



RECOGIDA PUERTA A PUERTA DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA PILOTO APLICADA EN LOS COLEGIOS DE CASTELLÓ DE PLANA (ESPAÑA)

Gallardo Izquierdo, Antonio¹; Colomer Mendoza, Francisco J.¹, Carlos Alberola, Mar¹; Valqui Valqui, Lamberto¹; Badenes Catalán, Cristobal¹; Colás Ramos, Vicente²; Apolinar Roig, Vicente²; Moreno Solaz, Héctor³

¹ INGRES Ingeniería de Residuos, Universitat Jaume I, Castellón, España, gallardo@uji.es

² FCC Medio Ambiente SAU, Castellón, España

³ Ayuntamiento de Castelló de la Plana, Castellón, España

Resumen

La recogida separada en origen de los residuos sólidos urbanos (RSU) es la mejor forma de incrementar y mejorar el reciclaje de los diferentes materiales que los forman. Esta forma de recogida permite aumentar la eficiencia en las plantas de separación de envases y de tratamiento de la fracción orgánica. Existen diferentes modelos de recogida separada, uno de los más exitosos es el de puerta a puerta, consistente en el depósito de los residuos en un cubo/contenedor por parte de los generadores, en el mismo punto de generación.

El objetivo del presente trabajo de investigación ha sido determinar la cantidad y composición de la fracción orgánica de los RSU procedente de colegios públicos de la ciudad de Castelló de la Plana (España), recogida separadamente y puerta a puerta. Para ello, se diseñó una experiencia piloto que duró 90 días y en la que participaron todos los colegios. Como principales resultados, se ha obtenido que el porcentaje de materia orgánica depositada en el contenedor es del 83,8%, de ellos el 43,6% es comida desperdiciada. Respecto a la tasa de recogida media diaria, ha sido de 0,022 kg/alumno-día, observándose que la tasa bajó en la segunda mitad de la experiencia. Como principales conclusiones, se determinó que el grado de separación de la fracción orgánica fue muy elevado, así como la participación. Sin embargo, esta última decayó al final del experimento, lo cual demuestra la importancia de hacer campañas informativas constantes para mantener la participación en los programas de recogida selectiva de residuos.

Abstract

The municipal solid waste (MSW) selective collection is the best option to increase and improve the recycling of the different materials that compose the waste. This type of collection allows to increase the efficiency of the sorting packaging facilities and the organic fraction treatment plants. There are many selective collection systems, one of the most successful systems is the door-to-door system. In this system, generators take out their waste to a garbage bin at the generation point.

The aim of this research work is to determine the amount and composition of the organic fraction of the MSW coming from primary public schools in Castelló de la Plana (Spain) which is collected door-to-door separately. For this purpose, a pilot experience that lasted 90 days was designed. All the primary public schools of the town participated in this experience. The main results show that the percentage of organic

fraction deposited in the bin was 83,8%, from that, 43,6% was profitable food. The average daily collection rate was 0,022 kg/student-day and this value decreased in the second half of the experience. The main conclusions extracted were that the separation degree of the organic fraction was very high as well as the participation. However, the involvement declined at the end of the experience. This fact shows the importance of the continued awareness campaigns to get people involved in the waste selective collection programmes.

Palabras clave/keywords:

Residuo sólido urbano, fracción orgánica, recogida puerta a puerta, comida desperdiciada/Municipal solid waste, biowaste, door-to-door collection, wasted food

1. Introducción

Las tasas crecientes de residuo de comida en los países desarrollados se perciben como un fallo en el sistema. En los comedores escolares se generan elevadas cantidades de este tipo de residuo. Precisamente, los colegios son un entorno en el que se debería transmitir hábitos de consumo sostenible. Boulet et al. (2019) determinaron que abordar el reto del residuo de comida en Australia requiere de una implicación de los consumidores. Estos autores exploraron un caso de estudio para identificar y priorizar el comportamiento respecto a la reducción de residuo de comida en escuelas australianas. En Italia, Castrica et al. (2018) apuntaron que los servicios de *catering* de los colegios se caracterizan por un alto nivel de ineficiencia respecto a la comida procesada pero no consumida durante los ágapes.

