

04-023

CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF THE FORSU: LESSONS LEARNED AFTER A YEAR OF IMPLEMENTATION OF SELECTIVE COLLECTION (CASTELLÓN DE LA PLANA)

Moreno Solaz, Héctor (1); Cloquell-Ballester, V.A. (2); Edo Alcón, Natalia (3); Badenes Catalán, Cristóbal (1); Artacho-Ramírez, M.A. (2)

(1) Dirección de Servicios Urbanos, Infraestructuras y Medio Ambiente. Ayuntamiento Castellón de la Plana, (2) PRINS (Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad). Universitat Politècnica de València., (3) Eurofins Iproma

Bio-waste is the majority component of the different fractions of domestic waste, accounting for approximately 40% by weight of the total (PEMAR, 2016). In the context of the European Union, Directive 2008/98/EC includes in Article 22 the separate collection of biowaste for its correct treatment and recovery. The purpose of the following article is to analyze the results obtained during the first year of implementation of the selective collection service for the organic fraction of solid urban waste (FORSU) in the city of Castelló de la Plana. The evolution of the monthly weighings obtained, the collection rate per inhabitant and the composition of the waste deposited have been taken into account. For this, a monthly characterization has been carried out, through the random sampling of a container per district in each of the twelve months that the experience lasted. The results reveal a generation of selectively collected bio-waste of 0.045 kilograms per inhabitant per day, and an average rate of improper waste of 39.86%. These results have been compared with those obtained in pilot experiences prior to the final implementation that took place at the end of 2020.

Keywords: Urban solid waste; organic fraction; biowaste; characterization; FORSU

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FORSU: LECCIONES APRENDIDAS TRAS UN AÑO DE IMPLANTACIÓN DE RECOGIDA SELECTIVA (CASTELLÓN DE LA PLANA)

Los biorresiduos son el componente mayoritario de las distintas fracciones de residuos domésticos ya que suponen aproximadamente un 40 % en peso con respecto al total (PEMAR, 2016). En el contexto de la Unión Europea, la Directiva 2008/98/CE incluye en el Artículo 22 la recogida separada de biorresiduos para su correcto tratamiento y valorización. El siguiente artículo tiene como objeto el análisis de los resultados obtenidos durante el primer año de implantación del servicio de recogida selectiva de fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) en la ciudad de Castelló de la Plana. Se han tenido en cuenta la evolución de los pesajes mensuales obtenidos, la tasa de recogida por habitante y la composición de los residuos depositados. Para ello se ha realizado una caracterización mensual, mediante el muestreo aleatorio de un contenedor por distrito en cada uno de los doce meses que duró la experiencia. Los resultados revelan una generación de biorresiduos recogidos de manera selectiva de 0,045 kilogramos por habitante y día, y una tasa media de impropios del 39,86%. Estos resultados se han comparado con los obtenidos en experiencias piloto previas a la implantación definitiva que tuvo lugar a finales del año 2020.

Palabras clave: Residuo sólido urbano; fracción orgánica; biorresiduos; caracterización; FORSU

Correspondencia: Victor Cloquell Ballester. Correo: vacloque@dpi.upv.es

Agradecimientos: A la Dirección de Servicios Urbanos, Infraestructuras y Medio Ambiente. Ayuntamiento Castellón de la Plana promotora del proyecto y a la empresa Eurofins Iproma responsable de los trabajos de caracterización.



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La cantidad de residuos generados en las ciudades está en constante aumento y éstos son cada vez más diversos y peligrosos. La calidad en la gestión de residuos, por lo tanto, se ha vuelto más importante debido a su impacto directo en el medio ambiente y la salud humana. (Fasihi & Parizadi, 2021).

En este sentido, la Directiva 2008/98/CE Marco de Residuos, del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre, dispone que los Estados miembros deberán adoptar las medidas necesarias para aumentar un 50% en peso la preparación para la reutilización y reciclado de residuos domésticos a corto plazo. Así, la Unión Europea está fomentando los tratamientos biológicos de los residuos orgánicos como alternativa a los vertederos y también a mejorar el reciclaje de la materia orgánica. La composición de estos residuos es muy importante para obtener un compostaje de buena calidad. (Huerta-Pujol et al., 2011)

El Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR, 2016), en la búsqueda de una economía circular, apuesta por la reincorporación a los procesos productivos los materiales contenidos en los residuos, fomentando acciones para mejorar la gestión de la fracción orgánica de los residuos municipales.

En el ámbito de la Comunidad Valenciana, Plan Integral de Residuos (Comunidad Valenciana, 2019), establece el objetivo de que antes del 2020 todos los municipios y entidades locales responsables de los servicios de recogida de residuos, deben tener implantada una recogida de biorresiduos, con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero originados por la eliminación de residuos en vertederos, así como la recogida separada y el tratamiento adecuado de los biorresiduos, para producir compost seguro para el medio ambiente y otros materiales producidos a partir de los biorresiduos .

