

04-002

## ANALYSIS OF ANNUAL VARIATION OF THE REJECTS COMPOSITION IN A MBT PLANT FOR MUNICIPAL SOLID WASTE

Edo-Alcón, Natalia<sup>(1)</sup>; Gallardo Izquierdo, Antonio<sup>(1)</sup>; Colomer Mendoza, Francisco J.<sup>(2)</sup>; Esteban-Altabella, Joan<sup>(1)</sup>; Albarrán Vargas Zúñiga, Fernando<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Universitat Jaume I, <sup>(2)</sup>Universitat Jaume I, <sup>(3)</sup>RECIPLASA

In the mechanical –biological treatment (MBT) plants for municipal solid wastes, several flows are generated. The flow of recovered materials, which are recycled, and the flow of rejects, that are generally landfilled. Rejects are composed by materials that cannot be recovered for environmental, economic or technic reasons. Nevertheless, they have combustible materials therefore, they contain high energy potential. So, rejects can be transformed to solid recovered fuel (SRF) in order to valorise them. Rejects are a very heterogeneous material. Their properties and composition depends on many factors such as seasonality, tourism, management system and treatment processes. These variations affect the SRF quality and therefore, the fulfilment of the requirements to be used as a fuel.

In this work, the annual variation in the composition of three types of reject from a MBT plant has been analysed. According to season, differences in composition and humidity of rejects have been observed, therefore, this facts should be taken into account in order to produce SRF, since it would affect their quality.

**Keywords:** SRF; reject; MBT plant; composition; seasonality

## ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ANUAL DE LA COMPOSICIÓN DE LOS RECHAZOS DE UNA PLANTA DE TMB DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En las plantas de tratamiento mecánico-biológico (TMB) de residuos sólidos urbanos, además de las diferentes corrientes de materiales recuperados, se generan varios flujos de rechazo cuyo destino principal es el vertedero. Estos están formados por materiales que no pueden ser recuperados desde un enfoque técnico, económico y/o ambiental. No obstante, su composición hace que tengan un gran potencial energético, siendo su transformación en un combustible sólido recuperado (CSR) una alternativa para su valorización. Los rechazos son un material muy heterogéneo y su composición y propiedades pueden depender de numerosos factores como la estacionalidad, el turismo, el sistema de gestión y los procesos de tratamiento. Estas variaciones afectarán a la calidad del CSR y, por tanto, al cumplimiento de los requisitos para su uso como combustible.

En este trabajo se ha analizado la variación anual de la composición de tres tipos de rechazos de una planta de TMB. Se ha observado que existen diferencias en la composición y humedad de los mismos en función de la estación de año. Por tanto, este hecho se deberá considerar en la producción de CSR en esta instalación, puesto que afectará a su calidad.

**Palabras clave:** CSR; rechazo; planta TMB; composición; estacionalidad

Correspondencia: Antonio Gallardo Izquierdo; gallardo@uji.es



©2018 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

Actualmente, tanto en España como en otros países europeos, la legislación obliga a tratar todos los residuos domiciliarios (RD) antes de su disposición en vertedero. Sin embargo, en todos los sistemas de tratamiento salvo los térmicos, aparecen corrientes de rechazos cuyo principal destino es el vertedero. Estos rechazos están formados por aquellos materiales que no han podido ser separados o no son reciclables desde un enfoque técnico, económico y/o ambiental. No obstante, debido a que están compuestos mayoritariamente por materiales combustibles, tienen un gran potencial energético (Gallardo et al., 2014a; Di Lonardo, Lombardi & Gavasci, 2012), sobre todo cuando los RD de los que proceden tienen un alto poder calorífico (Bessi et al. 2016). Así pues, una alternativa para la valorización de los mismos es su transformación en un combustible sólido recuperado (CSR) (Garcés et al., 2016; Gallardo et al., 2014b), logrando reducir el volumen de residuos enviados a vertedero, proporcionando combustibles alternativos a las industrias que hacen un uso intensivo de combustibles fósiles y contribuyendo a la implantación de la economía circular y el cumplimiento de sus objetivos (Iacovidou et al., 2018; European Commission, 2017; Gallardo, Edo-Alcón & Albarrán, 2017).

Los rechazos son un material muy heterogéneo y su composición y propiedades pueden depender de numerosos factores, tanto del entorno (estacionalidad, climatología, etc.) como socio-económicos (turismo, modo de vida de la población, etc.) o relacionados con el sistema de gestión (sistema de recogida selectiva, tipos de instalaciones, procesos de tratamiento, etc.) (Edo-Alcón et al., 2017; Brás et al., 2017). Además, sus características físico-químicas también dependen de los RD de entrada a las plantas (Edo-Alcón, Gallardo & Colomer-Mendoza, 2016; Di Lonardo, Lombardi & Gavasci, 2012) y de la configuración de las mismas (Nasrullah et al., 2017; Edo-Alcón, Gallardo & Colomer-Mendoza, 2016).

