



Proyecto de Integración en Ingeniería Ambiental

Proyecto de Investigación

Análisis de la generación de papel y cartón presentes en residuos sólidos urbanos domiciliarios de la Ciudad de México, en temporada húmeda

Alumna

Hernández López Liliana Angélica
Matricula: 2192003957

Asesora

Dra. Rosa María Espinosa Valdemar
Profesora Investigadora
Categoría: Titular C
Departamento de Energía
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

Co-asesora

Dra. Arely Areanely Cruz Salas
Profesora Investigadora
Categoría: Asociado D
Departamento de Energía
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

Fecha: 04/10/2024

Declaratoria

Yo, Rosa María Espinosa Valdemar, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Asesora: Dra. Rosa María Espinosa Valdemar

Yo, Arely Areanely Cruz Salas, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Co-asesora: Dra. Arely Areanely Cruz Salas

Yo, Liliana Angélica Hernández López, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Alumna: Liliana Angélica Hernández López

Resumen

Los estudios de generación y caracterización de residuos sólidos urbanos son fundamentales para comprender su cantidad y composición. Esta información es esencial para diseñar sistemas de manejo y disposición adecuados, además de facilitar la identificación de los residuos que pueden ser reciclados. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la generación y composición de los residuos de papel y cartón en las 16 alcaldías de la Ciudad de México durante la temporada húmeda, abarcando tres estratos socioeconómicos: alto, medio y bajo.

El trabajo de campo de este proyecto se llevó a cabo en las alcaldías de Iztacalco y Tlalpan, donde se realizaron muestreos y se aplicaron encuestas a los habitantes de 30 domicilios. Durante un periodo de siete días, se recolectaron las bolsas de residuos generadas por estos hogares y se pesó la cantidad diaria de residuos para calcular la generación per cápita. La caracterización de los residuos se llevó a cabo mediante una clasificación primaria y secundaria. En la clasificación primaria se consideraron más de 30 categorías, que incluyeron residuos orgánicos, inorgánicos como papel y cartón, plásticos, y residuos peligrosos, mientras que en la clasificación secundaria se consideraron 14 categorías específicas de papel y cartón.

La generación per cápita de residuos en la alcaldía Iztacalco fue de 0.445 kg/hab/día, mientras que en Tlalpan fue de 0.426 kg/hab/día. En cuanto a la composición los residuos, los que se generaron en mayor cantidad fueron los orgánicos, plásticos, y papel y cartón. En promedio, los tres estratos presentaron aproximadamente un 54 % de residuos orgánicos, un 15 % de plásticos y un 10 % de papel y cartón. Siendo el papel y cartón uno de los más generados en la ciudad, con un porcentaje de generación de 9.498 % en el estrato alto, 7.729 % en el medio y 12.159 % en el bajo. Los tipos de papel y cartón más generados fueron el cartón corrugado (18.01 %), cartón liso (14.33 %), Tetrapak (12.21 %) y el papel bond (17.35 %), los cuales pueden ser reciclados siempre y cuando se encuentren limpios y libres de suciedad.

Estos resultados destacan la importancia llevar a cabo una adecuada separación de los residuos y sugieren la implementación de estrategias efectivas de aprovechamiento.

Esta investigación fue realizada mediante el apoyo de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, a través del proyecto SECTEI/133/2023

Agradecimientos

Al ver los resultados logrados con este ambicioso proyecto, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la Secretaría de Educación, Ciencia y Tecnología e Innovación de la Ciudad de México por el apoyo económico brindado para la realización de este proyecto. También agradezco a la Secretaría del Medio Ambiente por su autorización y respaldo para poder llevar a cabo este proyecto.

Agradezco profundamente a la Dra. Alethia Vázquez Morillas, coordinadora del proyecto, por brindarme la oportunidad de ser parte de este proyecto. Mi gratitud se extiende al Ingeniero Alejandro Islas Maya, cuya dedicación y constante apoyo fueron fundamentales para la organización del proyecto.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi asesora, la Dra. Rosa María Espinosa Valdemar, y a mi coasesora, la Dra. Arely Areanely Cruz Salas, por su paciencia, confianza y guía durante esta última fase de mi formación académica. Su orientación ha sido crucial para mi desarrollo profesional.

Reconozco también al centro de acopio de la UAM y a sus trabajadores, así como a los habitantes de las colonias Agrícola Oriental y Popular Santa Teresa, por su participación en los análisis realizados. Mi sincero agradecimiento se extiende también a los voluntarios y estudiantes de servicio social, especialmente a Raquel Galindo, Verónica Jiménez, Brayan Jair y Arianna Lobato, quienes me acompañaron en el trabajo de campo; su dedicación fue invaluable.

Asimismo, agradezco a mis compañeros y amigos: Francisco Camargo, Zully Vite, Carlos Nicolás y Michelle Hernández por su apoyo constante. Su presencia ha hecho que cada etapa de esta travesía sea más llevadera y disfrutable.

No puedo dejar de agradecer a mis docentes, quienes, con su pasión por la enseñanza, han cultivado en mí un profundo amor por mi área de estudio, convirtiéndose en verdaderas fuentes de inspiración.

Finalmente, expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Autónoma Metropolitana, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta institución y por contribuir de manera significativa a mi crecimiento tanto profesional como personal.

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres, Andrés Hernández Maya y Elvia López Ávila. Su apoyo incondicional y su amor me han dado las bases para poder terminar mi carrera universitaria. A través de todo este tiempo, ellos han hecho todo lo posible por apoyar mi educación y por inculcarme buenos valores.

A mis hermanas, Aline Hernández y Michelle Hernández, quienes estuvieron conmigo en los desvelos y hacían las noches menos pesadas, alentándome a perseguir mis sueños y acompañándome en todo el proceso.

A mis abuelos, Eva Ávila, Constantino López y María de Jesús, quienes han sido el pilar fundamental de nuestra familia. Su amor, sabiduría y constante impulso me han inspirado a aspirar siempre a lo mejor y a no rendirme jamás.

Finalmente, dedico este proyecto a mis sobrinos: Camila Molina, Matías López y Erandy Cruz, con la esperanza de ser una inspiración para ellos, para que sigan siempre sus sueños y nunca se rindan ante las adversidades de la vida.

Contenido

Declaratoria.....	1
Resumen.....	2
Agradecimientos.....	4
Dedicatoria.....	5
Contenido.....	6
Índice de tablas.....	8
Índice de figuras.....	9
1. Introducción.....	10
1.2 Antecedentes.....	11
1.3 Justificación.....	14
2. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. Marco teórico.....	16
3.1 Residuos.....	16
3.1.1 Clasificación de los residuos.....	16
3.1.2 Residuos sólidos urbanos.....	17
3.1.3 Generación y composición de residuos sólidos urbanos en México..	18
3.1.4 Generación y composición de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México	20
3.2 Factores que influyen en la generación y composición de residuos.....	23
3.2.1 Temporada.....	23
3.2.2 Estrato socioeconómico.....	24
3.3 Papel y cartón.....	25
3.3.1 Proceso de fabricación.....	25
3.3.2 Composición del papel y cartón.....	26
3.3.3 Gestión y generación de residuos de papel y cartón.....	28
3.4 Reciclaje del papel y cartón.....	29
3.4.1 Reciclaje en México.....	29

3.4.2	Proceso de reciclaje	30
3.4.3	Tipos de papel reciclado	31
3.4.4	Uso del papel reciclado	33
3.4.5	Beneficios del reciclaje del papel y cartón	34
3	Metodología	35
4.1	Muestreo domiciliario	35
4.1.1	Recorrido y aplicación de encuestas	36
4.1.2	Operación limpieza	36
4.1.3	Muestreo y registro de generación	37
4.2	Cálculo de generación per cápita	38
4.3	Clasificación primaria de residuos.....	38
4.4	Determinación de peso volumétrico	41
4.5	Clasificación de residuos de papel y cartón.....	42
4.5.1	Porcentaje de humedad.....	43
4.6	Generación de propuestas de aprovechamiento.....	44
5	Resultados	45
5.1	Muestreo domiciliario	45
5.2	Generación per cápita.....	46
5.3	Caracterización de subproductos.....	47
5.4	Peso volumétrico.....	50
5.5	Clasificación de residuos papel y cartón	51
5.5.1	Porcentaje de humedad.....	59
5.6	Propuestas para la mejora en el manejo de papel y cartón	61
5.6.1	Educación ambiental y actualización de información.....	61
5.6.2	Separación en la fuente.....	63
5.6.3	Monitoreo de los programas implementados en la CDMX.....	65
	Conclusiones.....	66
	Referencias	67
	Anexo	71
	Anexo 1: registro de generación diaria de residuos	71

Índice de tablas

Tabla 1. Definición de residuos de manejo especial y residuos peligrosos	16
Tabla 2. Residuos inorgánicos con potencial de reciclaje	17
Tabla 3. Alcaldías con mayor generación	22
Tabla 4. Alcaldías con menor generación	23
Tabla 5. Cantidad y tipo de cargas en diferentes papeles blancos	27
Tabla 6. Normas para regular el reciclaje del papel y cartón	30
Tabla 7. Papel y cartón con potencial de reciclaje	33
Tabla 8. Clasificación de subproductos en el estudio de composición	40
Tabla 9. Clasificación secundaria de papel y cartón	42
Tabla 10. Participación de casas en las alcaldías Iztacalco y Tlalpan, temporada húmeda	46
Tabla 11. Variables estadísticas de la generación per cápita de residuos en las alcaldías Iztacalco y Tlalpan, temporada húmeda.....	46
Tabla 12. Composición de los residuos domiciliarios del estrato alto, medio y bajo	48
Tabla 13. Peso volumétrico de los residuos generados en los tres estratos.....	50
Tabla 14. Proporción en masa y porcentaje de los residuos de papel y cartón generados en la temporada húmeda.....	52
Tabla 15. Comparación de la masa de residuos de papel y cartón generados en ambas temporadas.....	53
Tabla 16. Clasificación de los residuos de papel y cartón según los estratos alto, medio y bajo, temporada húmeda	54
Tabla 17. Datos para la determinación de humedad contenida en los tres estratos	59
Tabla 18. Porcentaje de humedad del papel y cartón obtenido en los tres estratos, temporada húmeda	60
Tabla 19. Generación per cápita de siete días de la alcaldía Iztacalco	71
Tabla 20. Generación per cápita de siete días de la alcaldía Tlalpan	72

Índice de figuras

Figura 1. Generación de residuos por región.	19
Figura 2. Comparación por categoría de subproductos	20
Figura 3. Composición porcentual de los residuos.....	21
Figura 4. Composición de residuos generados en la CDMX.	21
Figura 5. Proceso de fabricación del papel y cartón reciclado	31
Figura 6. Etapas de desarrollo del proyecto	35
Figura 7. Aplicación de encuestas.....	36
Figura 8. Operación limpieza.....	37
Figura 9. Registro de generación diaria	37
Figura 10. Registro de masas para la obtención de la generación per cápita	38
Figura 11. Caracterización y clasificación de residuos	39
Figura 12. Determinación del peso volumétrico	41
Figura 13. Pesaje de la masa inicial y final para la obtención del porcentaje de humedad	43
Figura 14. Masa de residuos de papel y cartón generados durante las dos temporadas	50
Figura 15. Comparación del porcentaje de humedad obtenido en temporada seca y húmeda.....	61
Figura 16. Mapa de los centros de acopio cercanos a la colonia Agrícola Oriental	63
Figura 17. Tipos de papel y cartón aceptados en el centro de acopio de la colonia Agrícola Oriental y su horario de atención	63
Figura 18. Mapa que muestra que no se encuentran centros de acopio en la Alcaldía de Tlalpan.....	64

1. Introducción

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se clasifican en dos categorías principales: los orgánicos, como los residuos de frutas, verduras, comida y jardín; y los inorgánicos, que comprenden materiales como plástico, vidrio, metales, papel y cartón, entre otros.

La Ciudad de México (CDMX) es una de las entidades federativas más pobladas con 9,209,944 habitantes (INEGI, 2021), genera diariamente 12.404 toneladas de residuos al día, lo cual equivale a una generación per cápita de 1.071 kg/hab/día, de los cuales 0.695 kg/hab/día corresponden a residuos domiciliarios. En contraste con el año 2021, donde los residuos de manejo especial lideraban las cifras reportadas, en el 2022 los residuos inorgánicos con potencial de reciclaje se convirtieron en la categoría predominante, alcanzando un 83.61 %. Esta categoría está compuesta principalmente por cartón, papel, vidrio y envases multicapa que actualmente son aprovechados a través de industrias consolidadas de reciclaje. Dentro de estos, el papel y cartón fueron los que se generaron en mayor cantidad con 28,668.62 t/día y 28,443.26 t/día, respectivamente (SEDEMA, 2022).

Tanto la generación como la composición de RSU en cualquier zona territorial varían de acuerdo con el crecimiento de la población, a causa de los hábitos de consumo y uso de productos, la cultura de la zona, el nivel socioeconómico y la temporada. El clima es un factor ligado a la temporada, que modifica la cantidad de residuos de diversas formas, un claro ejemplo sería que, en la temporada de lluvia, la masa de los residuos puede incrementar, ya que el agua absorbida se suma a su masa original.

La separación de residuos previo a su recolección puede mejorar tanto su cantidad como su calidad. En contraste, los residuos que no se separan en la fuente suelen estar contaminados, lo que disminuye su valor en el mercado y limita su reciclaje. El reciclaje pretende convertir algunos de los materiales tales como papel y cartón, el vidrio, algunos metales y el PET, presentes en los residuos, en materiales reusables en los procesos productivos (SEMARNAT, 2016).

En la Ciudad de México la mayoría de los residuos se van a disposición final, sin embargo, la Ciudad no cuenta con un relleno sanitario dentro de su propia demarcación, lo que ocasiona un alto costo anual de 2,800 millones de pesos por derechos de disposición final en otras entidades (SEDEMA, 2021). No obstante, ha habido avances en el reciclaje en México entre los que se encuentra la industria del papel y cartón, que ocupa el quinto lugar mundial en recuperación de residuos de su industria (Camara del papel, 2012). El reciclaje del papel genera un impacto ambiental positivo importante, ya que, cada tonelada de papel fabricado con materia prima reciclada puede evitar el corte de árboles, el uso de grandes cantidades de agua y energía.

La Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013, establece los lineamientos y especificaciones técnicas necesarios para llevar a cabo la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal. Para lograr un mejor aprovechamiento de este tipo de residuos, es esencial que se encuentren secos y limpios, evitando su contaminación con restos de alimentos, servilletas y papel higiénico (SEDEMA, 2015).

Con base en lo anterior, es necesario contar con diagnósticos que permitan fortalecer los aspectos y trabajar en los impactos negativos que produce el manejo inadecuado de los residuos aprovechables como el papel y cartón. Por lo que es importante saber la cantidad de residuos que se generan durante diferentes temporadas del año, como la temporada de lluvia y seca, y cómo estos pueden variar respecto al estrato socioeconómico. Este proyecto busca cuantificar la generación de papel y cartón provenientes de residuos domiciliarios de la CDMX en temporada de lluvia, así como identificar los diferentes tipos de residuos con potencial de valorización y compararlos con la temporada seca.

1.2 Antecedentes

Ante las diversas problemáticas ambientales y sociales que pueden surgir debido al manejo inadecuado de los residuos, se han llevado a cabo estudios y diagnósticos en diferentes países con el fin de mejorar el control sobre estos y encontrar soluciones.

En Bogotá, Colombia, López Sepúlveda (2020), realizó un diagnóstico por medio de un análisis de Ishikawa del estado en el que se encuentra el reciclaje en la ciudad y determinó si la falta de separación desde la fuente está contribuyendo a que una gran cantidad de residuos sólidos aprovechables terminen en los rellenos sanitarios debido a la falta de educación ambiental de la sociedad. Algunos resultados relevantes indican que en Bogotá se generan 6,300 toneladas de residuos por día los cuales se llevan al relleno sanitario Doña Juana, de estos el 43 % (2,780 toneladas) son materiales reciclables y dentro de ellos el 23.4 % son plásticos, el 9.4 % papel, el 6.3 % cartón, el 2.3 % vidrio y el 1.4 % metales.

En un estudio realizado en Nepal por Pathak et al. (2020), se estableció una línea de referencia para cuantificar y caracterizar los residuos sólidos municipales generados en hogares y establecimientos comerciales e institucionales. Llevaron a cabo una encuesta en 60 municipios, abarcando un total de 3,300 hogares, con un tamaño de muestra de 55 hogares por estrato. Los distritos fueron seleccionados según entornos urbano-rurales, niveles de ingresos y densidad de población. Los resultados mostraron que la generación promedio per cápita de residuos es de 115 g/día. Además, el estudio también reveló que factores como el tamaño de la población, la ubicación geográfica, el clima, el gasto de los hogares y el grado de

urbanización influyeron significativamente en la generación de residuos. En cuanto a la composición, el estudio indicó que los residuos orgánicos dominaron la caracterización (68 %) seguidos de los plásticos (10 %). Los productos de papel representaron el 8 %, mientras que otros materiales contribuyeron al 6 % de los residuos. El vidrio, los metales, el caucho y el cuero, y los componentes textiles están todos en el 4 % o menos.

En otro estudio realizado en Shiraz, Irán por Farzadkia et al. (2021), se caracterizaron las categorías de los RSU y se cuantificaron los beneficios ambientales y el ahorro de energía como resultado del reciclaje de los RSU secos. Para determinar la composición de los RSU, se recolectaron muestras de residuos cada mes durante un año. En consecuencia, la cantidad total anual de residuos secos reciclados en diferentes meses fue de 11.912 toneladas, mientras que lo correspondiente a papel y cartón fue de 3.806 toneladas y 3.874 toneladas, respectivamente. Los resultados de este estudio demostraron que, reciclando 1 tonelada de papel se podrían salvar 17 árboles. El reciclaje de papel a un 15 % supuso una disminución de aproximadamente 8,904.4 m³ de la capacidad total de un sitio de disposición final (SDF). De igual forma, se ahorraron alrededor de 15,517.54 MWh de energía eléctrica. Al mejorar las tasas de reciclaje del 15 al 80 %, los beneficios económicos generales aumentaron del 1.5 al 6 %.

Por otro lado, también es importante realizar estudios en diferentes temporadas del año para comprender cómo éstas influyen en la generación de residuos y en su valorización. En el estudio realizado por Pham Phu et al. (2021), en la ciudad de Da Nang en Vietnam, se cuantificó la generación de RSU en dos estaciones del año (seca y húmeda), así como la composición y las características de los mismos. Se recolectaron aproximadamente 500 kg de residuos de camiones en el SDF. El estudio indicó que, en cuanto a la composición de los RSU, los residuos biodegradables y reciclables constituyen los componentes principales, representando el 54 % y el 27 %, respectivamente, del total de residuos. El alto contenido de humedad de los RSU plantea varias preocupaciones, incluida la complejidad asociada con la recuperación de elementos reciclables, una mayor cantidad de lixiviados y la reducción del valor calorífico neto de los residuos cuando se incineran. La proporción de papel fue del 7.88 % en la época seca y esta cifra disminuyó al 4.97 % en temporada lluviosa.

En Ilorin Kawara, en el oeste de Nigeria, Ibikunle et al. (2021) realizó una cuantificación y caracterización estacional de los residuos sólidos municipales para su evaluación energética. Los RSU se caracterizaron durante cuatro meses en cada temporada: de mayo a agosto, que representa la temporada de lluvias; y de noviembre a febrero, que representa la temporada seca. La generación estimada de residuos para la temporada seca fue de 158 toneladas/día, con una generación

per cápita de 0.15 kg/hab/día, un poder calorífico de 29 MJ/kg, energía y potenciales de potencia de 890.2 MWh y 11.27 MW, respectivamente. Para la temporada de lluvias fueron 210 toneladas/día, con una generación de 0.02 kg/hab/día, un poder calorífico de 26 MJ/kg, energía y potenciales de potencia de 1.1 GWh y 1.06 GW, respectivamente. En el estudio se muestra que en temporada húmeda el porcentaje de papel es de 5.46 % y el de embalaje de cajas es de 12.32 %, lo que corresponde a un aumento en el papel de un 6.83 % y una disminución en los embalajes de cajas de un 6.14 %, en temporada seca.

El papel y cartón son algunos de los residuos más generados en los hogares. Por ello, Feo et al. (2021) realizó un estudio en el Sur de Italia para evaluar los beneficios ambientales, sociales y económicos de recuperar estos materiales de la fracción no clasificada de residuos sólidos urbanos. Tomando como referencia el año 2015, el estudio abarcó 550 municipios de la región de Campania. Se definieron seis indicadores: dos de medio ambiente (huella de carbono y huella ecológica), dos para la sociedad (huella sanitaria y beneficios ocupacionales) y dos para la economía (beneficios y ahorros económicos). Los indicadores ambientales se definieron mediante Análisis y Ciclo de Vida (ACV), mientras que los beneficios ocupacionales se basaron en investigaciones previas y los económicos en costos e ingresos del servicio de gestión de residuos. Los resultados mostraron una gran cantidad de materiales reciclables en los residuos no clasificados, evidenciando su potencial para generar beneficios. A nivel regional, se podría evitar la emisión de 40,892,189 kgCO₂eq si se separaran desde la fuente el papel y el cartón de estos residuos. Por cada ciudadano, esto representaría una reducción de 7 kgCO₂/año. Además, se estima que se podrían ahorrar aproximadamente 745 km² de superficie, mejorar la salud equivalente a 157 años (14 minutos por cada ciudadano), crear 107 empleos y generar beneficios económicos de 16.3 millones de euros para toda la región.

Finalmente, en la Ciudad de México (CDMX), Jimenez Cruz (2024) analizó la generación de residuos de papel y cartón en todas las alcaldías, que a su vez se clasificaron por estrato socioeconómico, en temporada seca. Los resultados arrojaron en el estrato alto una generación total de residuos de 60.206 kg, con un porcentaje de papel y cartón del 8.979 %. En el estrato medio, la cantidad total de residuos fue de 52.752 kg, con un porcentaje de papel y cartón del 11.351 %. Mientras que, en el estrato bajo, se registró una generación total de residuos de 49.910 kg, con un 7.253 % de papel y cartón. Demostrando que el papel y cartón tiene un porcentaje considerable en los tres estratos.

En todos los estudios antes mencionados, los residuos reciclables siempre están presentes, destacando el papel y cartón como una proporción importante, debido al valor económico que se puede obtener de ellos. Sin embargo, no en todos los

estudios se aborda el estrato socioeconómico y la temporada del año. En el caso de la CDMX, no hay informes o artículos recientes que hablen sobre la generación de residuos tanto en temporada húmeda como en seca.

1.3 Justificación

Actualmente en la CDMX, no existen estudios enfocados a evaluar la generación y clasificación de papel y cartón por estrato socioeconómico y por temporada húmeda y seca, de manera simultánea. El único estudio reciente realizado por (Jimenez Cruz, 2024), el cual se centra en la temporada seca.

Por lo anterior, este estudio es la continuación del proyecto de (Jimenez Cruz, 2024), en el cual se estimó la generación de residuos de papel y cartón en la CDMX y se cuantificaron sus diferentes tipos en temporada húmeda, para comparar cómo ambos datos pueden variar según la temporada de estudio. Esto es esencial debido a que la información existente no ha sido actualizada durante mucho tiempo y es crucial comprender la situación actual de la CDMX.

El proyecto actual permitirá tener un panorama más amplio que ayude a proponer estrategias viables sobre la generación de los residuos de papel y cartón. Es crucial conocer qué tipos de residuos se generan en mayor medida dependiendo de la temporada y cómo se les puede gestionar y aprovechar de manera más efectiva, con el fin de reducir la necesidad de recurrir a sitios de disposición final.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar y cuantificar la generación y tipos de papel y cartón en los residuos domiciliarios de la Ciudad de México, en temporada húmeda.

2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar y clasificar los distintos tipos de papel y cartón presentes en los RSU domiciliarios de la Ciudad de México, en temporada húmeda
- Identificar los tipos de papel y cartón con potencial de valorización en los RSU domiciliarios de la Ciudad de México, en temporada húmeda
- Comparar los distintos tipos de papel y cartón generados en los residuos domiciliarios de la Ciudad de México en temporadas seca y húmeda
- Proponer estrategias de aprovechamiento del papel y cartón presentes en los residuos domiciliarios de la Ciudad de México

3. Marco teórico

En este apartado se presentan temas relacionados a este proyecto empezando por la definición de residuos y su clasificación. Centrando el tema específicamente en los residuos sólidos urbanos, presentando especial atención a la categoría de papel y cartón, así como a las estrategias de aprovechamiento de estos materiales.

3.1 Residuos

Existen diversas definiciones que ofrecen distintas perspectivas sobre los residuos. Según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los residuos son aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor decide desechar. Estos pueden encontrarse en estado sólido, semisólido líquido o gaseoso, siempre que estén contenidos en recipientes o depósitos. Además de ser susceptibles de valorización o requerir un tratamiento o disposición final, conforme a lo establecido por esta Ley y sus normativas relacionadas (SEMARNAT, 2023).

3.1.1 Clasificación de los residuos

En México, los residuos se dividen principalmente en tres categorías según sus características y orígenes: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP). La Tabla 1 presenta las definiciones de los RME y RP, permitiendo tener una idea más clara de los tipos de residuos que pertenecen a estas categorías.

Tabla 1. Definición de residuos de manejo especial y residuos peligrosos (SEMARNAT, 2023)

Residuo	Definición según la LGPGIR
Manejo especial (RME)	Son los generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores (persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año) de residuos sólidos urbanos (SEMARNAT, 2023).
Peligrosos (RP)	Son aquellos que posean algunos de las características de corrosividad, reactividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contenga agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieren a otros sitios, de conformidad con lo que se establece en la LGPGIR (SEMARNAT, 2023).

3.1.2 Residuos sólidos urbanos

Los RSU son aquellos que se generan en los hogares y provienen de la eliminación de materiales usados en actividades domésticas, productos consumidos y sus envases, embalajes o empaques. Esta categoría también incluye a los residuos que provienen de otras actividades realizadas en establecimientos o en la vía pública que presenten características similares a los residuos domiciliarios, así como los residuos resultantes de la limpieza de las vías y espacios públicos, siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (SEMARNAT, 2023).

El artículo 10 de la LGPGIR establece que los municipios son los responsables del manejo integral de los RSU, esto incluye la recolección, el traslado, el tratamiento y la disposición final de los residuos. Además, los municipios deben llevar a cabo actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, acopio y almacenamiento según lo establecido en la LGPGIR (SEMARNAT, 2023).

En cuanto a la clasificación de los residuos, el artículo 18 de la LGPGIR indica que los residuos sólidos urbanos pueden subclasificarse en orgánicos e inorgánicos para facilitar su separación primaria y secundaria (SEMARNAT, 2023). De acuerdo con la Ley de Residuos del Distrito Federal (D.F.), los residuos orgánicos son aquellos desechos de origen biológico que son biodegradables. Por otro lado, los residuos inorgánicos son aquellos que no pertenecen a la categoría de orgánicos y que pueden ser sometidos a procesos de valorización para su reutilización y reciclaje. Ejemplos de residuos inorgánicos incluyen vidrio, papel, cartón, plásticos, laminados de materiales reciclables, aluminio y metales, así como otros que no se consideran de manejo especial (SEDEMA, 2003). Estos residuos inorgánicos son susceptibles de ser reutilizados y reciclados.

Dentro de los residuos inorgánicos, se encuentran aquellos que tienen potencial de reciclaje y que, debido a sus características, pueden ser reincorporados a un proceso o tratamiento que facilite su valorización (Ver Tabla 2). Por lo tanto, es fundamental separar estos residuos desde la fuente, con el fin de evitar su contaminación y asegurar una valorización efectiva (SEDEMA, 2015).

Tabla 2. Residuos inorgánicos con potencial de reciclaje (SEDEMA, 2015).

Materiales	Posible aprovechamiento:
Papel y Cartón	Pulpa de papel y cartón
Maderas Envases multicapas	Aglomerados
Plásticos	Pellets Hojuelas
Vidrio	Vidrio
Metales	Productos metálicos Piezas metálicas varias
Ropa y textiles	Estopas

3.1.3 Generación y composición de residuos sólidos urbanos en México

En México, al igual que en otros países, la contaminación ambiental se ha convertido en una de las principales preocupaciones actuales, debido a la gran cantidad de residuos generados diariamente y sus repercusiones en la sociedad, la economía y la salud. Esta situación se ve influenciada por varios factores, incluyendo los hábitos de consumo de la población, el crecimiento demográfico y la necesidad de una mejor educación ambiental. Para enfrentar este desafío de manera efectiva, es fundamental contar con información actualizada que permita desarrollar e implementar estrategias eficaces para mejorar la gestión de residuos y reducir su impacto en el medio ambiente (Pérez, 2009).

La gestión integral de los residuos no solo busca reducir su generación y asegurar su correcta disposición final, sino que también puede tener beneficios significativos. Entre estos beneficios se incluyen la disminución de la extracción de recursos, evitando su agotamiento, así como la reducción del consumo de energía y agua necesaria para su producción. Además, contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (SEMARNAT, 2019).

De acuerdo con el Banco Mundial, cada año se generan en el mundo 2.010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos. De esta cantidad, al menos el 33 % no recibe una gestión adecuada, lo que provoca un impacto negativo en el ambiente. A nivel global, la generación per cápita de residuos es de aproximadamente 0.74 kilogramos por día, y se estima que la generación total podría aumentar a 3,400 millones de toneladas para el año 2050 (World Bank Group, 2018).

Calcular la generación de RSU es una tarea compleja. En México, las entidades federativas disponen de programas para la gestión integral de residuos, algunos de los cuales ofrecen información específica sobre la generación de residuos en cada municipio. No obstante, estos programas fueron elaborados en distintos años y la metodología para estimar la generación de residuos presenta variaciones notables. Para estimar la generación de residuos de las entidades federativas, se realizó la proyección utilizando datos de generación per cápita según el tamaño del municipio y la población reportada por el INEGI (SEDEMA, 2020).

En México según los datos proporcionados por el Diagnostico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR), la generación nacional de residuos se estima en 120,128 t/día, lo que representa un aumento de 17,233 t/día respecto a las estimadas en el 2012. En términos per cápita, en 2020 se generaron 0.944 kg/hab/día. De este total, 0.653 kg/hab/día corresponden a residuos domiciliarios y 0.291 kg/hab/día pertenecen a residuos no domiciliario (SEMARNAT, 2020).

La cantidad de residuos sólidos generados puede atribuirse a múltiples factores, destacando entre ellos el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, los avances tecnológicos y el cambio en los patrones de consumo de la población, entre otros.

La Figura 1 presenta una gráfica que muestra la generación de residuos por región. En ella se observa que la mayor generación corresponde a las regiones Centro, con 37,977 t/día y Occidente, con 27,900 kg/día.

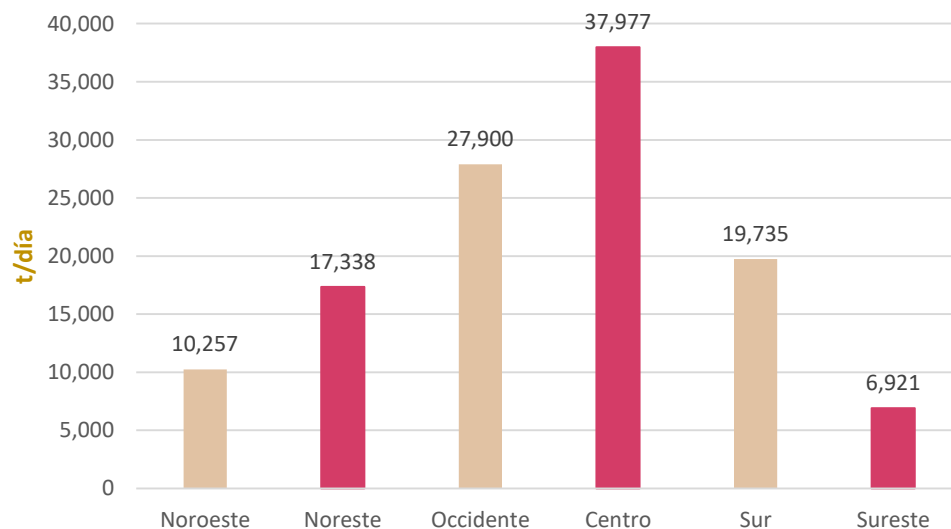


Figura 1. Generación de residuos por región. Elaborada a partir de SEMARNAT, (2020)

En cuanto a la generación de RSU por entidad, el Estado de México (16,739 t/día), la Ciudad de México (9,552 t/día) y Jalisco (7,961 t/día) en conjunto generan el 28.5 % de los residuos a nivel nacional. En contraste, baja california sur (737 t/día), Colima (743 t/día) y Campeche (888 t/día) en conjunto representan solo el 2.3 % del total del país. Cabe destacar que 23 entidades federativas reportan una generación de residuos por debajo del promedio nacional (SEMARNAT, 2020).

La composición de los residuos está influenciada en gran medida por el poder adquisitivo de la población, que se traduce en niveles de vida más altos y, por ende, en un mayor consumo de bienes y servicios, lo que genera un incremento en el volumen de residuos. En contraste, en comunidades pequeñas o rurales, los habitantes suelen consumir productos menos procesados, que generalmente contienen menos materiales que terminan como residuos (SEMARNAT, 2018).

En México, más de la mitad de los residuos generados son orgánicos (residuos de comida, poda, jardinería, madera, entre otros), representando el 46.42 % del total de los residuos generados. El 31.55 % corresponde a residuos susceptibles de aprovechamiento (9.62 % desechos de papel y cartón; 2.63 % tereftalato de polietileno - PET; 4.73 % vidrio). El 22.03% restante corresponde a otro tipo de residuos, como algodón, loza y cerámica, pañal desechable, residuos finos, material de construcción, entre otros (SEMARNAT, 2020).

En el 2012, el porcentaje de residuos susceptibles de aprovechamiento superaba al de los orgánicos con un 30.57 %. Sin embargo, para el año 2020, las cifras cambiaron, y los residuos orgánicos se convirtieron en la categoría predominante, alcanzando el 46.42 %. La Figura 2 presenta una gráfica que compara las categorías de subproductos entre los años 2012 y 2020.

