el tamaño de población en zonas populares es mayor que en zonas residenciales.

En general, tanto en zonas residenciales como populares, las categorías que mayor participación tuvieron fueron ‘otros’, los ‘residuos de comida’, ‘residuos verdes’, ‘plástico’ y ‘papel y cartón’.

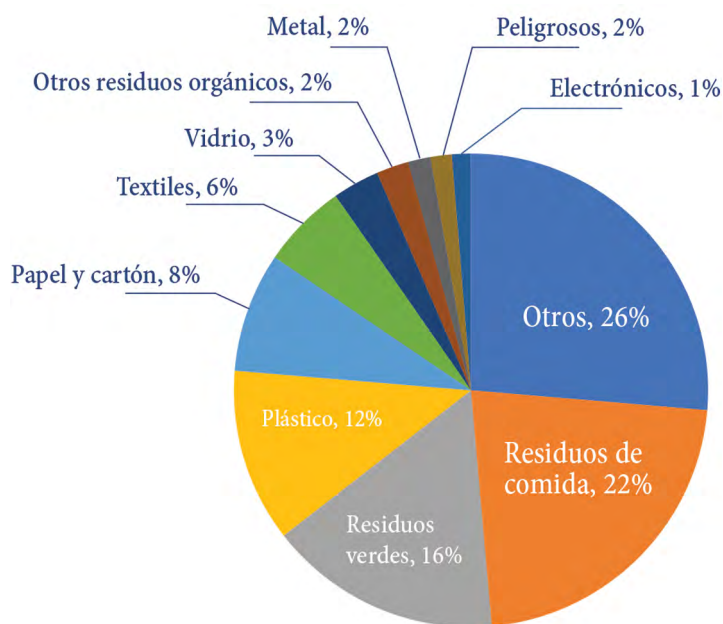


Figure 18. Composición general de RSU basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan

Considerando el índice de marginación del municipio, se sabe que al menos el 61.3% de su población es de ingresos bajos con al menos 2 salarios mínimos (CONAPO, 2023), lo que se refiere a 511 mil 508 habitantes del municipio que podrían pertenecer a la zona popular y el 38.7% restante (322mil 936 habitantes) a la zona residencial.

Sí bien la población y sus ingresos económicos son factores que influyen directamente en la generación de RSU, en este caso en particular se deben considerar algunos puntos:

- Tomar 61.3% de la población para estimar la generación de RSU per cápita, pudiera ser un tanto bajo, ya que solo se está considerando a la población con ingresos de hasta dos salarios mínimos, mientras que, a nivel estatal, de acuerdo con cifras del INEGI sólo el 1.2% de la población en el Estado de México es de clase alta (INEGI, 2020). Desafortunadamente no se cuentan con estos datos a nivel colonia o municipio.
- Las condiciones del estudio de caracterización pudieron influir en el peso de las muestras, ya que se realizó en temporada de lluvias, y como se comentó anteriormente, las muestras de zonas populares tenían características diferentes a las de zonas residenciales, especialmente respecto a la humedad.

El promedio general para el municipio de Naucalpan con todas las subcategorías se encuentra especificado en la Table 9, estos son el resultado del promedio de la caracterización de las zonas populares y residenciales, alrededor del 50% de esos corresponde a residuos orgánicos, por lo tanto, pueden ser susceptibles a procesos de digestión anaeróbica. Los ‘residuos de comida’ son menores en zonas residenciales que en zonas populares con una diferenciade participación de 4.65%.

Table 9. Perfil de composición global de RSU basado en los vehículos entrantes al SDF San Mateo, Naucalpan