Por otro lado, el tipo, naturaleza y composición de los rechazos, así como la variabilidad de sus propiedades a lo largo del tiempo, afecta a la calidad del CSR obtenido a partir de los mismos (Iacovidou et al., 2018; Nasrullah et al., 2017; Velis et al. 2012). Por tanto, a la hora de producir un CSR que cumpla con unos estándares de calidad, por ejemplo los establecidos por la Norma UNE 15359:2012, es imprescindible conocer la variación anual en las propiedades físico-químicas del rechazo. Además, esto permitirá obtener información respecto al cumplimiento o no de los requisitos para su uso como CSR en diferentes instalaciones de valorización energética (Gallardo, Edo-Alcón & Albarrán, 2017; Rotter et al., 2011), ya que la calidad del CSR es un factor clave para su demanda y utilización en el sector de la producción de energía (Nasrullah et al., 2017).

El objetivo de este trabajo es analizar la variación anual de la composición y la humedad de los rechazos susceptibles de generar CSR de la planta de tratamiento mecánico-biológico (TMB) de Onda, perteneciente a la empresa RECIPLASA. Los resultados obtenidos permitirán conocer si la estacionalidad influye en la composición de estos rechazos, lo que a su vez influirá en sus propiedades físico-químicas. Este hecho se deberá considerar en la futura producción de CSR a partir de los mismos, ya que el poder calorífico y otros parámetros de calidad podrán ser diferentes en función de la época del año. Para ello se han llevado a cabo caracterizaciones de los rechazos en dos períodos del año, correspondientes a las estaciones primavera-verano y otoño-invierno. Posteriormente los resultados han sido analizados estadísticamente.

## 2. Metodología

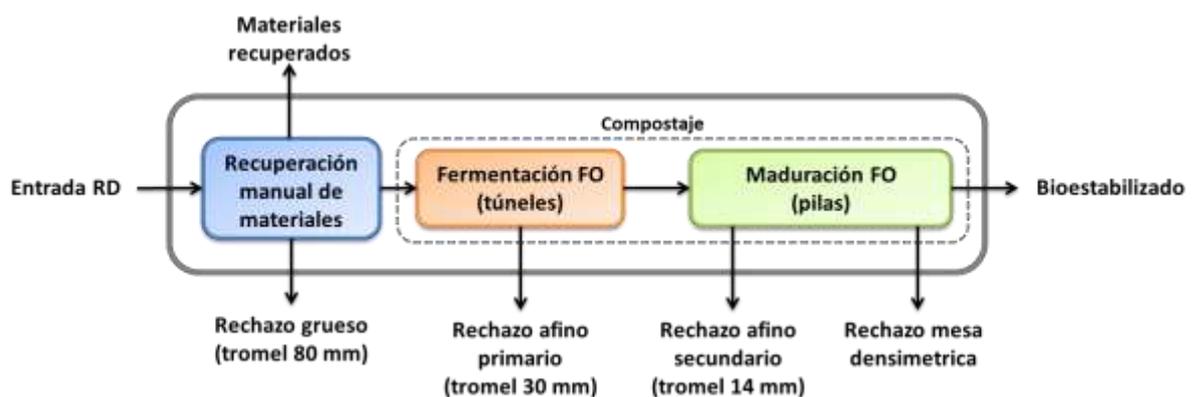
### 2.1 Descripción de la planta de TMB

La planta de TMB de Onda está ubicada en el término municipal de Onda (Castellón), en ella se tratan los RD mezclados gestionados por el Consorcio de Residuos C2 (Zona Centro de la provincia de Castellón) y procedentes de 46 municipios, cuya población suma 364.947 habitantes. La capacidad de tratamiento de la instalación es de 120.000 t/año, sin embargo, en el año 2017 se trataron un total de 163.000 t de RD mezcla.

La recuperación de los materiales reciclables se realiza de forma mecánica y manual (plásticos, papel, cartón, brik, metales, etc.) y la fracción orgánica de los residuos se destina a bioestabilización mediante túneles y posterior maduración en pilas. Tras el tratamiento de los RD se obtiene un flujo de materiales recuperados, un flujo de material bioestabilizado y 4 corrientes de rechazo (figura 1):

- Rechazo grueso: generado en la fase de recuperación de materiales de los RD, con un diámetro de partícula superior a 80 mm.
- Rechazo de afino primario: generado en el trómel intermedio de pre-afino del material pre-bioestabilizado procedente del túnel, con un tamaño de partícula entre 80 y 30 mm.
- Rechazo de afino secundario: generado en el trómel de afino del bioestabilizado, con un tamaño de partícula entre 30 y 14 mm.
- Rechazo de mesa densimétrica: generado en la mesa densimétrica de afino del bioestabilizado, compuesta principalmente por materiales inertes (vidrio, cerámicos y piedras) de pequeño tamaño.

Figura 1: Diagrama de flujo de la planta de TMB de Onda



De todos ellos, los tres primeros son las que tienen un mayor potencial para su transformación en un CSR y, por tanto, son los rechazos que conforman el ámbito de estudio y sobre los que se ha analizado la variación anual de la composición y la humedad.

### 2.2 Toma de muestras

A la hora de efectuar la toma de muestras se ha considerado dividir la producción anual de rechazo para su muestreo en dos periodos o fases distintas. La primera fase comprendió las estaciones de primavera-verano y la segunda las estaciones de otoño-invierno, tal y como hicieron Gallardo et al. 2018 en la misma área geográfica.

