

**MEMORIA DE ACTIVIDADES
CÁTEDRA RECIPLASA DE GESTIÓN
DE RESIDUOS URBANOS
AÑO 2018**

INDICE

1. Actividades realizadas en 2018 en el marco de la cátedra	3
2. Presupuesto ejecutado en 2018.....	9
3. Trabajo de investigación “El CSR producido a partir de rechazos de la planta de tratamiento mecánico-biológica de Onda: Estudio de la variación anual dela composición del rechazo” realizado por el Grupo de INGeniería de RESiduos (INGRES) de la Univesitat Jaume I	10
4. Trabajo de investigación “Investigación de contaminantes orgánicos en aguas del entorno de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos del término municipal de Onda” realizado por el Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (IUPA) de la Universitat Jaume I	20

1. Actividades realizadas en el marco de la cátedra en 2017.

- **Acto de presentación de la memoria anual de 2017** de la Cátedra Reciplasa de gestión de residuos urbanos, y aprobación de la propuesta de actividades para 2018. Menador de Castellón, **8 de Febrero de 2018.**

- **Curso CEFIRE 18CA77EP006 - Proyecto de educación ambiental: Què fem amb el fem?** La Cátedra Reciplasa patrocinó el curso, organizado por CEFIRE Castellón y con la finalidad de instruir a docentes de primaria y secundaria para diseñar experiencias de aprendizaje sostenible y fomentar una ciudadanía activa y responsable. El curso consistió en 4 talleres relacionados con la gestión de residuos, el compostaje y los costes de la gestión sostenible de residuos y una visita guiada a la planta de tratamiento de RSU de Reciplasa en Onda. CEFIRE de Castellón, **29 de Enero al 26 de Febrero de 2018.**



- Curso formación “Què fem amb el fem?” 2018 –

- **Reunión de trabajo en el Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER)**, dependiente del CIEMAT y adscrito al Departamento de Energía de este Organismo Público de Investigación. CEDER está considerado un centro pionero en España en el campo del aprovechamiento energético de la biomasa, además de ser referencia nacional y europea en energía mini-eólica. El objetivo de la reunión que mantuvo el director de la Cátedra, profesor Félix Hernández, con la Directora del centro, la Dra Raquel Ramos, y sus colaboradores fue discutir las posibilidades de colaboración con Reciplasa en lo relativo al aprovechamiento energético de los RSU a través de diferentes procesos de valoración. En esta visita se acordó fomentar la colaboración entre ambas instituciones y estudiar vías para el desarrollo de proyectos futuros colaborativos para la recuperación energética de RSU. CEDER, Lubia (Soria), **Febrero 2018**.



- Visita CEDER 2018 -

- **Participación de la Cátedra Reciplasa en la Jornada “Autismo y Arte” en Castellón.** La Cátedra patrocinó esta jornada, que nace de la necesidad de concienciación e información sobre el Trastorno del Espectro Autista (TEA). En la jornada se edificó un muro hecho con 1.000 cajas de cartón, de las cuales unas 700 fueron decoradas por los niños y las niñas asistentes y 300 fueron pintadas por los diferentes centros educativos que tienen Aulas de Comunicación y Lenguaje con alumnos con TEA. Un muro que, una vez finalizada la construcción, se derribó. Destacar que esta iniciativa cuenta también con el patrocinio de la Diputación de Castelló, Obra Social La Caixa, Cartonajes La Plana, Fundación Dávalos Fletcher y la cátedra UJI-Reciplasa, y con la colaboración de una treintena de entidades y empresas. Además del patrocinio de la jornada, la Cátedra Reciplasa gestionó la gestión de las cajas de cartón, de modo que pudieron ser retiradas una vez derribado el muro y destinadas a un centro de reciclado. Parque Ribalta de Castellón, **14 de Abril de 2018.**



- Jornada Autismo 2018-

- **Encuentro Intercambio de Experiencias en Educación Ambiental (IEEA).** Realizado en el Ermitorio de la Virgen de Gracia en Villareal el **5 de Mayo de 2018**. El Seminario de Educación Ambiental de Castellón organizó, un año más, el V Encuentro de Intercambio de Experiencias en Educación Ambiental. El Encuentro IEEA tiene como principales objetivos fomentar la educación ambiental y facilitar al profesorado un punto de referencia para conocer y compartir experiencias desarrolladas en diferentes centros escolares en materias de carácter ecológico y social (gestión de residuos, huerto escolar, alimentación saludable, consumo responsable, energía, espacios educativos, movilidad sostenible, contaminación, cambio climático, proyectos solidarios, convivencia y paz ...) . En estas experiencias, el alumnado tiene gran protagonismo. Los alumnos de cada centro participante aportan su experiencia en un tiempo máximo de 10 minutos, con el apoyo que consideran oportuno (teatralizaciones, música, presentaciones audiovisuales, filmaciones, fotografías ...), con la posibilidad de llevar materiales y participar con paneles expositivos. Villareal, **5 de Mayo de 2018**



- Encuentro IEEA 2018 -

- **Entrega de premios, Concurso “Què fem amb el fem?”** Los ganadores de la primera edición del concurso ‘Què fem amb el fem?’ fueron los alumnos de 5 años de infantil del colegio Errando Vilar de Almassora, con su cuento ‘Els peixos i els seus amics’. El objetivo del concurso es concienciar sobre el impacto de los residuos y aproximar la gestión de los residuos a la sociedad, empezando por las etapas tempranas de educación ‘Què fem amb el fem?’ ha contado con 44 alumnos participantes y ha sido organizado por la Cátedra Reciplasa, con la colaboración del Seminario de Educación Ambiental de Castellón. En el concurso también participaron el colegio Fadrell, el IES Politécnico y el IES Matilde Salvador de Castellón, con diferentes niveles educativos, que presentaron sus maquetas y cómics. Estos tres centros consiguieron tres segundos premios debido a la buena calidad de sus trabajos y la implicación por parte del alumnado. Además de los respectivos proyectos, los participantes elaboraron un póster de presentación que se expuso durante el acto de entrega de premios, que tuvo lugar en la Universidad Jaime I y corrió a cargo del director de la Cátedra, Profesor Félix Hernández, y la presidente de Reciplasa, Ali Brancal. **5 de Junio de 2018.** El concurso “Què fem amb el fem?” ha tenido una amplia repercusión en los medios de comunicación de Castellón



- Entrega de Premios Qué fem amb el fem? -

- **3ª Conferencia del ciclo: “Gestión sostenible de los residuos urbanos. El valor de la basura”. “Es pot arribar al residu Zero?”.** Impartida por la experta y directora de la Fundación Rezero, Rosa García, la conferencia abordó temas como la minimización de generación de residuos, la reutilización, reciclaje y compostaje de estos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Rosa García, además de dirigir esta fundación, destinada a buscar fórmulas para la reducción de los residuos, es bióloga y doctora en Sostenibilidad. Ha dirigido estudios y planes de gestión de residuos municipales, planes de prevención y reutilización de residuos, y estudios para la implantación de buenas prácticas ambientales en el sector del comercio y la hostelería. Rosa García es también investigadora del grupo Còmplex de la Universidad Autònoma de Barcelona y especialista en el desarrollo de competencias profesionales en sostenibilidad. Menador de Castellón, **23 de Octubre de 2018**.



