Memoria 2019

UNIVERSITAT JAUME I

Càtedra Reciplasa
de Gestió de Residus Urbans

RECIPLASA®

Cátedra Reciplasa de Gestión de Residuos Urbanos
Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (IUPA)
Universitat Jaume I
Av. de Vicent Sos Baynat s/n
12071 · Castelló de la Plana, Castelló, Espanya

Dirección:
Félix Hernández Hernández
Catedrático de Química Analítica
felix.hernandez@uji.es

catedrareciplasa@uji.es
http://catedrareciplasa.uji.es

UNIVERSITAT JAUME I

RECIPLASA®

Cátedra Reciplasa
de Gestión de Residuos Urbanos

MEMORIA DE ACTIVIDADES

CÁTEDRA RECIPLASA DE GESTIÓN DE RESIDUOS URBANOS

AÑO 2019

INDICE

1. Actividades realizadas en 2019.....5

2. Presupuesto ejecutado en 2019.....13

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: Comparación con otros CSR comerciales".....15

A. Introducción.....15

B. Objetivos.....17

C. Marco legal del CSR y su situación en otros países europeos.....17

D. CSR comerciales.....20

E. Desclasificación del CSR como residuo.....21

F. Caracterización física del rechazo de la planta de tratamiento de Onda.....24

G. Caracterización Química del CSR de Onda.....28

H. Caracterización química de CSR comerciales.....30

I. Comparación del CSR de Onda, comerciales los estándares de calidad.....31

J. Conclusiones.....32

K. Trabajos futuros.....33

L. Referencias.....33

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".....36

A. Introducción.....36

B. Compuestos.....37

C. Muestras.....37

D. Metodología analítica.....40

D.1. Metodología analítica para la determinación fármacos y plaguicidas mediante inyección directa 40

D.2. Metodología analítica para la determinación de plaguicidas incluidos en la Lista de Observación 46

E. Confirmación de la identidad de los positivos 49

F. Control de calidad de los análisis 49

G. Análisis de muestras 50

G.1. Determinación de fármacos mediante UHPLC-MS/MS (ID) 50

G.2. Determinación de plaguicidas mediante UHPLC-MS/MS (ID) 56

G.3. Determinación de plaguicidas mediante SPE-UHPLC-MS/MS 61

H. Conclusiones preliminares 63

I. Referencias 64

5. Menciones a la Cátedra en Prensa Escrita de 2019 66

1. Actividades realizadas en 2019.

- **Acto de presentación de la memoria anual de 2018 y de la propuesta de actividades para 2019. Renovación del convenio para la Cátedra.** Asistieron a la firma de la renovación del convenio, entre otros, la rectora de la UJI, Doña Eva Alcón, el Vicerrector de Planificación, Coordinación y Comunicación, Don Modesto Fabra, y el Vicerrector de Investigación y Transferencia, Don Jesús Lancis. La firma tuvo lugar en el Rectorado de la UJI. También se presentaron las actividades realizadas en 2018 y la propuesta de actividades a realizar en el año 2019. Edificio Rectorado de la Universitat Jaume I **9 de Marzo de 2019**.

- Firma Renovación de la Cátedra 2019 ±

- **Curso CEFIRE 19CA77IN008 ± Taller de estadística para proyectos medioambientales** La Cátedra Reciplasa patrocinó el Taller de estadística para proyectos medioambientales, organizado por CEFIRE Castellón, con la finalidad de instruir a docentes de primaria y secundaria en la estadística aplicada a proyectos medioambientales. El taller consistió en 3 sesiones de 3 horas cada una relacionadas con el conocimiento de los programas estadísticos informáticos disponibles y su aplicación en el campo medioambiental y de residuos. El curso estuvo a cargo del Dr. Pablo Juan Verdoy, del Departamento de Matemáticas – Estadística e Investigación Operativa de la Universitat Jaume I. CEFIRE de Castellón, **del 4 al 18 de Marzo de 2019.**

- **Encuentro Intercambio de Experiencias en Educación Ambiental (IEEA).** En el Ermitorio de la Virgen de Gracia en Villareal, el Seminario de Educación Ambiental de Castellón organizó el **3 de Junio de 2019** el VI Encuentro de Intercambio de Experiencias en Educación Ambiental. Este encuentro pretende 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 esta jornada, 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. La cátedra Reciplasa colaboró en la co-financiación de la jornada. Villareal, **3 de Junio de 2019.**

- Encuentro IEEA 2019 ±

- **Premios Cátedra Reciplasa, Concurso 4¼IHP DPE HO IHP"´** En esta edición del concurso 'Qué fem amb el fem?' se presentó un total de veinte trabajos (ocho vídeos, seis maquetas o pósteres, cuatro cómics y dos relatos) de centros de la província de Castellon en las etapas de Infantil, Primaria y ESO. Dada la calidad de los trabajos, se estimó conveniente entregar dos premios en cada una de las categorías. En la etapa de infantil, los premiados fueron "¿Qué hacemos con la ropa?" y "Jugamos a los rincones sostenibles" de los CEIP Josep Iturbi de Borriana y Errando Villar de Almassora, respectivamente. En la etapa de Educación Primaria, se premió los trabajos "Hacia la valorizacion del aceite sucio" y "Salud sostenible" de los centros Torrenova de Betxí y CEIP José Alba de la Vilavella, respectivamente. Finalmente, en la etapa de ESO se galardonó los trabajos "Omplim de vida la placeta" y "La mar de plástico" del IES Politècnic de Castelló y la Fundación Privada Divina Providencia de Vinarós, respectivamente. Asimismo, el jurado decidió otorgar dos menciones especiales al Mater Dei de Castelló y al CEIP Rosario Pérez de La Vall d'Uixó por su especial implicación en este concurso, al haber presentado varias propuestas de comic, relato y poster, así como un proyecto que involucró a más de trescientos alumnos y alumnas bajo el título "¿Qué hacemos con los envoltorios del almuerzo?".

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 sido organizado por la Cátedra Reciplasa, con la colaboración del Seminario de Educación Ambiental de Castellón. Además de los respectivos trabajos, los participantes elaboraron un póster 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 el presidente de Reciplasa, Ignasi García. **5 de Junio de 2019.** Tambien se contó con la presencia de la Sra. Alcaldesa de Almassora, Mercedes Galí, y del Director Técnico de Reciplasa, Sr Fernando Albarrán. El concurso **4(IHP DPE HO IHP"´** ha tenido una amplia repercusión en los medios de comunicación de Castellón.

- Entrega de Premios Qué fem amb el fem? -

- 4ª Conferencia del ciclo: “Gestión sostenible de los residuos urbanos. El valor de la basura”. “El ciudadano frente a la recogida selectiva de la basura”. Organizado con un formato de foro de discusión, la jornada constó de una primera parta donde expertos en la recogida y gestión de la basura expusieron las principales problemáticas que afronta el ciudadano en el momento de depositar los residuos en el contenedor apropiado. Los ponentes fueron: Juan Francisco Martínez –ingeniero municipal del Ayuntamiento de Burriana-, Sonia Poveda –ECOEMBES-, Cristóbal Badenes –ingeniero municipal del Ayuntamiento de Castelló-, Vicente Vicent –unión de consumidores de Castelló, y Fernando

Albarrán –director técnico de RECIPLASA-. Posteriormente, en la segunda parte de este acto, se debatieron diversos aspectos de interés en una mesa redonda, que fue moderada por el reconocido periodista Basilio Trilles Llotja del Cànem, **24 de Octubre de 2019**.

- -RUQDGD(OFLE&DGDQRIUHQWHDOUHFRJLGDVHOHFWLE7GHO'EDVX¶

- Concurso al mejor trabajo final de grado (TFG) y mejor trabajo final de máster (TFM), Cátedra Reciplasa: Convocatoria 2019. Los premios están dotados con 600€ para el ganador del TFM y 400€ para el 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 el curso 2018-2019, en áreas de investigación relacionadas con la Cátedra Reciplasa. La comisión de valoración ha estado presidida por el Dr. Félix Hernández, director de la Cátedra, actuando como secretario el Dr. Antonio Gallardo, coordinador del grupo Ingeniería de Residuos (INGRES), y como vocales, el Sr. Fernando Albarrán, director técnico de Reciplasa, la Dra. Elena Pitarch Arquimbau, investigadora del IUPA, y Noemí Blanquer, asesora de Reciplasa. La comisión otorgó el premio a mejor TFM al trabajo "Diseño del proceso de gasificación para los combustibles sólidos recuperados procedentes de una planta de tratamiento mecánico", realizado por Ionut Cristian Ilie, elaborado en el Máster Universitario en Eficiencia Energética y Sostenibilidad. El premio a mejor TFG quedó desierto por incumplimiento de las bases de los solicitantes en algunos casos o porque

la temática de los trabajos presentados no se ajustaba al ámbito de actuación de la Cátedra. La entrega de Premios tendrá lugar el próximo **mes de Enero de 2020**.

2. Presupuesto ejecutado en 2019

El presupuesto ejecutado en 2019 a fecha 20 de Diciembre de 2019 es el siguiente:

CUENTAS 2019. GASTOS REALES EJECUTADOS			
Concepto	**Total**	**Total (con IVA)**	**Disponible**
Convenio creación de la Cátedra	10,800.00 €	10,800.00 €	9,720.00 €
Contrato investigación IUPA	15,000 €	18,150 €	13,500 €
Contrato investigación INGRES	5,000 €	6,050 €	4,500 €
TOTAL 2019 (IVA INCLUIDO)		**35,000 €**	**27,720.00 €**

Convenio Cátedra (9.720€)	**Gasto**	**Saldo**
Remanente ejercicio 2018		**2,700**
Incorporado Convenio		**9,720.00 €**
Total disponible		**12420**
Dirección Cátedra	**2989**	9431
Personal	**2080**	7,351
Jornadas IEEA Vilareal	200	7,151
Premios TFG TFM	600	6,551
PREMIO QUE FEM AMB EL FEM	**963**	5,588
Formacion Profesorado CEFIRE	600	4,988
Conferencia 2 Selectivo orgánico	1200	3,788
Gastos protocolarios	200	3,588
Botellas Escola estiu UJI	300	3,288
Fuente agua IUPA	**700**	2,588
Actualizacion web	612	1,976
Fungible	**440**	1,536
Camisetas	900	636
Total gastado	**11,784.00 €**	
Remanante del ejercicio 2019		**636**

3. Trabajo de investigación realizado por el grupo de Ingeniería de Residuos ± INGRES. [3] El CSR producido a partir de rechazos de la planta de tratamiento mecánico-biológica de Onda: Comparación con otros CSR comerciales´ .

A. Introducción

La normativa europea define los combustibles sólidos recuperados (CSR) como aquellos combustibles sólidos producidos a partir de residuos no peligrosos, destinados a ser utilizados para la recuperación energética en plantas de incineración o co-incineración y que cumple con los requisitos de clasificación y las especificaciones establecidas en la norma UNE-EN 15359 (2012). Por otro lado, aquellos combustibles que no cumplan con estándares fijados por dicha norma serán considerados como Combustibles Derivados de Residuos (CDR) y no como CSR.

Los CSR están compuestos principalmente por papel/cartón y plásticos, siendo estos materiales los responsables de sus elevados poderes caloríficos (Nasrullah et al., 2017). Además, los residuos no peligrosos pueden provenir de múltiples fuentes como: RSU, rechazos del tratamiento de RSU, residuos comerciales, residuos industriales, residuos voluminosos o residuos de construcción y demolición (Garcés et al., 2016; UNE-EN 15359, 2012). Para su fabricación es necesario la eliminación del material no combustible o no deseado (por ejemplo, PVC), la trituración, el secado y, en algunos casos, su pelletización (Nasrullah et al., 2015a; Pressley et al., 2014).