Castelló de la Plana es una ciudad mediterránea, capital de la provincia de Castellón, ubicada al norte de la Comunidad Valencia con una población de 172.589 habitantes en 2021 (INE, 2021). En el siguiente artículo se analiza la evolución de la generación de bioresiduos en la ciudad de Castelló de la Plana, tras un año desde su implantación. Para ello, se han utilizado dos variables fundamentales, la tasa bruta de recogida por habitante y día (TRD-B), y tras caracterizar una muestra mensual de dichos biorresiduos se ha podido determinar también la tasa neta de recogida por habitante y día (TRD-N). Los resultados, en cuanto a cantidad y calidad, se han comparado con tres experiencias piloto anteriores que se habían desarrollado en la ciudad en los años 2017, 2018 y 2019, respectivamente donde se obtuvo de media una TRD-N de 0,03 kg/hab.día. (Gallardo et al. 2017, 2019, 2021) como se desarrolla en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen Experiencias piloto previas a la implantación

Zona	Centro	Norte	Oeste	Grao	Este	Colegios
Población	3.956	1.451	2.244	843	1.820	14.084
Duración	179	179	179	182	182	91
Contenerización (l)	9.600	11.000	14.400	11.000	14.400	96.000
Cont/habitante (l)	2,43	7,58	6,42	13,05	7,91	6,82
Generación bruta (kg)	5.180	12.080	9.200	13.421	14.280	28.526
Generación neta (kg)	4.184	10.051	7.491	12.223	13.969	23.893
% impropios	19 %	17 %	19 %	9 %	2 %	16 %
TRD _B (kg/hab.día)	0,007	0,047	0,023	0,087	0,043	0,022

TRD _N (kg/hab.día)	0,006	0,039	0,019	0,080	0,042	0,019
Resumen	Experiencia 1		Experiencia 2		Experiencia 3*	
Población	7.651		2.663		14.084	
Lcont/hab	4,57		9,54		6,82	
% impropios	18 %		5 %		16 %	
TRD _B (kg/hab.día)	0,019		0,057		0,022	
TRD _N (kg/hab.día)	0,016		0,054		0,019	

Nota: La columna únicamente incluye los datos correspondientes a la experiencia en los colegios.

2. Metodología

2.1 La implantación en la ciudad

La implantación progresiva del sistema de recogida de la fracción orgánica en la ciudad de Castelló de la Plana comenzó en septiembre de 2020. Tras los primeros meses de implantación, en diciembre de ese mismo año se comenzó a caracterizar durante un año los biorresiduos depositados en contenedor específico mediante muestras mensuales.

La implantación de este nuevo servicio incrementó los costes de la recogida de residuos de la ciudad en casi un 9% (Ayuntamiento Castelló, 2020) y se puede resumir de la siguiente manera:

- Suministro instalación y mantenimiento de 1.098 contenedores de 2.000 litros de capacidad y carga lateral automática (12,72 litros/habitante).
- Pre-recogida diaria de forma manual de los restos depositados fuera de los contenedores, mediante dos camiones volquete baúl, de 4,5 m³.
- Recogida mecanizada diaria, con frecuencia alterna, mediante tres camiones robotizados recolectores de 19 m³ de carga lateral.
- Limpieza de contenedores con una frecuencia mensual, con vehículo robotizado lava contenedores de carga lateral.
- Reducción del servicio de recogida de la fracción resto (o todo en uno), mediante retirada de 400 contenedores de 1100 litros dicha fracción.

2.2 Caracterización de la fracción orgánica

El objetivo principal de las caracterizaciones fue llevar a cabo un seguimiento de la implantación de la recogida selectiva de la FORSU en la ciudad durante un año, lo que permitiría detectar las fortalezas, debilidades y necesidades del sistema, así como orientar las tareas de educación ambiental a poner en marcha con la ciudadanía. Los impropios por definición, son residuos que no deberían estar en el contenedor objeto de estudio, en este caso serán plásticos, vidrio, cartón, textil, etc.

En la actualidad no existe ninguna metodología estandarizada para calcular el número mínimo de muestras en la caracterización de residuos sólidos urbanos, sino que se han desarrollado una gran variedad de métodos distintos que se aplican en función de las condiciones de cada caso y la información que se quiere obtener. De todas ellas, se ha utilizado la metodología desarrollada por la Comisión Europea (2004) para el análisis de residuos sólidos (SWA-Tool).

En ella se establecen una serie de recomendaciones y mínimo estándares para correcta caracterización de RSU.