Como se ha explicado anteriormente, dentro de la planta de TMB de Onda se han identificado tres corrientes de rechazo diferentes que se van a analizar. Con el objetivo de conseguir una

buena precisión y representatividad de los resultados obtenidos tras su caracterización, se han tomado 10 muestras para cada una de las corrientes de rechazo y periodo, como recomienda diferentes metodologías de muestreo y caracterización de residuos (ASTM International, 1992; Dahlén & Lagerkvist, 2008; Sharma & McBean, 2007). Así pues, el número de muestras caracterizado en cada fase fue de 30, 10 por cada rechazo, sumando un total de 60 muestras.

El estudio se ha llevado a cabo durante el año 2017, en la primera fase la toma de muestras se realizó durante los meses de mayo y junio, mientras que en la segunda se realizó durante los meses de noviembre y diciembre. Además, dentro de cada fase se tomaron dos muestras por día de la semana en diferentes días (salvo los fines de semana), es decir: dos lunes, dos martes, dos miércoles, etc., siguiendo las recomendaciones de algunas metodologías (European Commision, 2014; Dahlén & Lagerkvist, 2008).

### 2.3 Determinación del tamaño mínimo de muestra

Para llevar a cabo la caracterización física de los rechazos con el mayor grado de representatividad posible es necesario calcular el tamaño mínimo de muestra necesario, el cual hace referencia a la cantidad de residuo que se ha de caracterizar en cada una de las muestras. Se ha determinado a partir de la Norma UNE-EN 15442 Combustibles Sólidos Recuperados: Métodos de muestreo, que propone la ecuación 1 para su cálculo:

$$m_m = \frac{\pi}{6 \cdot 10^9} \cdot d_{95}^3 \cdot f \cdot \lambda_p \cdot g \cdot \frac{(1-p)}{cv^2 \cdot p} \quad (1)$$

Donde:

- $m_m$  es la masa del tamaño inicial de la muestra recibida, en kg;
- $d_{95}$  es el tamaño nominal superior de una partícula (una fracción másica del 95% de las partículas son más pequeñas que  $d_{95}$ ), en mm;
- $f$  es el factor de forma, en  $\text{mm}^3/\text{mm}^3$ . Para materiales más o menos granulares o con un tamaño nominal superior menor a 50 mm no será necesario determinarlo, siendo en ese caso 1;
- $\lambda_p$  es la densidad media de partícula de las partículas, en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , según es recibida;
- $g$  es el factor de corrección para la distribución en el tamaño de las partículas, está en función del  $d_{95}$ ;
- $p$  es la fracción de las partículas con una característica específica (por ejemplo, un contaminante específico), en kg/kg y es igual a 0,1 según la norma;
- $cv$  es el coeficiente de variación, este valor es de 0,1 según norma.

Para el cálculo del tamaño mínimo de muestra fue necesario primeramente determinar los parámetros de la ecuación 1, para ello se tomó una muestra inicial para cada uno de los rechazos. Finalmente, a partir de la misma, se obtuvo que los tamaños mínimos de muestra para cada corriente de rechazo deben ser de 60 kg para el rechazo grueso, de 1 kg para el de afino primario y de 0,4 kg para el de afino secundario.

Tras las caracterizaciones, el peso medio de muestra fue de 60,21 kg para el rechazo grueso, 1,05 kg para el de afino primario y 0,41 kg para el de afino secundario. En total para cada corriente se caracterizaron 1.204,19 kg, 21,03 kg, y 8,13 kg de material respectivamente.

## 2.4 Método de muestreo y caracterización

El método de muestreo utilizado ha sido el probabilístico simple, a partir de un lote estático de rechazo correspondiente al producido en la planta para cada uno de los días de muestreo y corriente.

En el caso del rechazo grueso, mediante una pala mecánica se tomó una muestra inicial de 1.000 kg de material. A continuación, fue homogeneizado y mediante un cuarteo se redujo su masa hasta un peso de aproximadamente 250 kg, el cual se depositó en una superficie limpia y pavimentada. Finalmente, tomando varios incrementos de diferentes puntos del montón se obtuvo la muestra de 60 kg que se caracterizó en la propia planta.

Respecto a los rechazos de afino primario y secundario, puesto que el material es muy homogéneo y el tamaño mínimo de muestra necesario mucho menor, las caracterizaciones se realizaron en el laboratorio del grupo de investigación INGRES de la Universitat Jaume I. Para ello, cada día de muestreo se recogía en la planta una muestra de aproximadamente 10 kg para el rechazo de afino primario y de 5 kg para el rechazo de afino secundario, tomando varios incrementos en diferentes puntos del lote. Una vez trasladado el material al laboratorio, mediante sucesivos cuarteos se procedió a reducir la masa de la muestra hasta obtener el tamaño necesario, posteriormente se procedió a su caracterización.

En las caracterizaciones los rechazos se han dividido en 13 categorías: fracción orgánica (FO: restos de comida y poda), papel y cartón, plásticos rígidos (principalmente envases), plástico film, vidrio, brik, madera, textiles, metales, residuos tóxicos y peligrosos (RTP), inertes, finos (materiales menores a 10 mm) y otros (incluye pañales, RAEE, espumas, calzado, gomas, cuero, juguetes o piezas de plástico de gran tamaño). Tras la separación y clasificación, cada uno de los materiales se pesaba por separado con una báscula y se anotaban los pesos obtenidos en las hojas de campo.