El objetivo del proyecto de investigación ha sido determinar la cantidad y composición de la fracción orgánica de los RSU (FORSU) recogida separadamente en el contenedor de la fracción orgánica puerta a puerta, en los colegios públicos de la ciudad de Castelló de la Plana, así como hacer un análisis de los resultados obtenidos. Como muestran varios estudios, la recogida puerta a puerta es la manera más eficaz de obtener unas elevadas ratios de separación (Li et al. 2019; Calabro y Komilis 2019; Ragazzi et al. 2019; Álvarez et al. 2008)

Se estableció una experiencia piloto de recogida selectiva en los 38 colegios públicos de la ciudad, en los cuales el Ayuntamiento impartió unos cursos informativos sobre cómo transcurriría dicha experiencia y su importancia para el medio ambiente y la economía circular. La duración de la experiencia fue de 91 días, del 4 de noviembre de 2019 al 4 de febrero de 2020.

2. Metodología

La metodología propuesta para llevar a cabo el experimento ha sido la siguiente:

- **Determinación del número de muestras mínimo:** En estadística, el número de muestras mínimo hace referencia al número de observaciones que componen la muestra extraída de una población y que, como mínimo, son necesarias para que los resultados obtenidos sean representativos de esa misma población. En este estudio se ha utilizado la metodología desarrollada por la Comisión Europea en 2004 para el análisis de residuos sólidos (SWA-Tool), la cual establece una serie de recomendaciones y mínimos estándares para la caracterización de los RSU.
- **Determinación del tamaño de muestra:** El tamaño mínimo de muestra hace referencia a la cantidad de residuos de la muestra. La metodología SWA – Tool recomienda que esta debe ser el volumen de un contenedor, sin tener en cuenta los residuos contenidos dentro del mismo. Normalmente, en un mismo municipio o ciudad existen contenedores de diferentes tamaños, la metodología recomienda elegir como tamaño de muestra el volumen del tipo de contenedor más

comúnmente usado. En el estudio piloto se han utilizado contenedores de 2.400 litros, estableciéndose este como tamaño de muestra.

- Realización del trabajo de campo: En la puerta de cada colegio se ubicó un contenedor de color marrón, para que los responsables de la limpieza vaciasen las bolsas de materia orgánica (MO). Este contenedor es accesible a los vecinos colindantes, por lo que también lo pueden utilizar. Sin embargo, es sencillo determinar las bolsas de basura de los colegios, pues estos usan bolsas grandes (de 120 L), mientras que los vecinos utilizan bolsas pequeñas (30 L). Las caracterizaciones del contenedor de FORSU las realizó el grupo de investigación INGRES en las instalaciones de la empresa FCC Medio Ambiente SAU. El control y pesado de las cantidades recogidas las realizó la empresa, pesando todos los camiones de recolección a la entrada de la planta de tratamiento. La frecuencia de recolección fue de tres veces por semana.
- Obtención de resultados y conclusiones: Durante el experimento se fueron procesando todos los datos tomados en las caracterizaciones y pesadas de los residuos. Finalmente, se obtuvieron los resultados y se sacaron conclusiones.

3. Resultados y discusión

3.1. Número mínimo de muestras

El número de muestras a caracterizar obtenido fue de 7. Según el método de la SWA-Tool, es necesario conocer la composición de los residuos (medias y desviaciones estándar) de estudios recientes en el mismo lugar. En este caso, se ha utilizado la composición media del contenedor de MO obtenida en un estudio piloto del año 2017 y considerado solo la fracción de MO, para un nivel de confianza del 95% y un error del 10%.

En la tabla 1 se muestran todos los datos necesarios para realizar el cálculo y el resultado obtenido (tamaño de muestra necesario), tras la aplicación del método a la fracción de MO del contenedor de la FORSU.

Tabla 1. Cálculo del número de muestra.

Contenedor	Fracción	Estudio año 2017			$t_{0,05;\infty}$	ϵ (%)	n
		Media (%)	Des.St. (%)	CV (‰)			
FORSU	MO	77,02	10,12	0,13	1,96	0,1	7

Por las características de la ciudad, esta se ha dividido en dos sectores: Renta media (RM) y Renta Alta (RA), por lo que en cada sector se han de caracterizar al menos 7 muestras.