Categorías	SUBCATEGORÍAS	% Subcategorías	Fracción en peso % RSU
Residuos de comida	Residuos de comida	22.33	22.33
Residuos verdes	Madera	1.29	15.82
	Fibra vegetal	0.76	
	Residuos de jardinería	13.77	
Otros residuos orgánicos	Hueso	0.59	2.07
	Cuero	0.71	
	Hule	0.58	
	Algodón	0.19	
Textiles	Ropa/textil	4.33	6.00
	Trapo	1.68	
Papel y cartón	Periódico/impresos	0.72	8.06
	Cartón corrugado	4.82	
	Papel reciclable	1.03	
	Contenedores encerados	1.50	
Plástico	Contenedores de plástico #1-7 identificados	2.73	11.84
	Película de plástico (bolsas de supermercado o basura, empaque de alimentos)	6.37	
	Poliestireno (cubiertos o vasos desechables, empaques)	1.13	
	Otro plástico rígido (cubetas, juguetes, muebles y recipientes)	1.61	
Metal	Residuos de metal	0.24	1.68
	Material ferroso	0.53	
	Material no ferroso	0.90	
Vidrio	Vidrio color	1.39	3.21
	Vidrio transparente	1.82	
Otros	Cerámica	0.74	26.30
	Materiales de la construcción	1.39	
	Neumáticos	4.51	
	Pañales desechables	7.87	
	Residuos finos (material pequeño indistinguible <2cm)	0.53	
	Otros residuos municipales	11.27	
Electrónicos	Residuos electrónicos (teléfonos, celulares, computadoras y radio)	1.31	1.31
Peligrosos	Residuos peligrosos (pintura, baterías, sustancias químicas y residuos médicos)	1.38	1.38
TOTALES		100.00	100.00

◆ **Cambios en la composición de RSU de Naucalpan del 2017 al 2023**

A continuación, en la Table 10 se muestra la comparación de resultados del estudio de caracterización del 2017 y la caracterización reciente del 2023, resaltando similitudes para algunas corrientes de residuos orgánicos susceptibles de tratamiento como residuos de comida, residuos de jardinería, madera, etc., así como algunas diferencias, por ejemplo una disminución en la participación del papel y el aumento en lo considerado como ‘otros residuos municipales’.

Table 10. Comparación de los resultados del 2017 respecto 2023

Categoría	Subcategoría	Mexan 2017 (%)	SIPRA 2023 (%)
Residuos de comida	Residuos de comida	30.9	22.33
	Hueso	0.5	0.59
Residuos verdes	Residuos de jardinería	10.1	13.77
	Fibra vegetal	0.1	0.76
Madera	Madera	1.3	1.29
Otros residuos orgánicos	Cuero	< 0.1	0.71
	Hule	0.4	0.58
	Algodón	< 0.1	0.19
Textiles	Ropa/textiles	6	6.01
Papel y cartón	Periódico/impresos	0.5	0.72
	Cartón corrugado	0.2	4.82
	Papel	12.2	1.03
	Contenedores encerados	1.2	1.5
Plástico	Contenedores de plástico	3.2	2.73
	Película de plástico (bolsas de supermercado o basura, empaque de alimentos)	7.5	6.37
	Poliestireno (cubiertos o vasos desechables, empaques)	0.9	1.13
	Otro plástico rígido (cubetas, juguetes, muebles y recipientes)	1.1	1.61

Metal	Residuos de metal	0.1	0.24
	Material ferroso	0.7	0.53
	Material no ferroso	<0.1	0.9
Vidrio	Vidrio color	2.3	1.39
	Vidrio transparente	0.9	1.82
Otros	Cerámica	0.2	0.74
	Materiales de la construcción	5.1	1.39
	Neumáticos	-	4.51
	Pañales desechables	5.4	7.87
	Residuos finos (material pequeño indistinguible <2cm)	4	0.53
	Otros residuos municipales	4.8	11.27
Electrónicos	Residuos electrónicos (teléfonos, celulares, computadoras y radio)	0.2	1.31
Peligrosos	Residuos peligrosos (pintura, baterías, sustancias químicas y residuos médicos)	0.2	1.38
TOTAL		100.00	100.00

Conclusiones

A partir del estudio de cuantificación y caracterización de los RSU del municipio de Naucalpan, se identificó un ingreso promedio de 616.91 ton/día y que con base en la población proyectada por el INEGI al 2023, resulta en una generación per cápita de 0.6601 kg/hab/día.

De estos residuos, las partes que más participación tuvieron fueron: **22% residuos de comida (122 ton/día)**, **15.82% residuos verdes (casi 95 ton/día)**, plásticos 11.84% (71 ton/día) y **8.06% de papel y cartón (48 ton/día)**, un total de 336 ton de RSU aprovechables que están siendo depositados en el SDF. De estas, alrededor del **50% (casi 265 ton/día) son residuos sólidos orgánicos** que se pueden tratar mediante composta y digestión anaerobia. Sin embargo, es importante notar que el potencial de valorizables podría ser mayor si se mejora la separación y tiempo de ruta para la municipalidad y, principalmente, zonas populares.