A nivel europeo, el tratamiento mecánico-biológico (TMB) de los residuos sólidos urbanos (RSU) es una opción cada vez más utilizada para la producción de CSR (Rada and Andreottola, 2012; Ragazzi and Rada, 2012), puesto que los rechazos de estas instalaciones tienen un elevado poder calorífico y pueden ser transformados en un CSR tras su procesado (Rotter et al., 2011) (Figura 3.1).

Figura 3.1 CSR producido a partir de rechazo del TMB

Po otra parte, los CSR son una alternativa viable a los combustibles fósiles convencionales y puede reemplazarlos parcialmente en industrias productoras de calor y electricidad (Nasrullah et al., 2017). En este sentido, los CSR son usados principalmente en plantas de producción de energía y hornos de cemento (co-combustión), así como en plantas incineradoras (mono-combustión) (Flamme and Geiping, 2012; Iacovidou et al., 2018; Rotter et al., 2011).

El uso de CSR en plantas de producción de energía tiene dos ventajas principales desde el punto de vista medioambiental. Por un lado, reduce las emisiones de CO_2 debido a que los CSR poseen el carbono de origen biogénico del flujo de residuos inicial y cuyas emisiones se consideran neutras (Nasrullah, 2015; Séverin et al., 2010). Por otro, reduce las emisiones de otros tipos de contaminantes por su bajo contenido en nitrógeno y azufre (Gallardo et al., 2014; Sami et al., 2001; Velis et al., 2010). Además, el coste de abastecimiento de estos combustibles es menor al asociado a otros combustibles fósiles, por lo que son más asequibles (Iacovidou et al., 2018; Sami et al., 2001). Sin embargo, también tiene algunos inconvenientes como: la mayor producción de cenizas y escorias en las calderas (Jappe Frandsen, 2005), o su mayor contenido en cloro que puede afectar a las cenizas volantes y, por lo tanto, al uso de las mismas para la producción de cemento (Brás et al., 2017). Asimismo, el elevado contenido en cloro también es responsable de los mayores costes operativos y de mantenimiento requeridos para mitigar los efectos de la corrosión en los equipos (Iacovidou et al., 2018).

B. Objetivos

El objetivo del trabajo ha sido determinar el marco legal en los países europeos del CSR producido a partir de rechazos generados en la planta de tratamiento mecánico-biológica (PTMB) y comparar el CSR que se puede producir en la Planta de Onda con otros combustibles alternativos puestos en el mercado.

El plan de trabajo que se ha seguido en el estudio de investigación es el siguiente:

- Estudio del marco legal del CSR y su situación en otros países europeos.
- Determinación de la existencia CSR desclasificado como residuos.
- Caracterización física del rechazo.
- Caracterización química del rechazo.
- Comparación con otros CSR comerciales.

C. Marco legal del CSR y su situación en otros países europeos

En la Lista Europea de Residuos (LER), los CSR reciben el código 19 12 10: Residuos combustibles (combustible derivado de desperdicios) (Comisión Europea, 2014). Por lo tanto, la legislación aplicable a los CSR tanto en la Unión Europea como en España es la misma que se aplica a los residuos:

- Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre, sobre los residuos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2008).
- Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre, sobre las emisiones industriales (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010).
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (España, 2011).
- Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de prevención y control integrados de la contaminación (España, 2016).
- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002 (España, 2013a).

Derivado de esta legislación, destacan los siguientes aspectos:

- Los CSR en ningún caso pierden su condición de residuo. Por lo tanto, los titulares de actividades en cuyo proceso se utilicen estos combustibles tienen que adquirir la condición de gestores de residuos y sus obligaciones, por lo que están sometidos a la autorización por parte de la Administración con competencia en Medioambiente de la CC.AA. correspondiente.
- Su utilización como combustible alternativo está sometido al Reglamento de emisiones industriales, donde se establecen unos valores límites de emisión específicos para las instalaciones de incineración y co-incineración de residuos.
- Cuando la instalación de incineración o co-incineración este afectada a la normativa de prevención y control integrados de la contaminación, su régimen de explotación queda sometido a la Autorización Ambiental Integrada. En ella se determina las características de los materiales a incinerar o co-incinerar y los límites de emisión. Estos se fijan teniendo en cuenta las Mejores Tecnologías Disponibles para el sector de actividad, las características técnicas de la instalación y el ámbito geográfico en el que se ubica.

Finalmente, el traslado de CSR está regulado en la UE por el Reglamento CE 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de junio de 2006 relativo a los traslados de residuos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2006); y en España por Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado (España, 2015b).

En cuanto al control de la calidad de los CSR, en Europa están sujetos a unos parámetros específicos de calidad y deben cumplir una serie de estándares que aseguren la protección del medio ambiente, de los equipos utilizados para su recuperación energética y la calidad del producto final, si existe.

El Comité Técnico CEN/TC 343 “Solid Recovered Fuels” ha definido los parámetros que son importantes para la calidad de los CSR y ha establecido un sistema para la clasificación de su calidad, el cual se recoge en la norma UNE-EN 15359 (2012): “Combustibles sólidos recuperados: especificaciones y clases”. El sistema propuesto está basado en los valores límite de tres parámetros que dan una idea inmediata, pero simplificada, de cómo es el combustible en cuestión:

- El poder calorífico inferior (PCI) como parámetro económico, puesto que describe la cantidad de calor o energía generada en su combustión.
- El contenido en cloro como parámetro técnico, dado que es una medida de los efectos potenciales de corrosión, escorificación y ensuciamiento en las calderas. Además, en el caso de las cementeras, un contenido elevado en cloro también afecta a la calidad del cemento obtenido. Este parámetro es uno de los factores más limitantes respecto a la comerciabilidad de los CSR (Rotter et al., 2011).
- El contenido en mercurio como parámetro medioambiental, puesto que es una medida de la toxicidad liberada al medio ambiente como consecuencia de la combustión del material. De entre todos los metales pesados, se elige el mercurio como parámetro medioambiental debido a sus impactos en la salud humana a medio y largo plazo; así como por su alta volatilidad, lo que hace que sea más difícil de capturar por los sistemas de control y depuración de los gases de combustión (Iacovidou et al., 2018).

Cada uno de estos tres parámetros se divide en cinco clases con sus correspondientes valores límite (Tabla 3.1) y se le asigna un número del uno al cinco en función del valor obtenido para el mismo. La clase 1 hace referencia a las especificaciones más deseables para un CSR y a medida que el número de clase aumenta la calidad del CSR va disminuyendo. La combinación de los números obtenidos para cada parámetro constituye el código clase del CSR, teóricamente existen 125 combinaciones de códigos clase (Del Zotto et al., 2015; Di Lonardo et al., 2016).

Adicionalmente, algunos países como Alemania, Italia, Finlandia, Austria, Francia o Suiza han definido sus propios estándares de calidad para los CSR (Flamme and Geiping, 2012; Gallardo et al., 2014). Además, estos estándares pueden variar en función del tipo de instalación (hornos de cemento, centrales eléctricas o instalaciones de co-incineración), puesto que en función del proceso de recuperación energética la calidad requerida para el CSR será diferente (Sarc and Lorber, 2013).

Tabla 3.1 Estándares de calidad del CSR en Europa (UNE-EN 15359, 2012)

Parámetro de clasificación	Medida estadística	Unidad	Clases				
			1	2	3	4	5
PCI	Media	MJ/kg (ar)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Cl	Media	% (d)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Hg	Mediana	mg/MJ (ar)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	Percentil 80	mg/MJ (ar)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

En el caso del Hg, el mayor de los dos valores estadísticos es el que determina el número de clase

ar: según se recibe; d: en base seca

Las normas para cada uno de estos países son:

- Alemania: RAL-GZ 724 (2008) Quality and test instructions Solid Recovered Fuels (BGS (Ed.), 2008).
- Austria: BMLFUW (2008) Richtlinie für Ersatzbrennstoffe [Guideline for Waste Fuels] y BMLFUW (2010) Verordnung über die Verbrennung von Abfällen Abfallverbrennungsverordnung – AVV [Waste Incineration Directive].
- Finlandia: SFS 5875 (2000) Solid Recovered Fuel - Quality Control System
- Italia: UNI 9903 (2004) Non mineral refuse derived fuels RDF.
- Francia: Arrêté du 23/05/16 relatif à la préparation des combustibles solides de récupération en vue de leur utilisation dans des installations relevant de la rubrique 2971 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (Republique Française, 2016).
- Suiza: BUWAL (2005) Richtlinie zur Entsorgung von Abfällen in Zementwerken [Guideline for the disposal of waste in cement plants].

D. CSR comerciales

La utilización de los CSR como combustibles requiere que sean de calidad y estables en el tiempo, de forma que se puedan sustituir a los combustibles fósiles sin causar limitaciones operativas y técnicas. Existen empresas que se dedican a la fabricación de CSR de alta calidad y que han registrado sus propias marcas.

La empresa alemana REMONDIS ha desarrollado dos CSR que están sujetos a un control de calidad y protegidos por una marca registrada: BPG® y SBS®. Además, su uso y el cumplimiento de las regulaciones está garantizado por la etiqueta de calidad RAL-GZ 724 (estándar de calidad alemán). El BPG® es un CSR producido a partir de residuos industriales o comerciales específicos y que se separan en origen. El SBS® es un CSR producido a partir de fracciones de elevado poder calorífico de los RSU (Glorius, 2014). Adicionalmente, la empresa también produce otro CSR, que no está registrado, a partir de fracciones de alto poder calorífico con un alto contenido biogénico y de diferentes residuos biológicos denominado BIOBS. Los materiales que utiliza para su fabricación son: fracciones de elevado poder calorífico procedentes de plantas de TMB, residuos voluminosos, madera, rechazos de afino del compostaje y otros biorresiduos (Glorius, 2015).

En Reino Unido, la empresa CEMEX ha registrado también una marca comercial de CSR de alta energía denominada ClimaFuel®. Este CSR se fabrica a partir de RSU y residuos comerciales e industriales, principalmente papel, cartón, madera, alfombras, textiles y plásticos. El CSR es utilizado en las cementeras de la propia empresa como sustituto del carbón. Las características de ClimaFuel® son: un poder calorífico de 17 a 22 MJ/kg, una humedad menor al 15 % y un contenido en Cl inferior al 1 % (CEMEX, n.d.; Puig Ventosa et al., 2012).

Asimismo, en España, CEMEX también ha desarrollado una marca registrada de CSR de alta energía: EnerFuel ®. Este CSR se fabrica a partir de RSU y residuos industriales del mismo modo que el ClimaFuel ® y está compuesto principalmente por madera, plásticos, briks, textil y papel/cartón. Las características del EnerFuel ® son: una humedad inferior al 20%, un tamaño de partícula de hasta 4 cm y cumplir los estándares de calidad europeos definidos por la norma UNE-EN 15359 (2012) (Berganza, 2012; Puig Ventosa et al., 2012).

E. Desclasificación del CSR como residuo

La desclasificación del CSR como residuos, cumpliendo ciertas exigencias de calidad y uso, facilitaría una mayor utilización como combustible, tanto en los actuales sectores donde se viene utilizando como en otros nuevos (Gallardo et al., 2017). En este sentido, tan solo Italia tiene una legislación específica para la desclasificación de los CSR

(Velzeboer and van Zomeren, 2017); mientras que Austria establece unos límites para la desclasificación de combustibles producidos a partir de residuos de madera y otros combustibles de sustitución en general.

En Italia, el Decreto Ministerial n. 22 (Italian Ministerial Decree, 2013) introdujo los criterios de fin de condición de residuos (EoW, en inglés) para clasificar a los CSR como combustibles (Di Lonardo et al., 2016). Esta ley establece que, de las 125 combinaciones de código clase para un CSR que se obtienen con la norma UNE-EN 15359 (2011), no todas son adecuadas para clasificarlos como combustible, sino solo las combinaciones que tienen un número de clase mayor o igual a 3 para el PCI y el Cl y un número de 1 o 2 para el Hg. Además, también se fijan unos valores límite máximos para los metales pesados indicados por la norma UNE-EN 15359 (2012) que los CSR deben de cumplir (Tabla 3.2). Finalmente, el decreto establece que solo se permite el uso de los CSR clasificados como combustible para la co-combustión en plantas de cemento y centrales térmicas con una capacidad mayor a 50 MW. Aquellos CSR cuyos códigos clases no cumplan los criterios de EoW seguirán considerándose residuos y sus usuarios serán las plantas de producción de energía e estaciones de combustión autorizadas para la valorización de residuos.