3.2. Estudio de la composición del contenedor de FORSU

La composición media y la desviación estándar del contenedor de FORSU se expone en la tabla 2. Se puede observar que los porcentajes de MO son altos, un 74,83%. La desviación típica es elevada debido a las variaciones encontradas en los días de muestreo. La MO está formada principalmente por restos de comida (49,18%), pero es importante destacar la fracción de comida desperdiciada, que supone el 22,86% del total del contenedor y un 30,5% de la MO. Si se rebajara el desperdicio de comida, además de aprovechar los alimentos se generarían menos residuos. Estos valores son claramente más bajos que los obtenidos por Calabro y Komilis (2019) en Italia, en los que el contenido en biorresiduo fue del 89% después de una campaña de concienciación. Sin embargo, en Cataluña (España) se obtuvieron resultados, aunque algo más altos, más parecidos de 80-90% (Álvarez et al. 2008).

Dentro de la categoría de impropios, las fracciones de papel-cartón y de envases han sido las más importantes. La fracción de bolsas de plástico supone el 1,37% y corresponde a las bolsas que contienen los residuos, por lo que, si fuesen biodegradables se podrían incluir en la materia orgánica (MO). La fracción Resto está formada por guantes de látex, pañales, cargadores de teléfono, tiras de caucho, cápsulas de café, bastoncillos, celulosa de higiene personal y la fracción de Residuos Peligrosos de medicamentos, pilas, rotuladores, bolígrafos, pinturas, etc. La presencia de impropios es problemática, ya que disminuye la calidad del compost resultante (Campos-Rodrigues, 2020; Alessi et al. 2020; Slavik et al. 2019; Iqbal et al. 2010).

Como ya se ha comentado en la metodología, en los contenedores depositan los residuos tanto los colegios como los ciudadanos colindantes. Por este motivo, en cada contenedor se separaron los residuos provenientes de estas dos fuentes, ya que era fácil distinguir las bolsas. Por otro lado, mientras en los colegios se realizaron charlas de concienciación, los ciudadanos solo disponían de la información adherida al contenedor y de su propio conocimiento sobre el tema.

Tabla 2. Composición media del contenedor de FORSU, composición de colegios y ciudadanos.

Fracciones	Media Contenedor		Colegios		Ciudadanos	
	Media (%)	Des. St. (%)	Media (%)	Des. St.(%)	Media (%)	Des. St.(%)
Materia Orgánica	74,83	22,86	83,76	25,93	63,50	21,23
<i>Restos comida</i>	49,18	21,37	46,11	23,72	46,10	25,52
<i>Comida desperdiciada</i>	22,86	20,36	32,64	27,89	16,95	13,77
<i>Jardinería</i>	2,79	9,97	5,01	16,73	0,45	0,94
Impropios	25,17	22,86	16,24	25,93	36,50	21,23
<i>Envases</i>	7,10	6,06	4,59	7,51	11,13	6,38
<i>Papel/cartón</i>	7,50	11,50	8,55	16,73	6,44	5,61
<i>Vidrio envases</i>	1,97	2,02	0,14	0,51	4,87	3,21
<i>Textil</i>	0,43	0,86	0,43	1,06	0,55	1,44
<i>Resto</i>	4,98	9,68	0,53	0,87	9,96	16,71
<i>Bolsas plásticas</i>	1,37	1,14	1,13	1,15	1,65	1,45
<i>Residuos peligrosos</i>	1,83	2,94	0,88	2,57	1,89	2,61

En la tabla 2 también se presentan los resultados de la composición de los residuos depositados por los colegios (bolsas de 120 L). Se puede observar que la MO asciende al 83,76% y es superior a la media del contenedor (74,83%). Este resultado es lógico, pues los colegios recibieron formación. De hecho, las actividades de concienciación ciudadana mejoran notablemente los resultados (Wang et al. 2020; Slavik et al. 2019; Ferronato et al. 2019; Calabro y Komilis, 2019; Ragazzi et al., 2017).

La MO está formada principalmente por restos de comida (46,11%), pero es importante destacar la fracción de comida desperdiciada, que supone el 32,64 % del total del contenedor y un 43,62% del total de la MO. Este dato es parecido al aportado por García-Herrero et al. (2021), que contabilizaron que en Columbia (EE-UU) la comida desperdiciada en la cantina está entre el 28% y 53% en peso del total de residuo generado. Y que el presentado por Ramamoorthy et al. (2019), que obtuvieron que en los colegios de la India el desperdicio de comida representaba un 39% del total de residuo generado. El desperdicio de comida es muy elevado, si hubiera un mayor aprovechamiento de la comida, además de aprovechar los alimentos, se generarían menos residuos. Los restos de jardinería ascienden al 5% y están formados por podas y hojas secas procedentes de los jardines de los patios de colegio.

Dentro de la categoría de impropios, las fracciones de papel-cartón es de un 8,55%, está formada de papel de papeleras de las aulas y de patio. La fracción de envases es del 4,59% y está formada por envases de bebidas procedentes de los patios y papeleras del colegio. Si ambos materiales se hubiesen depositado en los contenedores correspondientes, la fracción de impropios habría bajado considerablemente. La fracción de bolsas plásticas supone el 1,15 % y corresponde a las bolsas que contienen los residuos, por lo que, si fuesen biodegradables, esta fracción se podría incluir en la MO.

Finalmente, la tabla 2 presenta los resultados de la composición de los residuos depositados por los ciudadanos. Se puede observar que la MO asciende al 63,50%, un valor muy bajo. Este resultado es lógico, pues los ciudadanos no recibieron formación. La categoría de MO está formada principalmente por restos de comida (46,10%) y la fracción de comida desperdiciada es de un 16,95 % respecto al total del contenedor y de un 22,65 % de la MO. Se puede apreciar que el desperdicio en este caso es mucho menor que en los colegios. En algunos contenedores se detectó fruta fresca procedente de fruterías. Dentro de la categoría de impropios, las fracciones de envases es de un 11,13%, que es la más elevada, seguida del papel/cartón con un 6,44% y del vidrio con un 4,87%. La fracción de bolsas de plásticas supone el 1,65%.

3.3. Estudio de las cantidades recogidas

En la tabla 3 se presentan los datos característicos de la experiencia piloto y los resultados obtenidos.

Tabla 3: Datos de la recogida de la FORSU.

Parámetros	Resultados
Nº alumnos	14.084
Puntos recogida (Nº Colegios)	38
Nº de Contenedores	40
Nº contenedores por punto	1 (excepto en 2 Colegios, con 2 contenedores)
Volumen contenedor (L)	2.400
Duración de la campaña de recogida (días)	91
Porcentaje de residuos depositados por colegios (%)	53,48
Porcentaje de residuos depositado por ciudadanos (%)	46,52
FORSU total (kg)	53.340
FORSU depositada por colegios (kg)	28.526
FORSU depositada por ciudadanos (kg)	24.814
TRD _{FORSU-AL} (kg/alumno-día)	0,022

El porcentaje de residuos depositado por los colegios en el contenedor es del 53,48%, el resto ha sido depositado por los ciudadanos. La participación ciudadana ha sido importante a pesar de que no se les informó ni formó para este experimento.

La tasa de recogida diaria de la FORSU debida a los colegios (TRD_{FORSU-AL}) es de 0,022 kg/alumno-día. Este dato es similar al determinado por Kasavan et al. (2021) en Malasia, donde los desperdicios de comida en los colegios son de 0,012 kg/alumno-día. A nivel de centros universitarios se ha encontrado información solo de recogida de residuos totales. Gallardo et al. (2016) en su estudio de generación de RSU en la Universitat Jaume I (España) determinaron que la TRD es de 0,090 kg/usuario/día lectivo, Ruiz Morales (2012) determinó una TRD de 0,330 kg/usuario/día lectivo en la Universidad Iberoamericana (México), Armijo de Vega et al. (2008) en la Universidad Autónoma de Baja California (México) determinaron una TRD de 0,045 kg/usuario/día lectivo y Mason et al. (2004) en la Universidad de Massey (Nueva Zelanda)

obtuvieron 0,042 kg/usuario/día lectivo. Si se considera que en el estudio realizado en los colegios de Castelló de la Plana solo se ha computado la FORSU, los resultados están dentro del mismo orden de magnitud.