## 2.5 Determinación de la humedad

Cada día de muestreo se determinó la humedad de las tres corrientes de rechazos mediante el método de secado en estufa a 105°C, definido en la norma para combustibles sólidos recuperados UNE-EN 15414-3 (2011).

En el caso del rechazo grueso, no es viable trasladar al laboratorio y secar los 60 kg de material correspondientes al tamaño mínimo de muestra. Por lo que, una vez realizada la caracterización y conocido el porcentaje de cada una de las fracciones en la muestra, se componía una muestra de aproximadamente 1 kg que se trasladaba al laboratorio para determinar su humedad.

Para los rechazos de afino primario y secundario, se preparaban muestras para la determinación de la humedad de 1 kg y 0,4 kg respectivamente.

## 2.6 Análisis estadístico de los datos

Los pesos obtenidos en las caracterizaciones se registraron en una base de datos, diferenciándolos por fases, así como los valores de humedad. A partir de los mismos se han obtenido los resultados de composición y humedad media, así como su variabilidad (desviación estándar). A continuación se llevó a cabo el análisis estadístico de los resultados.

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la composición y humedad de los rechazos en función de la fase (influencia de la estacionalidad) se ha realizado un contraste de medias. Las pruebas estadísticas utilizadas han sido el test t de Student (para poblaciones que siguen una distribución normal) y su homólogo no paramétrico el test de la suma de los rangos de Wilcoxon (para poblaciones no normales). Todos los

análisis estadísticos se realizaron con el programa de acceso libre R. y el nivel de confianza utilizado fue del 95%.

### 3. Resultados

A continuación, se exponen los resultados de las caracterizaciones de las tres corrientes de rechazo, así como de los análisis estadísticos de la variación temporal de la composición y la humedad.

#### 3.1 Descripción cualitativa de la composición de los rechazos

La composición media y desviación estándar para cada una de las corrientes de rechazo y fases del estudio se exponen en las tablas 1, 2 y 3. Es importante señalar que, en el caso de los dos rechazos de afino, tanto el papel/cartón (que estaba muy sucio) como los finos se incluyeron en la fracción orgánica.

En el rechazo grueso las fracciones mayoritarias para ambas fases del estudio son la fracción orgánica y el papel/cartón, con valores de 18,35% y 14,65% respectivamente para la primera y 22,01% y 18,56% para la segunda. Por detrás de estos materiales se encuentran el plástico film, el plástico rígido, otros y el textil (tabla 1). Los materiales que se encuentran en menor porcentaje son el brik, inertes, vidrio y RTP, con porcentajes entre 0,6 y 1,7 en ambas fases. Respecto a los finos, se puede observar que el porcentaje de la primera fase es mucho mayor que en la segunda. Sin embargo, esta fracción en la fase 1 también tiene una desviación estándar muy alta, lo que indica una alta variabilidad en los resultados obtenidos (tabla 1).

**Tabla 1: Composición y humedad del rechazo grueso, fase 1 y 2**

Material	Rechazo grueso (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
FO	18,35	5,53	22,01	3,18
Papel/Cartón	14,65	4,68	18,56	4,23
Plástico Film	11,16	1,81	11,73	1,40
Plástico Rígido	11,43	2,09	10,00	1,62
Textil	10,49	4,57	7,49	2,71
Metales	3,53	0,80	3,48	1,18
Madera	3,60	1,92	2,31	1,18
Brik	1,69	0,28	1,58	0,32
Inertes	0,97	0,73	0,82	0,68
RTP	0,65	0,72	1,17	0,88
Vidrio	0,71	0,39	1,02	0,60
Otros	10,87	3,06	14,47	2,27
Finos	11,90	14,71	5,35	2,79
<b>HUMEDAD</b>	<b>25,95</b>	<b>5,00</b>	<b>31,70</b>	<b>4,05</b>

Como se puede observar en la tabla 2, la fracción orgánica es el material mayoritario del rechazo de afino primario, con un 60,26% en la fase 1 y un 67,90% en la fase 2. Esto es debido a que esta corriente se origina en la etapa de tratamiento biológico. A continuación, le sigue el vidrio, con valores de un 11,05% en la primera fase y de 8,65% en la segunda. Los inertes son la tercera fracción en importancia, además, cabe señalar el descenso en el porcentaje de este material entre las dos fases, pasando de un 10,79% en la primera a un 5,96% en la segunda. Para este rechazo los materiales minoritarios para las dos fases son el brik, los RTP y el textil.