Tabla 3.2 Criterios para el EoW de los CSR en Italia (Italian Ministerial Decree, 2013)

Parámetro	Medida estadística	Valor límite
PCI (MJ/kg)	-	Código clase ≥ 3
Cl (%)	-	Código clase ≥ 3
Hg (%)	-	Código clase ≥ 2
Cenizas (%)*	Media	(véase nota 1)
Humedad (%)	Media	(véase nota 1)
Sb (mg/kg)*	Mediana	50
As (mg/kg)*	Mediana	5
Cd (mg/kg)*	Mediana	4
Co (mg/kg)+	Mediana	100
Cr (mg/kg)*	Mediana	18
Mn (mg/kg)*	Mediana	250
Ni (mg/kg)*	Mediana	30

Parámetro	Medida estadística	Valor límite
Pb (mg/kg)*	Mediana	240
Cu (mg/kg)*	Mediana	500
Tl (mg/kg)*	Mediana	5
V (mg/kg)*	Mediana	10

* Sobre materia seca

Nota: (1) No hay valores límite de las cenizas y humedad. Los valores límite son acordados entre productor y consumidor.

Austria, en su Ordenanza de Incineración de Residuos (AAV) (BMLFUW (Ed.), 2010), establece unos criterios para la EoW de “otros combustibles de sustitución” en general (Tabla 3.3), de los cuales quedan excluidos los residuos peligrosos y los desechos médicos. No obstante, estos criterios no son específicos para CSR. La ordenanza limita la valorización energética de aquellos combustibles que cumplan estos criterios a instalaciones de incineración con una potencia térmica nominal ≥ 50kW y un valor límite de emisiones para partículas y polvo de 20 mg/m3, así como a instalaciones comprendidas en el ámbito de la AAV.

Tabla 3.3 Criterios para el EoW de otros combustibles de sustitución en Austria (BMLFUW (Ed.), 2010)

Parámetro	Valor límite (mg/MJ)	
	Media	**Percentil 80**
S	200	300
Cl	100	150
Hg	0,02	0,03
Sb	0,5	0,75
As	0,8	1,2
Pb	4	6
Cd	0,05	0,075
Cr	1,4	2,1
Co	0,7	1,05
Ni	1,6	2,4

F. Caracterización física del rechazo de la planta de tratamiento de Onda

En la planta de TMB de Onda (Figura 3.2) se tratan los RSU mezclados gestionados por el Consorcio de Residuos C2 (Zona Centro de la provincia de Castellón), 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 2018 se trataron un total de 160.395 t de RSU mezclados.

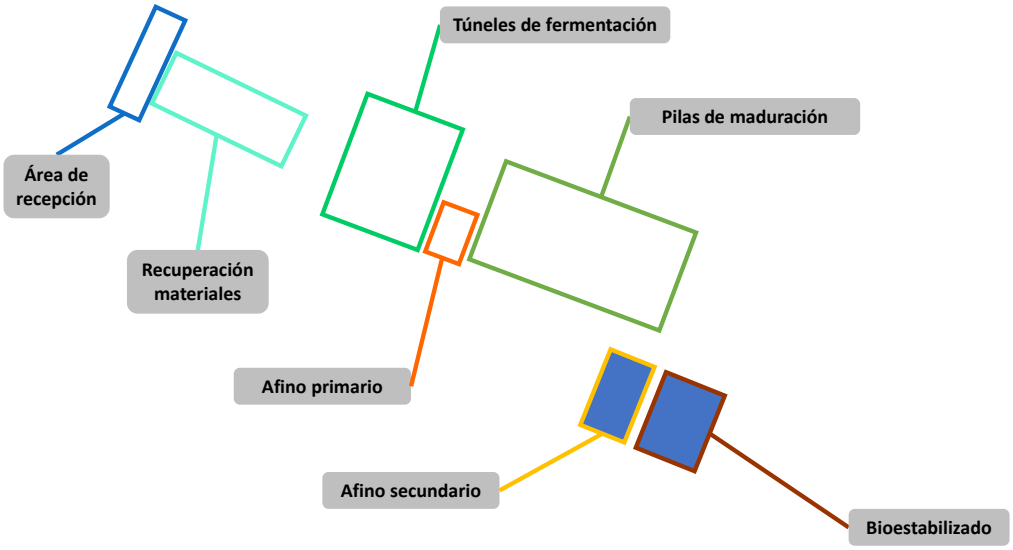

Figura 3.2 Planta de recuperación y compostaje de Onda

La recuperación de los materiales reciclables se realiza de forma mecánica y manual, separando: PET, PEAD, plástico mix, cartón, brik, metales férricos, metales no férricos y vidrio. La fracción orgánica de los residuos se destina a bioestabilización mediante túneles durante 8-9 semanas y posterior maduración en pilas (Figura 3.2). Tras el tratamiento de los RSU se obtienen un flujo de materiales recuperados (5,5%), un flujo de material bioestabilizado (4,7%) y tres corrientes de rechazo (75,3%) (Figura 3.3):

- Rechazo de recuperación manual (RRM-O): generado en la etapa de recuperación de materiales, tras la separación de los materiales reciclables del rebose del trómel de pretratamiento, con un diámetro de partícula superior a 80 mm.

- Rechazo de afino primario del bioestabilizado (RAB1-O): generado en el trómel intermedio de afino del material pre-bioestabilizado que procede de la fermentación en túneles, con un tamaño de partícula entre 80 y 30 mm.
- Rechazo de afino secundario del bioestabilizado (RAB2-O): generado en la mesa densimétrica de afino final del bioestabilizado, con un tamaño de partícula entre 30 y 14 mm.

Las pérdidas del proceso (emisiones gaseosas y liquidas) suponen el 14,5% del material entrante.

Figura 3.3 Rechazos generados en la planta de recuperación y compostaje de Onda

Se ha estudiado estos tres rechazos y se ha determinado su composición. El estudio se ha dividido en dos Fases. La Fase 1 comprende las estaciones de primavera-verano y la Fase 2 las de otoño-invierno.

Una vez realizada la caracterización y el estudio estadístico de los datos obtenidos en las Fases 1 y 2, a pesar de que existen diferencias significativas entre ellas para algunas

de las facciones, en la tabla 3.4 y las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 se muestran las composiciones medias anuales de los tres rechazos.

Como se observa en la tabla 3.4 y figura 3.4, el RMM-0 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 el trabajo de Gallardo et al. (2014) donde se analizó este mismo rechazo y a los obtenidos para la planta de TMB de Zaragoza (Aranda Usón et al., 2012). Así como a los valores de las 8 plantas de TMB de Castilla y León analizadas por Montejo et al. (2013), salvo por el porcentaje de papel/cartón que en estas fue mayor. Por otro lado, 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 (48,5%) y el contenido en fracción orgánica, plástico film y metales menor (15,3%, 2,6% y 0,8%, respectivamente).

Tabla 3.4 Composición media anual de los rechazos

Material	RMM-0		RAB1-0		RAB2-0	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
FO	20,20	5,53	63,86	10,76	67,25	7,06
Papel/Cartón	16,02	4,86	-	-	-	-
Film	11,60	1,62	2,39	1,38	0,37	0,40
P. Rígido	10,85	1,88	6,04	3,70	1,08	0,52
Textil	8,50	3,99	1,33	1,72	0,04	0,13
Metales	3,65	1,10	3,72	4,06	0,36	0,79
Madera	2,98	1,58	1,24	1,72	0,12	0,26
Brik	1,66	0,36	0,44	1,58	0,01	0,02
Inertes	1,01	0,94	6,48	7,25	3,35	2,65
RTP	0,88	0,84	0,87	1,39	0,08	0,33
Vidrio	0,81	0,50	10,83	5,25	27,29	6,51
Otros	12,44	3,09	2,79	4,51	0,05	0,13
Finos	9,41	11,17	-	-	-	-

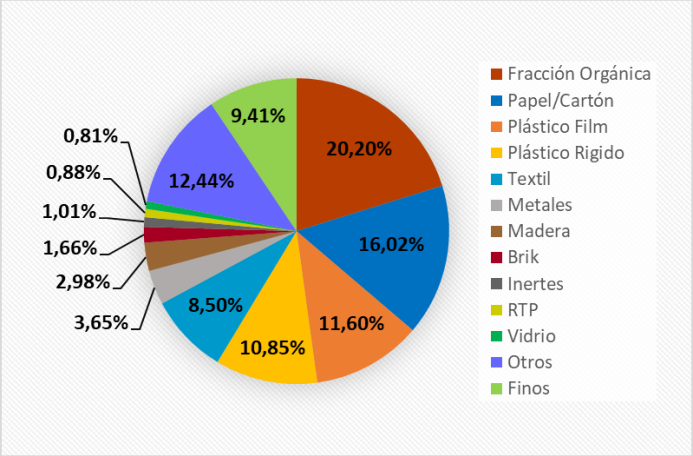

Figura 3.4 Composición media anual del rechazo grueso

El RA1-0, debido a que se origina en la etapa biológica del tratamiento, es una corriente compuesta principalmente por fracción orgánica (63.86%), lo que la hace más homogénea que la anterior (figura 3.5). Junto con esta fracción, pero en menor proporción, también se encuentran materiales como vidrio, inertes, plástico rígido y metales que suponen en conjunto aproximadamente un 27% de esta corriente.

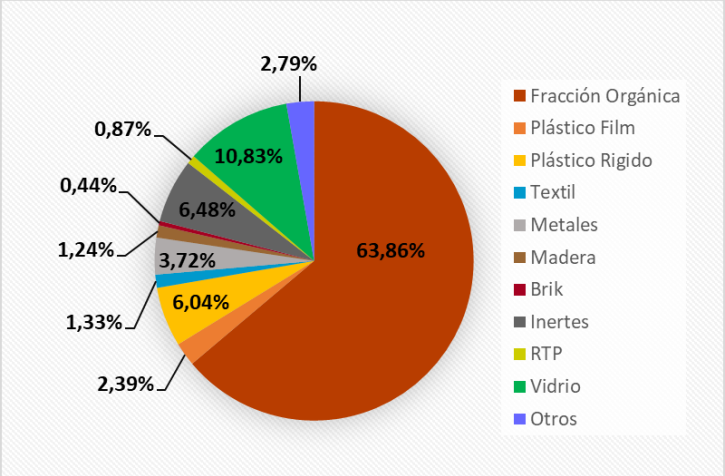

Figura 3.5 Composición media anual del rechazo de afino primario

El RAB2-0, que también se genera en la etapa biológica, está compuesto de media por un 67,25% de fracción orgánica, un 27,29% de vidrio y un 3,35% de inertes, suponiendo en conjunto casi el 98% del material (figura 3.6). Esto hace que esta corriente de rechazo sea la más homogénea de las tres estudiadas.