Esta metodología utiliza datos sobre la composición de los residuos (medias y desviaciones estándar) procedentes de estudios piloto o de estudios que se hayan realizado con anterioridad, según la siguiente fórmula:

$$n = \left(\frac{t_{\alpha;n-1} \cdot CV}{\varepsilon} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

n: Número mínimo de muestras

$t_{\alpha;n-1}$: Desviación del valor medio que se acepta para lograr el nivel de confianza deseado (1- α). Viene expresado por el coeficiente de confianza de la distribución "t" para un nivel de significación " α " y n-1 grados de libertad. En función del nivel de confianza se usa un valor diferente que viene dado por la forma que tiene la distribución "t" cuando n-1 $\rightarrow \infty$. Los valores más frecuentes son:

- Nivel de confianza 90% $\rightarrow = 1,645$
- Nivel de confianza 95% $\rightarrow = 1,960$
- Nivel de confianza 99% $\rightarrow = 2,576$

CV: Es la varianza que esperamos encontrar en la población, expresada mediante el coeficiente de Variación (en tanto por uno):

$$CV = \frac{s}{\bar{x}}$$

Los datos de medias (\bar{x}) y desviaciones estándar (s) se deben obtener de un estudio piloto previo.

ε : Margen de error máximo que se admite (en tanto por uno).

A la hora de calcular el número mínimo de muestras para determinar la composición de la FORSU recogida selectivamente en Castellón, se ha escogido un nivel de confianza del 95% según lo indicado por la herramienta y un error del 10%. Respecto al error elegido, Pehlken, et al. (2000) consideran adecuado tomar un error del 10% en los muestreos de RSU. Las medias y desviaciones estándar necesarias del contenedor de FORSU se han obtenido de los datos del estudio piloto más reciente realizado en el año 2019 (Gallardo et al., 2021).

En la tabla 2 se muestra el número mínimo de muestras obtenido y todos los datos implicados en la realización del cálculo tras la aplicación de la ecuación 1 a las fracciones consideradas.

Tabla 2. Cálculo del número mínimo de muestras

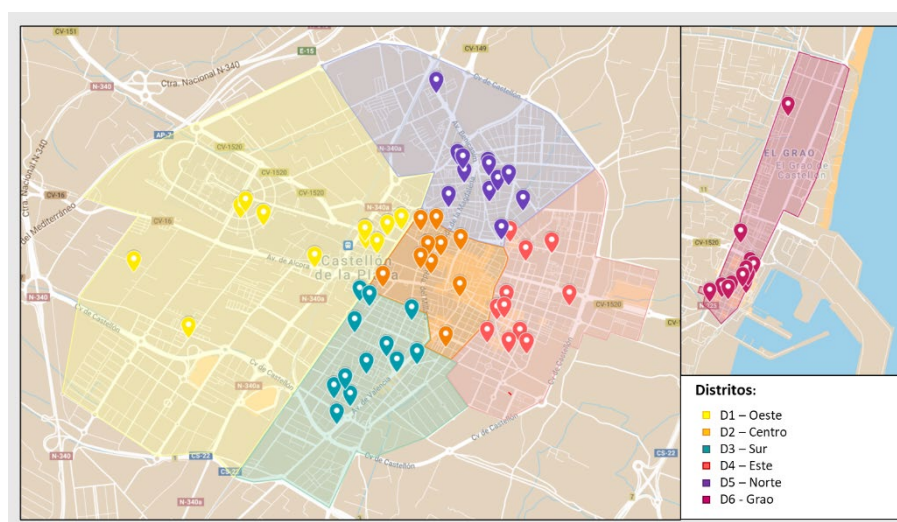
FRACCIÓN	Experiencia 3 (2019)			$t_{0,05;\infty}$	ε (‰)	n
	Media (%)	Desv. St. (%)	CV (‰)			
Materia Orgánica	74,83	22,86	0,305	1,96	0,1	36

Como se observa en la tabla 2, el número mínimo de muestras necesarias para obtener resultados representativos es de 36 en el caso de la materia orgánica

Por otro lado, la SWA-Tool indica que es fundamental evaluar los factores que pueden influir en la composición de los residuos, algunos de ellos son: la estacionalidad, la estructura residencial (zona rural, suburbana, centro de ciudad, etc.), el tamaño del contenedor, el sistema de recogida, el origen de los residuos, los factores socioeconómicos o la frecuencia de recogida. Así pues, siguiendo las directrices de la metodología, para poder tener en cuenta la estacionalidad se decidió tomar muestras mensuales a lo largo de todo un año. Mientras que para poder considerar la estructura residencial y los factores socioeconómicos se decidió tomar muestras en cada uno de los 6 distritos en los que se divide la ciudad de Castellón. En total se han realizado 72 caracterizaciones (1 caracterización al mes en cada distrito), por lo que se puede decir que los resultados obtenidos de composición del contenedor de la FORSU son representativos, ya que cumplen con el número mínimo de muestras necesarias (tabla 2).