- Conferencia Rosa García -

- **Entrega de premios al mejor trabajo final de grado (TFG) y mejor trabajo final de máster (TFM), Cátedra Reciplasa: Convocatoria 2018.** Los premios están dotados con 600€ para el ganador del mejor TFM y 400€ para el mejor TFG. La convocatoria se realizó el pasado mes de marzo y han podido participar estudiantes que hayan defendido su trabajo final de grado o trabajo final de máster en la UJI, durante 2018, en áreas de investigación relacionadas con la Cátedra Reciplasa. La comisión de valoración ha estado presidido por Félix Hernández, director de la Cátedra, actuando como vocales el Sr. Fernando Albarrán, director técnico de Reciplasa, y los profesores de la UJI Antonio Gallardo, coordinador del grupo Ingeniería de Residuos (INGRES), e Ignacio Morell, Director del Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas. La comisión otorgó los premios a los siguientes trabajos “*Comparative study between the use of district heating and individual heating systems, based on biomass, in an inland rural town of the province of Castellón*”, realizado por Iván Segura, como TFM en el Máster en Ingeniería Industrial, y “*Proyecto de aislamiento energético de una planta de tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos mediante gasificación de los rechazos*”, realizado por Santiago Alegre, como TFG en el Grado en Ingeniería Industrial. La entrega de premios tuvo lugar en la Llotja del Cànem, y corrió a cargo del Vicerrector de Planificación, Coordinación y Comunicación, Modesto J. Fabra Valls, y la presidenta de Reciplasa Ali Brancal. **30 de Noviembre de 2018.**



- Entrega de premios TFG y TFM -

2. Presupuesto ejecutado en 2018

Reciplasa			
Concepto	Total	Total (con IVA)	Disponible
Convenio creación de la Cátedra	8,743.00 €	8,743.00 €	7,868.70 €
Contrato investigación IUPA	15,000 €	18,150 €	13,500 €
Contrato investigación INGRES	6,700 €	8,107 €	6,030 €
TOTAL 2017 (IVA INCLUIDO)		35,000 €	

Convenio Cátedra (7868,7€)	Gasto	Saldo
Remanente ejercicio 2017		2,999.61 €
Incorporado Convenio		7,868.70 €
Total		10,868.31 €
Personal	4,524 €	6,344.31 €
Patrocinio Autismo	500.00 €	5,844.31 €
Patrocinio Jornadas IEEA	600.00 €	5,244.31 €
Premios TFG TFM	1,000.00 €	4,244.31 €
Premios Què fem amb el fem?	967.90 €	3,276.41 €
Jornadas Formacion Profesorado	974.80 €	2,301.61 €
Visita CEDER 02/18	197.80 €	2,103.81 €
Conferencia ReZero	529.00 €	1,574.81 €
Otros gastos	204.55 €	1,370.26 €
Total gastado	9,498 €	
Remanente para el ejercicio 2019		1,370.26 €

3. Trabajo de investigación realizado por el grupo de Ingeniería de Residuos – INGRES. “El CSR producido a partir de rechazos de la planta de tratamiento mecánico-biológica de Onda: Estudio de la variación anual de la composición del rechazo”.

A. Objetivos

El objetivo de este trabajo es analizar la variación anual de la composición y la humedad de la fracción no combustible de los rechazos (FNCR) susceptibles de generar CSR de la planta de tratamiento mecánico-biológico (TMB) de Onda, perteneciente a la empresa RECIPLASA. Los resultados obtenidos permitirán estimar las cantidades producidas de la FNCR y su variabilidad a lo largo del año.

Además, con el objetivo de valorar la posibilidad de reciclado de la FNCR, para cada una de las fracciones no combustibles se determinará el porcentaje de suciedad. Esta característica determinará el valor en el mercado de los materiales no combustibles.

Para la realización del proyecto se utilizarán las caracterizaciones de los rechazos realizadas en el año 2017. En ese año se caracterizaron rechazos en dos períodos del año, correspondientes a las estaciones primavera-verano y otoño-invierno, y en los cinco días de la semana.

Este proyecto está enmarcado en otro más general que tiene por objeto conocer los rechazos producidos en la planta de tratamiento de Onda para darles una alternativa sostenible de valorización.

B. Ámbito de estudio

En planta de TMB de Onda se generan 4 corrientes de rechazo procedentes de diferentes etapas del tratamiento de los RD:

- Rechazo grueso: generado en la fase de recuperación de materiales, 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, 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.

De todas ellos, las tres primeras son las que conforman el ámbito de estudio en el análisis de la variación anual de la composición de la FNCR, puesto que tienen un mayor potencial para su transformación en CSR.

Mientras que, en el caso del porcentaje de suciedad, este valor se ha determinado para las dos primeras corrientes de rechazo (rechazo grueso y de afino primario), ya que son las que se generan en una mayor proporción en la planta de TMB de Onda.

C. Experimental

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. Para su determinación, en las caracterizaciones realizadas en 2017 se utilizó la metodología diseñada por (Edo-Alcón et al. (2017) para el muestreo de rechazos producidos en plantas de tratamiento de RD.

Esta metodología se aplicó a las tres corrientes de rechazos de la planta de reciclaje y compostaje de Onda que conforman el ámbito de estudio, considerando la existencia de variación estacional entre dos periodos: primavera-verano (fase 1) y otoño invierno (fase 2). Se obtuvo que era necesario realizar como mínimo 20 muestras para cada rechazo, las cuales debían estar repartidas entre las dos fases, 10 en cada una. El muestreo de la fase 1 (primavera-verano) se realizó durante los meses de mayo y junio, mientras que en la fase 2 (otoño-invierno) se realizó durante noviembre y diciembre. En total se caracterizaron 103 muestras.