A través de las entrevistas que se tenían con los operadores a la entrada del SDF, se complementó el hallazgo de que era más difícil obtener valorizables de zonas populares que residenciales, ya que los residuos de zonas populares venían “muy revueltos” y esto aunado al tiempo que tienen para atender una ruta, les complicaba la segregación de valorizables, además de que venían sucios. En ese sentido, se podría asumir que hay diferentes factores que originan estas diferencias que van desde aspectos sociales, culturales, de educación y hasta condiciones de almacenamiento de los residuos.

Además, es importante resaltar que los resultados corresponden a las actividades realizadas en el SDF, e iniciando el temporal de lluvias, por lo que se recomienda en revisiones posteriores de la generación y composición de RSU del municipio, realizar los estudios en la fuente de generación (y comparar con lo que arriba al SDF) y preferentemente en época de estiaje.

Bibliografía

- CONAPO. (22 de 07 de 2023). Consejo Nacional de Población. Obtenido de <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- COESPO. (2019). Proyecciones de población de los municipios del Estado de México 2019-2030.
- INEGI. (2020). *Consulta de indicadores sociodemográficos y económicos por área geográfica*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/servicios/wsinfogeo/default.html>
- IPCC. (2007a). Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). . *Technical Summary and Chapter 10 (Global Climate Projections)*.
- IPN. (2016). *Estudio para determinar la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectados por los vehículos del servicio público de limpia de las delegaciones. Convenio Específico de Colaboración entre la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México*. México.
- IPOMEX. (26 de Mayo de 2023). *Consulta de información pública de oficio - Ipomex*. Obtenido de https://edomex.gob.mx/consulta_ipomex
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden. (2018). *Banco Mundial*. Obtenido de <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/697271544470229584/what-a-waste-2-0-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050>
- Municipio de Naucalpan. (2022). *PMD 22-24*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://naucalpan.gob.mx/wp-content/uploads/2020/07/GACETA-15-PDM-VERSION-FINAL.pdf>
- Nádales, E. (2015). Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los RSU. *Gestión de Residuos Sólidos urbanos*, 15-26.
- OMS. (febrero de 2022). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Las toneladas de desechos de la atención de salud en el contexto de la COVID-19 hacen patente la necesidad apremiante de mejorar los sistemas de gestión de desechos: <https://www.who.int/es/news/item/01-02-2022-tonnes-of-covid-19-health-care-waste-expose-urgent-need-to-improve-waste-management-systems#:~:text=Las%20decenas%20de%20miles%20de,y%20haciendo%20patente%20la%20necesidad>
- ONU. (2021). *ONU News*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302#:~:text=Imprimir%20Correo%20electr%C3%B3nico-,El%20uso%20exagerado%20del%20pl%C3%A1stico%20durante%20la%20pandemia%20de%20COVID,afecta%20a%20los%20m%C3%A1s%20vulnerables&text=Desde%20el%20a%C3%B1o%20pasado%20el>

- SEMARNAT. (2020). *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales* . Obtenido de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD003864.pdf>
- Sosa-Rodríguez. (2015). From federal to city mitigation and adaptation: climate change policy in México City. *Springer Science + Business Media Dordrecht*, 201.
- USEPA. (2017). Estudio de Caracterización de Residuos: Estación de Transferencia de Naucalpan, México.

Acrónimos

CATF	Clean Air Task Force
GEI.	Gases de Efecto Invernadero
GIRSU	Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
PDM	Plan de Desarrollo Municipal
PIB	Producto Interno Bruto
RME.	Residuos de Manejo Especial
RSU.	Residuos Sólidos Urbanos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SDF.	Sitio de Disposición Final
SIPRA	Soluciones Integrales a la Problemática Ambiental
USEPA.	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América

Glosario

Aprovechamiento de los residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía

Gestión Integral de Residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

Lixiviado: Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, coprocesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Residuo orgánico: Son aquellos que están compuestos por desechos de origen biológico.

Residuos inorgánicos: Los que no tienen origen biológico sino industrial o artificial.

Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.

Valorización: Principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica.