



Caracterización de los residuos sólidos urbanos y desperdicios de alimentos del Distrito Metropolitano de Quito

*Urban solid waste characterization and food waste of the Metropolitan
District of Quito*

*Caracterização de resíduos sólidos urbanos e desperdício de alimentos do Distrito
Metropolitano de Quito*

Xavier Oña-Serrano / Escuela Politécnica Nacional, Ecuador / xavier.ona@epn.edu.ec

Oswaldo Viteri-Salazar / Escuela Politécnica Nacional, Ecuador / hector.viteri@epn.edu.ec

Juan José Cadillo Benalcazar / Universitat Autònoma de Barcelona, España / jcadillobenalcazar@gmail.com

Xavier Buenaño Guerra / Universidad Politécnica de Madrid, España / dr.x.buenanio@gmail.com

Recibido: 8/12/2021 **Aceptado:** 20/6/2021 **Publicado:** 1/7/2022

RESUMEN

El Distrito Metropolitano de Quito genera residuos sólidos urbanos de composición orgánica significativa, procedentes de residuos de alimentos, que producen gases de efecto invernadero y contribuyen al calentamiento global y cambio climático. El propósito de esta investigación fue cuantificar el desperdicio de alimentos en hogares de Quito, caracterizar el metabolismo de la gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad y estimar la contribución de esta gestión en las emisiones de gases de efecto invernadero. La investigación es cuantitativa de tipo exploratoria. Se utilizó una encuesta para recopilar información primaria, la información secundaria se obtuvo mediante la revisión de literatura. Se aplicó la metodología de redes metabólicas y la herramienta para calcular gases de efecto invernadero. La cantidad total de desperdicios de alimentos fue 202 kg/semana aproximadamente, en promedio 0.76 kg/semana/hogar. Conforme los resultados de la red metabólica de gestión de residuos sólidos urbanos, se aportaron 543 967 t para el relleno sanitario; y 6273 t para reciclaje. La emisión estimada de gases fue 934 088 t CO₂-eq/año. La caracterización de la gestión de residuos sólidos urbanos identificó el patrón metabólico del sistema, flujos que se devuelven a la sociedad mediante el reciclaje y salidas útiles como compostaje y biogás.

Palabras clave: gases de efecto invernadero, patrón metabólico, red metabólica, relleno sanitario

ABSTRACT

The Metropolitan District of Quito generates solid urban waste with a significant organic composition, from food waste, which produces greenhouse gases and contributes to global warming and climate change. The purpose of this research was to quantify food waste in households in Quito, characterize the metabolism of urban solid waste management in the city, and estimate the contribution of this management to greenhouse gas emissions. The research is quantitative of an exploratory type. A survey was used to collect primary information, secondary information was obtained through literature review. The methodology of metabolic networks and the tool to calculate greenhouse gases were applied. The total amount of food waste was approximately 202 kg/week, on average 0.76 kg/week/household. According to the results of the urban solid waste management metabolic network, 543 967 tons were contributed to the landfill; and 6.273 tons for recycling. The estimated emission of gases was 934 088 t CO₂-eq/year. The characterization of urban solid waste management identified the metabolic pattern of the system, flows that are returned to society through recycling, and useful outputs such as composting and biogas.

Keywords: greenhouse gases, landfill, metabolic network, metabolic pattern

RESUMO

O Distrito Metropolitano de Quito gera resíduos sólidos urbanos com significativa composição orgânica, a partir de resíduos de alimentos, que produzem gases de efeito estufa e contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas. O objetivo desta pesquisa foi quantificar o desperdício de alimentos em domicílios em Quito, caracterizar o metabolismo da gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade e estimar a contribuição dessa gestão para as emissões de gases de efeito estufa. A pesquisa é quantitativa do tipo exploratória. Um questionário foi usado para coletar informações primárias, as informações secundárias foram obtidas por revisão de literatura. Aplicou-se a metodologia de redes metabólicas e a ferramenta de cálculo de gases de efeito estufa. A quantidade total de desperdício alimentar foi de aproximadamente 202 kg/semana, em média 0.76 kg/semana/domicílio. Conforme os resultados da rede metabólica de gestão de resíduos sólidos urbanos, foram aportadas ao aterro 543 967 t; e 6273 t para reciclagem. A emissão estimada de gases foi de 934088 t CO₂-eq/ano. A caracterização da gestão dos resíduos sólidos urbanos identificou o padrão metabólico do sistema, fluxos que são devolvidos à sociedade por meio da reciclagem e saídas úteis como compostagem e biogás.

Palavras chave: aterro sanitário, gases de efeito estufa, padrão metabólico, rede metabólica

INTRODUCCIÓN

La estimación del crecimiento poblacional para el año 2050 es de 10 000 millones de habitantes, de ellos el 70% en zonas urbanas (Naciones Unidas, 2018). Este aumento influye en la demanda de alimentos con repercusiones en presiones adicionales sobre el sistema alimentario global (Godfray *et al.*, 2010). En este contexto, la pérdida y desperdicio de alimentos son una señal del funcionamiento deficiente de los sistemas alimentarios. Entre las etapas de postcosecha y venta minorista se pierde alrededor del 14% de la producción mundial; y entre las etapas de venta al por menor y consumidor, se desperdicia el 17% de la producción mundial de alimentos (Food and Agriculture Organization, 2021).

La problemática de la pérdida y desperdicio de alimentos ha causado gran interés a nivel mundial debido a las afectaciones ambientales relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y su contribución negativa a la contaminación global. Por ejemplo, en el Reino Unido la estimación respecto a los alimentos representa la mitad del total de emisiones de GEI en los vertederos de basura (Porter *et al.*, 2016). En este orden de ideas, se han buscado alternativas que minimicen los efectos ambientales, por ejemplo, usar las fracciones de desperdicio de alimentos no comestibles para la generación de energía o producción de compostaje (Dal' Magro y Talamini, 2019).

Por su parte, de manera análoga, el incremento poblacional y estándares de vida en las ciudades, acompañados de una economía favorable y rápida urbanización han acelerado grandemente la tasa de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en los países en desarrollo (Abarca-Guerrero *et al.*, 2013). Se estima que más de cuatro mil millones de toneladas de residuos sólidos se producen en el mundo cada año, de los cuales casi la mitad son RSU (Zambrano-Monserrate *et al.*, 2021). En países de ingresos bajos y medios, la composición orgánica¹ de los RSU fluctúa entre el 40 y 85%. En este contexto, en el Distrito Metropolitano de Quito el crecimiento promedio poblacional entre 2010 y 2020 fue de 1.8% según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador (INEC, 2013b), mientras que el crecimiento promedio de generación de RSU², entre 2011 y 2020 fue de 1.2%, según la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS, 2021). A nivel de país, el desperdicio de alimentos en hogares se estimó en 72 (kg/cápita/año), este dato es extrapolado debido a la ausencia de información (United Nations Environment Programme, 2021). Los RSU contribuyen al cambio climático por medio de la generación de GEI, y se estima que para el 2050 las emisiones de dióxido de carbono representarán 2 600 millones de toneladas. El metano que se genera por descomposi-

¹ Restos de comida, desechos de jardín (hojas y hierbas)

² Se asume como el dato de ingresos de RSU provenientes de las estaciones de transferencia norte y sur hacia el relleno sanitario de Quito

ción de desechos orgánicos es el mayor contribuyente del sector de desechos sólidos a las emisiones GEI (Kaza *et al.*, 2018).

Se puede decir que los sistemas sociales convierten las materias primas en productos manufacturados, servicios y desechos (Fischer-Kowalski y Haberl, 1998). Estos procesos transforman los recursos, que se reflejan en la irreversibilidad de los fenómenos naturales, esto es, la ley de la entropía. Por su parte, los sistemas socio-ecológicos son las relaciones que involucra variables necesarias para la vida humana (Cadillo, 2015). El presente trabajo considera la gestión de RSU como parte de un sistema socio-ecológico más amplio, a través de un conjunto de relaciones esperadas descritas en términos cuantitativos simultáneamente en diferentes niveles jerárquicos y escalas, es decir, a través del patrón metabólico de la gestión RSU (Chifari *et al.*, 2018).

Frente a esta realidad, ¿cómo debe enfrentar el Distrito Metropolitano de Quito el flujo de residuos sólidos urbanos provocados por el desperdicio de alimentos? El desperdicio de alimentos genera residuos orgánicos, responsables de la emisión de gases de efecto invernadero, como el metano, que contribuyen al cambio climático. Para el efecto este trabajo tiene como propósito: cuantificar el desperdicio de alimentos en el Distrito Metropolitano de Quito; caracterizar el metabolismo de la gestión de residuos sólidos

urbanos del Distrito Metropolitano de Quito y estimar la contribución de la gestión de RSU a las emisiones de gases de efecto invernadero. Lo que debe facilitar la búsqueda de alternativas de reducción de desperdicio de alimentos en torno a la minimización de emisiones de GEI en el relleno sanitario de Quito; convirtiéndose en un aporte novedoso de relacionamiento entre desperdicio y su posible incidencia en el relleno sanitario de Quito. En este sentido, se deja abierta la posibilidad de utilizar el presente estudio como insumo para futuras investigaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Distrito Metropolitano de Quito se convirtió en la ciudad más poblada de Ecuador con 2 781 641 habitantes en 2020. El gasto promedio mensual de alimentos en hogares se puede caracterizar: el decil 1 gasta en pan USD 9.63; en arroz USD 7.73; en papa chola USD 5.25; en frutas USD 5.83 y en hortalizas USD 4.72; mientras que el decil 10 gasta en los mismos alimentos USD 20.26; USD 13.98, USD 9.18; USD 23.64, USD 12.75 (INEC, 2013a). El consumo promedio de alimentos (g/día), en el país: 240 g de pan y cereales³, 183 g de frutas⁴ y verduras⁵, 129 g de raíces, tubérculos⁶ y plátanos, 181 g de lácteos y derivados⁷, entre otros (Freire *et al.*, 2014). Respecto a las características de vivienda y hogar, se reporta que el servicio de agua se obtiene principalmente de la red pública (99%); el 87% dispone

³ arroz, maíz, cebada, avena, trigo, harinas, pan, fideos, amaranto, quinua y similares.

⁴ manzana, naranja, tomate de árbol, sandía, piña, pera y similares.

⁵ brócoli, coliflor, tomate riñón, apio, lechuga, acelga, espinaca, zanahoria, vainitas y similares.

⁶ papa, yuca, plátanos, camote, melloco, nabo, zanahoria blanca y similares.

⁷ leche, yogur y queso.

de cocina en su hogar; el 63% tiene microondas y el 91% refrigerador (INEC, 2014). En el Distrito Metropolitano de Quito se recolectan diariamente alrededor de 1700 t de residuos urbanos donde se estima que el 63.4% proviene de hogares y 79.56% de mercados, según la consultora AsamTech (2019); proporciones significativas que provocan efectos ambientales negativos al relleno sanitario de la ciudad (Center for Clean Air Policy, 2018).

El método de investigación aplicado fue cuantitativo de tipo exploratorio (Gupta, 2013). Para cumplir con el primer objetivo, el diseño muestral se adaptó a las condiciones de emergencia sanitaria por el COVID-19. Por tanto, se utilizó un cuestionario en línea enviado a una base de datos de 18 000 registros aproximadamente. Dicho instrumento se diseñó usando la herramienta *Google Forms*, que una vez validado, se distribuyó en redes sociales (Facebook), aplicaciones de teléfonos móviles (WhatsApp) y correo electrónico (*mailing*). La aplicación del formato en línea fue una encuesta autoseleccionada, sin restricciones, de muestreo no probabilístico (Tourangeau *et al.*, 2013), por cuotas y realizadas del 23 de agosto al 3 de septiembre de 2021. Los criterios que se emplearon para incluir a los participantes en la muestra fueron: mayor de edad, residente en el Distrito Metropolitano de Quito y que lleve a cabo frecuentemente las compras de alimentos para el hogar o cocinen para los miembros de este.

El cuestionario tomó como base el trabajo de van Herpen *et al.* (2019) y se conformó por dos secciones, la primera con preguntas socio-demográficas (número de miembros del ho-

gar, zona geográfica de residencia, rangos de ingreso mensual, gasto semanal en alimentos, equipos (artefactos) y servicios (agua, luz, teléfono fijo e internet, que dispone el hogar). La siguiente sección recolectó información de cantidades de desperdicio de alimentos por grupos, como, por ejemplo, hortalizas (tomate, cebolla, etc.), frutas (bananas, manzanas, etc.); carnes; y por tipo específico de alimento, como arroz, pasta, pan y papa. Cabe señalar que los resultados de las cantidades de alimentos específicos se sometieron a factores de conversión, para obtener el peso del alimento crudo (Freire *et al.*, 2014; Hamelman, 2017).

En referencia al segundo objetivo, la información se tomó de fuentes secundarias, facilitada por la Empresa Pública Metropolitana de Aseo de Quito (comunicación personal, 2021); las cifras reportadas son del periodo enero-septiembre 2021 y pertenecen a la categoría de recolección indiferenciada: barrido, puntos críticos, mingas en mercados, residuos del hogar, comercio y servicios y mayores productores. Este insumo permitió articularlo con el trabajo de Chifari *et al.* (2018) para caracterizar el metabolismo de la gestión de residuos sólidos urbanos, a través de redes metabólicas, esto por medio de la identificación de generación de RSU de la sociedad (*nivel n+1*), lo que se convierte en insumo para las actividades del sistema de gestión de RSU (*nivel n*). Además, otros sistemas socio-ecológicos (*nivel n+2*) importan/exportan residuos hacia el nivel n. De su parte, el entorno local (*nivel n+1*) absorbe los flujos físicos eliminados y reutiliza el material (reciclaje y salidas útiles) del *nivel n*.

Análisis estadístico

Se aplicó el análisis de la varianza entre el número de miembros del hogar y la cantidad de desperdicio para cada una de las categorías de alimentos. A continuación, se empleó la autocorrelación espacial para determinar el comportamiento potencial de la cantidad de desperdicio de alimentos domésticos a través de un enfoque de estadística espacial. Para ello se calculó el estadístico *I Global de Moran* (Gimond, 2021), a través de la unión de un *shapefile*, (límites zonales generales del Distrito Metropolitano de Quito) y la suma acumulada de las categorías relevantes de desperdicio de alimentos. Para estas tareas se utilizaron principalmente los siguientes paquetes del software *R Studio* (R): *simple features* (Pebesma, 2018) y *spatial dependence* (Bivand y Wong, 2018). También se empleó el método

de *Monte-Carlo* (Bivand *et al.*, 2013) con 599 simulaciones, para el cálculo estadístico de autocorrelación espacial.

Estimación de emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos

Para la estimación de emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos se utilizó la herramienta SWM-GHG propuesta por Institut für Energie (2009). La calculadora sigue el método de análisis de ciclo de vida y permite la evaluación de diferentes estrategias para la gestión de residuos sólidos urbanos en términos de emisiones de GEI en la etapa temprana de toma de decisiones (Michel *et al.*, 2021). Para el cálculo de estos gases se conoce el uso del programa *Landfill Emission Model versión 3.02*, elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Kumar y Sharma, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se obtuvieron 570 respuestas, se procesaron 563 y se descartaron 7 por presentar inconsistencias. Los resultados respecto a las características sociodemográficas, disponibilidad de quipos y servicios reportados por la muestra de hogares, se presentan en la *tabla 1*.

Tabla 1. Descripción de la muestra.

	n	%
Ubicación del hogar en el Distrito Metropolitano de Quito		
Zona Norte	238	42.1
Zona Centro	44	7.8
Zona Sur	150	26.5
Valles	124	21.9
Otro	9	1.6
Número de miembros del hogar		
Uno	34	6.0
Dos	100	17.7
Tres	118	20.9
Cuatro	181	32.0
Cinco	91	16.1
Seis	26	4.6
Siete	8	1.4
Ocho	1	0.2

Ocho	4	0.7
Nueve	2	0.4
Diez	1	0.2
Ingreso mensual total de su hogar		
0 - 400 USD	45	8.0
401 - 800 USD	111	19.6
801 - 1200 USD	130	23.0
1201 - 1600 USD	104	18.4
2001 - 2400 USD	72	12.7
Más de 2400 USD	103	18.2
Gasto en alimentos para el hogar en una semana		
0 - 100 USD	253	44.8
101 - 200 USD	144	25.5
201 - 300 USD	73	12.9
301 - 400 USD	39	6.9
401 - 500 USD	27	4.8
Más de 500 USD	29	5.1
Equipos que dispone su hogar		
Cocina	564	99.8
Refrigerador	563	99.6
Microondas	467	82.7
Servicios que dispone su hogar		
Teléfono fijo	429	75.9
Internet	561	99.3

Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas en las medias de número de miembros del hogar, al considerar la cantidad de desperdicio por cada categoría de alimentos (p -valores mayores al 5%). Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula de diferencias entre el número de miembros del hogar y la cantidad media de desperdicio o no de alimentos por cada categoría; es decir, no existe una relación entre el número de miembros del hogar y la cantidad de desperdicio por categoría de alimentos. Este hallazgo contrasta con los trabajos de Stancu *et al.* (2016) que determinaron que las cantidades más bajas de desperdicio de alimentos se asociaron con menos miembros en el hogar; y que la canti-

dad de desperdicio por persona disminuye a medida que aumenta el tamaño del hogar (Herzberg *et al.*, 2020). Además, al comparar hogares unipersonales con hogares de pareja y familias, se encontró aproximadamente un 29 y 53% más de desperdicio de alimentos, respectivamente (Ananda *et al.*, 2021). Mientras que resultados similares se presentaron en los trabajos de Grasso *et al.* (2019) respecto al tamaño del hogar, edad, sexo, situación laboral y su pequeña influencia en la predicción de desperdicio de alimentos en hogares. Por lo tanto, en el presente estudio el *tamaño del hogar* no se podría considerar como una variable que tenga influencia en el desperdicio de alimentos.

Por su parte, el *comportamiento espacial* de la cantidad de desperdicio de alimentos en hogares determinó que, en todos los casos analizados mediante pruebas de hipótesis de dependencia espacial, los valores «p» obtenidos estuvieron por encima del nivel de significancia definido (en este caso 5%). Lo anterior se corroboró con el enfoque de simulación *Monte-Carlo*, que arrojó una conclusión similar para cada categoría relevante de desperdicio de alimentos. La hipótesis de aleatoriedad nula (los valores atribuidos se distribuyen aleatoriamente en el área de estudio) no puede rechazarse (ausencia de autocorrelación) al

obtenerse un valor «p» de 0.48. Por tanto, la variable *cantidad de desperdicio de alimentos* del presente estudio, en términos generales, no puede considerarse una variable regionalizada. En consecuencia, no es factible un análisis adicional de los indicadores locales de asociación espacial.

Cuantificación del desperdicio de alimentos

A continuación, en la *tabla 2* se presentan los resultados de las cantidades estimadas de desperdicio de la muestra, clasificados por categoría de alimentos.

Tabla 2. *Cantidades y proporción de desperdicio de alimentos por categoría.*

Categoría de alimentos	Arroz	Pasta	Papa	Hortalizas	Pan	Frutas	Carnes	Pescado	Leche	Total
Total desperdicio semana/hogares (kg)	12.33	8.60	18.44	30.83	15.59	40.90	19.40	16.32	39.11	201.51
Desperdicio semana/hogares (%)	6	4	9	15	8	20	10	8	19	100
Reportes desperdicio	346	221	282	392	306	398	176	159	225	
Promedio desperdicio/hogar (kg)	0.04	0.04	0.07	0.08	0.05	0.10	0.11	0.10	0.17	0.76
Total desperdicio estimado anual/hogares* (kg)	641	447	959	1603	810	2127	1009	848	2034	10 479

Nota: *Se considera para el cálculo 52 semanas.

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar el desperdicio por categoría de alimentos, por ejemplo, entre cereales (arroz, pasta y pan) la cantidad más alta correspondió al pan con el 8%. En cuanto a hortalizas y frutas, la segunda categoría supera a la primera, con el 20%; en lo que respecta a carnes y pescado, las carnes tienen una proporción más alta con el 10%. Respecto a los resultados del análisis del desperdicio de manera individual, la papa obtuvo el 9% y la leche 19%. Sin em-

bargo, al analizar el reporte de desperdicio de alimentos, la cantidad de respuestas fueron: arroz 346, hortalizas y frutas 392 y 398 respectivamente; la carne obtuvo 176 y el pescado 159, la papa presentó 282 y la leche 225. Los promedios de desperdicio más representativos fueron la leche 174 g/hogar; carnes 110 g/hogar; frutas y pescado 103 g/hogar, cada uno. En relación con el cálculo del desperdicio/hogar/semana el valor más significativo

correspondió a las frutas, con 40.9 kg, le siguen las hortalizas con 30.83 kg.

La comparación de resultados de cuantificación de desperdicio de alimentos hay que tomarla con mucha discreción, ya que existen diferentes metodologías para cuantificar desperdicio de alimentos, así como definiciones que pueden incidir en los resultados (Withnage *et al.*, 2021). Sin embargo, estudios con resultados similares en cuanto a categorías de alimentos reportan mayor desperdicio en verduras frescas y ensaladas 30%, frutas frescas 17% y productos de panadería 13%; estos estudios consideraron los desperdicios de comida evitable y no evitable (Edjabou *et al.*, 2016); pan fresco 42.5%, frutas 29.9% y verduras 41.8% (Hanssen *et al.*, 2016); verduras y frutas 67%, pan, cereales y productos de pastelería 14% (Elimelech *et al.*, 2018).

En esta investigación se detectó que las cantidades más relevantes de desperdicio fueron frutas y hortalizas, lo que podría estar relacio-

nado con los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en torno al consumo de dichas categorías de alimentos por parte de la población ecuatoriana, ya que dicho consumo no cumple con el requerimiento de 400 g/día, es decir, cinco porciones de frutas y verduras (Freire *et al.*, 2014). Otro aspecto importante es el gasto promedio mensual de los hogares quiteños en las categorías señaladas, clasificados por deciles, especialmente en frutas, puesto que se incrementa el gasto en relación con el decil, por ejemplo, el decil 1 gasta USD 5.83, y el decil 10 gasta USD 23.6 (INEC, 2013a). En relación con la cantidad de desperdicio de leche es de 19% y al ser un alimento líquido, la data de estimación es algo complicado obtenerla, debido al manejo de la unidad de medida del líquido.

A continuación, en la *tabla 3* se presentan los estadísticos descriptivos de cada una de las categorías de alimentos reportadas en la encuesta.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos por categoría de alimentos.

Estadístico	Arroz	Pasta	Papa	Hortalizas	Pan	Frutas	Carne	Pescado	Leche
Media (g)	35.64	38.93	65.38	78.64	50.93	102.76	110.25	102.62	173.82
Mediana (g)	33.75	10.25	25.50	75.00	9.85	50.00	63.00	63.00	68.00
Total (g)	12 330	8603	18 437	30 825	15 585	40 900	19 404	16 317	39 110
Moda (g)	11.25	10.25	25.50	25.00	9.85	25.00	63.00	63.00	68.00
Desviación estándar (g)	34.73	75.31	66.75	79.02	113.12	120.75	97.25	104.55	209.27
Mínimo (g)	11.25	10.25	25.50	25.00	9.85	25.00	63.00	63.00	68.00
Máximo (g)	157.50	461.25	357.00	350.00	656.46	500.00	567.00	756.00	1500.00
Rango (g)	146.25	451.00	331.50	325.00	646.61	475.00	504.00	693.00	1432.00
Cuenta	346	221	282	392	306	398	176	159	225
Nivel de confianza (95%)	3.67	9.98	7.82	7.85	12.73	11.90	14.47	16.38	27.49

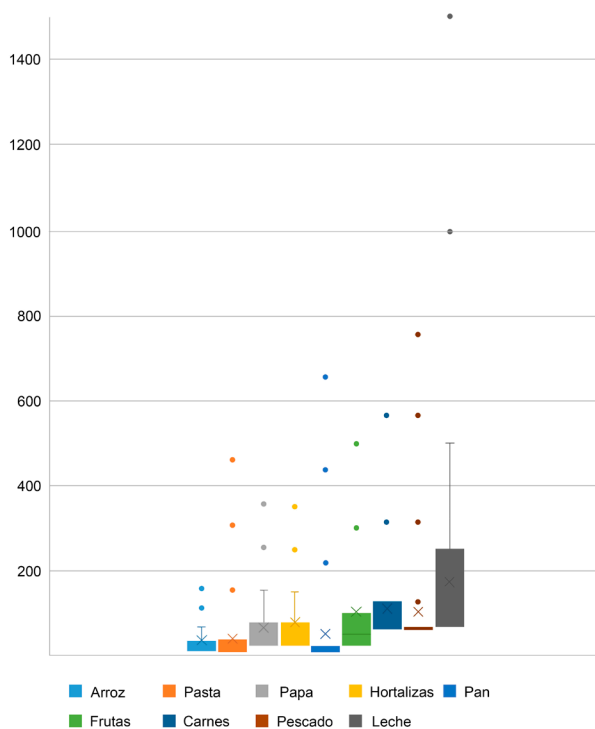
Fuente: Elaboración propia.

En la *tabla 3* se muestra que la media de desperdicio por categoría de alimentos mínima correspondió al arroz 35.64 g, en tanto que el promedio de leche es el más alto 173.82 g. En cuanto a la mediana, el pan obtuvo el mínimo valor 9.85 g y el más alto fue de la leche con 68 g. Los valores de las modas coincidieron con los valores mínimos de desperdicio de cada categoría de alimentos. Los rangos indicaron que el mínimo corresponde al arroz con 146.25 g y el más alto a la

leche, 1432 g. El estadístico *cuenta* mostró el número de reportes de desperdicio por categoría de alimentos, las frutas y hortalizas presentaron valores cercanos, 398 y 392 g respectivamente; luego se ubicó el arroz, el pan, y la papa con 346, 306 y 282 g respectivamente.

En la *figura 1* se pueden apreciar las cajas y bigotes por categorías de alimentos reportados como desperdicio.

Figura 1. Cajas y bigote por categorías de alimentos reportados.



Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 1* se puede identificar que la mediana del desperdicio de hortalizas (75 g), está por encima del resto de categorías de alimentos; y la mediana del desperdicio del pan (9.85 g) está por debajo de las demás, lo que implica niveles de desperdicio mayor y menor para las categorías referidas. Los valores mínimos de desperdicio de alimentos coinciden con su primer cuartil (25%); y su segundo cuartil (50%), es decir, existe

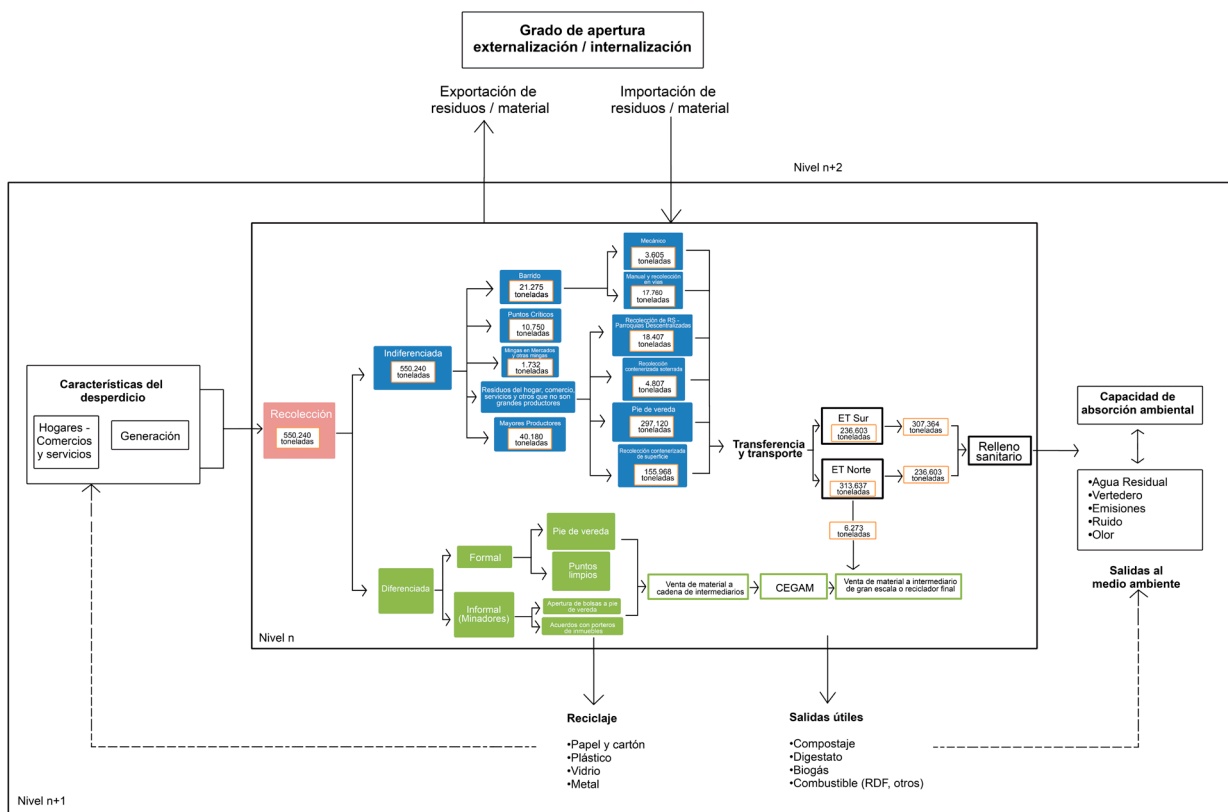
sesgo (asimetría positiva). La menor dispersión de datos asociados con el rango intercuartílico se presenta en el desperdicio de pan y pescado; lo contrario ocurre con el desperdicio de leche, donde la dispersión es mayor. Respecto a los valores atípicos, en todas las categorías se presentan estos; lo que implica que el comportamiento del consumidor respecto al desperdicio de alimentos por categoría no es simétrico;

encontrándose hogares que desperdician cantidades significativamente superiores a la mayor parte de la población muestreada para cada una de las categorías analizadas. El mayor sesgo se evidencia en el desperdicio de leche, por lo que podría aseverarse que la cantidad de desperdicio está sobreestimada, ya que es un líquido, y su estimación, por lo general, tiene dificultad e incertidumbre mayor.

Caracterización de la gestión de residuos sólidos urbanos

Para tener una representación de la generación de desperdicio en la gestión de RSU, a continuación, en la *figura 2* se puede observar un marco semántico (Chifari *et al.*, 2018) para caracterizar el metabolismo del sistema de gestión de RSU en el Distrito Metropolitano de Quito.

Figura 2. Representación de la gestión de residuos sólidos urbanos como red metabólica.



Fuente: Secretaría de Ambiente (2015) y EMASEO (2021).

La representación de la red metabólica de la *figura 2* muestra las etapas técnicas de la gestión de residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito. Debido a la falta de información, en este diagrama no se detalló la cantidad de generación de RSU y solo se diagramó la recolección diferenciada para comprender la integración de todas las etapas.

La *figura 2* caracterizó el sistema de gestión de RSU en el Distrito Metropolitano de Quito a través de tres niveles. En el *nivel n+1* se encuentra la sociedad generadora de RSU, que es el insumo para alimentar el nivel del sistema de gestión RSU, considerada como *nivel n*. El nivel en el que se importan/exportan los residuos corresponde al *n+2*. El *nivel n+1* absorbe los flujos que excreta

el sistema y reutiliza el material generado por el sistema de gestión RSU. La visión externa de la gráfica indica tres aspectos claves: el tipo de residuos destinado al reciclaje papel/cartón, plástico, vidrio, entre otros; el grado de apertura del sistema de acuerdo con las formas de residuos durante las etapas de recolección, procesamiento y disposición de residuos; el tipo de desechos y partículas contaminantes (sólidos, líquidos y gaseosos) que resultan del proceso de la gestión de RSU, conjuntamente con la capacidad de absorción ambiental.

En cuanto a la visión interna, se observan los distintos nodos funcionales del sistema de gestión de RSU: recolección, procesamiento y eliminación. La recolección es el punto de contacto entre el *nivel n* y el *nivel n+1*, identificándose los diferentes mecanismos de recolección diferenciada e indiferenciada. En cuanto al procesamiento, corresponde a las actividades internas en el sistema relacionadas con los flujos de residuos que son procesados en estaciones de transferencias, Centros de Educación y Gestión Ambiental y relleno sanitario.

El relleno sanitario, representa la interfaz entre el *nivel n* y el *nivel n+1*. En este sistema de gestión, respecto a la generación de RSU, no existe un programa generalizado de separación en origen, no obstante, posee un programa de gestión integral de residuos para modificar el comportamiento y mejorar el reciclaje en la comunidad. De igual manera en el *nivel n* se generan flujos que se devuelven a la sociedad en forma de reciclaje y se exportan fuera de los límites socio-ecológicos como subproductos; y salidas útiles como compostaje y biogás, que se exportan, por ejemplo, como abonos y electricidad para la red; unido a los que se escapan al ambiente a través de emisiones.

En el *nivel n+1*, ligado a la generación de residuos que provienen de las actividades que realiza la sociedad, si se asume la cantidad recolectada como cantidad generada de RSU, durante los meses de enero y septiembre de 2021 el volumen fue de alrededor de 550 240 t en todo el Distrito Metropolitano de Quito, lo que representó cerca de 0.68 kg/hab/día. Esta cifra es cercana a la que se produce en el país 0.73 y a países vecinos como Colombia 0.69 y Perú 0.75 kg/hab/día. Otros países de la región superan esta cifra, tal es el caso de Argentina 1.15, Brasil 1.04 y Chile 1.25 kg/hab/día (Grau *et al.*, 2015).

Durante el periodo de análisis, en el Distrito Metropolitano de Quito el flujo de RSU de nivel focal (*n*) inició con la recolección y finalizó con el depósito en el relleno sanitario. La recolección indiferenciada tuvo mayor concentración en el nodo de residuos del hogar, comercio, servicio, entre otros, con 476 302 t, dicha recolección estuvo compuesta en su mayoría por residuos recogidos a través del mecanismo de pie de vereda 297 120 t, en tanto que las mingas representaron la menor cantidad recolectada con solo 1 732 t. Respecto a la disposición de desechos en el relleno sanitario, la contribución más alta correspondió a la Estación de Transferencia Norte, un 30% mayor con relación a la Estación de Transferencia Sur. Se estimó que en conjunto ambas estaciones, en el año 2015, aportaron al relleno sanitario de Quito un caudal de 500 m³ de metano por hora a través del proyecto de captación de biogás (Secretaría de Ambiente, 2015).

En relación con las salidas del *nivel n*, se estimó que se retiraron de la Estación de Transferencia Norte alrededor de 6273 t, vinculadas al reciclaje, es decir, el 1.14% comparado con la recolección total de RSU en el Distrito Metropolitano de

Quito. El volumen de lixiviados de los cubetos ocho y nueve del relleno sanitario fue de 105 640 m³, en tanto que el volumen de lixiviados tratados, mediante plantas PTL, VSEP, aspersión y fitorremediación fue de 118 333 m³ (EMGIRS, 2021). Por su parte, según el grado de apertura (exportación e importación de desperdicio y material) el relleno sanitario recibió aproximadamente 34 018 t de residuos provenientes del cantón Rumiñahui (EMGIRS, 2021).

Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la gestión de residuos sólidos urbanos

La caracterización del patrón metabólico identificado anteriormente puede complementarse a través de una estimación de las salidas al medio relacionada con emisiones de GEI. A continuación, en la *tabla 4* se muestran la estimación de emisiones de GEI respecto al reciclaje y disposición final en toneladas de CO₂-eq/año.

Tabla 4. Estimación de emisiones de GEI en la gestión de RSU

Datos preliminares		
Cantidad total de residuos ¹ (toneladas)	729 364	
Población estimada ²	2 951 917	
Kg/cápita/año	247	
Kg/cápita/día	0.68	
Composición del residuo	Valor (% peso húmedo)	Material seco reciclado⁸ (%)
Residuos de comida	35.7 ³	
Residuos de jardines y parques	35.7	
Papel, cartón	6.5 ⁴	67
Plásticos	9.0	14
Vidrio	1.6	13
Metales Ferrosos	0.5	6 ⁹
Aluminio	0.3 ⁵	
Textiles	1.2	
Hule, piel	0.3	
Pañales desechables	6.4 ⁶	
Madera	1.3	
Residuos Minerales	0.7 ⁷	
Otros	0.7	
Total	100	
Disposición final: Relleno sanitario con recolección de biogás	100	
Resultados emisiones de GEI por reciclaje y disposición final en t CO ₂ -eq/año	934 088	

Nota: ¹Estimación de residuos recolectados entre octubre-diciembre de 2021; ²Población estimada con base a proyecciones del INEC y consumo de agua en hogares de Quito; ³La mitad del % corresponde a residuos de comida y la otra a jardines y parques; ⁴Incluye tetra pack y otros materiales multicapa; ⁵Se consideraron metales no ferrosos; ⁶Se consideraron los desechos sanitarios; ⁷Se tomó como referencia los residuos inertes (pétreos y finos); ⁸Materiales recuperados en los Centros de Educación y Gestión Ambiental; ⁹Se consideró a la chatarra.

Fuente: ASAMTECH (2019); EMGIRS (2021); INEC (2013b) e Institut für Energie (2009).

La *tabla 4* muestra la estimación de emisiones de GEI de reciclaje y disposición final en t CO₂-eq/año con base en la herramienta de cálculo de GEI en la gestión de RSU. El porcentaje más significativo de la composición de residuos se encontró en los orgánicos (comida, jardines y parques) con 71.4%, seguido de los plásticos 9.0% y del papel y cartón 6.5%. Por su parte, el papel y cartón fueron los materiales mayormente recuperados en los Centros de Educación y Gestión Ambiental con un 67%. Las cifras reportadas por la herramienta estimaron que se enviaron 686 594 t/año de residuos al relleno sanitario, mientras que se reciclaron 42 770 t/año. Las emisiones evitadas por residuos reciclados representaron -46 305, en tanto que las emisiones por disposición final de residuos fueron de 934 088. El resultado neto de las cifras anteriores corresponde a la emisión de GEI de reciclaje y disposición, 934 088 t CO₂-eq/año. De acuerdo con lo mencionado por Malakahmad *et al.* (2017) el reciclaje se considera la opción más adecuada para reducir las emisiones GEI. De igual manera, los estudios de Turner *et al.* (2015) asociados con el reciclaje de componentes inorgánicos mostraron con cifras que se pueden evitar emisiones de GEI al reutilizar papel, vidrio, plástico, entre otros materiales.

La disposición de residuos en el vertedero del Distrito Metropolitano de Quito es aproximadamente 2 000 t/diarias y la composición orgánica representa la mayor cantidad de residuos. En este contexto, una posible solución para evitar saturar el vertedero son los sistemas alternativos de tratamiento de residuos mediante plantas de compostaje. Se estimó que la instalación de una planta de compostaje en el Distrito Metropolitano podría reducir las emisiones del sector entre 260 000 y 550 000 t de CO₂ eq en un periodo de 40 años,

acorde con la tecnología de tratamiento de residuos orgánicos utilizada (Center for Clean Air Policy, 2018).

CONCLUSIONES

La cuantificación de desperdicio evaluó las cantidades y tipos de alimentos que desechan los hogares del Distrito Metropolitano de Quito, destacándose las categorías de frutas y hortalizas. La importancia de identificar cantidades y tipos de alimentos desperdiciados se fundamenta en la provisión de data estimada, que permite desarrollar acciones potenciales de prevención y reducción de desperdicio de alimentos. La cantidad total de desperdicios estimada en todas las categorías de alimentos fue aproximadamente de 202 kg/semana, y el promedio de desperdicio por hogar de 0.76 kg/semana; lo que puede significar que se destinaron 202 kg/semana a la composición orgánica de los residuos sólidos urbanos, equivalente al 10% de la recolección diaria de estos residuos en el Distrito Metropolitano de Quito.

La caracterización de la gestión de residuos sólidos urbanos mostró un análisis multinivel de las etapas técnicas del sistema de gestión de dichos residuos, para identificar el patrón metabólico del sistema. Durante el periodo de análisis, el aporte total de los residuos señalados anteriormente fue de 543 967 t para el relleno sanitario y 6 273 t para reciclaje.

La estimación de emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos, se centró en el cálculo de reciclaje y disposición final, esto es 934 088 t CO₂-eq/año, lo que significó una cantidad importante de residuos orgánicos que no se estarían utilizando para salidas útiles como compostaje y biogás. De manera análoga podrían considerarse los materiales

secos, en torno a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero por medio de acciones dirigidas al reciclaje de residuos sólidos urbanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca-Guerrero, L. A., Maas, G. y Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220-232. <https://doi.org/f2zpp9>
- Ananda, J., Karunasena, G. G., Mitsis, A., Kansal, M. y Pearson, D. (2021). Analysing behavioural and socio-demographic factors and practices influencing Australian household food waste. *Journal of Cleaner Production*, 306. <https://doi.org/gnbxv>
- AsamTech. (2019). *Informe de la caracterización de residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito* [Archivo PDF]. <https://t.ly/aJUT>
- Bivand, R. S. y Wong, D. W. S. (2018). Comparing implementations of global and local indicators of spatial association. *TEST*, 27, 716-748. <https://doi.org/ghpds6>
- Bivand, R. S., Pebesma, E. y Gómez-Rubio, V. (2013). *Applied Spatial Data Analysis with R* (2ª ed., Vol. 10). Springer. <https://t.ly/6lGW>
- Cadillo, J. (2015). *El uso de la gramática del MuSIASEM para el análisis cuantitativo de la sostenibilidad de los sistemas alimentarios* [Tesis de Doctorado, Universitat Autònoma de Barcelona]. Repositorio Institucional. <https://t.ly/wjr7>
- Center for Clean Air Policy. (2018). *High-level pre-feasibility study and implementation plan for an organic waste treatment project in the municipality of Quito*. Climate and Clean Air Coalition. <https://t.ly/nS5R>
- Chifari, R., Lo Piano, S., Bukkens, S. G. F. y Giampietro, M. (2018). A holistic framework for the integrated assessment of urban waste management systems. *Ecological Indicators*, 94(3), 24-36. <https://doi.org/ggksh>
- Dal' Magro, G. P. y Talamini, E. (2019). Estimating the magnitude of the food loss and waste generated in Brazil. *Waste Management & Research*, 37(7), 706-716. <https://doi.org/hp29>
- Edjabou, M. E., Petersen, C., Scheutz, C. y Astrup, T. F. (2016). Food waste from Danish households: Generation and composition. *Waste Management*, 52, 256-268. <https://doi.org/f8rbtb>
- Elimelech, E., Ayalon, O. y Ert, E. (2018). What gets measured gets managed: A new method of measuring household food waste. *Waste Management*, 76, 68-81. <https://doi.org/gdsc5p>

- Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2021). *Estadísticas de la operación del relleno sanitario de Quito y estaciones de transferencia* [Archivo PDF]. <https://t.ly/BHbh>
- Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. (1998). Sustainable development: socio-economic metabolism and colonization of nature. *International Social Science Journal*, 50(158), 573-587. <https://doi.org/cqgx4s>
- Food and Agriculture Organization. (2021). *Código de conducta voluntario para la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos* [Conferencia]. 42º período de sesiones. <https://t.ly/eD4D>
- Freire, W. B., Ramírez-Luzuriaga, M. J., Belmont, P., Mendieta, M. J., Silva-Jaramillo, M. K., Romero, N., Sáenz, K., Piñeiros, P., Gómez, L. F. y Monge, R. (2014). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de la población ecuatoriana de cero a 59 años* (Tomo 1). ENSANUT-ECU 2012. Ministerio de Salud Pública/Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <https://t.ly/T74K>
- Gimond, M. (2021). *Intro to GIS and spatial analysis*. In Colby College. Github <https://github.com/mgimond/Spatial/blob/main/01-intro.Rmd>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M. y Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/bhb6zw>
- Grasso, A. C., Olthof, M. R., Boevé, A. J., van Dooren, C., Lähteenmäki, L., y Brouwer, I. A. (2019). Socio-demographic predictors of food waste behavior in Denmark and Spain. *Sustainability*, 11(12), e3244. <https://doi.org/gk89dg>
- Grau, J., Terraza, H., Velosa, R., Milena, D., Rihm, A. y Sturzenegger, G. (2015). *Solid waste management in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank. <https://t.ly/uSD->
- Gupta, D. (2013). *Research methodology*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Hamelman, J. (2017). *El pan: Manual de técnicas y recetas de panadería* (Trad. I. Yarzán). Libros con Miga.
- Hansen, O. J., Syversen, F. y Stø, E. (2016). Edible food waste from Norwegian households—Detailed food waste composition analysis among households in two different regions in Norway [Article]. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, 146-154. <https://doi.org/f8k37k>

- Herzberg, R., Schmidt, T. G. y Schneider, F. (2020). Characteristics and determinants of domestic food waste: A representative diary study across Germany. *Sustainability*, 12(11), e4702. <https://doi.org/hp3c>
- Institut für Energie. (2009). *Tool for calculating Greenhouse Gases (GHG) in solid waste management (SWM)*. KfW Bankengruppe. <https://t.ly/TtEn>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013a). *Encuesta nacional de ingresos y gastos en hogares urbanos y rurales 2011 – 2012 (ENIGHUR)*. <https://t.ly/n6lb>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013b). *Proyecciones poblacionales*. <https://t.ly/aau->
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). *Encuesta de condiciones de vida 2013-2014*. <https://t.ly/6H0K>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P. y Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. <https://t.ly/kX9M>
- Kumar, A. y Sharma, M. P. (2014). Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 5, 50-61. <https://doi.org/gmxnxb>
- Malakahmad, A., Abualqumboz, M. S., Kutty, S. R. M. y Abunama, T. J. (2017). Assessment of carbon footprint emissions and environmental concerns of solid waste treatment and disposal techniques; case study of Malaysia. *Waste Management*, 70, 282-292. <https://doi.org/hp3d>
- Michel, P. S., Agamuthu, P., Mehran, S. B., Santha, C. y Fauziah, S. H. (2021). Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the way forward. *Waste Management*, 119(1), 135-144. <https://doi.org/hp3b>
- Naciones Unidas. (2018). *World Urbanization Prospects. The 2018 Revision*. <https://t.ly/EwX2>
- Pebesma, E. (2018). Simple features for R: standardized support for spatial vector data. *The R Journal*, 10(1), 439-445. <https://doi.org/gf2ztt>
- Porter, S. D., Reay, D. S., Higgins, P. y Bomberg, E. (2016). A half-century of production-phase greenhouse gas emissions from food loss & waste in the global food supply chain. *Science of the Total Environment*, 571(15), 721-729. <https://doi.org/f84kf2>

- Secretaría de Ambiente. (2015). *Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos del Distrito Metropolitano de Quito*. INECO/Tragsatec/Alcaldía de Quito. <https://bit.ly/3xRVZDH>
- Stancu, V., Haugaard, P. y Lähteenmäki, L. (2016). Determinants of consumer food waste behaviour: Two routes to food waste. *Appetite*, 96(1), 7-17. <https://doi.org/f7473k>
- Tourangeau, R., Conrad, F. G. y Couper, M. P. (2013). *The science of web surveys*. Oxford University Press.
- Turner, D. A., Williams, I. D. y Kemp, S. (2015). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 186-197. <https://doi.org/f764pc>
- United Nations Environment Programme. (2021). *Food Waste Index Report 2021*. <https://t.ly/lWGv>
- van Herpen, E., van Geffen, L., Nijenhuis-de Vries, M., Holthuysen, N., van der Lans, I. y Quested, T. (2019). A validated survey to measure household food waste. *MethodsX*, 6, 2767-2775. <https://doi.org/hp3f>
- Withanage, S. V., Dias, G. M. y Habib, K. (2021). Review of household food waste quantification methods: Focus on composition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 279(10). <https://doi.org/gkqzqm>
- Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A. y Ormeño-Candelario, V. (2021). Determinants of municipal solid waste: a global analysis by countries' income level. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 62421–62430. <https://doi.org/hp28>