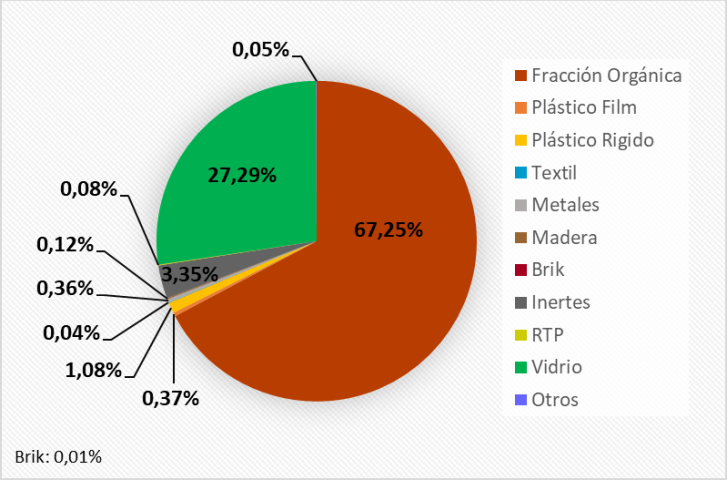

Figura 3.6 Composición media anual del rechazo de afino secundario

G. Caracterización Química del CSR de Onda

Se caracterizaron los tres rechazos (la fracción combustible) y el bioestabilizado, que son susceptibles de ser transformado en CSR. Las muestras analizadas fueron:

- RAB1-0 otoño invierno
- RAB1-0 primavera verano
- RAB2-0 otoño invierno
- RAB2-0 primavera verano
- RRM-0 otoño invierno
- RRM-0 primavera verano
- Bioestabilizado

Para su caracterización se determinaros los siguientes parámetros:

- Humedad
- Cenizas
- Poder calorífico inferior
- Azufre
- Halógenos: cloruros, fluoruros y bromuros
- Mercurio

Todos estos parámetros están incluidos en las normativas europeas de caracterización de CSR.

Se hicieron seis réplicas por rechazo, por lo que en total se determinaron los parámetros de 42 muestras. Los resultados aparecen en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Caracterización de la fracción combustible de los rechazos de Onda

Descripción	Humedad (%)	Cenizas (% sms)	S (%)	Hg (ppm)	Cloruros (%)	Fluoruros (%)	Bromuros (%)	PCS (MJ/kg sms)	PCS (MJ/kg smh)
RAB1-0 otoño-invierno	37,65	19,29	0,13	0,097	1,35	0,004	3,25	17,43	9,94
RAB1-0 primavera-verano	25,81	18,85	0,14	0,096	0,95	0,004	2,98	15,78	11,04
RRM-1	29,58	11,53	0,1	0,055	2,62	0,003	3,56	20,27	13,52
RRM-2	34,42	9,7	0,19	0,042	1,71	0,009	3,64	19,59	11,99
Biosetabilizado	10,17	28,48	0,21	0,3	0,768	0,008	2,32	13,63	11,92
RAB2-0 otoño-invierno	22,06	21,84	0,2	0,273	0,69	0,006	2,86	13,97	10,31
RAB2-0 primavera-verano	12,61	25,32	0,21	0,751	1,12	0,007	2,42	13,68	11,58

El análisis de los datos muestran los siguientes resultados:

- Una elevada humedad, que puede ser rebajada si son sometidos a un secado. El bioestabilizado presenta una menor humedad debido a que la pierde en el proceso de compostaje.
- Elevado porcentaje de cenizas, excepto en los rechazos de la recuperación de materias, que tienen una menor suciedad. Este valor puede ser rebajado separando en origen la fracción orgánica que aporta gran parte de la suciedad y por tanto, de la ceniza.
- Los valores de azufre son bajos en general.
- Los valores de Hg son bajos en general, siendo los más altos los pertenecientes al rechazo del afino segundario y al bioestabilizado.
- Los porcentajes de cloruros están en torno al 1 %, excepto los del rechazo de la recuperación manual que son más elevados, en este caso aparecen trozos de plásticos rígidos que pueden contener cloro, como el PVC.
- Los porcentajes de fluoruros son muy bajos en todos los casos.
- Los porcentajes de bromuros se sitúan entre el 2 y 4%.
- Respecto al PCI, sobre materia seca, se puede considerar elevado en todos los casos excepto en el rechazo de afino segundario y el bioestabilizado. Es estos dos casos, es lógico que el PCI sea bajo, pues tienen mayor porcentaje de ceniza y de biorresiduo (fracción con el menor PCI de todas las que forman la fracción combustible del rechazo).

H. Caracterización química de CSR comerciales

Se han analizado cinco CSR comerciales que tienen como origen biorresiduos procedentes de la madera, por lo que están descatalogados como residuo.

Para la caracterización de los CSR comerciales se determinaros los siguientes parámetros:

- Humedad
- Cenizas
- Poder calorífico inferior
- Azufre
- Halógenos: cloruros, fluoruros y bromuros
- Mercurio

Se analizaron seis réplicas por rechazo, por lo que en total se determinaron los parámetros de analizaron 36 muestras. Los resultados aparecen en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Caracterización de pellets comerciales

Descripción	Humedad (%)	Cenizas (% sms)	S (%)	Hg (ppm)	Cloruros (%)	Fluoruros (%)	Bromuros (%)	PCS (MJ/kg sms)
Natur pellets (madera de pino)	9,39	2,74	0,03	0,0099	0,097	0,0007	3,850	17,09
Bigmat (residuos de madera)	7,74	0,59	0,02	0,0033	0,122	0,0016	4,419	17,43
madera	7,64	3,89	0,07	0,0087	0,119	0,0010	3,650	16,15
pino más madera propical	7,65	3,94	0,02	0,0043	0,130	0,0042	3,846	16,82
pino	7,24	0,72	0,02	0,0032	0,096	0,0008	1,833	17,52

El análisis de los datos muestran los siguientes resultados

- Una humedad es baja en todos los casos. Dicha humedad es la mínima necesaria para que se puedan cohesionar los pellets.
- El porcentaje en cenizas es bajo, destacando como muy bajo dos de ellos.
- El porcentaje de azufre es muy bajo y parecido entre todos ellos.
- El porcentaje de mercurio es muy bajo y parecido entre todos ellos.
- Los halógenos se presentan en porcentajes muy bajos, siendo el mayor los bromuros.

- El PCI es muy parecido entre todos ellos y se sitúa entre 16 y 17,5 MJ/kg sms.

I. Comparación del CSR de Onda, comerciales los estándares de calidad

En este punto se compara la calidad de los rechazos de la planta de Onda (fracción no combustible), con la de los CSR comerciales y los valores proporcionados por las normativas europeas.

Tabla 3.7 Indicadores de normativas europeas, resultados de los CSR y pellets

	Clases															
PAÍS	ITALIA		FINLANDIA			AUSTRIA							SUIZA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA
Parámetro	CSR estándar	CSR alta calidad	I	II	III	Co-incineración de residuos					Co-incineración en hornos de cemento		Estándares hornos de cemento	Estándares hornos de cemento	Estándares hornos de cemento	Media (ppm)
						Central térmica	Calcinador	Caldera de parrilla	Caldera de lecho fluidizado	Alto horno	Pre-calcinador	Quemador primario del horno				
Humedad (%)	< 25	< 15											< 10	< 1		
PCI (MJ/kg)	> 15	> 19				10 – 18	11 – 15	11 – 16	11 – 16	> 25	14 - 16	20 – 25	25,1 – 31,4	20,9	>12	
Cenizas (%)	< 20	< 15				< 35	-	-	< 20	< 10	20-30	< 10	< 1	< 10		
Cl (%)	< 0,9	< 0,7	< 0,15	< 0,5	< 1,5	< 1,5	< 0,8	< 0,8 – 1	< 0,8 – 1	< 2	0,6 – 0,8	< 0,8 – 1	< 0,5	< 3	15	
F(%)																
S (%)	< 0,6	< 0,3	< 0,2	< 0,3	< 0,5											
Hg(ppm)			< 0,1	< 0,2	< 0,5										3	0,6

Descripción	Humedad (%)	Cenizas (% sms)	S (%)	Hg (ppm)	Cloruros (%)	Fluoruros (%)	Bromuros (%)	PCS (MJ/kg sms)	PCS (MJ/kg smh)
RAB1-0 otoño-invierno	37,65	19,29	0,13	0,097	1,35	0,004	3,25	17,43	9,94
RAB1-0 primavera-verano	25,81	18,85	0,14	0,096	0,95	0,004	2,98	15,78	11,04
RRM-1	29,58	11,53	0,1	0,055	2,62	0,003	3,56	20,27	13,52
RRM-2	34,42	9,7	0,19	0,042	1,71	0,009	3,64	19,59	11,99
Biosetabilizado	10,17	28,48	0,21	0,3	0,768	0,008	2,32	13,63	11,92
RAB2-0 otoño-invierno	22,06	21,84	0,2	0,273	0,69	0,006	2,86	13,97	10,31
RAB2-0 primavera-verano	12,61	25,32	0,21	0,751	1,12	0,007	2,42	13,68	11,58

Descripción	Humedad (%)	Cenizas (% sms)	S (%)	Hg (ppm)	Cloruros (%)	Fluoruros (%)	Bromuros (%)	PCS (MJ/kg sms)
Natur pellets (madera de pino)	9,39	2,74	0,03	0,0099	0,097	0,0007	3,850	17,09
Bigmat (residuos de madera)	7,74	0,59	0,02	0,0033	0,122	0,0016	4,419	17,43
madera	7,64	3,89	0,07	0,0087	0,119	0,0010	3,650	16,15
pino más madera propical	7,65	3,94	0,02	0,0043	0,130	0,0042	3,846	16,82
pino	7,24	0,72	0,02	0,0032	0,096	0,0008	1,833	17,52

El análisis de los datos muestran los siguientes resultados:

- La humedad que presentan los rechazos superan los límites establecidos por todas las normativas. Este punto no es crítico puesto que se puede rebajar tanto como se quiera.

- Las cenizas que presentan los rechazos son más altas que los pellets comerciales, pero cumplen con muchas de las normativas, sobre todo los rechazos de la recuperación manual. No obstante, con la recogida separada del biorresiduo este parámetro se podría mejorar.
- Respecto al azufre de los rechazos, el porcentaje es más elevado que el de los CSR comerciales. Cumplen con las normativas de Italia y Finlandia que son las únicas que tienen en cuenta este parámetro.
- Respecto al mercurio, las concentraciones de los rechazos son más altas que la de los CSR comerciales, pero cumplen con las normativas europeas, excepto el rechazo secundario generado en primavera-verano.
- Respecto a cloruros, los valores de los rechazos son más elevados que los CSR comerciales y no cumplen con las normativas, a excepción del biorresiduo. En este caso habría que hacer un estudio para eliminar aquellos materiales que aportan cloro al rechazo.
- Respecto al PCI, sobre materia seca, los rechazos de recuperación manual y los rechazos del afino primario presentan valores más elevados a los CSR comerciales, todos superan los límites establecidos por las normativas europeas. El PCI de los rechazos de afino secundario y biorresiduos presentan valores más bajos que los CSR comerciales, pero aun así cumplen con algunas normativas.

J. Conclusiones

En este trabajo se han determinado las propiedades físicas de los tres rechazos producidos en la PTMB de Onda susceptibles de ser convertidos en CSR. Posteriormente se han determinado las propiedades químicas de la fracción no combustible de las tres corrientes de rechazos y del biorresiduo.

Se han determinado las propiedades químicas de varios CSR comerciales elaborados a partir de residuos forestales.

Se han comparado los tres materiales con CSR comerciales y las normativas de varios países.

La calidad de los CSR puede mejorarse mediante un proceso de producción que concentre las fracciones combustibles más adecuadas como: el plástico film, el papel/cartón y la madera, puesto que estos materiales tienen un poder calorífico elevado y presentan las concentraciones más bajas de elementos contaminantes y tóxicos.

Además, este proceso también tiene que permitir eliminar la fracción no combustible y otros elementos contaminantes.

Respecto al PCI, los rechazos de recuperación manual y los rechazos del afino primario presentan valores más elevados a los CSR comerciales, todos cumplen los límites establecidos por las normativas europeas

Respecto al resto de parámetros, será necesario bajar el porcentaje de cloro, que procede principalmente de los plásticos rígidos no envases, especialmente del PVC y caucho. Estos materiales, junto con los textiles sintéticos, son las fuentes potenciales de elementos contaminantes y tóxicos. Además, los elementos como baterías, RAEEs, termómetros, pinturas o metales galvanizados presentan concentraciones elevadas de metales pesados. Por lo tanto, la eliminación de estos materiales es indispensable para obtener un CSR de mejor calidad.