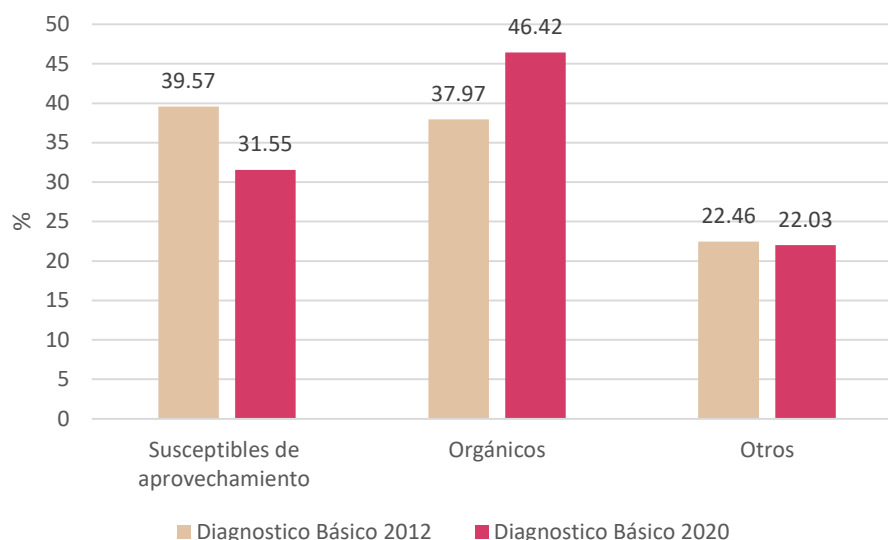


Figura 2. Comparación por categoría de subproductos (SEMARNAT, 2020)

A nivel nacional, se estiman que se generan 38,351 t/día de residuos que podrían ser reciclados o utilizados para la recuperación de energía; 56,427 t/día de residuos orgánicos que pueden ser tratados mediante compostaje o biodigestión; y 26,779 t/día de otros residuos que probablemente no son aprovechables (SEMARNAT, 2020).

3.1.4 Generación y composición de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México

La Ciudad de México está dividida en 16 alcaldías y ocupa el segundo lugar a nivel nacional en términos de generación de residuos. La estimación de la cantidad de residuos generados es una tarea compleja, que exige considerar una serie de variables para obtener datos representativos. Esta tarea se vuelve aún más complicada en una entidad tan diversa como la Ciudad de México. Según el Inventario de Residuos Sólidos Urbanos, en el año 2022 se generaron 12,404 toneladas de residuos diarios, lo que se traduce en una generación per cápita de 1.071 kg/hab/día (SEDEMA, 2022).

Los informes muestran, como se ilustra en la Figura 3, las proporciones de residuos gestionados según las categorías establecidas en la NADF-024-AMBT-2013 (SEDEMA, 2015), permitiendo conocer su composición por fracción (SEDEMA, 2022).

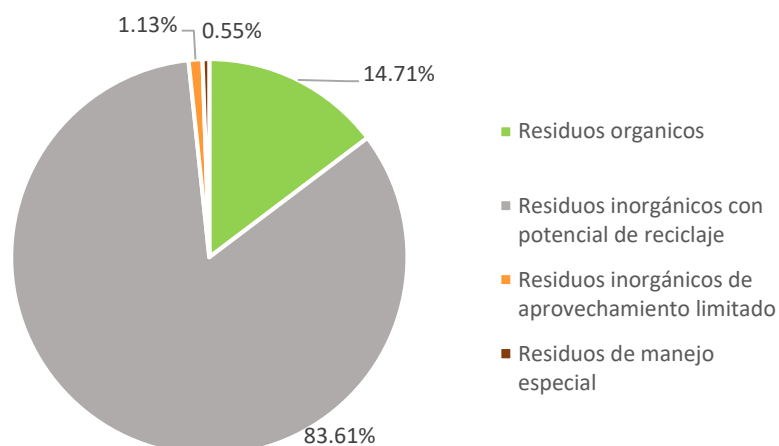


Figura 3. Composición porcentual de los residuos (SEDEMA, 2022)

Por otra parte, según el Atlas Nacional de Residuos Sólidos Urbanos del 2021, los materiales predominantes en los residuos sólidos de la CDMX son (ver Figura 4): cartón (4 %), madera (3%), material de construcción (11 %), material ferroso (4 %), papel (4 %), plástico rígido y de película (5 %), residuos alimenticios (3 %), residuos de jardinería (22 %), vidrio transparente (1 %), PET (17 %) y otros (26 %). Estos porcentajes reflejan la variedad de materiales en los residuos y permiten identificar las principales categorías que contribuyen a la generación total de desechos en la ciudad (SEMARNAT & INECC, 2021).

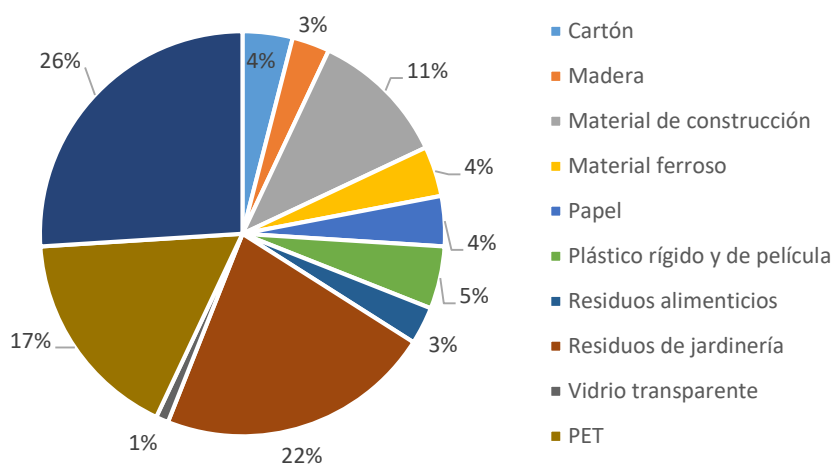


Figura 4. Composición de residuos generados en la CDMX (SEMARNAT & INECC, 2021).

Cada alcaldía de la ciudad posee características únicas que la distinguen de las demás, tales como la población, el nivel socioeconómico promedio y las actividades económicas que se realizan en ellas. La cantidad de residuos generados en la Ciudad de México depende de diversos factores, entre los que se incluyen la población residente y flotante, aspectos sociales y económicos (como el nivel de ingresos y las actividades económicas), hábitos culturales (como la cultura de reciclaje y los patrones de consumo) y factores ambientales (principalmente el uso de suelo). Cada una de estas variables difiere de una alcaldía a otra, complicando la tarea de gestionar y reducir los residuos generados en la ciudad.

Para determinar la generación total de residuos en una alcaldía, es importante conocer la cantidad de personas que residen en ella y la visitan diariamente. La tasa de crecimiento poblacional de la Ciudad de México es de 0.4 % anual. Sin embargo, la situación varía entre alcaldías debido a sus características particulares. El aumento en la población de las alcaldías más densamente pobladas, que ya tienen casi todo su territorio urbanizado, no es comparable al de aquellas con poblaciones más pequeñas, que aún tienen posibilidades de crecimiento (SEDEMA, 2022).

En general, las alcaldías con mayores poblaciones son las que generan la mayor cantidad de residuos, no obstante, una excepción es la alcaldía Cuauhtémoc, que, a pesar de ser una de las más pequeñas en términos de población, ocupa el tercer lugar en generación de residuos. Esto se debe a la gran cantidad de servicios, actividades culturales y funciones públicas, que se encuentran en la alcaldía. Las alcaldías Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Cuauhtémoc, generan en conjunto el 37.75 % de todos los residuos producidos en la ciudad (ver Tabla 3).

Tabla 3. Alcaldías con mayor generación (SEDEMA, 2022).

Alcaldía	Población residente estimada (hab)	Población flotante estimada (hab)	Población total estimada (hab)	Generación estimada (t/día)
Cuauhtémoc	548,484	490,339	1,038,823	1,113
Gustavo A. Madero	1,170,279	154,915	1,325,194	1,419
Iztapalapa	1,838,504	169,755	2,008,259	2,151

En la Tabla 3 se observa que Iztapalapa es la alcaldía más poblada de la Ciudad de México, con una población que casi duplica a la Cuauhtémoc, la tercera en cuanto a densidad poblacional. La considerable generación de residuos en esta alcaldía se atribuye no solo a su gran número de habitantes, sino también a las diversas actividades económicas que se llevan a cabo en la zona.

Por otro lado, en la Tabla 4 muestra que las alcaldías de Milpa Alta, Cuajimalpa de Morelos y La Magdalena Contreras, son las que generan menos residuos, entre las tres apenas generan el 6.43 % del total de residuos de la ciudad.

Tabla 4. Alcaldías con menor generación (SEDEMA, 2022)

Alcaldía	Población residente estimada (hab)	Población flotante estimada (hab)	Población total estimada (hab)	Generación estimada (t/día)
Cuajimalpa de Morelos	224,939	83,466	308,405	330
La Magdalena Contreras	249,262	24,689	273,951	293
Milpa Alta	157,815	5,438	163,253	175

Milpa Alta presenta la menor población, tanto residente como flotante, a pesar de ser la segunda alcaldía más extensa de la Ciudad de México, solo superada en tamaño por Tlalpan. Esta baja densidad poblacional se debe a que gran parte de su territorio es considerado suelo de conservación, lo que limita la posibilidad de construir en esas áreas.

En contraste, la alcaldía Cuajimalpa de Morelos genera más residuos que La Magdalena Contreras, a pesar de contar con una población menor. Este incremento en la generación de residuos se atribuye al alto número de visitantes diarios que recibe Cuajimalpa, que supera más de tres veces la cantidad de personas que llega a La Magdalena Contreras (SEDEMA, 2022).

3.2 Factores que influyen en la generación y composición de residuos

El incremento en la generación de residuos sólidos urbanos puede atribuirse a diversos factores, siendo los más destacados el crecimiento de las ciudades, el desarrollo industrial, las innovaciones tecnológicas y los cambios en los hábitos de consumo de la población.

3.2.1 Temporada

El clima es un factor que influye en la generación de residuos, ya que puede modificar la cantidad de residuos de diversas formas. Por ejemplo, en temporada de lluvias, los residuos pueden llegar a absorber humedad, aumentando su masa. Asimismo, las condiciones climáticas influyen en los hábitos de consumo de la población, lo que a su vez afecta la composición de los residuos generados (SEDEMA, 2022).

Según datos del INEGI, el 87 % del territorio de la CDMX se caracteriza por un clima templado subhúmedo. Un 7 % del área presenta un clima seco y semiseco, mientras que el 6 % restante corresponde a un clima templado húmedo. Las precipitaciones ocurren

principalmente en verano, con un rango anual que varía desde 600 mm en las regiones secas y hasta 1200 mm en las zonas húmedas (INEGI, 2021a).

3.2.2 *Estrato socioeconómico*

Se ha demostrado que existe una correlación positiva entre la generación de residuos y el nivel de ingresos. Según el informe “What a Waste”, los países de altos ingresos, que solo constituyen el 16 % de la población mundial, generan cerca del 34 % (equivalente a 683 millones de toneladas) de los residuos globales. En contraste, los países de bajos ingresos, que representan el 9 % de la población mundial, generan solo el 5 % de los residuos globales (equivalente a 93 millones de toneladas), (Wourld Bank Group, 2018).

Un ejemplo esto es que los tres países de la región de América del Norte (Bermudas, Canadá y Estados Unidos) generan la mayor cantidad promedio de residuos per cápita, con 2,21 kg/día (estos países son de altos ingresos). Por el contrario, en regiones como residuos África subsahariana, Asia Meridional, Asia Oriental y el Pacífico, la generación de residuos es menor, con una generación de entre 0.46 kg/día a 0.56 kg/día (estos países son de bajos ingresos). Esto demuestra que a mayores ingresos corresponde una mayor generación de residuos (Wourld Bank Group, 2018).

Se proyecta que, para el año 2050, la generación per cápita de residuos aumentará un 19 % en los países de altos ingresos, en comparación con los países de bajos ingresos y medios donde se espera un aumento de aproximadamente el 40 % o más, debido a los cambios incrementales en los ingresos (Wourld Bank Group, 2018).

Por otra parte, el Diagnostico de la Situación del Medio Ambiente en América Latina y el Caribe, señala una correlación entre la generación de Residuos Sólidos Municipales (RSM) y las condiciones económicas de los países. Sugiriendo que las naciones con menores ingresos tienden a generar menos residuos, y que la composición de estos es menos susceptible de ser reciclada (Acurio et al., 2014).

Un ejemplo de esto se observó en Buenos Aires, donde la cantidad de RSM recolectados en 1989 (año de alta recesión económica) disminuyo en comparación con el promedio de 1980 a 1985. Esta correlación se volvió a verificar entre 1991 y 1994, cuando una mayor actividad económica llevo a un notable incremento en la disposición de residuos, mientras que la recesión de 1995 provocó una caída en esos niveles. De manera similar, en caracas, la recesión venezolana de 1987 a 1989 resultó en una reducción del 14 % en la recolección de RSM. En Lima, también se registró una disminución en la generación de RSM entre 1987-1991, coincidiendo con años de intensa recesión económica (Acurio et al., 2014).

La composición de los residuos también está influenciada por el nivel económico de la población. En los países con ingresos bajos predominan los residuos orgánicos, mientras

que en aquellos con mayores ingresos, los residuos son principalmente inorgánicos, con una notable proporción de productos manufacturados (Acurio et al., 2014).

3.3 Papel y cartón

En nuestra sociedad, el papel y cartón se destacan entre los diversos tipos de residuos debido a su uso extendido en todas las estructuras sociales, actividades económicas y niveles de organización, desde un individuo hasta una gran corporación o institución (Cámara del Papel, 2012).

El papel es un producto esencial que se ha fabricado desde el siglo II. Durante siglos, su elaboración se basó en desperdicios textiles que contenían fibras celulósicas. Sin embargo, en el siglo XIX, la creciente demanda de pulpa para la industria papelera llevó al desarrollo de pastas mecánicas y químicas fabricadas a partir de madera, las cuales sustituyeron a las fibras textiles como principal materia prima para la producción de papel (Aguilar, 2004).

3.3.1 Proceso de fabricación

A lo largo de la historia, se han utilizado diversos materiales para la elaboración de papel, incluyendo trapos, redes de pescar, corteza de árboles, zacate y otras plantas. Estos materiales han sido fundamentales en la producción de papel, lo que permite considerar al papel como uno de los primeros productos fabricados a partir de residuos reciclados (Camara del Papel, 2012).

El proceso de fabricación del papel y cartón es el siguiente:

1. Preparación de las pastas
 - Formación de la pasta. Se mezcla el papel reciclado con agua y se bate con un agitador.
 - Separación de residuos gruesos. Se eliminan los residuos de mayor tamaño, como plásticos y trapos, y se decantan arenas, grapas y otros sólidos finos densos.
 - Depuración de la pasta. Se separan otros contaminantes de menor dimensión mediante sistemas ciclónicos o de filtración.
 - Refinación. Se realiza una molienda fina de la pasta para homogeneizarla.
2. Formación de la hoja
 - Adición de químicos. Se incorporan productos químicos al papel para darles ciertas características específicas. Para lograr la blancura, se utilizan el peróxido de hidrógeno, que actúa como oxidante, y hidrosulfitos, que funcionan como reductores.

- Formación de la hoja. La pasta de papel se vierte sobre una tela en movimiento. A medida que el agua se drena, la pasta se moldea y toma forma, dando lugar a las hojas de papel.
3. Prensado en húmedo. Se retira mecánicamente la mayor cantidad de agua posible, haciendo pasar la pasta entre rodillos o aplicando presión.
 4. Secado. La hoja en movimiento pasa por cilindros calentados por vapor para eliminar el resto de la humedad.
 5. Estucado. Se aplica una capa de estuco, compuesta principalmente de caolín (arcilla) y carbonato de cálcico (CaCO_3), para mejorar el acabado de la superficie del papel y cartón. Después de la aplicación, el material pasa por un proceso de secado, que puede realizarse en un horno o mediante sistemas de aire caliente.
 6. Acabado del papel
 - Calandrado. El papel se pasa por rodillos para mejorar su superficie. Este proceso le da al papel un acabado más brillante y una superficie lisa.
 - Recubierto. Se aplica una capa adicional sobre el papel para lograr un acabado específico. Este recubrimiento puede ser utilizado para obtener una cara blanca, que proporciona una superficie más limpia y brillante, o para conseguir otros tipos de acabados, como texturizados o coloreados.

3.3.2 Composición del papel y cartón

El papel es un material altamente heterogéneo que contiene más de un millón de fibras por gramo, cargas minerales, agentes de resistencia y otros componentes menores. Generalmente, su estructura es porosa y su densidad oscila entre 0.5 y 0.8 g/cm³. Esta combinación de densidad y porosidad permite que el papel se adapte a diferentes usos, siendo capaz de ser muy permeable o, por el contrario, impermeable a gases y líquidos según se requiera (RIADICYP, 2008).

La capacidad del papel para dispersar la luz le otorga una alta opacidad. Sin embargo, también puede fabricarse para ser relativamente transparente. Su carácter higroscópico, es decir, la capacidad de absorber o ceder humedad, permite que su contenido de humedad varíe entre el 5 y el 8 % dependiendo del tipo de fibra utilizada y de la humedad del ambiente. Esta variación en la humedad influye considerablemente en las propiedades físicas del papel (RIADICYP, 2008).

La estructura del papel puede ser compleja. Los papeles de gramaje alto, así como las cartulinas y cartones, suelen estar compuestos por múltiples capas, cada una con propiedades distintas según el propósito específico del papel. Para mejorar sus características, el papel, la cartulina o cartón pueden estar recubiertos con una capa de cargas minerales como el carbonato de calcio, y un ligante que puede incluir almidón, acrilatos y acetatos de polivinilo. Esta combinación proporciona una superficie lisa y

brillante, que no se logra únicamente con la estructura de fibras celulósicas (RIADICYP, 2008).

Para reducir costos y mejorar algunas propiedades del papel blanco, es común la adición de cargas minerales. Entre las más comunes se encuentran el carbonato de calcio (molido o precipitado), caolines, talco, yeso, bentonita y pigmentos coloreados. Estas cargas no solo contribuyen a la lisura y opacidad del papel, sino que también mejoran la blancura y el brillo, especialmente en los papeles calandrados. Además, facilitan una mayor uniformidad de absorción de tinta durante la impresión y, en algunos casos, se emplean como pigmentos para darle color al papel (RIADICYP, 2008).