Fracciones de residuos a separar en las caracterizaciones

Las fracciones o categorías de residuos que se separaron en las caracterizaciones realizadas en 2017 fueron: fracción orgánica (FO), papel y cartón, plásticos rígidos, plásticos flexibles, vidrio, brik, madera, textiles, metales, residuos tóxicos y peligrosos, inerte, finos (<10mm) y otros. De todas ellas, la FNCR está compuesta por el vidrio, los inertes y los metales, en la **tabla 1** se exponen los residuos que conforman estas categorías. El resto son las que conforman la fracción combustible de los rechazos.

Tabla 1: Fracciones que conforman la FNCR

CATEGORÍA	RESIDUOS O RESTOS DE:
Vidrio	Envases de vidrio o pequeños trozos de vidrio transparente y de color.
Metales	Materiales de metal, ya sean o no envases, como: latas, tuberías, papel de aluminio, aerosoles, bandejas de aluminio, cubiertos, clavos o tornillos, sartenes, ollas, chatarra, alambre, cadenas, etc.
Inertes	Piedras, ladrillos, cerámica, azulejos, escombros, etc.

Caracterización de los rechazos

Una vez determinado el número y tamaño de muestras mínimo, durante el año 2017 se llevó a cabo la caracterización física de los rechazos. El rechazo grueso fue el único rechazo que se caracterizó en la propia planta de tratamiento. Allí, la empresa proporciono una zona limpia y pavimentada, que estaba lo suficientemente iluminada y ventilada, y en la que se evitó la circulación de maquinaria pesada. En esta superficie los investigadores disponían de unos 500 kg de rechazo a partir del cual se obtenía la muestra a caracterizar. Una vez tomada la muestras, se procedió a su segregación en las diferentes fracciones. En la **figura 1** se muestran varias fotos de las fracciones caracterizadas que componen la FNCR.



Figura 1: FNCR de rechazo grueso (de izq. a dcha. y de arriba a abajo): Inertes, metales, trozos de vidrio, botella de vidrio

Finalmente, tras la caracterización del rechazo grueso se procedió a la recogida de muestras para las corrientes de rechazo de afino primario y secundario. Estas muestras se trasladaban al laboratorio donde, tras su cuarteo y obtención de tamaño mínimo de muestra, fueron caracterizadas por dos personas

Determinación de la humedad

Cada uno de los días 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).

Tras la determinación de la humedad, las muestras ya secas se identificaron, envasaron y sellaron para su correcta conservación y almacenaje. Para ello el material seleccionado no fue manipulado, simplemente se secó y almacenó.

Determinación de la SUCIEDAD

La determinación de la suciedad de la FNCR de las corrientes de rechazo grueso y de rechazo de afino primario se realizó en 2018, ha partido de las mismas muestras de campo almacenadas en 2017 y de las que se determinó la composición y humedad.

Para determinar la suciedad, las muestras envasadas se caracterizaron en fracción combustible y los tres componentes de la FNCR (vidrio, inertes y metales).

Finalmente, las tres fracciones no combustibles fueron lavadas y secadas.

D. Resultados

Composición de la FNCR

En la **tabla 2** se muestra la composición media anual de las tres corrientes de rechazo estudiadas.

Tabla 2: Composición media anual de la FNCR

Material	RECHAZO GRUESO (RG)		RECHAZO AF. PRIMARIO (AF1)		RECHAZO AF. SECUNDARIO (AF2)	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Fracción combustible	94,53	1,55	78,98	7,93	69,00	7,21
FNCR	5,47	1,55	21,02	7,93	31,00	7,21
Metales	3,65	1,10	3,72	4,06	0,36	0,79
Vidrio	0,81	0,50	10,83	5,25	27,29	6,51
Inertes	1,01	0,94	6,48	7,25	3,35	2,65

Como se observa en la **tabla 2**, el porcentaje de FNCR presente en el rechazo grueso de la planta de reciclaje y compostaje de Onda es de 5,47%. Este valor es similar a los obtenidos por Montejo et al. (2013, 2011) para este tipo de rechazo en 8 plantas de TMB de Castilla y León, así como al obtenido por Ramos Casado et al. (2016) para una instalación de este tipo en Navarra. En las plantas de Castilla y León en material mayoritario fueron los metales al igual que en la corriente de rechazo estudiada, mientras que en la instalación navarra lo fue el vidrio. Por otro lado, Brás et al. (2017) en Portugal y Nasrullah et al., (2017) en Finlandia obtuvieron valores más altos, del 13,9 y el 10,4 % respectivamente. Los materiales mayoritarios fueron los inertes en el primer estudio y los metales en el segundo.

El rechazo de afino primario, debido a que se origina en la etapa biológica del tratamiento, contiene un mayor porcentaje de FNCR con un 21,02% (tabla 6). Brás et al. (2017) en Portugal obtuvieron valores similares (20%) para este tipo de rechazo. No obstante, los inertes fueron en material mayoritario en esta corriente con un 19%, mientras que en la planta de TMB de Onda lo es el vidrio. Por otro lado, en dos estudios italianos, el porcentaje de FNCR en este tipo de rechazos fue mayores, con un 32,7% (Trulli et al., 2018) y un 39% (Di Lonardo et al., 2015). En ambos trabajos el vidrio y los inertes fueron los componentes principales de esta fracción.

El rechazo de afino secundario, que también se genera en la etapa biológica, presenta un 31% de FNCR (tabla 6), el porcentaje más alto de los tres tipos de rechazos analizados. Este valor es mayor al obtenido por Edo-Alcón et al. (2016) para un rechazo similar de una planta de TMB española (17%) y menor al obtenido por Di Lonardo et al. (2015) en Italia (43%), la fracción mayoritaria en ambos estudios fue el vidrio al igual que en la corriente de rechazo analizada.