K. Trabajos futuros

A partir de las conclusiones obtenidas se proponen los siguientes trabajos futuros:

- Determinar los metales pesados de las muestras analizadas, con el objetivo de conocer las posibles diferencias entre los CSR comerciales, el CSR derivado del residuo de Onda y la normativa europea.
- Determinar las propiedades químicas de una muestra lavada del rechazo de la recuperación manual. El objetivo es determinar cómo afectará la recogida separada del biorresiduo, lo esperado será una mayor calidad del rechazo puesto que estará menos contaminado.

L. Referencias

Bessi, C., Lombardi, L., Meoni, R., Canovai, A., Corti, A., 2016. Solid recovered fuel: An experiment on classification and potential applications. Waste Manag. 47, 184–194. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.012

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. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.227

Dahlén, L., Lagerkvist, A., 2008. Methods for household waste composition studies. Waste

Manag. 28, 1100–1112. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.014

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 Manag. 47, 195–205. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.018

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. Int. J. Environ. Sci. Technol. 12, 3243–3254. https://doi.org/10.1007/s13762-014-0735-4

Di Lonardo, M.C., Lombardi, F., Gavasci, R., 2012. Characterization of MBT plants input and outputs: A review. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 11, 353–363. https://doi.org/10.1007/s11157-012-9299-2

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 Process. Technol. 153, 19–27. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.07.028

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, in: VII Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia Una Economía Circular. Santander, España.

European Commision, 2017. The role of waste-to-energy in the circular economy (Documento COM(2017) 34 final). 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.

European Commision, 2004. Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool).

Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Albarrán, F., 2014. Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. J. Clean. Prod. 83, 118–125. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.085

Gallardo, A., Edo-Alcón, N., Albarrán, F., 2017. El combustible sólido recuperado: Producción y marco regulador. RETEMA 8–16.

Montejo, C., Costa, C., Ramos, P., Márquez, M.D.C., 2011. Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants. Appl. Therm. Eng. 31, 2135–2140. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.041

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. J. Environ. Manage. 128, 661–673. https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2013.05.063

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 Process. Technol. 163, 35–44. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.03.034

Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M., 2015. Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from commercial and industrial waste. Fuel 145, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.12.071

Nithikul, J., Karthikeyan, O.P., Visvanathan, C., 2011. Reject management from a mechanical biological treatment plant in Bangkok, Thailand. Resour. Conserv. Recycl. 55, 417–422. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.004

Pressley, P.N., Aziz, T.N., Decarolis, J.F., Barlaz, M.A., He, F., Li, F., Damgaard, A., 2014. Municipal solid waste conversion to transportation fuels: A life-cycle estimation of global warming potential and energy consumption. J. Clean. Prod. 70, 145–153. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.041

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 Manag. 47, 206–16. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.018

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 Manag. 71, 556–564. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.018

UNE-EN 15359, 2012. Combustibles sólidos recuperados: Especificaciones y clases. AENOR, Asociación Española de Normalizaciónj y Certificación, Madrid.

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. AENOR, Asociación Española de Normalizaciónj y Certificación, Madrid.

UNE-EN 15442, 2012. Combustibles sólidos recuperados: Métodos de muestreo. AENOR, Asociación Española de Normalizaciónj y Certificación, Madrid.

Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., 2010. Production and quality assurance of solid recovered fuels using Mechanical- Biological Treatment (MBT) of waste: a comprehensive assessment. Crit. Rev. Environ. Sci. Technolgy 40, 979–1105. https://doi.org/10.1080/10643380802586980

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. Environ. Sci. Technol. 46, 1923–1931. https://doi.org/10.1021/es2035653

4. Trabajo de investigación realizado por el Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas ± ,83$ Investigación de contaminantes orgánicos en aguas del entorno de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos del término municipal de 2QGD´

A. Introducción

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) mediante cromatografía de líquidos (UHPLC) acoplada a espectrometría de masas en tándem (MS/MS) con analizador de triple cuadrupolo (QqQ).

Por un lado, se ha llevado a cabo el análisis de 40 fármacos mediante inyección directa (ID), entre los que se incluyen 4 de los 5 antibióticos que aparecen en la Lista de Observación (*Watch List*) de la UE (Decisión de ejecución 2018/840 de la comisión de 5 de junio de 2018), la cual recoge un total de 15 contaminantes cuyos niveles de concentración deben ser controlados en aguas superficiales. Adicionalmente, se han aplicado dos metodologías analíticas, una basada en inyección directa (ID) para la investigación de 25 plaguicidas, y otra que incluye una etapa de extracción en fase sólida (SPE) para determinación de los 7 plaguicidas que aparecen en la Lista de Observación. De este modo, se ha controlado los niveles de concentración de 11 de los 15 compuestos incluidos en la Lista de Observación de la UE.

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). La metodología analítica aplicada ha permitido alcanzar los límites de detección establecidos en la Lista de Observación.

En los apartados siguientes se resume la metodología analítica y los resultados obtenidos en el análisis de las aguas tomadas en el entorno de la planta de Reciplasa (7 subterráneas y 2 superficiales) en la primera campaña de muestreo llevada a cabo en junio 2019.

B. Compuestos

Por una parte, el estudio se ha centrado en el análisis de residuos de fármacos, compuestos de gran relevancia como contaminantes emergentes. Se han seleccionado un total de 40 compuestos, entre los cuales se encuentran 4 de los 5 antibióticos incluidos en la Lista de Observación de la UE (azithromycin, ciprofloxacin, clarithromycin, erithromycin), quedando excluida únicamente la amoxicilina, cuya determinación requiere condiciones experimentales diferenciadas a las del resto de fármacos analizados. La Lista de Observación (Decisión 218/840) es una lista de observación de sustancias a efectos de seguimiento a nivel de la Unión en el ámbito de la política de aguas en base a un posible riesgo significativo para el medio acuático o a través de éste.

Por otra parte, y debido a las actividades agrícolas en el entorno de la planta Reciplasa, en este trabajo también se ha investigado la presencia de plaguicidas en las aguas. Además de los 25 plaguicidas estudiados en el convenio anterior (2018), se han considerado los 7 plaguicidas que se incluyen en la Lista de Observación de la UE: methiocarb, metaflumizone y 5 neonicotinoides (acetamiprid, clothianidin, imidacloprid, thiacloprid y thiamethoxam).

C. Muestras

Se ha 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 (ver **Tabla 4.1**). Los puntos de muestreo se han seleccionado de modo que permiten recoger muestras aguas arriba y aguas abajo del sentido de flujo del acuífero, en relación a la localización de la Planta de Reciplasa. En la **Figura 4.1** se muestra un mapa aéreo con la ubicación de los puntos de muestreo.

Las muestras se recogieron en junio de 2019, 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 <-18ºC, hasta el momento de los análisis.

Tabla 4.1. Muestras de aguas tomadas en el entorno de la Planta de Tratamiento Reciplasa

Código Muestra	Punto de muestreo	Localización	Tipo muestra	Fecha recogida
1	1	Piezómetro aguas arriba	Subterránea	18/06/2019
2	2	Piezómetro aguas abajo (zona afino compost)	Subterránea	18/06/2019
3	3	Piezómetro aguas abajo (zona acopio restos de poda)	Subterránea	18/06/2019
4	4	Piezómetro aguas abajo (balsa de lixiviados)	Subterránea	18/06/2019
5	5	Río Mijares, Central eléctrica	Superficial	21/06/2019
6	6	Río Mijares, Estación de Aforo	Superficial	21/06/2019
7	7	Pozo San Martín de Porres	Subterránea	21/06/2019
8	8	Pozo Sabater I	Subterránea	18/06/2019
9	9	Pozo Sabater II	Subterránea	18/06/2019

PLANTA RECIPLASA

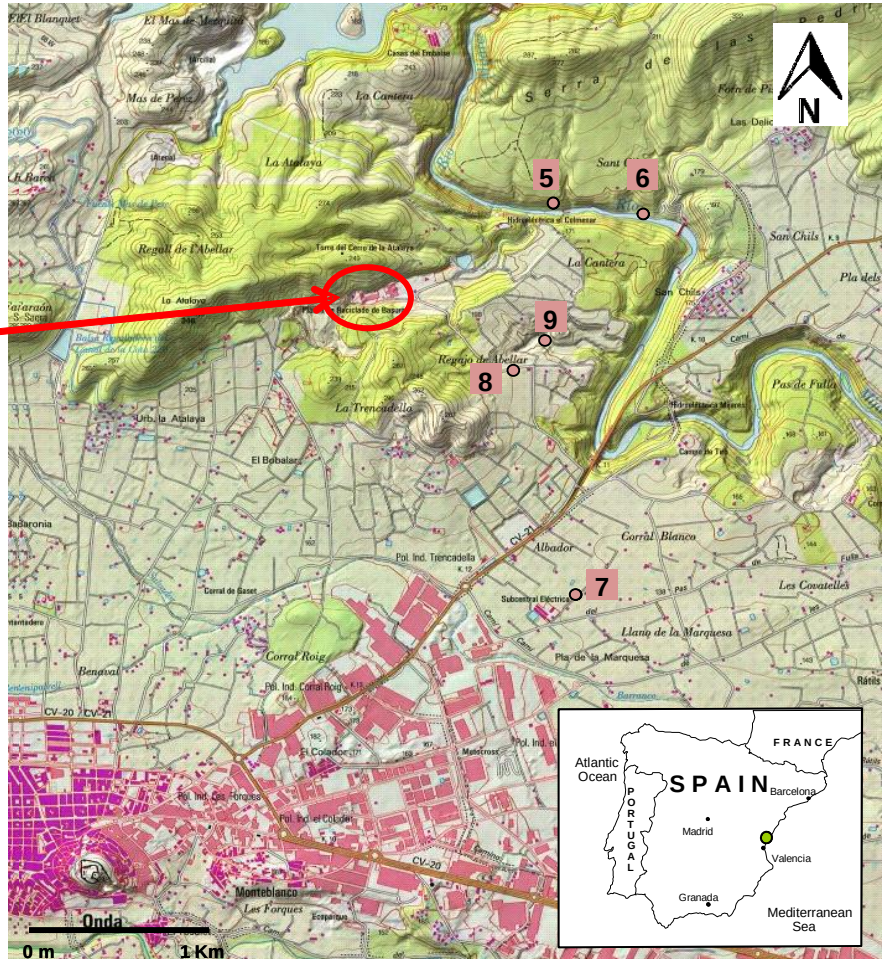

Figura 4.1. Mapa aéreo de los puntos de muestreo de las aguas superficiales y subterráneas

D. Metodología analítica

La determinación de fármacos y plaguicidas se ha llevado a cabo mediante la aplicación de tres métodos analíticos, basados en la técnica de cromatografía líquida de ultra-resolución acoplada a espectrometría de masas en tándem (UHPLC-MS/MS) con analizador de triple quadrupolo (QqQ), en modo de ionización *Selected Reaction Monitoring* (SRM). La moderna instrumentación analítica utilizada permite alcanzar una excelente sensibilidad y selectividad.

La determinación de los 40 fármacos y de los 25 plaguicidas se ha llevado a cabo mediante la inyección directa (ID) de las muestras de agua, sin ningún tipo de tratamiento/pre-concentración previo, con lo cual se minimizan notablemente los potenciales errores analíticos asociados a la etapa de tratamiento de muestra. La determinación de los 7 plaguicidas incluidos en la *Lista de Observación* se ha llevado a cabo con una etapa previa de extracción en fase sólida (SPE), con el fin de poder alcanzar los límites de detección requeridos en dicha lista.

D.1. Metodología analítica para la determinación fármacos y plaguicidas mediante inyección directa

Preparación de las muestras

El procedimiento aplicado, basado en la inyección directa de la muestra, es el siguiente: se toman 2 mL de agua y se centrifugan a 12.000 rpm durante 10 min. Posteriormente, en un vial de inyección se introducen 950 µL de la muestra de agua centrifugada y se añaden 50 µL de una disolución de patrones internos marcados isotópicamente (ILIS) de concentración 20 ng/mL. Finalmente, se inyectan 50 y 100 µL en el sistema UHPLC-MS/MS para la determinación de fármacos y plaguicidas, respectivamente.

Determinación UHPLC-MS/MS

El análisis de las muestras se ha llevado a cabo en un sistema UPLC Waters Acquity (Waters, Milford, MA., USA) acoplado a un espectrómetro de masas con analizador de triple cuadrupolo (TQS, Waters Micromass, Manchester, UK) utilizando la interfase electrospray (ESI).

Las **Tablas 4.2** y **4.3** muestran las condiciones MS/MS utilizadas para los 40 fármacos y los 25 plaguicidas seleccionados, respectivamente. Se muestra el modo de

ionización (ESI), la energía de cono, las transiciones seleccionadas -cuantificación (Q) y confirmación (q)- y las respectivas energías de colisión (EC). En las **Tablas 4.4** y **4.5** se incluyen las condiciones de medida para los ILIS utilizados para fármacos y plaguicidas, respectivamente.

Cuantificación

La cuantificación se ha realizado mediante el método del patrón interno (para aquellos compuestos de los que se disponía de patrón marcado isotópicamente (ILIS)) o del patrón externo, con curvas de calibrado preparadas en agua HPLC / metanol (90:10, v/v).

En las **Tablas 4.2** y **4.3** se indica el punto del calibrado de menor concentración (*lowest calibration level*, LCL), que, a efectos prácticos, se ha considerado como el valor más bajo al que se puede cuantificar cada compuesto.

Tabla 4.2. Condiciones MS/MS para los fármacos analizados

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)	Transición q	EC (eV)	LCL (ng/L)
Acetaminophen	+	10	152 > 110	15	152 > 93	20	5
					152 > 65	25	
Alprazolam	+	10	309 > 281	25	309 > 274	25	5
					309 > 205	25	
Atorvastatin	+	10	559 > 440	20	559 > 466	15	5
					559 > 292	25	
Azithromycin	+	10	375 > 83	15	375> 591	15	5
					375 >116	25	
Bezafibrate	-	10	360 > 274	20	360 > 154	25	5
					360 > 85	15	
Carbamazepine	+	10	237 > 194	20	237 > 179	25	5
					237 > 192	10	
Ciprofloxacin	+	10	332 > 245	20	332 > 231	20	10
					332 > 294	25	
Clarithromycin	+	10	748 > 158	35	748 > 590	15	10

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)	Transición q	EC (eV)	LCL (ng/L)
					748 > 83	35	
Clindamycin	+	10	425 > 126	20	425 > 377	20	5
					425 > 389	15	
Diclofenac	+	10	296 > 214	30	296 > 250	10	5
					296 > 278	5	
Enalapril	+	10	377 > 234	15	377 > 303	15	5
					377 > 177	25	
Erythromycin	+	10	734 > 158	25	576 > 158	25	5
					576 > 116	30	
Furaltadone	+	10	325 > 100	20	325 > 281	10	5
					325 > 252	15	
Flumequine	+	10	262 > 202	30	262 > 126	40	5
					262 > 146	40	
Gabapentin	+	10	172 > 154	15	172 > 137	15	5
					172 > 95	20	
Ioprimide	+	10	792 > 573	25	792 > 559	25	5
Irbesartan	+	10	429 > 207	25	429 > 195	20	5
					429 > 180	25	
Levamisole	+	10	205 > 178	20	205 > 91	25	5
					205 > 123	25	
Lincomycin	+	10	407 > 126	20	407 > 359	15	5
					407 > 389	15	
Lorazepam	+	10	321 > 275	20	321 > 303	15	5
					321 > 229	25	
Losartan	+	10	423 > 405	10	423 > 377	15	5
					423 > 207	15	
Metoprolol	+	10	268 > 116	15	268 > 74	20	5

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)	Transición q	EC (eV)	LCL (ng/L)
					268 > 191	15	
Metronidazole	+	10	172 > 128	15	172 > 82	20	5
					172 > 56	20	
Nalidixic acid	+	10	233 > 215	10	233 > 187	25	5
					233 > 159	25	
Norfloxacin	+	10	320 > 233	25	320 > 282	30	10
					320 > 256	20	
Omeprazole,	+	10	316 > 149	20	316 > 168	20	5
Sulfide 4-hydroxy					316 > 283	15	
Oxolinic adic	+	10	262 > 244	15	262 > 216	25	5
					262 > 283	25	
Pantoprazole	+	10	384 > 200	10	384> 138	25	5
					384> 153	15	
Phenazone	+	10	189 > 58	20	189 > 104	20	5
					189 > 131	20	
Pirimidone	+	10	219 > 162	10	219 > 119	15	5
					219 > 91	20	
Roxithromycin	+	10	419 > 83	15	419 > 158	25	5
					419 > 116	15	
Salbutamol	+	10	240 > 148	15	240 > 222	10	5
					240 > 166	10	
Salicylic acid	-	30	137 > 92.9	15	137 > 65	25	10
Sulfadiazine	+	10	251 > 156	15	251 > 92	25	5
					251 > 108	20	
Sulfamethoxazole	+	10	254 > 156	15	254 > 92	25	5
					254 > 108	20	
Tetracycline	+	10	445 > 410	15	445 > 154	25	5

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)	Transición q	EC (eV)	LCL (ng/L)
					445 > 427	10	
Tramadol	+	10	264 > 58	10	264 > 246	10	5
					264>121	25	
Trimethoprim	+	10	291 > 123	25	291 > 230	20	5
					291 > 261	25	
Valsartan	+	10	43 6> 235	15	436 > 207	25	5
Venfalaxine	+	10	278 > 58	15	278 > 260	10	5
					278 > 121	25	

Tabla 4.3. Condiciones MS/MS para los plaguicidas analizados

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)	Transición q	EC (eV)	LCL (ng/L)
2,4-D	-	10	219 > 125	25	219 > 161	15	1
Atrazine	+	50	216 > 174	20	216 > 96	25	1
Atrazine-desethyl (DEA)	+	10	188 > 146	15	188 > 104	25	1
Atrazine-desisopropyl (DIA)	+	10	174 > 132	15	174 > 96	15	1
Carbaryl	+	30	202> 145	20	202> 127	30	1
Chlorpyrifos	+	10	350 > 97	30	350 > 198	20	1
DesetTerbumetone	+	50	198 > 142	15	198 > 86	20	1
DesetTerbuthylazine	+	20	202 > 146	25	202 > 79	25	1
Diuron	+	30	233 > 72	20	233 > 160	20	1
Imazalil	+	30	298 > 159	20	298 > 256	20	1
Imidacloprid	+	20	256 > 209	10	256 > 175	10	1
Linuron	+	10	249 > 160	15	249 > 182	15	1
Metalaxyl	+	35	280 > 220	15	280 > 160	25	1

Metolachlor	+	50	284 > 252	15	284 > 176	25	1
OH-Tbza	+	30	212 > 156	15	212 > 86	20	1
Prometryn	+	10	242 > 158	20	242 > 200	15	1
Propamocarb	+	10	189 > 102	15	189 > 144	10	1
Pyridaphention	+	20	341 > 189	20	341 > 205	20	1
Simazine	+	10	202 > 132	15	202 > 124	15	1
Tebuconazole	+	10	308 > 70	15	308 > 125	30	1
Terbumetone	+	50	226 > 170	20	226 > 114	15	1
Terbuthylazine	+	10	230 > 174	15	230 > 104	25	1
Terbutryn	+	30	242 > 91	30	242 > 186	30	1
Thiabendazole	+	20	202 > 131	40	202 > 175	40	1
Thiophanate-methyl	+	10	343 > 151	20	343 > 311	10	1

Tabla 4.4. Condiciones MS/MS para los ILIS utilizados en el análisis de fármacos

Compuesto	**ESI**	**Cono (V)**	**Transición Q**	**EC (eV)**
Acetaminophen-d4	+	10	156 > 114	10
Atorvastatin-d5	+	10	564 > 445	20
Azithromycin-d3	+	10	377 > 83	15
Carbamazepine-epoxi-d10	+	10	263 > 190	25
Ciprofloxacin-d8	+	30	340 > 235	35
Clarithromycin-d7	+	30	752 > 162	30
Diclofenac-d4	+	10	300 > 219	20
Erythromycin-^{13}C-d3	+	10	738 > 162	30
Irbesartan-d6	+	10	435 > 213	25
Levamisole-d5	+	20	210 > 183	25
Norfloxacin-d5	+	10	325 > 287	30
Omeprazole-d3	+	10	349 > 198	10
Roxithromycin-d7	+	10	423 > 158	15

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)
Salicylic acid-d4	-	10	141 > 97	15
Sulfamethoxazole-d4	+	10	260 > 162	15
Trimethoprim-^{13}C-d3	+	10	294 > 264	20
Valsartan-d8	+	10	444 > 207	25
Venfalaxine-d6	+	30	284 > 64	30

Tabla 4.5. Condiciones MS/MS para los ILIS utilizados en el análisis de plaguicidas

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)
Atrazine-d5	+	40	221 > 179	20
Chlorpyrifos methyl-d6	+	10	328 > 130	20
Diuron-d6	+	30	239 > 78	20
Imazalil-d5	+	30	302 > 159	20
Metolachlor-d6	+	25	290 > 258	15
Simazine-d5	+	30	207 > 137	20
Terbuthylazine-d5	+	10	235 > 179	15
Thiabendazole-d6	+	20	208 > 137	40

D.2. Metodología analítica para la determinación de plaguicidas incluidos en la Lista de Observación

Preparación de las muestras

A 50 mL de muestra, previamente centrifugada a 4500 rpm durante 5 min, se le añaden 50 µL de la disolución mezcla de ILIS de 20 ng/mL en metanol y se pasan a través de un cartucho Oasis HLB Prime (60 mg, 3 mL). El cartucho se lava con 3 mL agua HPLC con un 15% de metanol y se deja secar. A continuación, se eluye con 6 mL de acetona. El extracto se evapora hasta sequedad a 40 ºC bajo corriente de N_2. El residuo se reconstituye con 100 µL de metanol y 900 µL de agua HPLC. El extracto final

se centrifuga a 12000 rpm durante 5 min y 20 □L se inyectan en el sistema UHPLC-MS/MS.

Determinación UHPLC-MS/MS

El análisis de las muestras se ha llevado a cabo en un sistema UPLC Waters Acquity (Waters, Milford, MA., USA) acoplado a un espectrómetro de masas con analizador de triple cuadrupolo (TQD, Waters Micromass, Manchester, UK) utilizando la interfase electrospray (ESI).

La **Tabla 4.6** muestra las condiciones MS/MS utilizadas para la determinación de los plaguicidas. Se muestra el modo de ionización (ESI), la energía de cono, las transiciones seleccionadas -cuantificación (Q) y confirmación (q)- y las respectivas energías de colisión (EC). En la **Tabla 4.7** se incluyen las condiciones de medida para los ILIS utilizados.

Cuantificación

La cuantificación de los plaguicidas se ha realizado mediante el método del patrón interno (excepto para metaflumizone, para el que no se disponía de patrón marcado), con curvas de calibrado preparadas en agua HPLC / metanol (90:10, v/v).

En la **Tabla 4.6** se indican los límites de cuantificación (LOQ) para cada compuesto, todos ellos menores al límite de detección máximo establecido en la Lista de Observación (2 ng/L para methiocarb, 65 ng/L para metaflumizone y de 8.3 ng/L para el resto de plaguicidas).