**Tabla 2: Composición y humedad del rechazo de afino primario, fase 1 y 2**

Material	Rechazo afino primario (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
FO	60,26	11,72	67,90	15,08
Plástico Film	2,74	1,19	1,82	0,81
Plástico Rígido	5,76	2,73	4,75	2,78
Textil	1,04	0,96	1,06	1,13
Metales	2,88	2,04	2,52	2,03
Madera	1,38	2,36	1,15	1,46
Brik	0,26	0,55	1,17	3,06
Inertes	10,79	10,97	5,96	5,95
RTP	0,58	0,82	0,72	1,24
Vidrio	11,05	2,99	8,65	5,66
Otros	3,25	4,20	4,30	7,32
<b>HUMEDAD</b>	<b>28,81</b>	<b>7,41</b>	<b>38,75</b>	<b>6,59</b>

En el caso del rechazo de afino secundario y debido a que se origina también en la etapa biológica, la fracción orgánica es el material presente en mayor porcentaje en las dos fases, en torno al 66%. En segundo lugar se encuentra el vidrio con un 27,34% en la fase 1 y un 29,10% en la fase 2 (tabla 3). Este material aparece como una fracción significativa en esta corriente debido a que en las distintas etapas de tratamiento se va rompiendo hasta llegar a tamaños del rango de entre 14 y 30 mm. Los inertes, con valores entre el 4-3% en ambas fases, son la tercera fracción mayoritaria. Los porcentajes obtenidos para el resto de fracciones han sido muy pequeños.

**Tabla 3: Composición y humedad del rechazo de afino secundario, fase 1 y 2**

Material	Rechazo afino secundario (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
FO	66,65	7,04	66,46	7,21
Plástico Film	0,38	0,24	0,22	0,16
Plástico Rígido	1,37	0,70	0,87	0,40
Textil	0,08	0,25	0,00	0,00
Metales	0,26	0,40	0,13	0,19
Madera	0,08	0,16	0,02	0,07
Brik	0,00	0,00	0,01	0,03
Inertes	3,75	2,98	3,07	1,73
RTP	0,07	0,20	0,03	0,06
Vidrio	27,34	6,49	29,10	5,96
Otros	0,01	0,03	0,09	0,14
<b>HUMEDAD</b>	11,00	4,94	15,89	7,68

### 3.2 Humedad de los rechazos

La humedad media y desviación estándar para cada una de las corrientes de rechazo y fases del estudio se exponen en las tablas 1, 2 y 3.

Como se observa en la tabla 1, el rechazo grueso tiene una humedad media para la fase 1 del 25,95% y para la fase 2 del 31,70%. La mayor humedad en la segunda fase puede deberse al aumento del contenido de FO y papel/cartón en la fase 2, puesto que son las fracciones que acumulan mayor humedad. Estos valores son similares a los obtenidos para este mismo rechazo por Gallardo et al. (2014a), así como en otros trabajos de investigación realizados para este tipo de corrientes tanto en España como en otros países (Edo-Alcón, Gallardo & Colomer-Mendoza, 2016; Ramos Casado et al., 2016; Di Lonardo et al., 2016). Sin embargo, son mayores a los obtenidos por Sever Akdağ, Atimtay y Sanin (2016) en una planta de TMB en Turquía o por Nithikul, Karthikeyan y Visvanathan (2011) en Tailandia.

De las tres corrientes analizadas, el rechazo de afino primario es el que tiene una mayor humedad, con un 28,81% de media en la fase 1 y un 38,75% de media en la fase 2 (tabla 3). Esto se debe a que esta corriente es generada en el pre-afino del material pre-bioestabilizado, el cual procede directamente de los túneles de compostaje y tiene una humedad muy elevada. Los resultados de humedad media para este rechazo son semejantes a los que Edo-Alcón, Gallardo y Colomer-Mendoza (2016), Di Lonardo et al. (2016) y Bessi et al. (2016) obtuvieron para este tipo de rechazos en diferentes plantas de TMB. La diferencia existente entre las dos fases, podría deberse a que en la segunda fase el porcentaje de FO es mayor.

En cuanto al rechazo de afino secundario, este es el que tiene un menor contenido de humedad, con un 11,00% en la fase 1 y un 15,89% en la fase 2 (tabla 4). Esto es debido a que esta corriente procede del afino final del material bioestabilizado que ya ha madurado, por lo que ha perdido gran parte del agua que contenía. En comparación con otros estudios,

estos resultados son mayores a los presentados por Nithikul, Karthikeyan y Visvanathan (2011) en una planta de TMB de Tailandia y menores a los obtenidos por Edo-Alcón, Gallardo y Colomer-Mendoza (2016) en una instalación española de este tipo.

Como se ha observado, la humedad media de los rechazos es diferente en función de la fase de estudio. No obstante, es importante conocer si estas diferencias son estadísticamente significativas, es decir, si son reales o han aparecido como fruto del azar. Para ello se han utilizado los test estadísticos de *t* de Student y su homólogo no paramétrico el test de la suma de los rangos de Wilcoxon.

Tras el análisis estadístico, los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad del rechazo grueso y el rechazo de afino primario entre la fase 1 y 2 del estudio, ya que para estas corrientes se ha obtenido una *p* menor a 0,05. Por lo que, se puede afirmar que la humedad de estos dos rechazos es menor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno) y, por tanto, varía en función de las estaciones del año. Esta misma variación fue observada por Nasrullah et al. (2017) en su trabajo de investigación, donde analizó diferentes materias primas, entre ellas la fracción combustible de los RD, para la producción de CSR. Estas diferencias podrían deberse a que en la fase 1 la temperatura ambiental en Castellón es mucho más alta que en la fase 2. Esto favorece que haya una mayor evaporación del agua que contienen los rechazos almacenados en la planta. En este sentido, Garcés et al. (2016) observaron en su estudio que el contenido en humedad de los rechazos está muy influenciado por las condiciones atmosféricas y las condiciones de almacenamiento de los mismos.