Por otra parte, y como se ha comentado anteriormente, el vidrio aparece en mayor porcentaje en aquellos rechazos que tienen un tamaño de partícula menor. Esto es

debido a su rotura en trozos pequeños en el trómel, por lo que los porcentajes más elevados de este material se dan en el rechazo de afino secundario y los más bajos en el rechazo grueso. En el caso de los metales, el porcentaje es similar para el rechazo grueso y el rechazo de afino. Sin embargo, el porcentaje baja hasta valores cercanos a cero en el rechazo de afino secundario (tabla 2). Esto es debido a que en esta fracción está compuesta principalmente por latas de metal o envases de refresco cuyo diámetro hace que no aparezcan en rechazo de afino secundario, que tienen un tamaño de partícula mucho menor. Respecto a los inertes, como ocurre con el vidrio, estos también se rompen en el trómel y entran en el proceso de compostaje. No obstante, debido a que son menos frágiles, los fragmentos que quedan son de un tamaño intermedio por lo que aparecen en mayor proporción en los rechazos de afino primario. Todo esto puede observarse en la figura 3, donde se representa el porcentaje de cada uno de estos materiales en la FNCR en función del diámetro de partícula de las diferentes corrientes de rechazo.

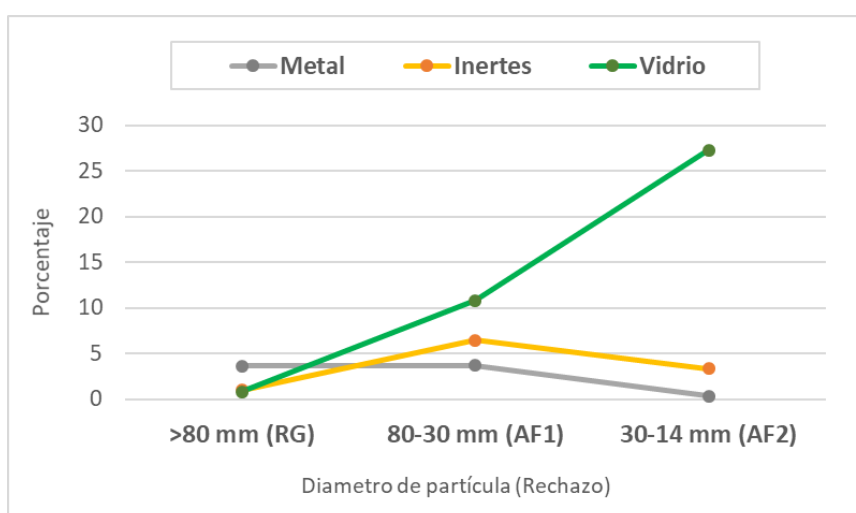


Figura 2: Relación entre el diámetro de partícula y la composición de la FNCR.

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 la **tabla 3**.

Tabla 3: Humedad de los rechazos, fase 1 y 2

Corriente	HUMEDAD (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Rechazo grueso	25,95	5,00	31,70	4,05
Rechazo de afino primario	28,81	7,54	38,75	6,73
Rechazo de afino secundario	11,00	4,83	15,89	7,50

Como se ve en la **tabla 3**, el rechazo grueso tiene una humedad media para la fase 1 del 25,95% y para la fase 2 del 31,70%. Estos valores son similares a los obtenidos para este mismo rechazo por Gallardo et al. (2014), así como en otros trabajos de investigación realizados para este tipo de corrientes tanto en España como en otros países (Di Lonardo et al., 2016; Edo-Alcón et al., 2016; Montejo et al., 2011; Ramos Casado et al., 2016).

De las tres corrientes de rechazo analizadas, el rechazo de afino primario es la 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 Bessi et al. (2016), Di Lonardo et al. (2016), y Edo-Alcón et al. (2016) obtuvieron para este tipo de rechazos en diferentes plantas de TMB.

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. Esto es debido a que esta corriente procede del afino final del material bioestabilizado que ya ha fermentado y 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 et al. (2011) en una planta de TMB de Tailandia y menores a los obtenidos por Edo-Alcón et al. (2016) en una instalación española de este tipo.

Suciedad de la FNCR

El porcentaje de suciedad medio y desviación estándar para las dos corrientes analizadas y fases del estudio se muestran en las **tablas 4 y 5**. En ellas se expone este valor de forma diferenciada para cada uno de los materiales que conforman la FNCR: vidrio, inertes y metales.

Tabla 4: Porcentaje de suciedad de la FNCR del rechazo grueso

Material de la FNCR	SUCIEDAD (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Vidrio	1,75	1,31	1,84	1,79
Inertes	1,03	1,16	0,66	0,55
Metales	3,63	2,21	10,54	2,75

Tabla 5: Porcentaje de suciedad de la FNCR del rechazo afino primario

Material de la FNCR	SUCIEDAD (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Vidrio	5,59	4,33	3,87	1,93
Inertes	2,34	0,62	5,74	3,86
Metales	34,90	13,62	27,82	15,91

E. Conclusiones

En este trabajo se han determinado las propiedades de la fracción no combustible de las cuatro corrientes de rechazos producidas en la planta de tratamiento de Onda, y sus variaciones en dos períodos del año.

La fracción no combustible de los rechazos (FNCR) se compone de metal, vidrio e inertes, en proporciones diferentes en función de la corriente de rechazo y del período del año.

Respecto a la corriente de rechazo grueso, está compuesta principalmente por material combustible, en un 94,5% en ambos períodos; mientras que la FNCR supone en torno a un 5,5%. Dentro de la FNCR, los metales son el componente mayoritario (3,78% en la fase 1 y 3,48% en la fase 2). Mientras que los inertes y el vidrio, tienen porcentajes del 1%. Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico indican que no existen diferencias significativas entre las dos fases.

En el caso del rechazo de afino primario, el porcentaje de FNCR es del 23,70% en la fase 1 y de un 18,35% en la 2. El vidrio es el componente mayoritario, con valores alrededor del 10-11%, mientras que los metales son minoritarios, el 3,5-4%. Esto se debe a que esta corriente procede de la etapa biológica del tratamiento. Los resultados del análisis estadístico muestran que en función de la época de año el porcentaje de la

FNCR varía, siendo mayor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno).

Respecto al rechazo de afino secundario, es el que mayor porcentaje de FNCR tiene, con valores alrededor del 31%. Esta fracción está compuesta principalmente por vidrio, con un 27% en las dos fases, seguida por los inertes (el 3 y 3,5%) y metales (0,3%). No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre las dos fases.

De las tres corrientes analizadas, el rechazo de afino primario es la que tiene una mayor humedad con un 28,81% en la fase 1 y un 38,75% en la fase 2. Esto se debe a que esta corriente procede del pre-afino del material pre-bioestabilizado, el cual proviene directamente de los túneles de compostaje y tiene una humedad muy elevada. Los rechazos de afino secundario son los de menor humedad (11% en la fase 1 y de 15,89% en la fase 2). Tras los análisis estadísticos se puede afirmar que en función de la estación del año la humedad varía, siendo menor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno).