Tabla 4.6. Condiciones MS/MS para los plaguicidas analizados

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)	Transición q	EC (eV)	LOQ (ng/L)
Acetamiprid	+	35	223 > 126	20	223 > 56	15	0.9
Clothianidin	+	20	250 > 169	15	250 > 132	15	1.9
Imidacloprid	+	25	256 > 209	25	256 > 175	20	0.3

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)	Transición q	EC (eV)	LOQ (ng/L)
Metaflumizone	-	45	505 > 302	25	302> 116*	20	0.2
Methiocarb	+	10	226 > 169	10	226 > 121	10	0.7
Thiacloprid	+	25	253 > 126	20	253 > 186	10	1.0
Thiamethoxam	+	25	292 > 132	30	292 > 181	30	1.3

* fragmentación en fuente a una energía de cono de 55 V

Tabla 4.7. Condiciones MS/MS para los ILIS utilizados en el análisis de plaguicidas

Compuesto	ESI	Cono (V)	Transición Q	EC (eV)
Acetamiprid-d3	+	35	226 > 126	20
Clothianidin-d3	+	20	253 > 172	15
Imidacloprid-d4	+	25	260 > 213	20
Methiocarb-d3	+	10	226 > 169	10
Thiacloprid-d4	+	25	257 > 126	20
Thiamethoxam-d3	+	25	295 > 132	30

E. Confirmación de la identidad de los positivos

La confirmación inequívoca de la identidad de los compuestos detectados en las muestras, se ha llevado a cabo mediante el cálculo de las relaciones iónicas (q/Q). Según las guías europeas, es necesario que, al menos, una de ellas tenga una desviación inferior al ±30% con respecto al valor de la relación iónica en el QC (SANTE, 2015).

La presencia de estos compuestos queda también confirmada por el tiempo de retención, tolerándose una desviación máxima de ±0.2 min con respecto al patrón de referencia (SANTE, 2015).

Estos dos parámetros, junto a la adquisición de tres transiciones, han permitido confirmar la identidad de cada uno de los compuestos encontrados en las muestras.

F. Control de calidad de los análisis

El control de calidad de la metodología usada para la determinación de fármacos y plaguicidas se ha llevado a cabo mediante análisis de muestras control (Quality Control, QC) incluidas en cada secuencia de análisis. Los QC consistieron en muestras reales de agua fortificadas al menos a dos niveles de concentración. En el campo del análisis de residuos se consideran como aceptables las recuperaciones en el rango entre el 60 y el 140% para valores individuales (SANTE, 2015).

G. Análisis de muestras

G.1. Determinación de fármacos mediante UHPLC-MS/MS (ID)

Las 9 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 40 fármacos.

Los QC consistieron en una de las muestras de agua analizadas, fortificada a dos niveles de concentración, 100 y 1000 ng/L, la cual se inyectó por duplicado. La **Tabla 4.8** muestra el valor de recuperación (%) para cada QC, y también se indican los compuestos que se han cuantificado mediante el método de patrón interno, cuyos ILIS correspondientes aparecen en la tabla.

Las recuperaciones de los QCs fueron en general satisfactorias, con valores entre el 60 y el 140%, lo que aporta fiabilidad a los resultados obtenidos. Como excepciones, cabe citar a los fármacos gabapentin, metronidazole, sulfadiazine y trimethoprim, cuyos QC no fueron del todo satisfactorios a alguno de los dos niveles estudiados. Puesto que estas recuperaciones tan sólo superaron ligeramente el valor de 140% (alrededor del 150%) no se ha aplicado ningún factor corrector en las concentraciones obtenidas en las muestras reales, en el caso de que estos compuestos se hayan detectado en las aguas.

La **Tabla 4.9** muestra los resultados obtenidos en la determinación de fármacos en las muestras de agua.

Debido a la excelente sensibilidad de la técnica instrumental utilizada, se encontró un elevado número de positivos, con un total de 25 de los 40 fármacos estudiados en las 9 muestras de agua. Más del 50% de las detecciones (aproximadamente el 60%) corresponden a compuestos que se encuentran en concentraciones inferiores al punto más bajo del calibrado (LCL), por lo que, aunque se pudo confirmar su identidad, no pudieron llegar a cuantificarse. En general, la mayoría de los positivos encontrados no superaron el valor de 50 ng/L, a excepción de los antiepilépticos carbamazepine (195 ng/L en la muestra 2, Piezómetro aguas abajo zona afino compost) y gabapentin (596 ng/L también en la muestra 2, y 302 ng/L en la muestra 3, Piezómetro aguas abajo zona acopio).

Las muestras 3 (Piezómetro aguas abajo, zona acopio restos de poda), 4 (Piezómetro aguas abajo balsa de lixiviados) y 8 (Pozo Sabater I) presentaron el mayor número de

fármacos, entre 13-15 de los 40 incluidos en el método analítico. Por el contrario, la muestra de agua superficial 6 (Río Mijares, estación de aforo) presentó el menor número de fármacos, con 7 compuestos detectados de los 40 estudiados.

El antibiótico oxolinic acid se detectó en todas las muestras analizadas, aunque en todos los casos a niveles bajos de concentración (≤ 11 ng/L). Los también antibióticos clarithromycin, flumequine y nalidixic acid se encontraron en 8 de las 9 muestras analizadas, a niveles inferiores a 10 ng/L.

Tres de los 4 fármacos incluidos en la Lista de Observación de la UE han sido detectados en las muestras de agua, pero siempre a niveles inferiores al límite máximo de detección establecido (19 ng/L en el caso de azithromycin y clarithromycin, y 89 ng/L para ciprofloxacin).

Como ejemplo, en la **Figura 4.2** se observan los cromatogramas correspondientes a fármacos encontrados en la muestra 1 (Piezómetro aguas arriba) mediante UHPLC-MS/MS.

Tabla 4.8. Recuperaciones (%) obtenidas en las muestras control de calidad (QCs) correspondientes al análisis de fármacos mediante UHPLC-MS/MS (ID)

Compuestos	QC100	QC1000	ILIS
Acetaminophen	106	102	Acetaminophen-d4
Alprazolam	74	76	-
Atorvastatin	107	110	Atorvastatin-d5
Azithromycin	66	97	Azitromycin-d3
Bezafibrate	98	85	-
Carbamazepine	77	75	Carbamazepine-epoxi-d10
Ciprofloxacin	131	128	Ciprofloxacin-d8
Clarithromycin	97	101	Clarithromycin-d7
Clindamycin	60	65	-
Diclofenac	109	115	Diclofenac-d4
Enalapril	84	92	-
Erithromycin	101	111	Erythromycin-^{13}C-d3
Flumequine	89	93	-
Furaltadone	135	135	-

Compuestos	QC100	QC1000	ILIS
Gabapentin	150	150	-
Ioprimide	124	139	-
Irbesartan	102	100	Irbesartan-d6
Levamisole	100	109	Levamisole-d5
Lincomycin	111	106	-
Lorazepam	68	68	-
Losartan	71	77	-
Metoprolol	99	105	-
Metronidazole	150	140	-
Nalidixic acid	70	76	-
Norfloxacin	106	107	Norfloxacin-d5
Omeprazole sulfide 1- hydroxy	117	109	Omeprazole-d3
Oxolinic acid	84	77	-
Pantoprazole	70	77	-
Phenazone	79	96	-
Primidone	93	100	-
Roxithromycin	75	85	Roxithromycin-d7
Salbutamol	115	108	-
Salicylic acid	105	97	Salicylic acid-d4
Sulfadiazine	153	155	-
Sulfamethoxazole	111	116	Sulfamethoxazole-d4
Tetracycline	118	113	-
Tramadol	101	103	-
Trimethoprim	155	112	Trimethroprim-^{13}C-d3
Valsartan	123	108	Valsartan-d8
Venlafaxine	88	92	Venlafaxine-d6

En negrita y cursiva se muestran las recuperaciones fuera del rango 60-140% aceptado

Tabla 4.9. Resultados de los análisis realizados mediante UHPLC-MS/MS (ID) para la determinación de fármacos en las aguas de la primera campaña de 2019

	Muestras (ng/L)								
Compuestos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Acetaminophen	-	-	d	-	-	-	-	-	-
Alprazolam	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atorvastatin	d	-	-	d	d	-	d	d	d
Azithromycin*	-	-	8	-	d	-	-	-	-
Bezafibrate	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbamazepine	-	195	13	7	-	-	d	d	-
Ciprofloxacin*	23	-	9	10	d	-	8	10	11
Clarithromycin*	d	d	d	d	-	d	d	d	d
Clindamycin	-	-	-	-	-	-	-	d	-
Diclofenac	12	40	-	d	-	d	-	d	-
Enalapril	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erithromycin*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flumequine	8	-	6	8	d	d	6	d	d
Furaltadone	-	-	d	d	-	-	d	d	d
Gabapentin	-	596	305	-	13	-	-	-	-
Ioprimide	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Irbesartan	-	-	-	-	-	-	-	d	-
Levamisole	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lincomycin	-	d	-	-	-	-	-	-	-
Lorazepam	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Losartan	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metoprolol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metronidazole	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nalidixic acid	8	-	6	8	d	d	6	d	d
Norfloxacin	18	-	11	-	-	-	d	-	-
Omeprazole sulfide 1- hydroxy	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Oxolinic acid	11	d	9	10	d	d	8	7	d
Pantoprazole	-	-	-	d	-	-	d	d	-
Phenazone	-	d	d	-	-	-	-	-	d
Primidone	-	22	-	11	-	-	-	8	-
Roxithromycin	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salbutamol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salicylic acid	-	50	28	-	-	-	-	-	-
Sulfadiazine	-	26	41	-	-	-	-	-	-
Sulfamethoxazole	-	-	d	d	d	d	d	-	-
Tetracycline	15	-	-	12	-	-	6	-	-
Tramadol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trimethoprim	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valsartan	-	17	-	-	-	-	-	d	-
Venlafaxine	-	-	-	-	d	d	-	-	d

d: detectado; concentración inferior al nivel de concentración del punto más bajo del calibrado (LCL)

*Fármacos incluidos en la Lista de Observación

Norfloxacin 18 ng/L

Ciprofloxacin 23 ng/L

Tetracycline 15 ng/L

Oxolinic acid 11 ng/L

Nalidixic acid 8 ng/L

Flumequine 8 ng/L

Clarithromycin detected

Atorvastatin detected

Diclofenac 12 ng/L

Figura 4.2. Fármacos encontrados en la muestra 1, Piezómetro aguas arriba, mediante análisis por UHPLC-MS/MS (ID)

G.2. Determinación de plaguicidas mediante UHPLC-MS/MS (ID)

En paralelo, las 9 muestras de agua se sometieron al procedimiento de análisis cuantitativo basado en el uso de UHPLC-MS/MS (QqQ) mediante inyección directa (ID) con el fin de investigar la presencia y los niveles de concentración de 25 plaguicidas seleccionados.

Los QC consistieron en dos muestras de agua fortificadas a tres niveles de concentración cada una, 10, 100 y 1000 ng/L. La **Tabla 4.10** muestra el valor de recuperación (n=2) para cada QC, así como los compuestos cuantificados mediante el método de patrón interno cuyos ILIS correspondientes aparecen en la tabla.

Las recuperaciones de los QCs fueron en general satisfactorias, con valores entre el 60 y el 140%, lo que aporta fiabilidad a los resultados obtenidos. La única excepción fue el plaguicida prometryn cuya recuperación al nivel más bajo de fortificación fue de 46%. Este plaguicida no se detectó en ninguna muestra de agua, por lo que no fue necesario aplicar ningún factor corrector.

La **Tabla 4.11** muestra los resultados obtenidos en la determinación de los 25 plaguicidas en las muestras de agua.

Se detectaron 10 de los 25 plaguicidas estudiados en las 9 muestras de agua. Más del 50% de las detecciones (aproximadamente el 68%) correspondieron a compuestos en 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, ningún positivo superó el nivel de 0.1 µg/L (100 ng/L), valor que suele tomarse como referencia por tratarse del máximo permitido para plaguicidas en aguas de abastecimiento urbano.

Las aguas subterráneas correspondientes al Pozo San Martín de Porres (muestra 7) y Sabater I (muestra 8), son las que presentaron mayor número de positivos de plaguicidas, con un total de 10 y 7, respectivamente, de los 25 incluidos en el método analítico. Por lo que respecta a las dos muestras de aguas superficiales del Río Mijares (muestras 5 y 6), no se detectó ninguno de los plaguicidas estudiados.