En el caso del rechazo de afino secundario, no se han observado diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de humedad entre fases ( $p > 0,05$ ). Esto puede deberse a que este material está ya completamente estabilizado y seco, por lo que se ve influenciado en menor medida por la temperatura ambiente.

### **3.3 Análisis estadístico de la variación anual de la composición de los rechazos**

Como se ha visto en las tablas anteriores (tabla 1, 2 y 3), a priori, se podría decir que existen diferencias para algunas fracciones en función de las dos fases del estudio. No obstante, es importante saber si estas diferencias son estadísticamente significativas y corroborar que no se han debido al azar, para ello se han utilizado las mismas pruebas estadísticas que en el análisis de la variación de la humedad. Cabe señalar que, en el caso del rechazo grueso, estas se han aplicado a todas las fracciones caracterizadas. Mientras que, en el análisis de los rechazos de afino primario y secundario, se aplicaron a las cuatro fracciones mayoritarias (FO, vidrio, inertes y plástico rígido) que suponen, respectivamente, alrededor del 87 y 99% del total del rechazo.

Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del rechazo grueso indican que existen diferencias significativas en el porcentaje de la fracción otros entre las dos fases del estudio, puesto que la *p* obtenida para este material es menor a 0,05. Así pues, se puede afirmar que en función de la estación de año el porcentaje de otros varía, siendo menor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno). Esta diferencia puede estar relacionada con que el rechazo grueso tiene una mayor humedad en la fase 2 que en la fase 1 (tabla 2), ya que uno de los principales componentes de la fracción otros son los pañales y estos absorben bastante humedad. Estos resultados son similares a los obtenidos en un estudio realizado en Brasil, donde se encontraron variaciones estacionales significativas en rechazos de tratamiento de RD para esta fracción, con menores porcentajes de otros en primavera-verano y mayores en otoño-invierno (Moura, Gohr Pinheiro & Carmo, 2018).

Respecto a los rechazos de afino, tanto primario como secundario, los resultados del análisis estadístico muestran que no existen diferencias significativas en función de la fase del estudio

( $p > 0,05$ ), por lo que se puede afirmar que la época del año no influye en su composición. Esto puede deberse a que la materia prima de estos rechazos (el bioestabilizado), es un material mucho más homogéneo tras pasar por todo el proceso de tratamiento, por lo que se ven afectados en menor medida por la estacionalidad.

### 3.4 Composiciones medias anuales de los tres rechazos

Por último, a pesar de que el análisis estadístico establece que existen diferencias en el rechazo grueso en función de la época del año, en la tabla 4 se muestran las composiciones medias anuales de los tres rechazos estudiados.

**Tabla 4: Composición media anual de los rechazos**

Material	Rechazo grueso		Rechazo Afino Primario		Rechazo Afino Secundario	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
FO	20,18	4,78				
Papel/Cartón*	16,61	4,78	64,04	13,73	66,56	6,94
Plástico Film	11,44	1,60	2,18	0,94	0,30	0,22
Plástico. Rígido	10,71	1,96	5,14	2,66	1,12	0,62
Textil	8,99	3,97	1,10	0,99	0,04	0,18
Metales	3,50	0,98	2,53	1,79	0,20	0,31
Madera	2,96	1,69	1,31	1,91	0,05	0,12
Brik	1,64	0,30	0,73	2,19	0,00	0,02
Inertes	0,90	0,69	8,67	8,92	3,41	2,39
RTP	0,91	0,83	0,64	1,02	0,05	0,15
Vidrio	0,87	0,52	9,85	4,57	28,22	6,14
Otros	12,67	3,20	3,82	5,83	0,05	0,11
Finos*	8,62	10,84	-	-	-	-

\*Para los rechazos de afino tanto la fracción papel/cartón como los finos está sumada a la FO

Como se observa en la tabla 4, el rechazo grueso es un material muy heterogéneo formado principalmente por materiales altamente combustibles como: fracción orgánica, papel/cartón, plásticos, textiles y otros (pañales, juguetes, zapatos, espumas o piezas de plástico de gran tamaño). La composición media es similar a la obtenida en la planta de TMB de Zaragoza (Aranda Usón et al., 2012) para un mismo rechazo. En las 8 plantas de TMB de Castilla y León analizadas por Montejo et al. (2013) también se encontraron valores similares (salvo por el porcentaje de papel/cartón que en estas fue mayor). Sin embargo, los resultados difieren un poco de los obtenidos por Ramos Casado et al. (2016) para una instalación de este tipo en Navarra, donde el porcentaje de papel/cartón es mayor y el contenido en fracción orgánica, plástico film y metales menor. También difieren de los obtenidos en una planta de TMB del Distrito de Viseu de la Región Centro de Portugal (Brás et al., 2017), en la que se encontró mayor porcentaje de fracción orgánica e inertes y menor de plásticos, madera y metales.