Respecto a la suciedad del rechazo grueso, los metales son el componente de la FNCR de que tiene un mayor porcentaje, con un 3,63 % para la fase 1 y un 10,54 % para la fase 2. En el caso del vidrio y los inertes, el porcentaje de suciedad es menor, con valores en las dos fases alrededor del 1,8% para el primero y del 1% para el segundo.

En cuanto al rechazo de afino primario, en general, todos los materiales tienen un porcentaje mayor de suciedad que los del rechazo grueso, debido a que esta corriente se origina en la etapa biológica del tratamiento. Al igual que ocurre con el rechazo grueso, la fracción más sucia son los metales (el 34,90% en la fase 1 y el 27,82% en la fase 2). El porcentaje de suciedad para el vidrio es de 5,59% en la primera fase y del 3,87% en la segunda, mientras que para los inertes es del 2,34% y del 5,74% en la fase 1 y 2 respectivamente.

Finalmente, decir que estos resultados pueden servir como base de actuación para proponer soluciones para valorizar la fracción de inertes de los rechazos, y con ello aprovechar la totalidad del rechazo. De esta forma se puede llegar a minimizar al máximo la cantidad destinada al vertedero.

4. Trabajo de investigación realizado por el Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas – IUPA. “Investigación de contaminantes orgánicos en aguas del entorno de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos del término municipal de Onda”

A. Objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo es investigar la presencia de contaminantes orgánicos en las aguas del entorno de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) del término municipal de Onda, con el fin evaluar la posible influencia de las actividades de la planta sobre su entorno.

Para ello, se han seleccionado diversos puntos de muestreo de agua subterránea y superficial, y se han aplicado técnicas analíticas avanzadas, basadas en acoplamiento cromatografía/espectrometría de masas, para su determinación a nivel de trazas.

B. Introducción

Hoy en día, se puede encontrar en el medio ambiente un gran número de contaminantes orgánicos de diferentes familias químicas y distintas características fisicoquímicas. Algunos de ellos, son contaminantes orgánicos “clásicos”, como los pesticidas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) y los bifenilos policlorados (PCBs), mientras que otros se pueden clasificar dentro del extenso grupo denominado contaminantes emergentes. Entre estos últimos, destacan los productos de cuidado personal, los fármacos, incluidos los antibióticos, tanto de uso humano como animal, las drogas de abuso y un gran número de productos de transformación (TP) y metabolitos, que en muchos casos son todavía desconocidos.

Todos estos contaminantes pueden afectar a las aguas subterráneas y superficiales y proceden de diversas fuentes. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), al igual que las plantas de reciclado de residuos sólidos urbanos (RSU), se encuentran entre las potenciales vías de contaminación, ya que tratan grandes cantidades de residuos de origen urbano, que normalmente contienen muchos contaminantes orgánicos y residuos procedentes de su uso cotidiano. Por ello, resulta necesario controlar la presencia de dichos compuestos, que pueden estar presentes en aguas tratadas en las PTAR así como en zonas afectadas por las plantas de tratamiento de RSU, con el fin asegurar la calidad del agua y, en su caso, prevenir sobre el consumo de agua que pudiera estar contaminada y que podría provocar problemas de salud pública.

C. Selección de compuestos y técnicas de análisis.

La metodología aplicada en el presente estudio se basa en estrategias analíticas desarrolladas en nuestro laboratorio para la investigación de contaminantes orgánicos en aguas superficiales y subterráneas del entorno de la planta de Reciplasa (Pitarch, 2016).

Por un lado, se han aplicado dos métodos cuantitativos para la determinación de 25 plaguicidas y 41 fármacos mediante cromatografía de líquidos (UHPLC) acoplada a espectrometría de masas en tándem (MS/MS) con analizador de triple cuadrupolo (QqQ). Los análisis mediante UHPLC-MS/MS QqQ permiten determinar muy bajos niveles de concentración de plaguicidas, encontrados frecuentemente en estudios anteriores (Pitarch, 2016), así como de fármacos, cuyo interés como contaminantes emergentes en el medio ambiente es cada vez mayor (Boix, 2015; Gracia-Lor, 2012; Hernández, 2018; Hernández, 2019).

Adicionalmente, se ha aplicado una metodología de amplio barrido (*screening*) para la detección e identificación de numerosos compuestos, con un amplio rango de volatilidades. Para ello, se ha usado la cromatografía de gases (GC) acoplada a espectrometría de masas con analizador híbrido cuadrupolo-tiempo de vuelo (QTOF MS). Se ha investigado la presencia de unos 300 contaminantes de muy diversas familias, tales como plaguicidas, difenil-eter polibromados (PBDEs), bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), compuestos perfluorados (PFCs), musks, filtros UV, antimicrobiales y repelentes de insectos. Estos análisis han sido de tipo cualitativo, es decir, el objetivo ha sido la detección y correcta identificación del mayor número posible de contaminantes.

D. Toma de muestras

En este proyecto se han analizado un total de 9 muestras de agua, tanto subterránea como superficial, procedentes de puntos situados en el entorno de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos del término municipal de Onda. Los puntos de muestreo se han seleccionado de modo que permiten recoger muestras de aguas arriba y aguas abajo del sentido de flujo del acuífero, en relación a la localización de la Planta de Reciplasa. En la **Figura 3** se muestra un mapa aéreo con la ubicación de los puntos de muestreo.

Las muestras se recogieron en marzo y mayo 2018, por personal especializado de una empresa acreditada para estudios en la realización de interés ambiental (puntos de muestreo 1-4 y 8-9) y por personal del IUPA (puntos de muestreo 5-7). Una vez recibidas

las muestras en el laboratorio, se procedió a su congelación a $<-18^{\circ}\text{C}$, hasta el momento de los análisis.