Por último, una vez conocido el número de caracterizaciones realizadas, se pueden calcular el error exacto que se ha cometido despejando de la ecuación 1 el error (ϵ). Así pues, cuando $n=72$, el error asumido es del 5%.

Figura 1. Ubicación de la muestra de contenedores elegida para su caracterización



Por lo tanto, la muestra que se caracteriza para cada distrito corresponde a un contenedor procedente de cada uno de ellos. Además, como se ha indicado anteriormente, el tamaño de muestra es un contenedor de fracción orgánica de 2.000 litros, sin tener en cuenta la cantidad de residuos contenidos dentro del mismo. Para su caracterización, estos contenedores fueron llevados a la planta de transferencia de RSU de RECIPLASA en Almazora. El periodo de análisis fue el comprendido entre el 1 de diciembre de 2020 y el 30 de noviembre de 2021.

Figura 2. Contenedores FORSU preparados para su caracterización



3. Resultados

3.1. Análisis cuantitativo. Generación de biorresiduos en la ciudad

En la tabla 3 se muestran los pesajes y ratios obtenidos respecto a la fracción orgánica a lo largo de periodo indicado. Debe reseñarse que, dado que las rutas de recogida comprenden varios distritos, no ha sido posible obtener los pesajes de cada uno de ellos de manera diferenciada.

Tabla 3. Recogida selectiva de biorresiduos en contenedor marrón

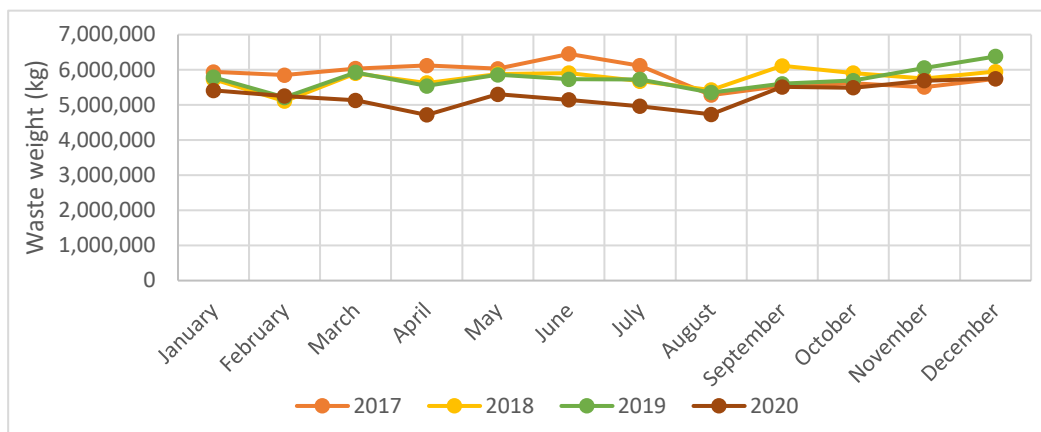
Año	Mes	FORSU (kg)	TRD-B (kg/hab-día)
2020	Diciembre	230.720	0,045
2021	Enero	240.880	0,045
	Febrero	231.000	0,048
	Marzo	251.600	0,047
	Abril	246.420	0,048
	Mayo	251.880	0,047
	Junio	239.500	0,046
	Julio	205.800	0,038
	Agosto	196.870	0,037
	Septiembre	243.800	0,047
	Octubre	244.200	0,046
	Noviembre	230.840	0,045
TOTAL		2.813.510	-
MEDIA MENSUAL		234.456	0,045

La cantidad de FORSU bruta total recogida selectivamente en la Ciudad de Castellón, desde diciembre de 2020 hasta noviembre de 2021 ha sido 2.813.510 kg, lo que supone una media mensual de 234.456 kg. Este dato representa aproximadamente un 4% del total de los residuos generados en Castelló de la Plana mensualmente, ello que confirma que las áreas densamente pobladas tienen dificultades para lograr altas tasas de recogida selectiva de sólidos municipales. (Rolewicz-Kalinska et al., 2020).

En cuanto a su evolución, destaca la tendencia ascendente en la cantidad recogida desde la implantación del contenedor marrón hasta marzo, como consecuencia de la buena acogida y de las campañas de sensibilización previas realizadas. Así, los meses donde la recogida de FORSU bruta a ha sido mayor corresponden a marzo, abril y mayo.

Su posterior estabilización y su descenso en los meses de verano son consecuencia del periodo vacacional, y es idéntico a lo que ocurre con la generación global de residuos en la ciudad (Figura 3) debido a la población flotante negativa que tiene la ciudad en los meses de verano. Finalmente, la cantidad de FORSU bruta recogida vuelve a valores parecidos a los de primavera a partir de septiembre.

Figura 3. Estacionalidad en la generación total de residuos de Castelló de la Plana



3.2. Análisis cualitativo. Tasas de impropios

Tras las caracterizaciones realizadas, en la tabla 4 se muestran los porcentajes de materiales impropios obtenidos en las muestras mensuales de cada uno de los seis distritos de la ciudad de Castelló de la Plana, así como los pesajes brutos y netos de la FORSU.

Tabla 4. Caracterización de la FORSU recogida selectivamente

Impropios (%)	Oeste	Centro	Sur	Este	Norte	Grao	Global	FORSU Bruta (kg)	FORSU Neta (kg)	TRDn (kg/hab.-día)
Diciembre	14.95	35.94	41.41	22.35	7.89	6.80	25.80	230,720	171,203	0.033
Enero	28.82	46.38	18.57	30.48	27.29	51.05	34.47	240,880	157,855	0.030
Febrero	44.43	22.81	37.94	44.24	43.83	40.36	38.74	231,000	141,512	0.029
Marzo	42.53	43.84	58.37	22.27	46.30	32.71	43.02	251,600	143,371	0.027
Abril	32.07	39.96	45.46	46.43	71.32	29.64	41.44	246,420	144,292	0.028
Mayo	58.80	40.80	37.35	18.22	38.86	47.11	37.19	251,880	158,212	0.030
Junio	23.20	87.32	50.13	37.55	57.80	61.33	47.72	239,580	125,200	0.024
Julio	36.97	44.56	58.22	39.47	58.69	0.00	38.35	205,800	126,879	0.024
Agosto	32.22	45.05	46.53	40.20	42.09	56.31	42.78	196,860	112,657	0.021
Septiembre	45.33	52.05	52.46	40.85	27.68	72.50	46.86	243,800	129,545	0.025
Octubre	12.05	48.66	29.99	60.58	56.23	56.28	36.99	244,220	153,877	0.029
Noviembre	32.92	47.52	68.77	53.60	30.43	54.80	45.28	230,840	126,327	0.024
Media	31.02	43.68	43.53	36.28	43.76	43.55	39.86	234,467	140,911	0.027

En cuanto a la FORSU neta recogida, se han recogido 1.690.930 kg de materia orgánica compostables que incluye: restos de comida, restos vegetales y otros materiales aptos para su compostaje. Esto supone una recogida media mensual de 140.911 kg de materia orgánica (Tabla 4). Respecto a su evolución, se observa un descenso desde diciembre hasta febrero, estabilizándose y volviendo a aumentar en mayo. La menor cantidad de FORSU neta recogida se da en el periodo de junio a noviembre, salvo por un pequeño ascenso puntual en octubre.

En comparación con los estudios anteriores, las caracterizaciones realizadas en las experiencias piloto mostraban un porcentaje de impropios muy inferior al detectado durante el primer año de implantación global en la ciudad. Así en los distritos Centro, Norte y Oeste que eran los que peores resultados mostraban en las experiencias piloto (20% de impropios) en esta ocasión se encuentran por encima del 34% y en dos de ellos se supera el 40% de impropios. Por su parte, los distritos Este y Grao que mostraban porcentajes de impropios inferiores al 10% en las pruebas realizadas, revelan que durante el primer año de implantación dichos impropios también están en sintonía con el resto de la ciudad rondando el 40%. A destacar el incremento de impropios hallado en el distrito Este, que de un 2% en su experiencia piloto, pasa a un 38% de residuos impropios.

En comparación con otras ciudades de tamaño similar y también con recogida contenerizada en carga lateral, como el núcleo urbano de Terrasa (10,69% impropios), Santa Coloma de Gramanet (7,56% de impropios) u Hospitalet del Llobregat (5,39% de impropios) (SDR, 2021), los porcentajes de impropios de Castelló de la Plana son más elevados.

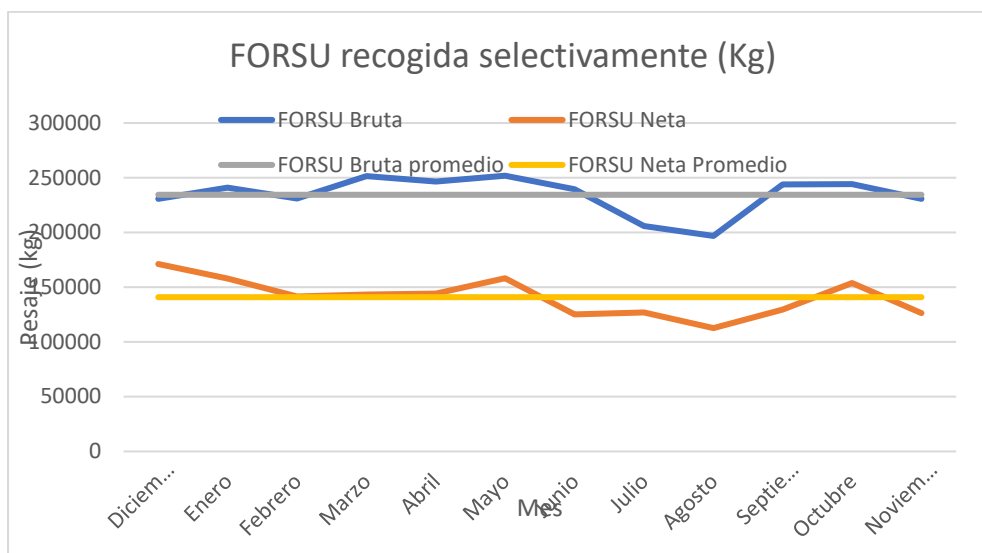
De media, el distrito donde la FORSU recogida selectivamente tiene mayor calidad para su compostaje es el distrito Oeste, puesto que el contenido en materia orgánica se encuentra cercano al 70%. En el resto de los distritos, se ha obtenido una calidad muy baja (alrededor del 56% de materia orgánica) con un contenido en impropios muy elevado, superior al 40%.

Si se observan los datos mensuales, es durante el mes de diciembre dónde mejores porcentajes de impropios se han obtenido. Ello debe llevar a una reflexión profunda sobre la influencia de la pandemia declarada en marzo de 2020, por COVID-19 y en particular la tercera ola que fue la que golpeó con fuerza en el país. Tal vez, la ergonomía de este nuevo contenedor (pedal, palanca, etc.) haya motivado que a él se deriven residuos que deben ir en el contenedor resto, siendo éste en la ciudad de Castelló de la Plana de apertura manual con

tapa de 1x1 metros, aproximadamente. Este hecho podría ser objeto de análisis en futuros estudios.

En cuanto a los pesajes netos (FORSU neta), diciembre, enero, mayo y octubre corresponden con los meses donde la cantidad de materia orgánica compostable recogida ha sido más alta; por el contrario, en agosto esta recogida ha sido la menor. Respecto a la evolución, se observa un descenso en la cantidad de materia orgánica neta recogida desde diciembre hasta febrero lo que indica que la calidad de la FORSU va disminuyendo desde el inicio del estudio. Entre los meses de febrero a abril se produce una estabilización de la cantidad recogida, ascendiendo de nuevo en mayo. A continuación, en el periodo estival que va desde junio hasta septiembre, la FORSU neta cae por debajo de la media, recogándose para esos meses la menor cantidad de materia orgánica compostable y por ende la mayor cantidad de impropios. Finalmente, entre agosto y octubre vuelve a aumentar, para descender de nuevo en el mes de noviembre.

Figura 4. Evolución de la FORSU recogida selectivamente en Castellón de diciembre 2020 a noviembre 2021



3.3 Evolución de las TRD

Respecto a la tasa bruta, como se muestra en la Figura 5, para el periodo de diciembre 2020 a noviembre 2021, la TRD-B media ha sido de 0,045 kg/hab-día. Los meses donde esta tasa ha sido mayor corresponden a febrero, marzo, abril, mayo y septiembre de 2021 con tasas del 0,047 – 0,048 kg/hab-día; mientras que en septiembre y octubre de 2020 y julio y agosto del 2021 se obtuvieron los valores más bajos, por debajo de 0,040 kg/hab-día. Si se atiende a su evolución, se observa un claro ascenso en la TRD-B hasta febrero, el cual corresponde al periodo de adaptación de los ciudadanos a este nuevo tipo de recogida y al aumento paulatino de su colaboración. Como ocurre con la cantidad bruta recogida, la tasa se estabiliza entre los meses de febrero a junio, descendiendo durante los meses estivales (julio y agosto) y aumenta de nuevo tras el verano. Cabe señalar que en los meses de octubre y noviembre de 2021 se aprecia de nuevo un leve descenso.

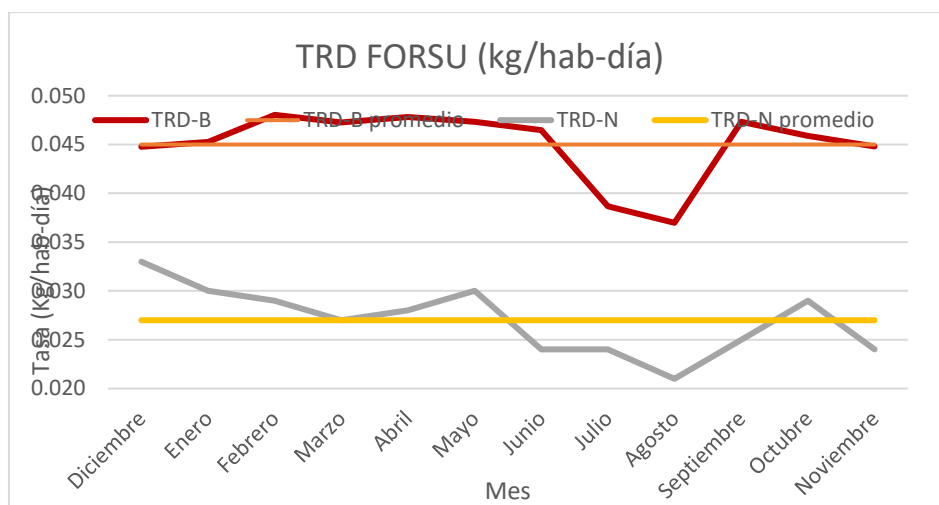
De manera global, la TRD-B obtenida es ligeramente inferior a los valores obtenidos en la prueba piloto del año 2018 donde se obtenía una tasa bruta de recogida diaria por habitante y día de 0,054. No obstante, se han superado ampliamente los valores de las experiencias 1 y 3, que no alcanzaban los 0,02 kg/hab-día (Tabla 1).

En comparación con las ratios de otras ciudades en las que el contenedor marrón se implantó hace más de cinco años, como Barcelona (ARC, 2021) o Madrid (Madrid, 2021), los datos de Castelló de la Plana todavía se encuentran lejos de alcanzar sus TRD-B (0,17 kg/hab-día y 0,15 Kg/hab-día, respectivamente). No obstante, si se comparan los datos con ciudades donde la implantación ha sido más reciente, como Valencia con 0,07 kg/hab-día (Valencia, 2021) o Bilbao con 0,02 kg/hab-día (Bizkaia, 2021), las ratios están más próximas.

Respecto a la tasa neta de recogida por habitante y día, al no disponerse de pesajes por distritos la valoración debe realizarse en el global de la ciudad. En este sentido, la TRD-N obtenida (0,027 kg/hab-día) supera a las que se obtuvieron en los años 2017 y 2019, pero es sensiblemente inferior a prueba piloto del año 2018 realizada en los distritos Este y Grao (0,054 kg/hab-día). La TRD-N fue más alta en los meses iniciales del estudio (diciembre y enero), junto con mayo, con valores entre el 0,030 – 0,033 kg/hab-día; por el contrario, en agosto se obtuvo la más pequeña, 0,021 kg/hab-día, igual que ocurre con la TRD-B.

Respecto a la evolución (Figura 5), se observa un descenso en la TRD-N desde diciembre hasta marzo, lo que a su vez indica una disminución de la calidad de la FORSU recogida, ya que en ese mismo periodo la TRD-B aumenta. Entre los meses de marzo a mayo la TRD-N crece levemente, sin embargo, vuelve a descender con valores por debajo de la media desde junio hasta septiembre, alcanzando su mínimo en agosto. Finalmente, en septiembre y octubre se produce un aumento de la TRD-N, para volver a bajar en noviembre. Así pues, de forma general, el gráfico muestra una tendencia descendente de la TRD-N durante el periodo que dura el estudio.

Figura 5. Evolución de la TRD de la FORSU de diciembre 2020 a noviembre 2021



4. Conclusiones

Las experiencias piloto llevadas a cabo en la ciudad durante los años 2017, 2018 y 2019 de entre tres y meses de duración, pusieron de manifiesto algunos datos a tener en cuenta de cara a la implantación definitiva del contenedor marrón en la ciudad de Castelló de la Plana. De ellas, se observó que cuanto más alta era la ratio de contenerización (litros/habitante) mejores TRD bruta y neta se obtenían. Por ello, durante la implantación de la fracción orgánica se en la ciudad se estableció una cifra final de 12,72 litros por habitante.

En cuanto a los resultados cuantitativos, durante el primer año de implantación se han recogido selectivamente 2.813.510 kg de birresiduos, con una tasa por habitante y día (TRD-B) de 0,045 próxima a ciudades con implantación reciente del contenedor marrón.

En cuanto a la calidad de los biorresiduos, globalmente, la FORSU recogida de manera selectiva para la ciudad de Castellón de media está compuesta por un 60,14% de materia orgánica y un 39,86% de impropios, lo que supone una calidad baja o muy baja para su compostaje. De forma general, se puede decir que la calidad de la FORSU ha sido más alta en los 6 primeros meses de estudio (invierno-primavera) que en los 6 últimos (verano-otoño), es decir, con el paso del tiempo ha ido evolucionando negativamente.