El rechazo de afino primario, debido a que se origina en la etapa biológica del tratamiento, es una corriente compuesta principalmente por fracción orgánica (64,04%), lo que la hace más homogénea que la anterior (tabla 4). Junto con esta fracción, pero en menor proporción,

también se encuentran materiales como vidrio, inertes, plástico rígido y otros que suponen en conjunto aproximadamente un 27,5% de esta corriente. Los resultados difieren de los obtenidos por Trulli et al. (2018) y Di Lonardo et al. (2015) en dos plantas de TMB italianas, en las cuales el porcentaje de fracción orgánica (incluyendo el papel/cartón) fue menor y el porcentaje de vidrio, inertes y plástico mayor. Esta diferencia puede ser debida a la tecnología utilizada en el proceso biológico.

El rechazo de afino secundario, que también se genera en la etapa biológica, está compuesto de un 66,56% de FO, un 28,22% de vidrio y un 3,41% de inertes, suponiendo en conjunto casi el 98% del material (tabla 4). Esto hace que esta corriente de rechazo sea la más homogénea de las tres estudiadas. En comparación con los resultados obtenidos por Di Lonardo et al. (2015) en una planta TMB italiana, se han obtenido valores similares para el vidrio, mayores para la FO y menores para el plástico e inertes.

#### 4. Conclusiones

Atendiendo a los resultados obtenidos, se puede concluir que el rechazo grueso producido en la planta TMB de Onda es un material muy heterogéneo, que está compuesto principalmente por materiales altamente combustibles. La fracción combustible representa de media el 94,7% del total del material de este rechazo. El análisis estadístico de los resultados indica que existen diferencias significativas en el porcentaje de la fracción otros entre las dos fases del estudio. Así pues, se puede afirmar que en función de la época del año el porcentaje de este material varía, siendo menor en primavera-verano (fase 1) que en otoño-invierno (fase 2). Estas diferencias pueden estar relacionadas con que el rechazo grueso tiene una humedad mayor en la fase 2.

En cuanto al rechazo de afino primario, la fracción orgánica es el material mayoritario, debido a que esta corriente se origina en la etapa biológica. Para este rechazo la fracción combustible supone de media un 79% del total del material. Respecto al rechazo de afino secundario, que también se genera en la misma etapa, está compuesto principalmente por fracción orgánica y vidrio. Esto hace que esta corriente de rechazo sea la más homogénea de las tres estudiadas. La fracción combustible supone el 68,2% del total del material. Los resultados del análisis estadístico de estos dos rechazos muestran que no existen diferencias significativas en su composición en función de la fase del estudio, por lo que se puede afirmar que esta no se ve afectada por la época del año.

Desde el punto de vista de la humedad, tras el análisis estadístico, se ha observado que existen diferencias entre las dos fases del estudio para el rechazo grueso y el rechazo de afino primario. Por lo que se puede afirmar que la humedad es menor en el periodo de primavera-verano que en otoño-invierno para estas dos corrientes.

Por todo ello, a la hora de producir CSR en esta instalación, se deberá tener en cuenta la influencia de la estacionalidad en la composición y humedad de los rechazos, puesto que el poder calorífico y otros parámetros de calidad se verán afectados.

#### 5. Referencias

- AENOR (2012). *UNE-EN 15359:2012: Combustibles Sólidos Recuperados: Especificaciones y clases*. Madrid. AENOR.
- AENOR (2012). *UNE-EN 15442:2012: Combustibles Sólidos Recuperados: Métodos de muestreo*. Madrid. AENOR.
- AENOR (2011). *UNE-EN 15414-3:2011: Combustibles Sólidos Recuperados: Determinación del contenido en humedad por el método de secado en estufa. Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general*. Madrid. AENOR.