Planta Reciplasa

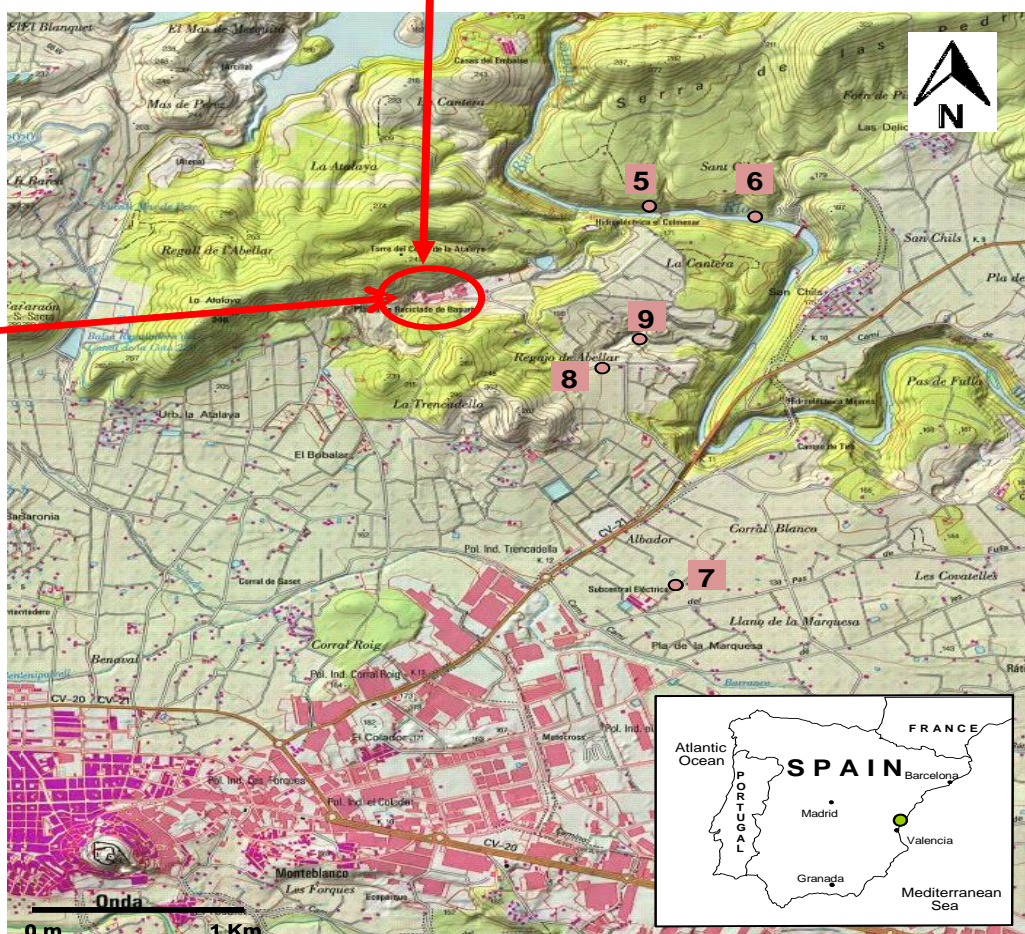


Figura 3. Mapa aéreo de los puntos de muestreo.

E. Análisis y resultados obtenidos

A continuación, se presentan de forma resumida los resultados obtenidos en este trabajo. Las muestras de agua se sometieron al procedimiento de análisis cuantitativo basado en el uso de UHPLC-MS/MS (QqQ) con el fin de investigar la presencia y los niveles de concentración de 25 plaguicidas y productos de transformación en las 9 muestras de agua.

Debido a la excelente sensibilidad de la técnica instrumental utilizada, se encontró un elevado número de positivos, aunque la mayoría de ellos a muy bajos niveles de concentración (del orden de pocos ng/L). Se detectaron 18 de los 25 plaguicidas estudiados en las 9 muestras de agua.

Aproximadamente, el 21% de las detecciones correspondieron a compuestos que se encontraban a concentraciones inferiores al punto más bajo del calibrado (< 1ng/L), por lo que, aunque se pudo confirmar su identidad, no pudieron cuantificarse al encontrarse a niveles extremadamente bajos de concentración. Por otra parte, únicamente un positivo superó ligeramente el nivel de 0.1 µg/L (100 ng/L), correspondiendo al herbicida *terbuthylazine* en la muestra de agua del Pozo Sabater I (muestra 8) con un valor de concentración de 0.126 µg/L (126 ng/L). El nivel de 0.1 µg/L suele tomarse como referencia en aguas por tratarse del máximo permitido para plaguicidas en aguas de abastecimiento urbano.

Las aguas subterráneas correspondientes al punto 2 (Piezómetro aguas abajo, zona afino compost), 8 (Pozo Sabater I) y 10 (Pozo San Martín de Porres), son las que presentaron mayor número de positivos de plaguicidas, con un total de 14, 11 y 10, respectivamente, de los 25 incluidos en el método analítico. Por lo que respecta a las dos muestras de aguas superficiales del Río Mijares, no se detectó ninguno de los plaguicidas estudiados.

El plaguicida más frecuentemente detectado fue el insecticida *imidacloprid* (en 6 de 9 muestras). Otros analitos, como el herbicida triazina *simazine* y el producto de transformación (TP) del herbicida *terbuthylazine* (*OH-Tbza*), también se detectaron frecuentemente, ambos en 5 de las 9 muestras analizadas.

Como ejemplo, la **Figura 4** ilustra los positivos encontrados en la muestra 7 (Pozo San Martín de Porres, 23/03/2018) analizada mediante UHPLC-MS/MS para la determinación de los plaguicidas seleccionados.