La mayoría de los papeles blancos contienen cargas para optimizar sus características. En el caso de los papeles destinados a la impresión y escritura, a menudo pueden contener blanqueantes que aumentan su blancura. Por otro lado, los papeles marrones producidos a partir del reciclaje pueden incluir cantidades significativas de cargas minerales derivadas del papel reciclado. La Tabla 5 muestra la cantidad y tipos de cargas presentes en diferentes papeles blancos.

Tabla 5. Cantidad y tipo de cargas en diferentes papeles blancos (RIADICYP, 2008).

Papel	Contenido de cargas (%)	Tipo de cargas
Diarios (periódicos)	0-10	Carbonato, caolín, talco, pigmentos especiales
Revistas	20-30	Caolín, talco
Papeles finos	0-25	Carbonato, caolín, talco, yeso
Papel de envolturas	0-10	Carbonato, caolín, talco, yeso
Capa blanca reciclada en Liner White Top	10-25	Principalmente carbonato

Los diferentes tipos de papel se distinguen por las materias primas utilizadas en su composición, la estructura de su superficie, su acabado, gramaje y aplicaciones específicas. En términos generales, el papel es un material flexible, duradero y versátil, compuesto por una mezcla de fibras y productos químicos.

A continuación se mencionan algunos de los tipos de papeles y cartones que existen (Usandizaga Diseño, 2024):

- Papel offset. Este papel es habitualmente empleado para escritura, así como en fotocopadoras e impresoras láser. Su fabricación puede incluir pasta química,

combinaciones de pasta química y mecánica, o papel reciclado. Está disponible en variedades blancas y de colores, con gramajes que oscilan entre 50 g/m² y 250 g/m².

- Papel bond. Conocido también como papel carta, este tipo de papel es muy blanco y generalmente se fabrica con un 100 % de fibras de eucalipto, aunque puede incluir hasta un 25 % de fibras de algodón. Se destaca por su gran resistencia, buena textura y excelente calidad de composición.
- Papel prensa. Este papel se emplea principalmente en la impresión de diarios (periódicos) y está compuesto en gran parte por papel recuperado. Puede presentarse en blanco o con un ligero tono colorido, y su gramaje habitual varía entre 40 y 52 g/m², aunque puede alcanzar hasta 65 g/m².
- Papel estraza o Kraft. Este tipo de papel se caracteriza por su alta resistencia y se fabrica principalmente a partir de pasta química kraft. Se divide en dos categorías principales: el papel kraft crudo, utilizado para envolturas y embalajes, y el papel kraft blanqueado, que se utiliza en documentos contables, registros, actas y otros documentos oficiales, debido a su apariencia más limpia y blanca.
- Cartoncillo. Generalmente, el cartoncillo es un material compacto hecho de pasta virgen y/o papel reciclado, y se compone de varias capas. Suele tener un acabado con una capa de estuco, que mejora tanto la apariencia como las propiedades de impresión del cartón. Este recubrimiento ofrece una superficie más lisa y uniforme, lo que permite obtener impresiones más nítidas y de mayor calidad.
- Cartón multicapas. Se obtiene mediante la combinación en estado húmedo de varias capas o bandas de papel, que han sido formadas de manera separada. Estas capas, que pueden tener composiciones similares o diferentes, se adhieren entre sí mediante compresión, sin la necesidad de utilizar ningún tipo de adhesivo. Este proceso permite crear un cartón robusto y versátil, adecuado para diversas aplicaciones.

3.3.3 Gestión y generación de residuos de papel y cartón

En México los residuos de papel y cartón constituyen más del 9.62 % del total de los residuos generados, lo que subraya la necesidad de implementar planes de manejo efectivos para su adecuada gestión (SEDEMA, 2020). Para abordar esta situación, la Cámara de Papel y la SEMARNAT firmaron, el 15 de febrero del 2011, un convenio que establece una estrategia integral para promover el uso sustentable de los recursos forestales y fomentar la producción y consumo responsable de papel y cartón (Camara del Papel, 2012).

Este convenio resalta los avances logrados en el país en cuanto a la infraestructura para el reciclaje, con una capacidad para reciclar 4.7 millones de toneladas anuales de residuos de papel y cartón en 20 estados de la República Mexicana y con infraestructura de acopio en el territorio nacional, con una capacidad para procesar 3.2 millones de toneladas de residuos de papel y cartón. Dentro del convenio se establece, la elaboración de un diagnóstico del manejo de fibras, identificando las áreas de oportunidad así como la formulación de un plan de manejo para incrementar los porcentajes de acopio de residuos de papel y cartón (Cámara del Papel, 2012).

Dentro de dicho plan se considera la participación de aproximadamente 28 empresas afiliadas entre las que se encuentran Bio Pappel, S.A.B. de C.V.; Celulosa de Fibras Mexicanas, S.A. de C.V.; Copamex Industrias, S.A. de C.V.; y Grupo Papelero Scribe, S.A. de C.V., entre otras. El objetivo es llevar a cabo acciones para lograr el incremento de las tasas de recuperación, así como la valorización y el reciclaje de los residuos de papel y cartón. Gracias a esto, México ha logrado posicionarse como el quinto país en el mundo en términos de reciclaje (Camara del Papel, 2012).

3.4 Reciclaje del papel y cartón

En la década de 1990, la creciente preocupación por el medio ambiente impulsó avances significativos en la industria del papel, enfocando cada vez más la atención en el reciclaje. Aunque los fabricantes siempre habían reciclado residuos, como bordes de recorte y mermas, el papel reciclado se convirtió en una fuente clave de materia prima fibrosa para la producción de celulosa y papel. Este cambio fue impulsado por diversos factores como aspectos financieros, condiciones del mercado, disponibilidad de materias primas fibrosas nacionales y especialmente, por la presión ejercida por la sociedad y el gobierno. No obstante, el reciclaje de papel enfrenta importantes desafíos debido a la alta presencia de contaminantes que pueden estar presentes si no se gestionan adecuadamente. Esta situación dificulta considerablemente el proceso de producción de la pulpa (Aguilar, 2004).

Para la industria del papel, el reciclaje representa una fuente económica valiosa de materia prima, lo que contribuye a una mayor competitividad. El proceso de reciclaje no solo ayuda a reducir el volumen de residuos sólidos, sino que también es una estrategia eficaz para prevenir la contaminación (Villalobos & Medina, 2014).

3.4.1 Reciclaje en México

En México la Industria del papel ha jugado un papel crucial en el fomento de la cultura del reciclaje. Ya en los años de 1960, los registros de la Cámara del Papel indicaban que se reciclaban aproximadamente 300,000 toneladas en el país. Hoy en día, alrededor del

90 % de la materia prima utilizada para la fabricación de papel proviene de papel y cartón reciclado (Cámara del Papel, 2021).

En un periodo de cinco años, México mostró un notable avance en la recuperación de fibra secundaria. En 2017, el país mejoró su posición de acopio, pasando del lugar 32 en 2012 al 22, alcanzando un índice de recolección de 52 %. A nivel global, México progresó subiendo del quinto lugar en 2012 al cuarto en 2017 en la categoría de reciclaje de fibra secundaria. En ese año, México logró reciclar el 88.4 % de fibras secundarias de origen nacional, siendo el resto importado (SEMARNAT, 2020).

La eficiencia en la recuperación del papel está estrechamente relacionada con el tipo de producto final deseado. Por ejemplo, el papel blanco requiere papel blanco usado, mientras que el cartón corrugado demanda cartón corrugado usado. Esto ha llevado a la implementación de un esquema de acopio que clasifica los residuos según su color, dividiéndolos en tres grandes categorías: blancos, cafés y grises, con algunas subdivisiones (SEMARNAT, 2020). En paralelo, se han elaborado diversas normas mexicanas para regular el reciclaje de papel y cartón (Cámara del papel, 2021). Entre estas normas destacan las que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Normas para regular el reciclaje del papel y cartón (Cámara del papel, 2021).

Norma	Definición
NMX-N-100-SCFI-2009	Establece el procedimiento para determinar la humedad de la materia prima recuperada que se utiliza para fabricación de papel, durante su recepción (SECOFI, 2009).
NMX-N-106-SCFI-2010	Establece la clasificación y las especificaciones básicas de la materia prima de papel recuperada que se utiliza para fabricación de papel, así como los métodos de prueba para su determinación (SECOFI, 2010).
NMX-N-107-SCFI-2010	Establece las especificaciones y el método de verificación sobre el contenido mínimo de fibra reciclada de papel para la fabricación de papel periódico, papel para bolsas y envolturas, papel para sacos, cartoncillo y cajas corrugadas y laminadas exclusivamente; así como los lineamientos generales para otorgar el uso de la ecoetiqueta a unidades operativas con el fin de lograr un desarrollo sustentable en dicha materia (SECOFI, 2010).
NMX-AA-144-SCFI-2008	Establece las características y especificaciones técnicas del contenido de fibra de material reciclable y cloro para la fabricación de papel para impresoras y fotocopadoras que sea adquirido por las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (SECOFI, 2009)

3.4.2 Proceso de reciclaje

Un factor clave en el reciclaje de cualquier producto es la condición en que el material valorizable llega a la planta de reciclaje. Para el reciclaje efectivo del papel y cartón, los materiales deben cumplir con ciertas características (Cámara del Papel, 2012):

- Material de un solo tipo: no deben mezclarse diferentes tipos de papel y cartón.

- Materiales libres de otros materiales: debe estar libre de mezclas con otros materiales (como plásticos, trapos u otros).
- Materiales limpios y secos: deben de estar libres de suciedad (grasas, aceites, ceras, entre otros) y humedad.

El estado del papel y cartón es esencial para lograr un reciclaje efectivo. Por esta razón, se han implementado herramientas y normas que establecen los requisitos de calidad para la fibra secundaria destinada al reciclaje. En este contexto, la Norma Mexicana NMX-N-106-SCFI-2010 es fundamental, ya que define los tipos y calidades de los materiales a reciclar y la metodología para su evaluación (SECOFI, 2010).

La clasificación es importante debido a que los productos de papel presentan diferentes características, como resistencia, rigidez o flexibilidad, tersura, apariencia, brillantez, absorción de tintas y pegamentos. Lo anterior implica que una materia prima como el periódico usado no sea igual ni sirva para lo mismo que una caja corrugada recuperada (Cámara del Papel, 2012). El proceso de fabricación de papel y cartón reciclado de lleva a cabo como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Proceso de fabricación del papel y cartón reciclado (Eco.business, 2021)

3.4.3 Tipos de papel reciclado

Los materiales reciclables de papel y cartón se dividen en tres categorías principales: blancos, cafés y grises según su color y la pasta resultante al mezclarlos y homogeneizarlos con agua. Para garantizar un reciclaje efectivo, es crucial que los residuos de papel y cartón lleguen a las plantas recicladoras debidamente clasificados, conforme a la norma NMX-N-106-SCFI-2010 (SECOFI, 2010). A continuación, se definen las tres categorías principales con base en el color (Cámara del papel, 2012):

- Materiales blancos. Este grupo abarca pliegos de papel bond sin impresión, papel blanco de archivo y papeles bond que presentan una alta cantidad de impresión o color. También se consideran dentro de esta categoría los sobres amarillos y archivos de color.
- Materiales cafés. Este grupo está compuesto por bobinas de papel, que son subproductos de la industria del papel, así como recortes de corrugado, que son los restos que quedan al fabricar cajas corrugadas. También incluye bolsas de papel café, cajas corrugadas y tubos de cartón.
- Materiales grises. Este grupo abarca bobinas de tissue y bobinas de cartoncillo, que son subproductos de la industria del papel. También incluye recortes de cartoncillo, que son los residuos generados durante la fabricación, así como cajas de cartoncillo, cartoncillo usado, directorios telefónicos, revistas y periódicos, tanto impresos como sin impresión.

Dentro de cada categoría, los materiales se clasifican en función de su resistencia y limpieza. En términos de resistencia, el papel fabricado con fibra virgen es el más resistente dependiendo de la especie de fibra utilizada. Sin embargo, con cada ciclo de reciclaje, las fibras del papel se acortan y pierden su fortaleza, lo que eventualmente hace que el material se vuelva inutilizable. Por esta razón, la norma NMX-N-106-SCFI-2010 (SECOFI, 2010), separa a los materiales de fibra larga (que ha sido reciclado de entre tres y cinco veces) y materiales de fibra corta (que ha sido reciclado entre de cinco y siete veces). La identificación de estos se basa en su origen y en su resistencia al doblez y al rasgado (Cámara del Papel, 2012).

Establecer y reforzar los mecanismos de clasificación de estos materiales es fundamental para optimizar el proceso de reciclaje y maximizar los beneficios ambientales y económicos. En la Tabla 7 se presentan los distintos tipos de papel y cartón con potencial de reciclaje, clasificados de acuerdo con la NADF-024-AMB-2013 (SEDEMA, 2015).

Tabla 7. Papel y cartón con potencial de reciclaje (SEDEMA, 2015)

Color de identificación: Beige Pantone 141 C REAL 1023	
Tipo de artículo	Aprovechamiento
Papel bond Cuadernos o libretas Libros Periódicos Revistas, papel de propaganda y publicidad Cartulinas Directorios Folders	Papel prensa
Cajas y empaques de cartón y corrugados Tarjetas de cartón Envases multicapas	Cartón ondulado o estucado
Papel kraft	Sacos de papel Papel para embalaje

3.4.4 *Uso del papel reciclado*

Las fibras secundarias más comercializadas se dividen en varias categorías. En primer lugar, destacan los corrugados, que se utilizan principalmente en la fabricación de cajas corrugadas, sacos y envases. En segundo lugar, se encuentran el papel periódico y el papel de revista, que se emplean en la producción de papeles blanqueados y semiblanqueados. Por último, existen otras categorías menores de fibras secundarias que son utilizadas en la elaboración de cartulinas, cartones y productos similares (Aguilar, 2004).

Para las empresas, las fibras secundarias ofrecen varios beneficios, siendo los más destacados su costo reducido en comparación con las fibras vírgenes y su disponibilidad en el mercado. El aumento en la oferta y la demanda de estas fibras se debe a diversas razones, entre las cuales se encuentran la reducción de costos y las presiones provenientes de gobiernos, organizaciones sociales y grupos ecologistas. Estas presiones buscan disminuir la cantidad de terrenos ocupados por residuos urbanos, comerciales e industriales a nivel mundial, así como reducir los volúmenes de agua contaminada que se vierten en ríos, lagos y acuíferos (Aguilar, 2004).

3.4.5 *Beneficios del reciclaje del papel y cartón*

En México, aproximadamente el 90 % de la materia prima utilizada en la fabricación de papel proviene de papel y cartón reciclados. Este alto porcentaje refleja los sobresalientes beneficios ecológicos del reciclaje de estos materiales (Camara del Papel, 2021):

- Conservación de recursos naturales. Cada tonelada de papel fabricado con materia prima reciclada puede prevenir el corte de entre 17 y 19 árboles aptos. Además, se ahorran 20,000 litros de agua fresca y se reduce el consumo de energía equivalente a 2,000 litros de petróleo crudo.
- Reducción de espacio en rellenos sanitarios. El reciclaje de papel desechado evita que 2.5 m³ de espacio en rellenos sanitarios sean ocupados por cada tonelada de desperdicio reciclado.
- Minimización de gases de efecto invernadero. La recuperación y reciclaje del papel también impide la liberación de dióxido de carbono (CO₂) y metano, dos de los principales gases de efecto invernadero generados durante la descomposición del papel en vertederos

Estos beneficios subrayan la importancia del reciclaje de papel y cartón en la preservación de recursos naturales y en la mitigación de los impactos ambientales.

3 Metodología

En el presente proyecto se llevó a cabo la cuantificación y caracterización de los residuos de papel y cartón generados en las 16 alcaldías pertenecientes a la CDMX, tomando en cuenta el estrato socioeconómico. Este estudio forma parte del proyecto “Caracterización de residuos en la CDMX”, el cual fue realizado en conjunto con otros estudiantes debido a su complejidad. Es importante mencionar que, aunque se consideraron los resultados de las 16 alcaldías para realizar el análisis, sólo se asumió la responsabilidad en 2 alcaldías, las cuales fueron: Iztacalco (estrato medio) y Tlalpan (estrato bajo). Este proyecto se dividió en tres etapas como se muestra en la Figura 6. A continuación se describen cada una de las etapas.