En cuanto a la variación de las cantidades recogidas a lo largo del tiempo que duró la experiencia piloto, en la figura 5 se puede observar que de noviembre hasta el 10 de diciembre se recogían de media 2.360 kg por día de recogida, a partir de esa fecha y hasta el final de la experiencia la recogida bajó los 745 kg. No se tiene información de cuál ha sido el motivo de esta variación.

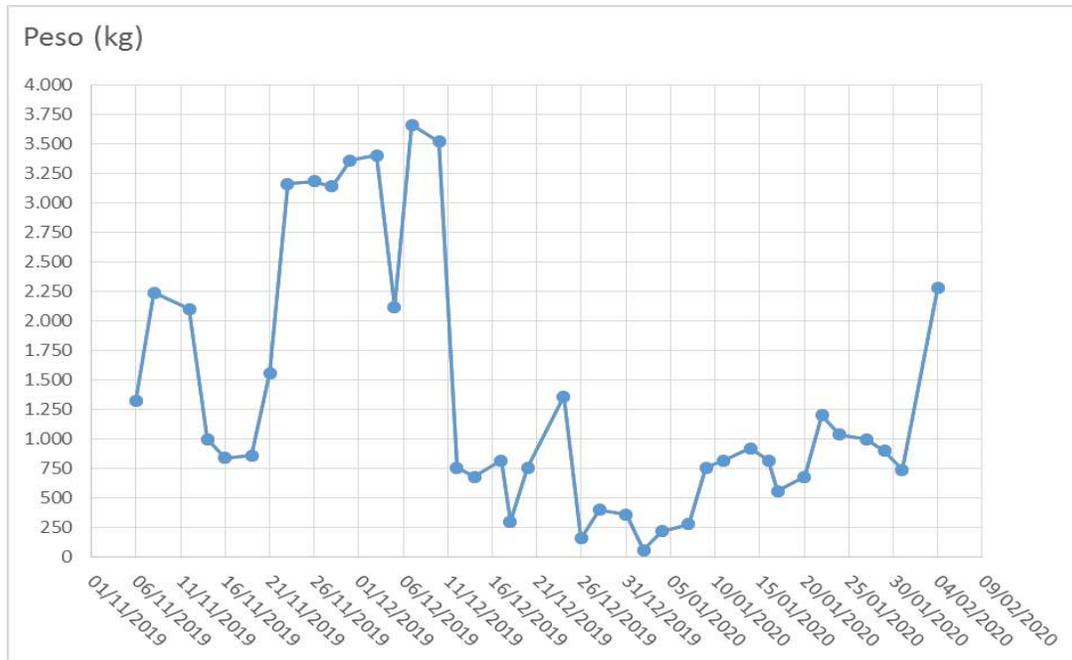


Figura 1. Evolución de la recogida.

4. Conclusiones

Respecto a la composición del contenedor de la FORSU, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Los porcentajes de MO del contenedor de FORSU son elevados, de un 74,83%. El papel/cartón y los envases suponen un 14,5 %, por lo que, si estas fracciones se depositasen en los contenedores correspondientes, mejoraría bastante la calidad.
- Es importante destacar la fracción de comida desperdiciada, que supone un 30,5% de la MO depositada en el contenedor. Si se rebajara el desperdicio de comida, además de aprovechar los alimentos se generaría menos residuo.
- El porcentaje de MO de las bolsas de los colegios es del 83,76%, superior a la media del contenedor. Este resultado es lógico, pues los colegios recibieron formación. La fracción de papel-cartón es de un 8,55% y la de envases del 4,59%. Si se promueve la recogida selectiva dentro de los colegios estos impropios podrían eliminarse y así mejorar la calidad de la MO. En el caso de los colegios, la comida desperdiciada representa un 43,62 % de la MO, porcentaje muy elevado.
- El porcentaje de MO en las bolsas depositadas por los ciudadanos es del 63,50%, un valor muy bajo. Este resultado es lógico, pues los ciudadanos no recibieron formación. La fracción de comida

desperdiciada supone un 22,65 % de la MO, el desperdicio en este caso es mucho menor que en los colegios.