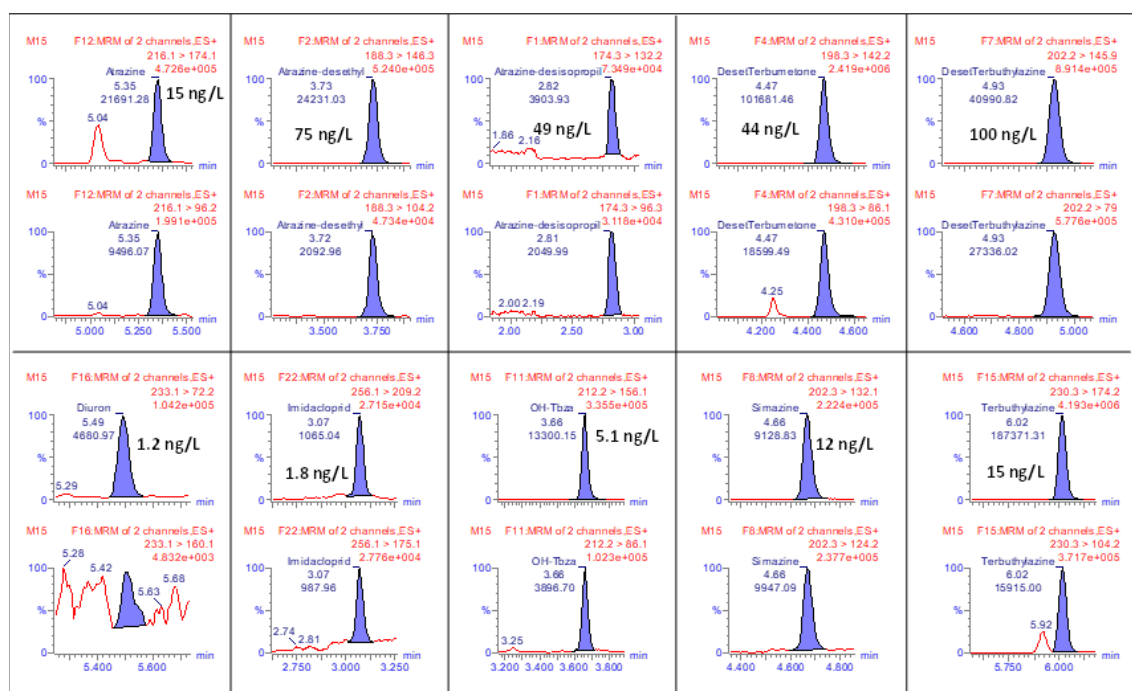


Figura 4. Positivos encontrados en la muestra 7, agua subterránea correspondiente al pozo San Martín de Porres, mediante análisis por UHPLC-MS/MS para la determinación de plaguicidas

Paralelamente a la determinación de plaguicidas, las 9 muestras de agua también fueron analizadas mediante un método cuantitativo basado en UHPLC-MS/MS (QqQ) con el fin de determinar la presencia de 41 fármacos.

Se detectaron 10 de los 41 fármacos estudiados en las 9 muestras de agua. Más del 50% de las detecciones (aproximadamente el 65%) correspondieron a compuestos que se encontraban a concentraciones inferiores al punto más bajo del calibrado (LCL), por lo que, aunque se pudo confirmar su identidad, no pudieron cuantificarse al encontrarse a niveles extremadamente bajos de concentración. En ninguno de los positivos encontrados se superó el valor de 50 ng/L.

La muestra 3 (Piezómetro aguas abajo, zona acopio restos de poda) fue la que presentó mayor número de fármacos, 6 de los 41 incluidos en el método analítico. Por el contrario, en la muestra 1 (Piezómetro aguas arriba) no se detectó ningún fármaco.

El fármaco más frecuentemente detectado fue el antibiótico *ciprofloxacin* (en 6 de 9 muestras), aunque en todos los casos a niveles inferiores al punto más bajo del calibrado, y por tanto sin llegar a ser cuantificado. El también antibiótico *norfloxacin* y el anticonvulsante *primidone* se encontraron en 4 de las 9 muestras analizadas.

Las 9 muestras de agua también se sometieron al procedimiento de *screening* mediante GC-QTOF MS con el fin de investigar la presencia del mayor número posible de contaminantes orgánicos de baja polaridad. Los análisis fueron de tipo cualitativo y su objetivo fue la detección e identificación de otros tipos de contaminantes en las muestras.

Los compuestos más detectados en las aguas han sido, de nuevo, plaguicidas, habiéndose identificado también algunos de sus productos de transformación (TP). Esto parece lógico teniendo en cuenta que la planta se encuentra en un entorno agrícola, en el que el uso de fitosanitarios es elevado.

En las muestras analizadas se identificaron 15 plaguicidas y TPs diferentes, la mayoría de ellos ya incluidos en la metodología cuantitativa mediante UHPLC-MS/MS. Los compuestos detectados fueron principalmente herbicidas de la familia de las triazinas (*atrazine, simazine, terbumeton, terbuthylazine* y *terbutryn*), siendo la *terbuthylazine* (en 4 muestras) y su TP *desethyl* (en 3 muestras) los más frecuentemente detectados. También se encontraron positivos de los TPs del insecticida organofosforado *chlorpyrifos*, destacando el *chlorpyrifos methyl* por estar presente en 4 de las 9 muestras analizadas. Otros plaguicidas identificados, aunque con menor frecuencia, fueron el insecticida carbamato *carbaryl*, los fungicidas *metalaxyl* y *2-phenylphenol* y los insecticidas organoclorados *p,p'-DDD* y *p,p'-DDE*, presentando todos ellos una baja frecuencia de detección (en una o dos muestras).

El *screening* por GC-QTOF MS permitió la detección de otros compuestos, como los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) *phenanthrene* (detectado en 2 muestras) y *5-methylchrysene* (detectado en 1 muestra).

Las muestras de agua subterránea correspondientes al Pozo Sabater I (punto de muestreo 8) y Pozo San Martín de Porres (punto de muestreo 7) presentaron el mayor número de positivos, con 11 y 10 compuestos, respectivamente. Por otra parte, las muestras de agua subterránea correspondientes a los Piezómetros aguas abajo, zona afino compost (muestra 2) y zona acopio restos de poda (muestra 3) no mostraron ningún positivo mediante el *screening* por GC-QTOF MS.

Como ejemplo ilustrativo, la **Figura 5** muestra un positivo de *terbuthylazine* detectado en el Pozo Sabater I (muestra 8) mediante GC-QTOF MS