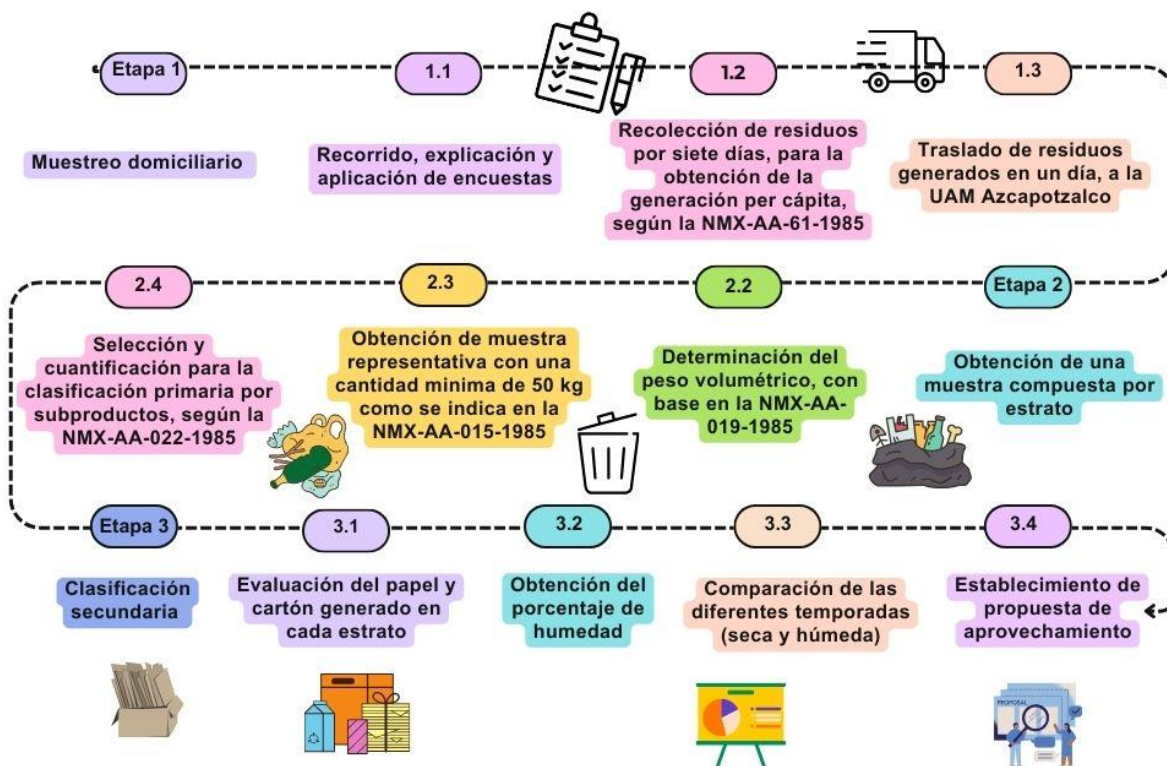


Figura 6. Etapas de desarrollo del proyecto

4.1 Muestreo domiciliario

En la primera etapa se llevó a cabo un muestreo domiciliario con base en la NMX-AA-061-1985 (SECOFI, 1985d), para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo domiciliario estadístico aleatorio. A continuación, se describe como se realizó en cada uno de los días de muestreo para cada alcaldía.

4.1.1 Recorrido y aplicación de encuestas

Esta actividad se llevó a cabo en dos de las dieciséis alcaldías de la CDMX, divididas por estratos socioeconómicos, los cuales se categorizaron en alto, medio y bajo. Se seleccionaron colonias correspondientes a cada estrato socioeconómico para realizar el muestreo. Una vez identificadas estas colonias, se realizaron encuestas a habitantes de 30 viviendas el día sábado (03 de agosto para el estrato medio y 23 de agosto para el estrato bajo). Durante las encuestas, se les explicó a los habitantes el objetivo del proyecto, cómo se iba a llevar a cabo y en qué consistiría su participación (Ver Figura 7). Ese día se les proporcionó una bolsa de polietileno para que depositaran los residuos generados a partir de ese momento.



Figura 7. Aplicación de encuestas

4.1.2 Operación limpieza

El día lunes (05 de agosto para el estrato medio y el 25 de agosto para el estrato bajo), se llevó a cabo el primer día de recolección. Las bolsas no fueron pesadas debido a que se realizó la llamada “operación limpieza”, por lo que solo se recibieron y posteriormente fueron entregadas al camión recolector de residuos (Ver Figura 8). Se proporcionó una bolsa nueva a cada casa para que pudieran almacenar los residuos generados las siguientes 24 horas.



Figura 8. Operación limpieza

4.1.3 Muestreo y registro de generación

Del segundo día (martes) hasta el octavo día (lunes) de recolección (del 06 al 13 de agosto para el estrato medio y del 26 al 02 de agosto para el estrato bajo), se retiraron las bolsas que contenían los residuos generados el día anterior y se entregó una nueva bolsa para almacenar los residuos por generar en las próximas 24 horas. Todas las bolsas estaban debidamente etiquetadas para identificar la vivienda a la que pertenecían. Se procedió a pesar y registrar la masa de los residuos en un formato específico, y se calculó el valor de la generación per cápita de residuos sólidos en kg/hab/día, correspondiente a las fechas que fueron generados, dividiendo la masa de los residuos entre el número total de habitantes de la casa habitación por día (ver Figura 9).



Figura 9. Registro de generación diaria

4.2 Cálculo de generación per cápita

Para obtener la generación per cápita diaria, se pesaron los residuos generados diariamente por vivienda y se registraron los datos en una tabla de generación del día uno hasta el día siete. De esta manera se obtuvo la masa total de residuos (Ver Figura 10). La generación de residuos sólidos por persona se calculó dividiendo la masa de residuos generada diariamente en cada casa habitación, entre el número de habitantes por vivienda, con base en la Waste Wise Cities (ONU, 2021), y con lo que indica la NMX-AA-061-1985 (SECOFI, 1992). El cálculo de muestra en la Ecuación 1.

$$Ec. 1 \dots Generación \text{ per cápita} = \frac{(Dia 2 + Dia 3 + Dia 4 + Dia 5 + Dia 5 + Dia 6 + Dia 7 + Dia 8)kg}{7 \text{ Días} \times \text{Número de habitantes}} = \frac{kg}{\text{Día} \times \text{Hab}}$$



Figura 10. Registro de masas para la obtención de la generación per cápita

4.3 Clasificación primaria de residuos

Los residuos generados por las viviendas el viernes (09 de agosto para el estrato medio y 29 de agosto para el estrato bajo), fueron transportados al centro de acopio de la UAM Azcapotzalco, donde se obtuvo una muestra representativa mediante el método de cuarteo, conforme a lo establecido en la NMX-AA-015-1985 (SECOFI, 1985a). Este método consistió en verter el contenido de las bolsas sobre un área determinada de 4 m x 4 m. Posteriormente, se homogeneizaron los residuos sólidos con una pala y/o bieldo, se dividieron en cuatro partes iguales (A, B, C y D) y se eliminaron las partes opuestas (A y C o B y D). Este proceso se repitió hasta obtener un mínimo de 50 kg de residuos sólidos, con los cuales se realizó una clasificación primaria (ver Figura 11).



Figura 11. Caracterización y clasificación de residuos

La clasificación primaria consistió en separar los residuos en diversas categorías, tales como plásticos, orgánicos, vidrio, textiles, papel y cartón, metales, sanitarios, peligrosos y electrónicos, conforme a la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 (SECOFI, 1985c), adaptada según los objetivos del proyecto como se muestra en la Tabla 8. Estos residuos fueron depositados en bolsas de polietileno etiquetadas según su clasificación. Para determinar la masa de cada subproducto, se pesó cada bolsa por separado en una balanza granataria y se registraron los resultados en un formato específico. El porcentaje en masa de cada uno de los subproductos se calculó dividiendo la masa del subproducto considerado, entre la masa total de la muestra y luego multiplicado por cien para obtener el porcentaje (Ecuación 2):

$$Ec.2 \dots \% \text{ del subproducto} = \frac{\text{Masa del subproducto} \text{ (descontando el peso de la bolsa), en kg}}{\text{Masa total de la muestra, en kg}} \times 100$$

Tabla 8. Clasificación de subproductos en el estudio de composición

Categoría	Subproducto
Orgánico	Alimentos no evitables
Orgánico	Pan, tortilla y cereales
Orgánico	Proteínas (carnes y lácteos)
Orgánico	Frutas y verduras
Orgánico	Alimentos empacados
Orgánico	Otros alimentos
Orgánico	Residuos de poda y jardinería
Orgánico	Cabello
Orgánico	Heces de animales
Orgánico	Madera
Orgánico	Papel higiénico y servilletas
Orgánico	Piel, hueso y paja (no alimentos)
Orgánico	Otros orgánicos
Plásticos	Plásticos
Papel y cartón	Papel y cartón
Textiles	Textiles
Metales	Acero inoxidable
Metales	Aluminio (no latas)
Metales	Bronce
Metales	Cobre
Metales	Latas de aluminio
Metales	Otras latas
Metales	Ferrosos
Metales	Otros metales
Vidrio	Envases de color
Vidrio	Envase transparente
Vidrio	Vidrio plano
Vidrio	Cerámica y loza
Sanitarios	Pañales de bebé
Sanitarios	Pañales de adulto
Sanitarios	Tampones
Sanitarios	Toallas sanitarias
Sanitarios	Toallas húmedas
Sanitarios	Otros sanitarios (algodón y cotonetes)
Otros	Potencialmente peligrosos
Otros	Electrónicos
Otros	Cubrebocas
Otros	Cera
Otros	Pilas
Otros	Colillas de cigarro
Otros	Residuos de construcción y demolición
Otros	Finos
Otros	Otros residuos
Otros	Arena de gato

4.4 Determinación de peso volumétrico

El peso volumétrico se determinó conforme a lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-019-1985 (SECOFI, 1985b). Se pesó un recipiente limpio y vacío de capacidad de 200 litros, tomando el peso de este como su tara. Seguido de esto se llenó el recipiente hasta el tope con residuos sólidos urbanos homogeneizados, de las partes eliminadas durante el primer cuarteo, y se dejó caer al suelo tres veces desde una altura de 10 cm, evitando compactar los residuos para no alterar el peso volumétrico a determinar. Después se registró la masa del recipiente con los residuos y se realizaron cinco mediciones (cuatro en los bordes y una en el centro) con un flexómetro para determinar la distancia entre los residuos y la parte superior del recipiente, con el fin de calcular el volumen que ocupan los residuos (Ver Figura 12).



Figura 12. Determinación del peso volumétrico

El peso volumétrico de los residuos sólidos se calculó dividiendo la masa de los residuos sólidos (peso bruto menos tara) en kg, entre el volumen del recipiente en m³. El peso volumétrico se calculó con la Ecuación 3:

$$Ec. 3 \dots \text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Masa de los residuos (menos masa del recipiente), en kg}}{\text{Volumen que ocupan los residuos en el recipiente, en m}^3}$$

4.5 Clasificación de residuos de papel y cartón

Posterior a la clasificación primaria se llevó a cabo una segunda clasificación específica del papel y cartón para determinar los diferentes tipos generados así como sus masas y porcentajes correspondientes.

Para ello se tomó como base la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013 (SEDEMA, 2015), que establece 12 categorías de papel y cartón con potencial de reciclaje, incluyendo cajas y empaques de cartón y corrugados, papel bond, cuadernos o libretas, libros, periódicos, revistas, papel de propaganda y publicidad, cartulinas, directorios, folders, envases multicapas, papel kraft y tarjetas de cartón (ver Tabla 9).

La norma fue adaptada para clasificar los residuos encontrados durante la temporada seca, y los resultados de esta clasificación se presentan en la tabla correspondiente.

Tabla 9. Clasificación secundaria de papel y cartón

Residuos de papel y cartón encontrados en temporada seca y la adaptación de la norma		
Cartón		NADF-024-AMBT-2013
1	Cartón corrugado	Cajas y empaques de cartón y corrugado, tarjetas de cartón, pasta de cuadernos y libros
2	Cartón liso	
3	Cartón de huevo	
4	Cartulina	Cartulina, folders
5	Tetrapak	Envases multicapas
6	Rollos de papel higiénico	No se contempla, pero pueden estar hechos de cartón compacto o láminas de papel prensado
Papel		NADF-024-AMBT-2013
7	Bolsas de té y azúcar	
8	Papel bond	Papel bond, hojas de cuadernos y libros
9	Papel plastificado	
10	Papel tipo revista	Revistas, Directorios, Papel de propaganda y publicidad
11	Papel estraza	Papel kraft
12	Papel tipo periódico	Periódicos
13	Papel encerado	No se contempla
14	Papel metalizado	No se contempla

4.5.1 Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad de los distintos tipos de papel y cartón se obtuvo con base en la Norma Mexicana NMX-AA-016-1984 (SECOFI, 1985b), que describe el método de estufa para medir la humedad en residuos sólidos municipales. Este procedimiento se basa en la pérdida de masa de la muestra al ser expuesta a condiciones específicas de tiempo y temperatura, considerando que dicha pérdida se debe a la evaporación del agua. Asimismo, se consideró la NMX-N-016-SCFI-2011 (SECOFI, 2011), que proporciona especificaciones técnicas y recomendaciones para la correcta y eficiente aplicación del método de prueba para determinar la humedad de papeles y cartones mediante secado en estufa.

Para llevar a cabo este procedimiento, se tomaron muestras de cada categoría y se pesó una cierta cantidad en una balanza analítica para posteriormente llevarlas a la estufa a 105 °C por 24 h. Este método se hizo por triplicado para cada categoría. Pasadas las 24 h, se pasaron las muestras a un desecador, se dejaron ahí por 30 minutos, posteriormente se pesaron de nuevo y se anotaron las masas en un formato (ver Figura 13).

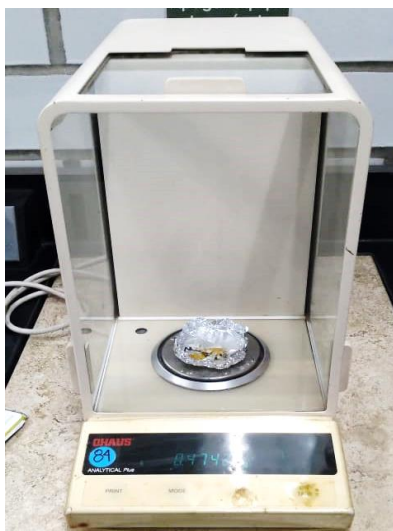


Figura 13. Pesaje de la masa inicial y final para la obtención del porcentaje de humedad

La humedad se calculó con la Ecuación 4:

$$\text{Ec. 4 ... \% de humedad} = \frac{\text{Masa de la muestra húmeda} - \text{Masa de la muestra seca, en g}}{\text{Masa de la muestra húmeda, en g}} \times 100$$

4.6 Generación de propuestas de aprovechamiento

Con la información obtenida se analizó la generación de papel y cartón en cada estrato socioeconómico y se compararon los resultados obtenidos en ambas temporadas (seca y húmeda), con el fin de entender cómo las estaciones del año influyen en la generación de residuos de papel y cartón, facilitando así la propuesta de estrategias para un mejor aprovechamiento de estos residuos.

Las propuestas también se desarrollaron a partir de la experiencia obtenida en el trabajo de campo, que ofreció una visión tanto de la sociedad como de los trabajadores de los camiones recolectores de residuos. Asimismo, se tomó como referencia el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, para tener una visión más amplia y saber cómo se podrían mejorar, las propuestas planeadas en este.

5 Resultados

La generación per cápita, el peso volumétrico y la composición de los RSU son parámetros esenciales para determinar y dimensionar las instalaciones y equipos necesarios para una gestión adecuada. Estos aspectos son cruciales para la implementación o mejora de equipos de recolección, estaciones de transferencia, sistemas de aprovechamiento y sitios de disposición final. La evaluación de estos aspectos es fundamental para el diseño y la formulación efectiva de políticas públicas en materia de gestión de residuos (SEMARNAT, 2020). A continuación se presentan los resultados de esta investigación.

5.1 Muestreo domiciliario

Durante el muestreo domiciliario, la aplicación de encuestas y la recolección de residuos, los residentes de las colonias pertenecientes al estrato medio y bajo demostraron una buena participación. Algunas viviendas se adaptaron a la recolección diaria de residuos, mientras que otras enfrentaron dificultades para proporcionar los residuos generados en un solo día debido a su costumbre de acumularlos y desecharlos en conjunto.

En la colonia del estrato medio perteneciente a la alcaldía Iztacalco, la frecuencia de recolección era diaria, lo que facilitaba el desecho de los residuos al finalizar el pesaje. En contraste, en la colonia del estrato bajo perteneciente a la alcaldía Tlalpan, la frecuencia de recolección era de una a dos veces por semana, y no había un horario fijo para el paso del camión recolector de residuos. Esta situación complicó el proceso de desecho de los residuos al finalizar el pesaje y también influyó en la entrega de residuos por parte de los participantes, quienes preferían entregar los residuos acumulados de varios días en lugar de los generados diariamente.

Además, los recolectores no aceptaban la entrega de residuos orgánicos e inorgánicos en una sola bolsa. Por lo tanto, era necesario separar los residuos antes de entregarlos al camión. Debido a lo anterior, los habitantes de esta colonia generalmente entregaban sus residuos ya separados en estas dos categorías.

En la Tabla 10 se presenta un resumen del número de viviendas a las que se les aplicó la encuesta, así como el número de viviendas que entregaron sus residuos en un intervalo de cinco a siete días, junto con la cantidad total de residuos generados.

Tabla 10. Participación de casas en las alcaldías Iztacalco y Tlalpan, temporada húmeda

Estrato	Alcaldía	Colonia	Número de casas a las que se les aplicó encuesta	Número de casas que entregaron sus residuos en un intervalo de 5 a 7 días	Generación total de residuos (kg)
Medio	Iztacalco	Agrícola Oriental	29	19	247.200
Bajo	Tlalpan	Popular Santa Teresa	32	25	354.599

La colonia con mayor participación corresponde al estrato bajo; sin embargo, en el estrato medio, se observó un mayor interés por el proyecto en comparación con el estrato bajo, donde la participación parecía estar motivada más por interés propio de las personas. La tabla anterior también indica que la generación total de residuos es mayor en la alcaldía con el nivel más alto de participación en la entrega de los mismos.

5.2 Generación per cápita

La generación per cápita es un indicador utilizado para estimar la cantidad de residuos generados por persona en las localidades. En la Tabla 11 se presenta el promedio de la generación per cápita, así como la desviación estándar, la mediana, el valor máximo, el valor mínimo y la varianza.