Respecto a la recogida del contenedor de la FORSU, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El porcentaje de residuos depositados por los colegios en el contenedor es del 53,48%, el resto ha sido depositado por los ciudadanos. La tasa de recogida diaria de la FORSU de los colegios es de 0,022 kg/alumno-día.
- En cuanto a la variación de la recogida a lo largo del tiempo que duró la experiencia, se ha observado que en la segunda mitad la recogida media diaria fue de un tercio de lo recogido en la primera parte, por lo que habría que haber realizado algún refuerzo informativo para incentivar la separación.

5. Referencias

- Alessi, A. et al. (2020) Mechanical separation of impurities in biowaste: Comparison of four different pretreatment systems. *Waste Management*, volumen 106(1), 12–20.
- Armijo de Vega C., Ojeda Benítez S. & Ramírez Barreto. M.E. (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Manag.* 28(1).
- Alvarez, M. D., Sans, R., Garrido, N., Torres, A. (2008) Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia. *Waste Management*, volumen 28(2), 359–366.
- Boulet, M., Wright, B., Willians, C., Rickinson, M. 2019. Return to sender: a behavioural approach to reducing food waste in schools. *Australasian Journal of Environmental Management*. 26, 4,328-246.
- Calabro, P. S., Komilis, D. A (2019) standardized inspection methodology to evaluate municipal solid waste collection performance. *Journal of Environmental Management*, volumen 246, 184–191.
- Campos-Rodrigues, L. et al. (2020) The impact of improper materials in biowaste on the quality of compost. *Journal of Cleaner Production*, volumen 251, 119601.
- Castrica, M., Balzaretto, C.M., Baldi, A. 2018. Meal portion sizes and their potential impacts on food waste: case study of school meals in Italy. *International Journal of Health Animal Science Food Safety*. Volumen (5), 1s.
- Ferronato, N. et al. (2019) How to improve recycling rate in developing big cities: An integrated approach for assessing municipal solid waste collection and treatment scenarios. *Environmental Development*, volumen 29, 94–110.
- Gallardo A, Edo-Alcón N., Carlos M. & Renau M. (2016). The determination and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university. *Waste Management*. 53, 3-11.
- García-Herrero,L., Costello, C., De Menna, F., Schreiber,L., Vittuari, M. 2021. Eating away at sustainability. Food consumption and waste patterns in a US school canteen. *Journal of Cleaner Production*. Volume (279), 123571.
- Iqbal, M. K., Shafiq, T. & Ahmed, K. (2010). Characterization of bulking agents and their effect on physical properties of compost. *Bioresource Technology*, volumen 101, 1913–1919.
- Li, X. et al. (2019) Garbage source classification performance, impact factor, and management strategy in rural areas of China: A case study in Hangzhou. *Waste Management*, volumen 89, 313–321.
- Mason I.G., Oberender A. & Brooking. A. K. (2004). Source separation and potential re-use of resource residuals at a university campus. *Resour. Conserv. Recy.* 40(2), 155–172
- Ragazzi, M. et al. (2017) Experiencing urban mining in an Italian municipality towards a circular economy vision. *Energy Proceedings*, volumen 119, 192–200.
- Ramamoorthy, R., Poyyamoli, G., Kumar, S. 2019. Assessment of solid waste generation and management in selected school campuses in Puducherry region, India. *Environmental Engineering and Management Journal*. Volume (18), 2, 499-512 .

- Ruiz Morales M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana. Ciudad de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28(1), 93–97.
- Saraswathy, K., Nurul Izzati Binti Mohd, A., Sharif Shofirun Bin Sharif, A., Nadia Azia Binti M., Sumiani Binti, Y. 2021. Quantification of food waste in school canteens: A mass flow analysis. *Resources, Conservation & Recycling.* Volume (164), 105176.
- Slavík, J., Rybová, K.; Dolejš, M. (2019) Biowaste separation at source and its limitations based on spatial conditions. *Detritus*, volumen 5, 36–45.
- Wang, D. et al. (2020) Future improvements on performance of an EU landfill directive driven municipal solid waste management for a city in England. *Waste Management*, volumen 102, 452–463.