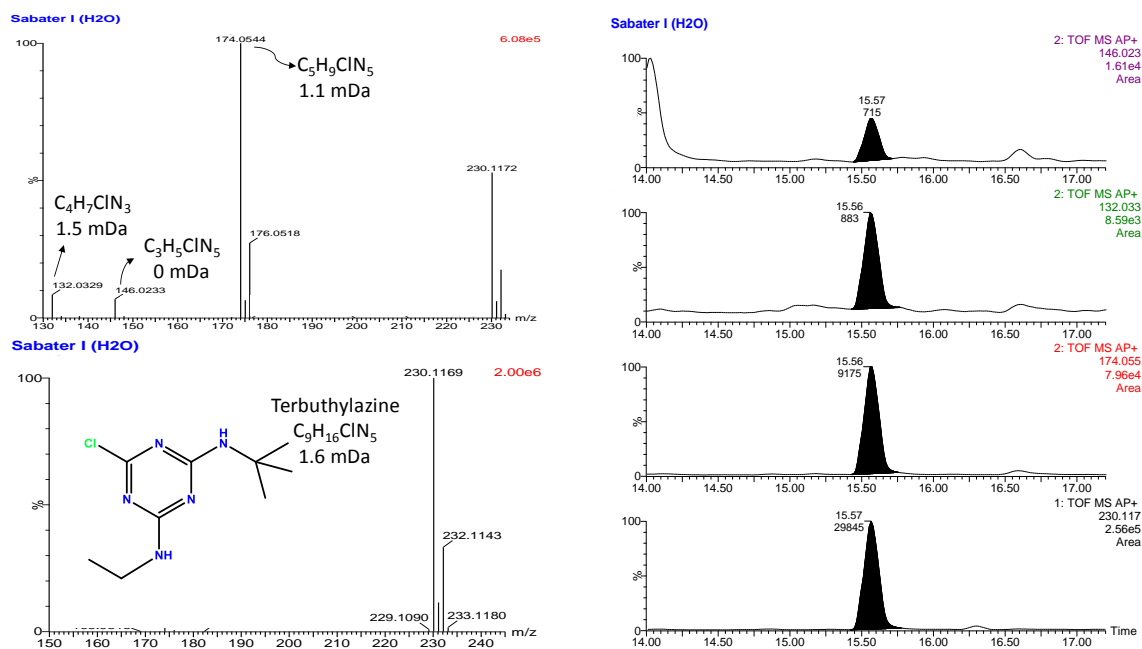


Figura 5. Detección e identificación de *terbutylazine* en el análisis por GC-QTOF MS de la muestra de agua subterránea 8 (Pozo Sabater I). (A) Espectros LE y HE del pico cromatográfico correspondiente a *terbutylazine* a tiempo de retención 15.57 min. (B) TICs a una ventana de masa de 150 ppm para la molécula protonada en LE y diferentes iones observados en la función HE. Composición elemental y errores de masa en mDa

Todos los resultados obtenidos en este trabajo, incluyendo la información detallada con todos los datos, se encuentran en el informe que se entregará a Reciplasa a la finalización del estudio, una vez analizadas las muestras recogidas en la segunda campaña de muestreo realizada en noviembre de 2018.

F. Conclusiones

En este estudio se ha investigado un elevado número de contaminantes orgánicos en aguas, mediante análisis cuantitativo por UHPLC-MS/MS, con analizador de triple cuadrupolo (QqQ). La metodología analítica utilizada destaca por su elevada sensibilidad, lo que permite detectar y cuantificar diferentes tipos de contaminantes orgánicos a muy bajos niveles de concentración. El uso de dos metodologías basadas en LC-MS/MS ha permitido la determinación de 25 plaguicidas y productos de transformación, por un lado, y de 41 fármacos, por otro.

También se ha aplicado una metodología de barrido (screening) usando una técnica avanzada, como es el acoplamiento GC-QTOF MS. El screening ha permitido investigar la presencia de unos 300 contaminantes (plaguicidas, PBDEs, PCBs, PAHs, PFCs, etc.)

de manera cualitativa, es decir, el objetivo ha sido la detección y correcta identificación del mayor número posible de contaminantes orgánicos de origen antropogénico.

Las muestras objeto de estudio han correspondido a aguas subterráneas y superficiales tomadas en el entorno de la planta de tratamiento Reciplasa, en una primera campaña de muestreo realizada en marzo-mayo de 2018.

Los análisis llevados a cabo mediante UHPLC-MS/MS han permitido detectar un buen número de plaguicidas y TPs, la mayoría de ellos a muy bajos niveles de concentración (del orden de pocos ng/L). Tan sólo en una ocasión, se superó ligeramente el nivel de 100 ng/L, correspondiendo al herbicida *terbuthylazine* en la muestra de agua del Pozo Sabater I (muestra 8) con un valor de concentración de 126 ng/L. El valor de 100 ng/L (0.1 µg/L) es el que se toma como referencia habitualmente en el campo de residuos de plaguicidas en aguas, pues es el valor máximo permitido por plaguicida individual en aguas de abastecimiento urbano. La contaminación de aguas por plaguicidas en la Comunidad Valenciana, y más concretamente en la provincia de Castellón, es un hecho bien conocido, que ya ha sido reportado anteriormente por nuestro propio grupo de investigación (Rousis, 2017; Pitarch, 2010, 2016; Hernández, 2008; Marín, 2009), así como en anteriores informes realizados para Reciplasa.

La aplicación de la metodología basada en UHPLC-MS/MS, también ha permitido la detección de fármacos en las aguas, aunque más de la mitad correspondió a compuestos que se encontraron a niveles muy bajos de concentración. De hecho, ninguno de los fármacos identificados superó el valor de 50 ng/L. La contaminación de aguas por contaminantes emergentes, como son los fármacos, es un hecho bien conocido e investigado por nuestro grupo de investigación (Bade, 2015; Boix, 2015), y también ha sido reportado en anteriores informes realizados para Reciplasa. Sin embargo, este tipo de contaminación es más frecuente en aguas residuales urbanas y en aguas superficiales que reciben los efluentes urbanos.

El screening mediante GC-QTOF MS ha demostrado que los compuestos más frecuentemente detectados son los plaguicidas y sus productos de transformación, principalmente herbicidas de la familia de las triazinas. El screening también ha permitido detectar otros dos compuestos, pertenecientes a la familia de los PAHs (*phenanthrene* y *5-methylchrysene*).

Los resultados obtenidos en este primer muestreo indican que la contaminación en las aguas subterráneas y superficiales del entorno de Reciplasa parece proceder, casi

exclusivamente, de las actividades agrícolas, ya que los contaminantes detectados con mayor frecuencia y a niveles más altos han sido plaguicidas y algunos TPs.

La presencia de fármacos en las aguas subterráneas revela que estos compuestos, de amplio uso en la población, pueden llegar hasta dichas aguas, aunque, de momento, parece un hecho aislado y poco relevante, en comparación con los datos que se reportan en la literatura científica para aguas residuales tratadas y aguas superficiales. Las concentraciones de fármacos encontradas son muy bajas (del orden de ng/L), por lo que no parece existir una contaminación notable. No obstante, es necesario prestar atención a este posible problema mediante programas de control en las aguas del entorno centrados en la investigación de contaminantes emergentes, ampliando el número de compuestos objeto de estudio, con el objetivo de hacer un seguimiento de los mismos e identificar cualquier cambio importante en las concentraciones y/o tendencias observadas.