Para calcular la generación per cápita, se consideró un período de siete días sólo para aquellas viviendas que entregaron sus residuos en un intervalo de cinco a siete días (ver Anexo 1), las viviendas que entregaron sus residuos en un periodo menor a cinco días no fueron consideradas. Al ajustar el cálculo a este periodo, se observó una disminución en el valor de la generación. La decisión de adoptar esta suposición se basó en el hecho de que, en ciertos días, los residentes entregaban residuos acumulados lo cual se veía reflejado en la masa de los residuos y en ocasiones ellos mismos lo hacían saber cuándo entregaban su bolsa con los residuos.

Tabla 11. Variables estadísticas de la generación per cápita de residuos en las alcaldías Iztacalco y Tlalpan, temporada húmeda

Estrato y Alcaldía	Promedio de generación Per Cápita (kg/hab/día)	Desviación Estándar	Mediana	Máximo	Mínimo	Varianza (%)
Medio, Iztacalco	0.445	0.283	0.381	1.186	0.084	63.505
Bajo, Tlalpan	0.426	0.211	0.368	1.047	0.111	49.423

Como se detalla en la Tabla 11, la tasa de generación de residuos en el estrato bajo es inferior a la del estrato medio. El promedio de generación de residuos per cápita en ambos estratos oscila entre 0.426 y 0.445 kg/hab/día, esta cifra resulta menor en comparación con el valor reportado en el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, que es de 0.695 kg/hab/día para poblaciones de más de 100 mil habitantes (SEDEMA, 2022).

Asimismo, al comparar estos datos con la generación nacional reportada en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, que indica una generación per cápita de residuos domiciliarios de 0.653 kg/hab/día, se confirma que los valores obtenidos en este estudio también son inferiores a los promedios nacionales.

Estos hallazgos subrayan la importancia de llevar a cabo este tipo de estudios, que ayuden a obtener resultados precisos y coherentes que reflejen de manera precisa la realidad sobre la generación de residuos.

5.3 Caracterización de subproductos

En la Tabla 12 se muestra la composición de los residuos generados en cada estrato durante la temporada húmeda. Al comparar los porcentajes de los diferentes tipos de residuos en los tres estratos, se observa que los residuos orgánicos predominan, seguidos por el plástico y por el papel y cartón. En términos de generación de papel y cartón, el estrato alto presenta una proporción de 9.484 %, el estrato medio un 7.729 %, y en el estrato bajo un 12.154 %, siendo este último el que presenta un mayor porcentaje.

Tabla 12. Composición de los residuos domiciliarios del estrato alto, medio y bajo

Categoría	Subproductos	Estrato socioeconómico					
		Alto		Medio		Bajo	
		Masa (kg)	Proporción (%)	Masa (kg)	Proporción (%)	Masa (kg)	Proporción (%)
Orgánicos	Alimentos no evitables	14.535	21.176	18.350	31.376	10.800	19.88
Orgánicos	Pan, tortilla y cereales	2.620	3.817	4.000	6.839	1.705	3.140
Orgánicos	Proteínas (carne y lácteos)	2.250	3.278	0.725	1.240	0.835	1.538
Orgánicos	Frutas y verduras	4.650	6.774	3.050	5.215	3.830	7.053
Orgánicos	Alimentos empacados	1.735	2.528	1.545	2.642	0.000	0.000
Orgánicos	Residuos de poda y jardinería	4.870	7.095	0.820	1.402	1.580	2.909
Orgánicos	Cabello	0.075	0.109	0.045	0.077	0.065	0.120
Orgánicos	Heces de animales	2.695	3.926	0.485	0.829	0.055	0.101
Orgánicos	Madera	0.035	0.051	0.080	0.137	0.285	0.525
Orgánicos	Papel higiénico y servilletas	5.275	7.685	5.000	8.549	5.600	10.312
Orgánicos	Piel, hueso y paja (no alimentos)	0.230	0.335	0.000	0.000	0.000	0.000
Orgánicos	Otros orgánicos	1.315	1.916	0.000	0.000	0.000	0.000
Orgánicos	Otros alimentos	0.000	0.000	0.365	0.624	0.000	0.000
Plásticos	Plásticos	9.320	13.578	8.255	14.115	9.200	16.941
Papel y Cartón	Papel y Cartón	6.510	9.484	4.520	7.729	6.600	12.154
Textiles	Textiles	1.115	1.624	0.875	1.496	1.335	2.458
Metales	Acero inoxidable	0.020	0.029	0.165	0.282	0.045	0.083
Metales	Aluminio (no latas)	0.125	0.182	0.085	0.145	0.125	0.230
Metales	Latas de aluminio	0.115	0.168	0.095	0.162	0.115	0.212
Metales	Otras latas	0.675	0.983	0.910	1.556	0.125	0.230
Metales	Ferrosos	0.245	0.357	0.070	0.120	0.035	0.064
Vidrios	Envase de color	2.410	3.511	0.000	0.000	0.440	0.810
Vidrios	Envase transparente	2.095	3.052	1.870	3.197	0.000	0.000
Vidrios	Vidrio plano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.290	0.534
Vidrios	Cerámica y loza	0.515	0.750	0.000	0.000	1.170	2.154
Sanitarios	Pañales de bebé	0.425	0.619	2.960	5.061	3.400	6.261
Sanitarios	Pañales de adulto	0.870	1.267	0.200	0.342	0.945	1.740

Tabla 12. Composición de los residuos domiciliarios del estrato alto medio y bajo. Continuación

Categoría	Subproductos	Estrato socioeconómico					
		Alto		Medio		Bajo	
		Masa (kg)	Proporción (%)	Masa (kg)	Proporción (%)	Masa (kg)	Proporción (%)
Sanitarios	Toallas sanitarias	0.140	0.204	0.380	0.650	0.170	0.313
Sanitarios	Toallas húmedas	0.030	0.044	0.110	0.188	0.065	0.120
Otros	Potencialment e peligrosos	1.085	1.581	0.465	0.795	3.800	6.998
Otros	Electrónicos	0.210	0.306	0.130	0.222	0.135	0.249
Otros	Cera	0.000	0.000	0.140	0.239	0.000	0.000
Otros	Pilas	0.010	0.015	0.035	0.060	0.000	0.000
Otros	Colillas de cigarro	0.045	0.066	0.010	0.017	0.020	0.037
Otros	Residuos de construcción y demolición	0.090	0.131	0.064	0.109	0.000	0.000
Otros	Finos	0.905	1.318	0.440	0.752	0.580	1.068
Otros	Alimentos Mezclados	0.000	0.000	1.515	2.590	0.636	1.169
Otros	Arena de gato	1.180	1.719	0.000	0.000	0.000	0.000
Otros	Cotonetes y algodón	0.030	0.044	0.030	0.051	0.025	0.046
Otros	Otros residuos	0.155	0.226	0.325	0.556	0.000	0.000
Otros	Cubrebocas	0.035	0.051	0.030	0.051	0.020	0.037
Otros	Líquidos	0.000	0.000	0.285	0.487	0.215	0.396
Otros	Maquillaje	0.000	0.000	0.055	0.094	0.000	0.000
	Total	68.640	100.000	58.484	100.000	54.305	100.000

Al comparar la generación de residuos entre las dos temporadas y los tres estratos socioeconómicos, se determinó que, en ambas temporadas, los residuos de papel y cartón se encuentran entre los tres tipos de residuos más generados en los hogares. La masa de estos residuos aumentó en los estratos alto y bajo en comparación con la temporada seca. Este incremento podría estar relacionado con el periodo en el que se llevó a cabo el estudio. Al realizarse durante la temporada húmeda, los residuos de papel y cartón absorben humedad lo que se ve reflejado en el aumento de su masa (ver Figura 14).

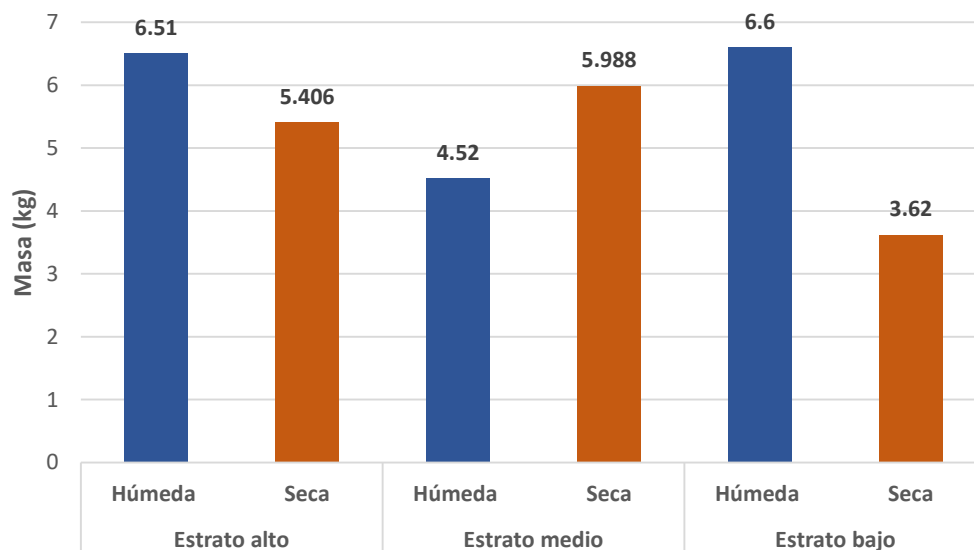


Figura 14. Masa de residuos de papel y cartón generados durante las dos temporadas

5.4 Peso volumétrico

En relación con el peso volumétrico, la Tabla 13 muestra que los estratos bajo y medio presentaron valores superiores al estrato alto. Este fenómeno puede atribuirse al mayor contenido de materia orgánica en los primeros estratos, lo cual incrementa el peso volumétrico debido a la humedad que retienen los residuos orgánicos. Además, la temporada en que se llevó a cabo el estudio pudo haber influido en el aumento de la masa de los residuos, ya que estos tienden a absorber más agua, aumentando así su peso. Por otro lado, al comparar los resultados obtenidos con los valores reportados en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, que establece un peso volumétrico de 145.24 kg/m^3 , se observa que los resultados de este estudio son inferiores.

Tabla 13. Peso volumétrico de los residuos generados en los tres estratos

Estrato	Peso volumétrico (kg/m^3)
Alto	105.063
Medio	124.329
Bajo	130.713

5.5 Clasificación de residuos papel y cartón

La comprensión de la composición de los residuos se emplea principalmente para identificar los subproductos o fracciones que pueden ser reutilizados o valorizados, así como para establecer los sistemas más adecuados para su manejo (SEMARNAT, 2020).

En la Tabla 14 se presenta el porcentaje y la masa obtenida al clasificar las 14 categorías de papel y cartón propuestas en la metodología. La clasificación secundaria de papel y cartón reveló los siguientes resultados: para el estrato alto se obtuvo una masa de 6.362 kg, para el estrato medio de 3.825 kg y para el estrato bajo de 5.835 kg.

La masa total obtenida en la clasificación secundaria difiere de la obtenida en la clasificación primaria. Esta diferencia se debe a que, durante la clasificación secundaria, una proporción de los residuos ya había sido utilizada para realizar los análisis físico-químicos. Además, la clasificación secundaria se llevó a cabo varios días después del cuarteo inicial, lo que pudo haber causado una pérdida de humedad y, en consecuencia, una reducción en la masa de los residuos.

A pesar de que estos factores pudieron haber influido en la variación de la masa, los resultados obtenidos siguen demostrando que los estratos con mayor generación de residuos de papel y cartón en esta temporada fueron el alto y el bajo.

Por lo tanto, la clasificación secundaria confirma las tendencias observadas en la clasificación primaria, manteniendo la validez de las conclusiones sobre la generación de residuos en los diferentes estratos.

De igual forma, en la Tabla 14 se pueden observar las categorías de papel y cartón más generadas en los tres estratos analizados. Los datos revelan que el cartón corrugado (24.372 %), el cartón liso (19.726 %), el Tetrapak (14.705 %), el papel bond (12.970 %) y el papel estraza (13.716 %) son las categorías con mayor generación. Según la norma NADF-024-AMBT-2013 (SEDEMA, 2015), estos materiales tienen un alto potencial de reciclaje, siempre y cuando se encuentren limpios y libres de contaminantes (aceites, pinturas, residuos orgánicos, entre otros). Fomentar una correcta separación en la fuente no solo puede mejorar significativamente las tasas de reciclaje, sino que también contribuye a la conservación de recursos y a la reducción de desechos en los vertederos.

Tabla 14. Proporción en masa y porcentaje de los residuos de papel y cartón generados en la temporada húmeda

Categorías		Estrato socioeconómico					
		Alto		Medio		Bajo	
Cartón y papel		Masa (kg)	Proporción (%)	Masa (kg)	Proporción (%)	Masa (kg)	Proporción (%)
1	Cartón corrugado	0.946	14.870	0.245	6.405	3.025	51.842
2	Cartón liso	1.124	17.667	0.965	25.229	0.950	16.281
3	Cartón de huevo	0.212	3.332	0.000	0.000	0.025	0.428
4	Cartulina	0.160	2.515	0.000	0.000	0.000	0.000
5	Tetrapak	1.054	16.567	0.680	17.778	0.570	9.769
6	Rollos de papel higiénico	0.238	3.741	0.200	5.229	0.220	3.770
7	Bolsas de té, Azúcar	0.010	0.157	0.015	0.392	0.015	0.257
8	Papel bond	1.180	18.548	0.615	16.078	0.250	4.284
9	Papel plastificado	0.044	0.692	0.055	1.438	0.035	0.600
10	Papel tipo revista	0.520	8.174	0.030	0.784	0.025	0.428
11	Papel estraza	0.758	11.914	0.715	18.693	0.615	10.540
12	Papel tipo periódico	0.074	1.163	0.245	6.405	0.070	1.200
13	Papel encerado	0.018	0.283	0.060	1.569	0.030	0.514
14	Papel metalizado	0.024	0.377	0.000	0.000	0.005	0.086
Total		6.362	100.000	3.825	100.000	5.835	100.000

Por otra parte, la Tabla 15 presenta la masa obtenida en ambas temporadas para cada estrato. Los datos valores indican que, en la temporada húmeda, la generación de residuos fue mayor en los estratos alto y bajo, en comparación con la temporada seca, en la que se observó una mayor generación en los estratos medio y alto. Al comparar las generaciones de residuos entre temporadas, se observa que la diferencia en el estrato alto no es significativa. En contraste, en el estrato medio, la generación de residuos disminuyó durante la temporada húmeda, mientras que en el estrato bajo se registró un aumento en la masa de papel y cartón.

Tabla 15. Comparación de la masa de residuos de papel y cartón generados en ambas temporadas

Categorías		Temporada					
		Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
		Estrato Socioeconómico					
		Alto		Medio		Bajo	
Cartón y papel		Masa (kg)					
1	Cartón corrugado	0.946	1.959	0.245	1.772	3.025	0.658
2	Cartón liso	1.124	1.161	0.965	1.213	0.950	0.795
3	Cartón de huevo	0.212	0.097	0.000	0.194	0.025	0.000
4	Cartulina	0.160	0.028	0.000	0.041	0.000	0.000
5	Tetrapak	1.054	0.637	0.680	1.019	0.570	0.609
6	Rollos de papel higiénico	0.238	0.245	0.200	0.153	0.220	0.124
7	Bolsas de té, Azúcar	0.010	0.011	0.015	0.018	0.015	0.006
8	Papel bond	1.180	0.524	0.615	0.542	0.250	0.366
9	Papel plastificado	0.044	0.108	0.055	0.035	0.035	0.006
10	Papel tipo revista	0.520	0.288	0.030	0.341	0.025	0.354
11	Papel estraza	0.758	0.330	0.715	0.483	0.615	0.354
12	Papel tipo periódico	0.074	0.028	0.245	0.065	0.070	0.304
13	Papel encerado	0.018	0.046	0.060	0.112	0.030	0.037
14	Papel metalizado	0.024	0.046	0.000	0.112	0.005	0.006
	Total	6.362	5.406	3.825	5.988	5.835	3.620

A continuación, la Tabla 16 presenta las categorías de residuos de papel y cartón encontradas en cada estrato.

Tabla 16. Clasificación de los residuos de papel y cartón según los estratos alto, medio y bajo, temporada húmeda

Estrato alto	Estrato medio	Estrato bajo
 Cartón corrugado	 Cartón corrugado	 Cartón corrugado
 Cartón liso	 Cartón liso	 Cartón liso
 Cartón de huevo	No se encontro	 Cartón de huevo

Tabla 16. Clasificación de los residuos de papel y cartón según los estratos alto, medio y bajo, temporada húmeda. Continuación

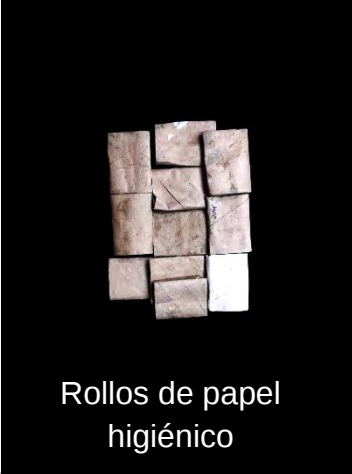
Estrato Alto	Estrato Medio	Estrato Bajo
 Tetrapak	 Tetrapak	 Tetrapak
 Rollos de papel higiénico	 Rollos de papel higiénico	 Rollos de papel higiénico
 Bolsas de té y azúcar	 Bolsas de té y azúcar	 Bolsas de té y azúcar

Tabla 16. Clasificación de los residuos de papel y cartón según los estratos alto, medio y bajo, temporada húmeda. Continuación

Estrato Alto	Estrato Medio	Estrato Bajo
		
Papel bond	Papel bond	Papel bond
		
Papel plastificado	Papel plastificado	Papel plastificado
		
Papel tipo revista	Papel tipo revista	Papel tipo revista

Tabla 16. Clasificación de los residuos de papel y cartón según los estratos alto, medio y bajo, temporada húmeda. Continuación

Estrato Alto	Estrato Medio	Estrato Bajo
 Papel estraza	 Papel estraza	 Papel estraza
 Papel tipo periódico	 Papel tipo periódico	 Papel tipo periódico
 Papel encerado	 Papel encerado	 Papel encerado

Tabla 16. Clasificación de los residuos de papel y cartón según los estratos alto, medio y bajo, temporada húmeda. Continuación

Estrato Alto	Estrato medio	Estrato Bajo
 Papel tipo cartulina	No se encontró	No se encontró
 Papel metalizado	No se encontró	 Papel metalizado

Al realizar la clasificación secundaria la generación de algunos residuos no se encontró en todos los estratos.