Para el periodo de diciembre 2020 a noviembre 2021, la TRD-N media ha sido de 0,027 kg/hab-día. Respecto a su evolución, se observa una clara disminución hasta marzo, lo que indica una bajada de la calidad de la FORSU recogida, ya que en ese mismo periodo la TRD-B aumentó. De forma general, se puede decir que durante los 12 meses del estudio la TRD-N tiene una tendencia descendente.

De media, el distrito donde la FORSU recogida selectivamente tiene mayor calidad para su compostaje es el distrito Oeste. Este distrito es el que cuenta con una media de edad más baja en la ciudad, lo cual puede evidenciar una relación que sea objeto de análisis en posteriores estudios.

Para mejorar estos resultados, serán necesarias acciones de educación y sensibilización ambiental, enfocadas a concienciar a los ciudadanos por ejemplo en el uso de la bolsa adecuada (compostable) ya que es uno de los impropios más comunes en el contenedor de orgánica. Otras medidas de mayor envergadura consistirían en el cambio de modelo de recogida o la implantación de sistemas de identificación del productor.

5. Referencias

- Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). (2021). Estadísticas de residuos municipales y recogida selectiva. Retrieved January 2022, from <http://estadistiques.arc.cat/ARC/>.
- Ayuntamiento de Castelló de la Plana. Retrieved December 2021, from www.castello.es.
- Ayuntamiento de Valencia. Retrieved January 2022, from www.valencia.es.
- Comunidad Valenciana. Decreto 55/2019, de 5 de abril, del Consell por el que se aprueba la revisión del Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana.
- European Commission. (2004). Methodology for the Analysis of Solid Waste: Development of a Methodological Tool to Enhance the precision & Comparability of Solid Waste Analysis data (SWA-Tool).
- Fasihi, H., & Parizadi, T. (2021). Analyzing household's environmental behavior on solid waste management and its relations with population and housing characteristics (The case: Amlash city, Iran). *Journal of Environmental Management*, 292. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112686>.
- Gallardo, A., Edo-Alcón, N., Carlos, M., Colomer, F. J., Esteban-Altabella, J., Muñoz-Capitán, N., Muñoz, A. (2017). Hacia el quinto contenedor: experiencia piloto de recogida selectiva de residuos orgánicos en Castellón de la Plana. *Equipamiento Y Servicios Municipales*, 182, 24–31.
- Gallardo, A., Edo-Alcón, N., Colomer Mendoza, F. J., Jorge Ortiz, A., Badenes Catalán, C., Colás Ramos, V., & Apolinar Roig, V. (2019). *Recogida separada de la fracción orgánica procedente de los residuos sólidos urbanos: resultados de la experiencia piloto desarrollada en Castellón de la plana (España)*. <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/188040>
- Gallardo Izquierdo, Antonio; Colomer Mendoza, Francisco J., Carlos Alberola, Mar; Valqui Valqui, Lamberto; Badenes Catalán, Cristóbal; Colás Ramos, Vicente; Apolinar Roig,

Vicente; Moreno Solaz, Héctor (2021). Recogida Puerta a Puerta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos: Resultados de la experiencia piloto en los colegios de Castelló de la Plana (España). *IX Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos REDISA 2021, Panamá*.

Huerta-Pujol, O., Gallart, M., Soliva, M., Martínez-Farré, F. X., & López, M. (2011). Effect of collection system on mineral content of biowaste. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 1095–1099. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2011.06.008>

Instituto Nacional de Estadística. www.ine.es. Retrieved January 2022.

PEMAR (2016). Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Observatorio de Residuos Urbanos de la Diputación Foral de Bizkaia. Retrieved December 2021, from www.bizkaia.eus.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2008). *Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas* D. Of. la Unión Eur DOUE-L-2008-82319.

Pehlken, A., Von Blottnitz, H., & Pretz, T. (2000). Requirements for the sampling of residual waste - Approach to developing a new sampling model. *Aufbereitungs Technik*, 41(9), 409–415.

Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid. Retrieved December 2021, from www.datos.madrid.es.

Rolewicz-Kalińska, A., Lelicińska-Serafin, K., & Manczarski, P. (2020). The circular economy and organic fraction of municipal solid waste recycling strategies. *Energies*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/EN13174366>.

Sistema Documental de Residuos (SDR) de la Agència de Residus de Catalunya. (2021). Caracterizaciones de la FORM. Retrieved January 2022, from <https://sdr.arc.cat/cform/ListCaracteritzacions.do>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