- Aranda Usón, A., Ferreira, G., Zambrana Vásquez, D., Zabalza Bribián, I., & Llera Sastresa, E. (2012). Estimation of the energy content of the residual fraction refused by MBT plants: A case study in Zaragoza's MBT plant. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 38–46.
- ASTM International. (1992). ASTM D5231-92: *Standard Test Method for Determination of the composition of Unprocessed Municipal solid Waste*. USA. American Society for Testing and Materials.
- Bessi, C., Lombardi, L., Meoni, R., Canovai, A., & Corti, A. (2016). Solid recovered fuel: An experiment on classification and potential applications. *Waste Management*, 47, 184–194.
- Brás, I., Silva, M. E., Lobo, G., Cordeiro, A., Faria, M., & De Lemos, L. T. (2017). Refuse Derived Fuel from Municipal Solid Waste rejected fractions- a Case Study. *Energy Procedia*, 120, 349–356.
- Dahlén, L., & Lagerkvist, A. (2008). Methods for household waste composition studies. *Waste Management*, 28(7), 1100–1112.
- Di Lonardo, M. C., Franzese, M., Costa, G., Gavasci, R., & Lombardi, F. (2016). The application of SRF vs. RDF classification and specifications to the material flows of two mechanical-biological treatment plants of Rome: Comparison and implications. *Waste Management*, 47, 195–205.
- Di Lonardo, M.C., Lombardi, F. & Gavasci, R. (2015). Quality evaluation and improvement of mechanically–biologically treated municipal solid waste in view of a possible recovery. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(10), 3243–3254.
- Di Lonardo, M.C., Lombardi, F. & Gavasci, R. (2012). Characterization of MBT plants input and outputs: A review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 11(4), 353–363.
- Edo-Alcón, N., Gallardo, A., & Colomer-Mendoza, F. J. (2016). Characterization of SRF from MBT plants: Influence of the input waste and of the processing technologies. *Fuel Processing Technology*, 153, 19–27.
- Edo-Alcón, N., Gallardo, A., Colomer, F.J. & Sánchez-López, I (2017). Diseño de una metodología para el muestreo de corrientes de rechazo producidas en las plantas de tratamiento de residuos domiciliarios En A. Lobo, A. López, A. L. Esteban-García & M. Cuartas (Eds.) *Libro de actas. VII Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos* (pp. 359-364). Santander: Universidad de Cantabria.
- European Commission. (2004). *Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool)*. 5th Framework Program, Vienna, Austria.
- European Commission. (2017). *The role of waste-to-energy in the circular economy*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 26.1.2017, COM (2017) 34 final.
- Gallardo, A., Carlos, M., Colomer, F. J. & Edo-Alcón, N. (2018). Analysis of the waste selective collection at drop-off systems: Case study including the income level and the seasonal variation. *Waste Management & Research*, 36(1), 30–38.
- Gallardo, A., Edo-Alcón, N. & Albarrán, F. (2017). El combustible sólido recuperado: Producción y marco regulador. *RETEMA* 197, 8-16

- Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M. D., Colomer, F. J., Albarrán, F., & Albarrán, F. (2014a). Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *Journal of Cleaner Production*, 83, 118–125.
- Gallardo, A., Edo, N., Colomer, F.J. & Gómez, A. (2014b). Estudio comparativo de varios CSR procedentes de los rechazos de diferentes procesos de tratamiento de RSU. En AEIPRO (Ed.) *Proceedings from the 18th International Congress on Project Management and Engineering* (pp. 1272–1284) Alcañiz: AEIPRO.
- Garcés, D., Díaz, E., Sastre, H., Ordóñez, S., & González-LaFuente, J. M. (2016). Evaluation of the potential of different high calorific waste fractions for the preparation of solid recovered fuels. *Waste Management*, 47, 164–173.
- Iacovidou, E., Hahladakis, J., Deans, I., Velis, C., & Purnell, P. (2018). Technical properties of biomass and solid recovered fuel (SRF) co-fired with coal: Impact of on multi-dimensional resource recovery value. *Waste Management*, 73, 535–545.
- Montejo, C., Tonini, D., Márquez, M. del C., & Fruergaard Astrup, T. (2013). Mechanical–biological treatment: Performance and potentials. An LCA of 8 MBT plants including waste characterization. *Journal of Environmental Management*, 128, 661–673.
- Moura, J.M.B.M., Gohr Pinheiro, I. & Carmo, J.L. (2018). Gravimetric composition of the rejects coming from the segregation process of the municipal recyclable wastes. *Waste Management*, 74, 98-109.
- Nasrullah, M., Hurme, M., Oinas, P., Hannula, J., & Vainikka, P. (2017). Influence of input waste feedstock on solid recovered fuel production in a mechanical treatment plant. *Fuel Processing Technology*, 163, 35–44.
- Nithikul, J., Karthikeyan, O. P., & Visvanathan, C. (2011). Reject management from a mechanical biological treatment plant in Bangkok, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(4), 417–422.
- Ramos Casado, R., Arenales Rivera, J., Borjabad García, E., Escalada Cuadrado, R., Fernández Llorente, M., Bados Sevillano, R., & Pascual Delgado, A. (2016). Classification and characterisation of SRF produced from different flows of processed MSW in the Navarra region and its co-combustion performance with olive tree pruning residues. *Waste Management*, 47, 206–216.
- Rotter, V. S., Lehmann, A., Marzi, T., Möhle, E., Schingnitz, D., & Hoffmann, G. (2011). New techniques for the characterization of refuse-derived fuels and solid recovered fuels. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 29(2), 229–236.
- Sever Akdağ, A., Atımtay, A. & Sanin, F.D. (2016). Comparison of Fuel Value and Combustion Characteristics of Two Different RDF Samples. *Waste Management* 47, 217–24.
- Sharma, M., & McBean, E. (2007). A methodology for solid waste characterization based on diminishing marginal returns. *Waste Management*, 27(3), 337–344.
- Trulli, E., Ferronato, N., Torretta, V., Piscitelli, M., Masi, S. & Mancini, I. (2018). Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates. *Waste Management*, 71, 556-564.
- Velis, C., Wagland, S., Longhurst, P., Robson, B., Sinfield, K., Wise, S., & Pollard, S. (2012). Solid recovered fuel: Influence of waste stream composition and processing on chlorine content and fuel quality. *Environmental Science and Technology*, 46(3), 1923–1931.

### **Agradecimientos**

A la Cátedra RECIPLASA de Gestión de Residuos Urbanos de la Universitat Jaume I de Castellón.