5.5.1 Porcentaje de humedad

En la Tabla 17 se muestra la masa inicial utilizada para calcular el porcentaje de humedad, así como la masa final obtenida después del proceso de secado. Es importante destacar que los resultados presentados corresponden al promedio de las mediciones realizadas en cada categoría, las cuales se llevaron a cabo por triplicado.

Tabla 17. Datos para la determinación de humedad contenida en los tres estratos

Categorías		Estrato Alto		Estrato Medio		Estrato Bajo	
Cartón y papel		Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)
1	Cartón corrugado	0.1582	0.1524	0.2228	0.1857	0.3314	0.2181
2	Cartón liso	0.1866	0.1757	0.5781	0.4713	0.5865	0.4685
3	Cartón de huevo	0.1222	0.1139	0.0000	0.0000	0.3801	0.3389
4	Cartulina	0.1102	0.1036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Tetrapak	0.1757	0.1519	0.4680	0.3865	0.3888	0.3525
6	Rollos de papel higiénico	0.1037	0.0986	0.3320	0.3095	0.3770	0.3171
7	Bolsas de té y azúcar	0.1057	0.0971	0.1020	0.0955	0.4302	0.3411
8	Papel bond	0.1032	0.1000	0.5439	0.4282	0.6668	0.4816
9	Papel plastificado	0.1045	0.1018	0.4066	0.3948	0.2451	0.1949
10	Papel tipo revista	0.1103	0.1072	0.2480	0.2023	0.5403	0.4461
11	Papel estraza	0.1268	0.1166	0.3040	0.2914	0.4307	0.3741
12	Papel tipo periódico	0.1156	0.0829	0.2229	0.1972	0.2902	0.2157
13	Papel encerado	0.1123	0.0979	0.1890	0.1681	0.3933	0.3009
14	Papel metalizado	0.1009	0.0882	0.0000	0.0000	0.1526	0.1221

Los resultados obtenidos de porcentaje de humedad se presentan en la Tabla 18, donde se observa que los residuos de papel y cartón presentan un alto contenido de humedad. Este fenómeno ocurre debido a su estructura porosa y su naturaleza higroscópica, mediante la cual tienden a absorber humedad de su entorno (RIADICYP, 2008).

Entre los residuos que presentaron un alto contenido de humedad se encuentran el cartón corrugado, el papel bond y el papel tipo periódico. Esta capacidad de absorción se debe a las propiedades de los materiales que los componen. El cartón corrugado, por ejemplo, está fabricado a partir de papeles ondulados, reforzado

externamente por dos capas de papeles liner para las tapas y tres para las bases, y estos a su vez fabricados principalmente a partir de celulosa, un compuesto naturalmente higroscópico (Plata, 2021). Por esta razón, cuando estos residuos son desechados y están expuestos a la humedad, pueden absorber fácilmente el agua del entorno. De manera similar el papel bond y el papel periódico también se elaboran a partir de pulpa de celulosa, que puede provenir de diversas fuentes, como madera, algodón, lino o bambú.

Tabla 18. Porcentaje de humedad del papel y cartón obtenido en los tres estratos, temporada húmeda

Categorías		Estrato alto	Estrato medio	Estrato bajo	Promedio de humedad (%)
1	Cartón corrugado	3.623	16.654	33.766	18.010
2	Cartón liso	5.842	17.034	20.121	14.330
3	Cartón de huevo	6.793	0.000	10.837	8.815
4	Cartulina	6.017	0.000	0.000	2.006
5	Tetrapak	13.560	17.417	9.327	13.435
6	Rollos de papel higiénico	4.918	7.777	15.897	9.531
7	Bolsas de té, Azúcar	8.138	6.373	20.725	11.745
8	Papel bond	3.037	21.272	27.767	17.359
9	Papel plastificado	2.522	2.886	20.493	8.633
10	Papel tipo revista	2.812	18.427	17.441	12.893
11	Papel estraza	8.042	4.155	13.148	8.448
12	Papel tipo periódico	28.315	11.558	25.653	21.842
13	Papel encerado	12.812	11.040	23.492	15.781
14	Papel metalizado	12.618	0.000	19.996	10.871

Al comparar los valores obtenidos en ambas temporadas (seca y húmeda), como se muestra en la Figura 15, se observa un aumento notable en el porcentaje de humedad durante la temporada húmeda en comparación con la temporada seca. Estos resultados son consistentes con las condiciones climáticas propias de cada temporada, ya que, durante la temporada húmeda, existe una mayor probabilidad de que los residuos absorban agua, incrementando así su humedad.

Del mismo modo, la humedad de los residuos de papel y cartón puede aumentar al estar en contacto con residuos orgánicos, que suelen contener un nivel de humedad alto. Esto resalta la importancia de separar los residuos desde la fuente para facilitar su aprovechamiento y evitar disminuir su valor.

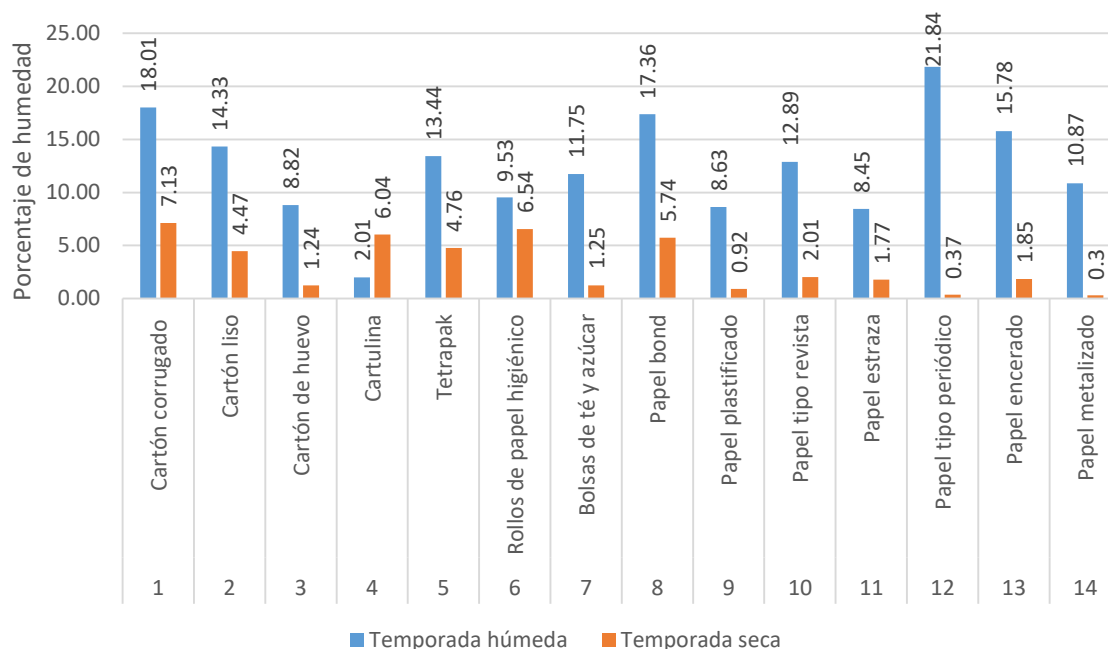


Figura 15. Comparación del porcentaje de humedad obtenido en temporada seca y húmeda

5.6 Propuestas para la mejora en el manejo de papel y cartón

Al realizar el trabajo de campo, se identificaron varios aspectos clave que, si se gestionan adecuadamente, podrían mejorar significativamente el aprovechamiento de los residuos de papel y cartón generados desde su origen.

5.6.1 Educación ambiental y actualización de información

Para mejorar el manejo de residuos, es crucial que las personas comprendan la importancia de una correcta separación y cómo realizarla efectivamente. Esto implica proporcionar información clara sobre por qué los residuos no deben mezclarse, cómo deben ser clasificados, los tipos de aprovechamiento, y como el manejo inadecuado puede afectar al ambiente, a la sociedad y a la economía.

En la Ciudad de México, se han implementado programas, políticas y campañas ambientales que ofrecen alternativas viables para una adecuada disposición de los residuos. Aunque el Inventario de Residuos de la Ciudad de México proporciona esta información (SEDEMA, 2022), es fundamental mantenerla actualizada y asegurar su difusión para que los ciudadanos sepan a dónde llevar sus residuos.

Este aspecto es crucial, ya que durante las encuestas, se observó que algunas personas no comprendían por qué los camiones de recolección no se llevaban sus residuos voluminosos y mezclaban residuos peligrosos con los comunes. Esta falta

de comprensión subraya la necesidad de una mejor educación y comunicación sobre la correcta separación y disposición de los residuos.

Para abordar estos desafíos, es importante:

- Educar y concientizar. Esto implica implementar campañas educativas continuas sobre la correcta separación de residuos y sus beneficios. Es fundamental proporcionar guías y manuales claros sobre cómo clasificar los residuos, que materiales van en cada tipo de contenedor y porque es importante separarlos. Para lograr una mayor difusión, se sugiere utilizar medios de comunicación, talleres y charlas comunitarias, ya que estos métodos permiten alcanzar a un mayor número de personas y fomentar la interacción directa.
- Información accesible. Asegurar que la información y la ubicación de los centros de acopio, plantas de selección, estaciones de transferencia y plantas de composta, estén fácilmente disponibles y actualizadas en sitios web, aplicaciones móviles y puntos de información comunitarios. Esto permitirá a los ciudadanos acceder a la información necesaria sobre donde llevar sus residuos reciclables. Un ejemplo destacado es Ecolana, una plataforma que utiliza un mapa para mostrar los centros de acopio más cercanos donde se pueden intercambiar residuos reciclables por dinero. En esta plataforma, los usuarios pueden comprobar qué materiales son aceptados en cada centro, incluyendo bolsas de plástico, cartón y diferentes tipos de envases. La compensación a los recicladores se basa en el tipo de material y la cantidad que se entrega.

Se realizó una búsqueda para las alcaldías de Iztacalco y Tlalpan. En la colonia Agrícola Oriental, ubicada en Iztacalco, se identificaron alrededor de ocho centros de reciclaje que aceptan papel y cartón (ver Figura 16). Por otra parte, en la alcaldía de Tlalpan no se encontraron centros de reciclaje cercanos.

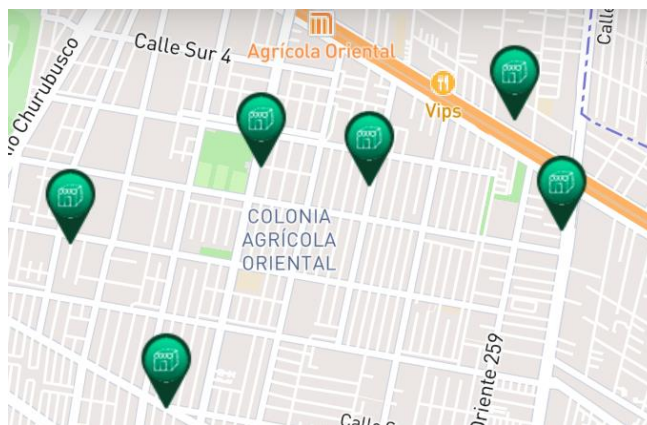


Figura 16. Mapa de los centros de acopio cercanos a la colonia Agrícola Oriental (Ecolana, 2024)

Los centros de Iztacalco reciben los siguientes tipos de papel y cartón: cartón, periódico, revistas y papel mixto. Su horario de atención es de lunes a viernes de 09:00 a 18:30 h y sábado 09:00 a 15:00 h (Figura 17).

El Güero (Sur 24)

Dirección y Teléfono

Sur 24 254 , Agrícola Oriental,
08500, Iztacalco, Ciudad
de México

Horario de servicio

Lunes a Viernes 9:00 - 18:30 y Sábado
9:00 - 15:00

Residuos que reciben:

Aluminio	Tapitas	Cartón	Periódico	Revistas	
Chatarra	Lata	PET	HDPE	Playo	Caple
Papel mixto	Bronce	Cobre	LDPE	Magnesio	
Monedas Viejas	Niquel	Plomo	Antimonio		
Acero Inoxidable	Polipropileno (Plástico #5)				

Beneficios

Figura 17. Tipos de papel y cartón aceptados en el centro de acopio de la colonia Agrícola Oriental y su horario de atención (Ecolana, 2024)

- Capacitación continua. Ofrecer programas de capacitación continua para mantener a los ciudadanos y trabajadores de recolección informados sobre nuevas normativas y mejores prácticas en la separación de residuos.

5.6.2 Separación en la fuente

Conocer el cómo y por qué se deben separar los residuos, así como la importancia de hacerlo, permite a las personas implementar esta práctica desde sus hogares. La separación en la fuente no solo facilita el manejo de los residuos, sino que

también asegura que materiales, reciclables como el papel y cartón, mantengan su valor y sean procesados de manera más eficiente.

Sin embargo, para que esta separación sea efectiva, es crucial que el sistema de recolección también esté bien diseñado, considerando las necesidades de la comunidad:

- Mejora de los servicios de recolección. Establecer un sistema de recolección que facilite la disposición de residuos inorgánicos con potencial de aprovechamiento y orgánicos. Esto incluye la definición de horarios, rutas, una mejor capacidad de los camiones y la comunicación clara de esta información a los ciudadanos para asegurar que sepan cuándo y cómo disponer de sus residuos.
- Recolección de otros tipos de residuos. Implementar servicios específicos para la recolección de residuos de manejo especial y peligrosos, con fechas y ubicaciones programadas. Esto ayudará a asegurar que los residuos sean manejados de forma segura y adecuada.

Estos puntos son fundamentales porque, al interactuar con la comunidad durante el proyecto, se observó que en algunas alcaldías las personas enfrentan dificultades para disponer sus residuos. En algunos casos, los camiones de recolección solo pasan ciertos días de la semana y sin horarios específicos, lo que puede generar inconvenientes. Además, en algunas alcaldías los ciudadanos no cuentan con centros de acopio cercanos donde puedan llevar sus residuos reciclables. Este es el caso de Tlalpan, donde la plataforma de Ecolana no muestra resultados de centros disponibles (Ver Figura 18). Aunque esta herramienta es útil, es importante mencionar que no en todos los centros de acopio aceptan residuos de papel y cartón.

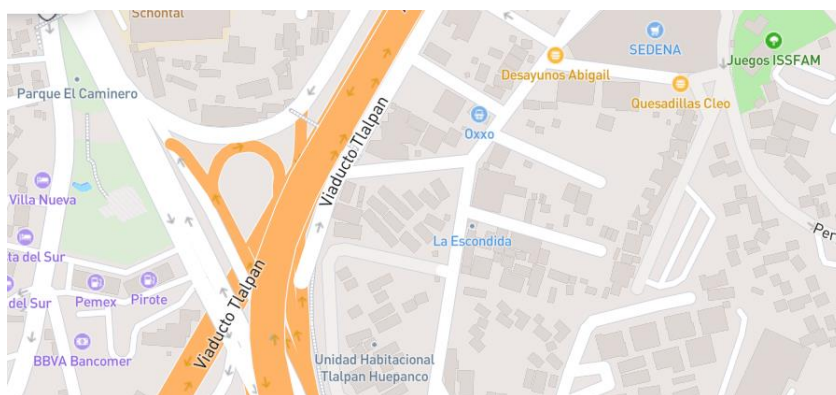


Figura 18. Mapa que muestra que no se encuentran centros de acopio en la Alcaldía de Tlalpan (Ecolana, 2024)

Implementar mejoras en los servicios de recolección y facilitar el acceso a centros de acopio contribuirá significativamente a una gestión de residuos más eficiente y efectiva, apoyando el esfuerzo de separación desde la fuente y promoviendo una mayor participación de la comunidad.

5.6.3 Monitoreo de los programas implementados en la CDMX

Uno de los programas implementados en la ciudad de México es el programa de basura cero, el objetivo de este programa es reducir la cantidad de residuos en la CDMX y mejorar su separación.

Para garantizar el éxito de los programas implementados en CDMX, es crucial que se lleven a cabo de manera efectiva.

- Evaluación y adaptación. Evaluar la eficiencia de los programas existentes y adaptarlos según las necesidades cambiantes de la ciudadanía. Este enfoque garantiza que el programa mantenga su efectividad a largo plazo, permitiendo realizar ajustes que respondan a los desafíos en la gestión de residuos

La propuesta de este punto surge a partir del trabajo de campo, en el cual se observó que en algunas alcaldías los camiones recolectores de basura no aceptaban los residuos a menos que estuvieran separados en orgánicos e inorgánicos. Esta medida obligaba a los ciudadanos a clasificar sus desechos, lo que demuestra que la implementación efectiva de programas de separación de residuos puede generar avances significativos en la gestión residuos y mejorar la eficiencia del reciclaje y tratamiento.

La obligación de separar los residuos fomenta una mayor conciencia y responsabilidad entre los residentes, facilitando así un manejo más eficiente y sostenible de los residuos. Además, un programa bien ejecutado no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también mejora la efectividad general del sistema de gestión de los mismos, al facilitar una clasificación adecuada y optimizar los procesos de reciclaje y disposición final.

Conclusiones

Los resultados de la cuantificación y clasificación de los diferentes tipos de papel y cartón presentes en los RSU domiciliarios de la CDMX durante la temporada húmeda evidencia que este tipo de residuos constituyen una proporción significativa de los residuos generados en la ciudad. Los porcentajes de papel y cartón encontrados fueron del 9.498 % estrato alto, 7.729 % en el medio y 12.159 % en el bajo.

Se puede deducir que el aumento de masa de estos residuos en esta temporada, se debe en gran parte, a la capacidad de estos materiales para absorber humedad. En comparación con la temporada seca, se observó un incremento de masa en la generación de estos residuos en el estrato bajo. Esto puede explicarse a que la mayoría de los participantes en este estrato depositaban sus residuos en costales, a diferencia de los habitantes del estrato alto que la mayoría utilizaba botes para depositar sus residuos. La diferencia en el tipo de contenedor probablemente influyó en la facilidad con la que los residuos se mojaban.

Por otra parte, el estrato alto sigue siendo uno de los principales generadores de papel y cartón en ambas temporadas. Este fenómeno podría estar relacionado con el mayor poder adquisitivo de las personas en este estrato, lo que se traduce en un mayor consumo y, por ende, en una mayor generación de residuos de estos materiales.

Al identificar los tipos de papel y cartón con potencial de valorización en los RSU, se determinó que los más generados son: cartón corrugado, cartón liso, Tetrapak, papel bond, papel periódico. Según la normativa NADF-024-AMBT-2013, pertenecen al grupo de los residuos inorgánicos con potencial de reciclaje. Los cuales pueden tener un buen aprovechamiento, siempre y cuando no se mezclen con otro tipo de residuos como servilletas, orgánicos, papel sanitario, entre otros.

Además, al comparar los distintos tipos de papel y cartón generados en ambas temporadas, se observó que los residuos más predominantes son el cartón corrugado, el cartón liso, el Tetrapak y el papel bond.

Los resultados obtenidos y la experiencia adquirida durante el trabajo de campo han permitido la formulación de estrategias destinadas a mejorar la gestión de residuos.

Referencias

- (RIADICYP), R. I. D. D. E. I. E. C. Y. P. (2008). *PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL EN IBEROAMÉRICA 2008 Red.*
- Acurio, G., Rossin, A., Paulo, T., & Francisco, Z. (2014). Diagnostico de la situación del menjo de residuos sólidos municipales en America Latina y el Caribe. *Croquis*, 2(34), 130.
- Aguilar, N. (2004). El Reciclado de Papel y Cartón. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 11(053), 54–56. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29405308.pdf>
- Camara del papel. (2021). *Huella de carbono de la industria de la celulosa y del papel en México*. 24. <https://camaradelpapel.com.mx/pdf/EHC-sumario5.pdf>
- Camara Nacional de la Industria de la Celulosa y del Papel. (2012). *Plan de manejo para los residuos de papel y cartón en México 2012*.
- Ecolana. (2024). *ecolana*. <https://ecolana.com.mx/>
- Ecolona. (2024). *Mapa*. <https://ecolana.com.mx/mapa>
- Farzadkia, M., Mahvi, A. H., Norouzian Baghani, A., Sorooshian, A., Delikhoon, M., Sheikhi, R., & Ashournejad, Q. (2021). Municipal solid waste recycling: Impacts on energy savings and air pollution. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 71(6), 737–753. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.1883770>
- Feo, G. De, Argenio, F. D., Ferrara, C., & Grosso, A. (2021). A procedure to assess the environmental , social and economic bene fi ts wasted in the paper and cardboard fraction of the unsorted residual waste. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126566. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126566>
- Group, W. B. (2018). *What a Waste 2.0. A Global Snapshot of solid Waste Management to 2050* (Issue 112).
- Ibikunle, R. A., Titiladunayo, I. F., Dahunsi, S. O., Akeju, E. A., & Osueke, C. O. (2021). Characterization and projection of dry season municipal solid waste for energy production in Ilorin metropolis, Nigeria. *Waste Management and Research*, 39(8), 1048–1057. <https://doi.org/10.1177/0734242X20985599>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021a). Aspectos Geográficos. In *Physical Review A* (Vol. 60, Issue 5).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021b). Censo de Población y Vivienda 2020. *INEGI Informa*, 1. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Jimenez Cruz, E. L. (2024). “Análisis de la presencia de papel y cartón en los residuos domiciliarios de la Ciudad de México.” Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
- López Sepúlveda, C. A. (2020). Tipos de reciclaje y separación en la fuente, como métodos para disminuir el porcentaje de materiales aprovechables que llegan al relleno sanitario doña Juana en la ciudad de Bogotá. *Electoral Governance*

- Jurnal Tata Kelola Pemilu Indonesia*, 12(2), 6.
<https://talenta.usu.ac.id/politeia/article/view/3955>
- ONU - Organización de las Naciones Unidas. (2021). Waste Wise Cities Tool (WaCT). *Step by Step Guide to Assess a City's Municipal Solid Waste Management Performance through SDG Indicator 11.6.1 Monitoring*, 78.
<https://unhabitat.org/wwc-tool>
- Pathak, D. R., Mainali, B., Abo, H., Naga, E., Angove, M., & Kong, I. (2020). *Quantification and characterization of the municipal solid waste for sustainable waste management in newly formed municipalities of Nepal*.
<https://doi.org/10.1177/0734242X20922588>
- Pérez, G. B. (2009). *La basura sin rienda*.
<https://www.jornada.com.mx/2009/06/01/eco-c.html>
- Pham Phu, S. T., Fujiwara, T., Akasaki, N., Le, D. C., Giang, H. M., & van Dinh, P. (2021). Analyzing the characterization of municipal solid waste in Da Nang City, Vietnam. *Chemical Engineering Transactions*, 83, 241–246.
<https://doi.org/10.3303/CET2183041>
- Plata, O. L. (2021). *Evaluación de los efectos de la humedad sobre la resistencia de las cajas de cartón ondulado de Corrugados del Darién S.A.S a través de la prueba de ECT (Edge Crush Test)*. 58. <https://hdl.handle.net/10495/23457>
- SECOFI. (1985a). Norma Mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de La Federación*, 1–8.
- SECOFI. (1985b). *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana NMX-AA-016-1985. Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales– Determinación de Cenizas*.
- SECOFI. (1992). NMX-AA-061-1985, Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-Determinación de la generación. *Diario Oficial de La Federación*, 1–13.
- SECOFI - Secretaría de comercio y fomento. (1985). Norma mexicana NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – selección y cuantificación de subproductos. *Diario Oficial de La Federación*, 1–7.
<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-022-1985.pdf>
- SECOFI - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1985). Norma mexicana NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – peso volumétrico “in situ.” *Diario Oficial de La Federación*, 6.
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-019-1985.pdf>

- SECOFI - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2009). *NORMA MEXICANA NMX-N-100-SCFI-2009, INDUSTRIAS DE CELULOSA Y PAPEL- DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN PACAS DE MATERIA PRIMA RECUPERADA (CARTON, CARTONCILLO, PAPEL, ARCHIVO, VIRUTA Y AFINES), PARA LA FABRICACION DE PAPEL-METODOS DE PRUEBA*. 3685.
- SECOFI - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2010a). NMX-AA-144-SCFI-2008, Características y especificaciones técnicas del contenido de fibra de material reciclable y cloro para la fabricación de papel para impresoras y fotocopadoras que sea adquirido por las dependencias y entidades de la Administración. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1, 1.
- SECOFI - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2010b). *NORMA MEXICANA NMX-N-106-SCFI-2010 INDUSTRIAS DE CELULOSA Y PAPEL- LISTA DE CALIDADES DE MATERIALES FIBROSOS DE PAPEL RECUPERADOS (CARTON, CARTONCILLO, PAPEL, ARCHIVO, VIRUTA Y AFINES.), PARA LA FABRICACION DE PAPEL-CLASIFICACION Y METODOS DE PRUEBA*. 5151695.
- SECOFI - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2011). *NORMA MEXICANA NMX-N-016-SCFI-2011 INDUSTRIAS DE CELULOSA Y PAPEL- DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LOS PAPELES Y CARTONES POR SECA- DO EN ESTUFA – MÉTODO DE PRUEBA . PULP AND PAPER INDUSTRIES - MOISTURE DETERMI- NATION IN PAPER AND PAPERBOARD BY DRYING IN OVE*.
- SEMARNAT & INECC - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT), & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (INECC). (2021). *Atlas nacional de residuos sólidos urbanos*. 311. https://www.gob.mx/inecc%0Ahttps://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/693803/125_2022_Atlas_Nacional_Residuos_Solidos.pdf
- SEDEMA - Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México 2022. (2022). *Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2022*. 393. <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/programas-generales/residuos-solidos>
- SEDEMA - Secretaria del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2003). Ley de residuos sólidos del Distrito Federal. In *Gaceta Oficial del Distrito Federal* (pp. 1–50). [https://paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/2019/LEY _RESIDUOS _SOLIDOS_25_06_2019.pdf](https://paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/2019/LEY_RESIDUOS_SOLIDOS_25_06_2019.pdf)
- SEDEMA - Secretaría del Medio Ambiente. (2015). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013, que establece los Criterios y Especificaciones Técnicas Bajo los cuales se deberá realizar la Separación, Clasificación, Recolección Selectiva y Almacenamiento de los Residuos del Distrito Feder. *Gaceta Oficial Del Distrito Federal*, 128, 4–11.

- SEDEMA - Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México 2021. (2019). *PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PARA LA CIUDAD DE MÉXICO*.
- SEMARNAT- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO 2015*.
- SEMARNAT- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Informe De La Situación Del Medio Ambiente En México 2018*. 1–17. <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1319/1/nom-135-semarnat-2004.pdf>
- SEMARNAT - Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *DIAGNÓSTICO BÁSICO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*.
- SEMARNAT- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos* (p. 88). <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/190117.pdf>
- Usandizaga Diseño. (2024). *Tipos de papel principales tipos de papel y sus propiedades y utilidad*. <https://www.usandizaga.com/design/tipos-de-papel/>
- Villalobos, N., & Medina, C. (2014). *El Reciclaje De Papel y Cartón Como fuente De Empleo*. 8(2), 37–44. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfce/article/view/5084>

Anexos

Anexo 1: registro de generación diaria de residuos

Tabla 19. Generación per cápita de siete días de la alcaldía Iztacalco

Alcaldía Iztacalco											
Código de vivienda	No. de habitantes	Día 1: Peso de la bolsa (kg)	Día 2: Peso de la bolsa (kg)	Día 3: Peso de la bolsa (kg)	Día 4: Peso de la bolsa (kg)	Día 5: Peso de la bolsa (kg)	Día 6: Peso de la bolsa (kg)	Día 7: Peso de la bolsa (kg)	Total de días de participación	Total (kg)	Generación per cápita (kg/hab/Día)
IZT-Ort-Verde-145	6	6.575	4.355	2.340	2.425	6.140	3.435	6.780	7	32.050	0.7631
IZT-Ort-Blanco-159	3	0.330	0.840	0.225	1.400	0.245	0.475	0.690	7	4.205	0.2002
IZT-S12C-EdifRojo-101	1	-	0.095	0.370	1.100	0.365	0.620	0.845	7	3.395	0.4850
IZT-S12C-Azul-23	13	1.230	1.755	0.940	0.685	1.485	0.285	1.260	7	7.640	0.0840
IZT-S12C-Rosa-46	3	1.795	0.730	3.250	1.270	0.485	0.920	0.940	7	9.390	0.4471
IZT-R1-GrisNegro-47	6	1.855	0.735	0.750	0.980	1.165	1.065	2.215	7	8.765	0.2087
IZT-R2-AzulBlanca-11	4	2.205	1.405	1.180	1.630	-	0.410	3.830	7	10.660	0.3807
IZT-R2-MoradoPuertaNegra-26	3	1.005	1.055	0.970	0.305	0.830	0.375	1.980	7	6.520	0.3105
IZT-R2-Café-55	4	0.970	0.515	1.070	-	1.495	0.930	3.380	7	8.360	0.2986
IZT-R3-Amarilla-20	3	2.210	2.270	3.115	1.100	1.770	2.225	3.600	7	16.290	0.7757
IZT-R3-Café-23	3	4.355	2.380	4.965	1.015	3.905	2.545	5.745	7	24.910	1.1862
IZT-R3-AzulNegro-42	3	1.320	1.970	1.800	1.160	1.315	0.630	0.695	7	8.890	0.4233
IZT-R3-Blanco-43	4	0.255	0.830	0.365	0.265	0.615	-	1.245	7	3.575	0.1277
IZT-R4-Azul-18	7	7.340	7.385	5.745	5.460	4.685	4.385	5.770	7	40.770	0.8320
IZT-R4-PuertaBlanca-21	3	1.865	0.440	0.885	0.805	0.090	2.715	0.885	7	7.685	0.3660
IZT-R4-Amarilla-35	12	2.550	2.370	2.360	2.575	3.340	2.065	3.140	7	18.400	0.2190
IZT-R4-Rojo-59	3	1.745	1.455	0.700	0.965	2.465	2.315	1.635	7	11.280	0.5371
IZT-R4-AzulNegro-63	5	1.355	1.980	0.880	1.000	0.895	-	1.680	7	7.790	0.2226
IZT-R4-VerdePuertaGris-65	4	1.730	3.595	2.255	2.390	1.130	2.035	3.490	7	16.625	0.5938
	Recolección total diaria (kg)	40.69	36.160	34.165	26.530	32.420	27.43	49.805		247.200	0.4453

Tabla 20. Generación per cápita de siete días de la alcaldía Tlalpan

Alcaldía Tlalpan											
Código de vivienda	No. de habitantes	Día 1: Peso de la bolsa (kg)	Día 2: Peso de la bolsa (kg)	Día 3: Peso de la bolsa (kg)	Día 4: Peso de la bolsa (kg)	Día 5: Peso de la bolsa (kg)	Día 6: Peso de la bolsa (kg)	Día 7: Peso de la bolsa (kg)	Total de días de participación	Total (kg)	Generación per cápita (kg/hab/Día)
TY-Naranja/Negra-15	4	5.240	3.400	2.225	1.305	0.720	0.400	2.940	7	16.225	0.5795
TY-Naranja/Negra-15	4	4.435	-	3.255	2.575	2.650	-	5.445	7	18.360	0.6557
TY-Naranja/Negra-15	4	1.190	3.060	1.890	4.180	3.790	-	2.930	7	17.040	0.6086
TY-Naranja/Negra-15	4	0.910	0.825	0.615	0.415	0.260	-	1.240	7	4.265	0.1523
TY-Naranja/Negra-15	4	0.800	1.620	2.275	1.775	0.835	1.515	1.250	7	10.070	0.3596
TY-Beige/Negra-2	7	2.120	1.370	1.270	0.500	0.625	1.495	0.544	7	7.924	0.1617
TY-Azul/Negra-4	4	0.430	0.680	0.395	0.435	1.155	-	-	7	3.095	0.1105
TY-Blanca-12	4	3.620	0.200	2.215	2.845	1.160	1.340	1.830	7	13.210	0.4718
TY-Tabique/Verde-18	4	1.340	-	0.755	0.675	0.460	1.480	0.550	7	5.260	0.1879
TY-Naranja/Negra-15	4	0.580	2.355	1.695	1.535	2.320	1.455	0.365	7	10.305	0.3680
TY-Crema/Blanca-1	4	1.305	1.430	1.035	0.855	0.640	1.085	0.900	7	7.250	0.2589
TY-Gris/Azul-5	6	4.370	-	2.860	3.860	1.695	2.170	-	7	14.955	0.3561
TY-Amarilla/Crema-24	4	1.765	2.395	5.945	6.915	3.150	5.495	3.660	7	29.325	1.0473
TY-LadrilloRojo/Negra-22	12	4.975	1.365	1.680	0.945	7.905	5.700	3.645	7	26.215	0.3121
TC-Gris/Negro-1	8	2.795	1.525	1.800	1.845	4.180	-	4.500	7	16.645	0.2972
TC-Blanca/Negra-5	4	6.020	1.370	6.225	0.40	1.905	-	5.595	7	21.515	0.7684
TC-Ladrillo/Negro-21	8	7.660	1.265	2.310	3.185	1.645	6.725	7.710	7	30.500	0.5446
TT-MentaRosa/Negra-28	7	4.665	2.325	2.425	0.640	3.840	0.760	2.965	7	17.620	0.3596
TT-VerdeAgua/Negro-28	3	3.315	0.685	1.670	2.595	-	2.230	0.955	7	11.450	0.5452
TT-Ladrillo-10	4	2.310	1.740	2.880	2.655	2.205	1.840	-	7	13.630	0.4868
TY-Roja/Natanja-16	3	0.705	-	1.720	2.420	1.345	0.795	3.005	7	9.990	0.4757
TY-Roja/Natanja-16	4	3.785	2.440	2.250	2.420	0.430	0.500	2.475	7	14.300	0.5107
TY-Piedra/Negra-6	5	4.445	1.720	2.730	1.440	1.560	1.430	1.060	7	14.385	0.4110
TY-Piedra/Negra-6	4	-	2.150	1.580	2.080	-	2.710	1.770	7	10.290	0.3675
TC-Roja-19	6	-	1.735	1.580	1.845	-	3.255	2.360	7	10.775	0.2565
	Recolección total diaria (kg)	64.330	31.770	52.120	46.415	44.475	36.415	53.564		354.599	0.4261