Como ejemplo, la **Figura 4.3** ilustra los positivos encontrados en la muestra 7 (Pozo San Martín de Porres, 23/03/2018) analizada mediante UHPLC-MS/MS (ID).

Tabla 4.10. Recuperaciones (%) obtenidas para las muestras control de calidad (QCs) correspondientes al análisis de plaguicidas mediante UHPLC-MS/MS (ID)

Compuestos	QC10	QC100	QC100	ILIS
2,4-D	*	*	*	-
Atrazine	89	103	121	Atrazine-d_5
Atrazine-desethyl	60	60	63	Atrazine-d_5
Atrazine-desisopropil	*	68	71	Atrazine-d_5
Carbaryl	*	62	60	-
Chlorpyrifos	91	121	107	Chlorpyrifos Methyl-d_6
DesetTerbumetone	111	114	121	-
DesetTerbuthylazine	62	87	77	Terbuthylazine-d_5
Diuron	69	87	96	Diuron-d_6
Imazalil	131	119	112	Imazalil-d_5
Imidacloprid	98	109	122	-
Linuron	99	102	116	-
Metalaxyl	116	122	122	-
Metolachlor	71	94	99	Metolachlor-d_6
OH-Tbza	105	87	***55***	Terbuthylazine-d_5
Prometryn	***46***	106	75	-
Propamocarb	*	137	110	-
Pyridaphention	117	125	118	-
Simazine	90	108	115	Simazine-d_5
Tebuconazole	126	103	95	-
Terbumeton	60	90	109	-
Terbuthylazine	87	98	91	Terbuthylazine-d_5
Terbutryn	65	69	77	-
Thiabendazole	109	118	118	Thiabendazole-d_6
Thiophanate-methyl	**	**	**	-

En negrita y cursiva se muestran las recuperaciones fuera del rango 60-140% aceptado

*Sensibilidad insuficiente

**Comportamiento anómalo

Tabla 4.11. Resultados de los análisis realizados mediante UHPLC-MS/MS (ID) para la determinación de plaguicidas en las aguas de la primera campaña de 2019

	Muestras (ng/L)								
Compuestos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
2,4-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atrazine	-	-	-	-	-	-	d	d	-
Atrazine-desethyl	-	-	-	-	-	-	56	d	-
Atrazine-desisopropil	-	-	-	-	-	-	15	d	-
Carbaryl	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorpyrifos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DesetTerbumetone	-	-	-	-	-	-	18	d	-
DesetTerbuthylazine	-	-	-	-	-	-	80	27	d
Diuron	-	-	-	-	-	-	d	-	d
Imazalil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imidacloprid*	*	*	*	*	-	-	*	-	-
Linuron	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metalaxyl	-	51	d	d	-	-	d	-	-
Metolachlor	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OH-Tbza	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prometryn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Propamocarb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyridaphention	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simazine	-	-	d	-	-	-	d	d	-
Tebuconazole	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terbumeton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terbuthylazine	-	-	-	-	-	-	d	d	d

Terbutryn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thiabendazole	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thiophanate-methyl	-	-	-	-	-	-	-	-	-

d: detectado; concentración inferior al nivel de concentración del punto más bajo del calibrado (LCL, 1 ng/L)

* Los datos de concentración para imidacloprid se encuentran en la Tabla 4.13, correspondiente al método SPE-LC-MS/MS aplicado específicamente para los plaguicidas incluidos en la Lista de Observación

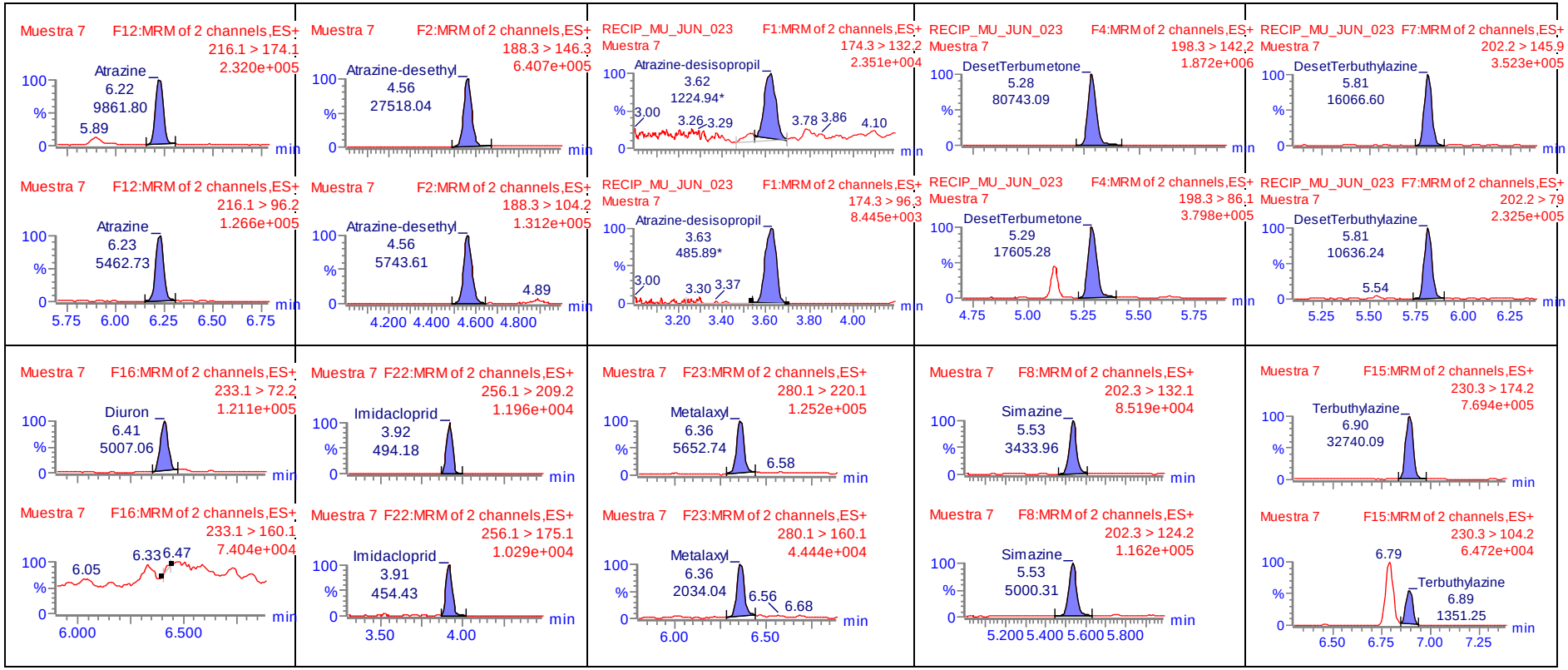

Figura 4.3. Plaguicidas encontrados en la muestra 7, Pozo San Martín de Porres, mediante análisis por UHPLC-MS/MS (ID)

G.3. Determinación de plaguicidas mediante SPE-UHPLC-MS/MS

Las muestras de agua se sometieron al procedimiento de análisis cuantitativo basado en el uso de UHPLC-MS/MS (QqQ) previa extracción en fase sólida (SPE), con el fin de investigar la presencia de los 7 plaguicidas incluidos en la Lista de Observación de la UE.

Los QC consistieron en dos muestras de agua analizada fortificadas a dos niveles de concentración, 10 y 100 ng/L. La **Tabla 4.12** muestra el valor de recuperación (n=2) para cada QC, así como los compuestos cuantificados mediante el método de patrón interno, cuyos ILIS correspondientes aparecen en la tabla.

Las recuperaciones de los QCs fueron en general satisfactorias, con valores entre el 60 y el 140%, lo que aporta fiabilidad a los resultados obtenidos. La única excepción fue el plaguicida thiamethoxam puesto que apenas se recuperó al nivel más alto de fortificación. Este plaguicida no se encontró como positivo en ninguna muestra de agua, por lo que no fue necesario aplicar ningún factor corrector.

Tabla 4.12. Recuperaciones (%) obtenidas para las muestras control de calidad (QCs) correspondientes al análisis de plaguicidas de la Lista de Observación

Compuestos	QC10	QC100	ILIS
Acetamiprid	106	95	Acetamiprid-d3
Clothianidin	110	102	Clothianidin-d3
Imidacloprid	102	103	Imidacloprid-d4
Metaflumizone	109	99	-
Methiocarb	98	98	Methiocarb-d3
Thiacloprid	96	99	Thiacloprid-d4
Thiamethoxam	61	***7***	Thiamethoxam-d3

En negrita y cursiva se muestran las recuperaciones fuera del rango 60-140% aceptado

La **Tabla 4.13** muestra los resultados obtenidos en la determinación de los 7 plaguicidas en las aguas.

Se detectaron únicamente 2 de los 7 plaguicidas incluidos en la *Lista de Observación*, ambos de la familia de insecticidas neonicotinoides, siendo imidacloprid el de mayor frecuencia de detección (5 de las 9 muestras). Este compuesto se encontró

en dos ocasiones en concentraciones superiores al límite de detección del método analítico exigido en la Lista de Observación, que corresponde a 8.3 ng/L: muestra 2 (Piezómetro aguas abajo, zona afino compost, 577 ng/L) y muestra 3 (Piezómetro aguas abajo, zona acopio restos de poda, 37 ng/L).

Como ejemplo, en la **Figura 4.4** se muestran los positivos encontrados en la muestra 3 (Piezómetro aguas abajo, zona acopio restos de poda) mediante SPE-UHPLC-MS/MS.

Tabla 4.13. Resultados de los análisis realizados mediante SPE-UHPLC-MS/MS para los plaguicidas incluidos en la Lista de Observación en las aguas de la primera campaña de 2019

	Muestras (ng/L)								
Compuestos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Acetamiprid	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clothianidin	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Imidacloprid	2	577	37	1	-	-	3	-	-
Metaflumizone	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Methiocarb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thiacloprid	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thiamethoxam	-	-	-	-	-	-	-	-	-

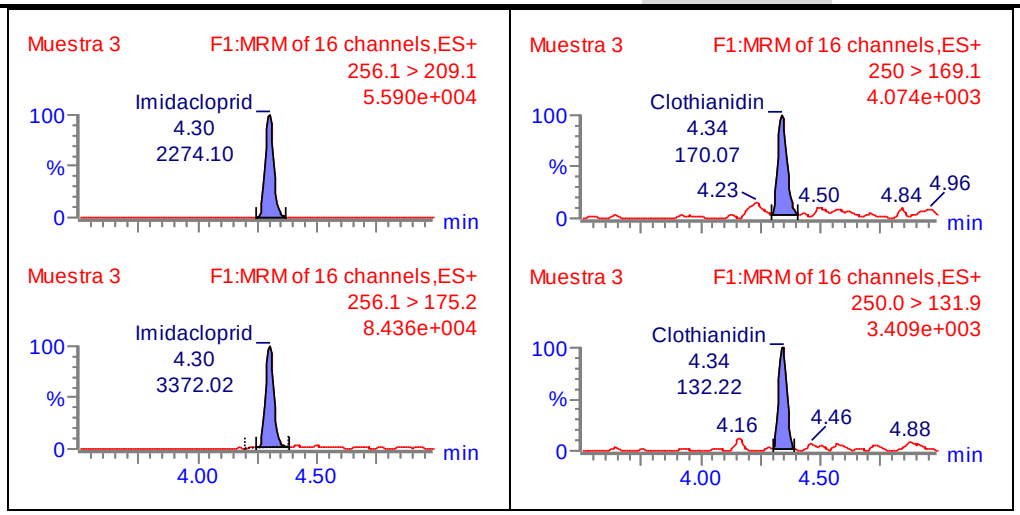

Figura 4.4. Plaguicidas encontrados en la muestra 7, Pozo San Martín de Porres, mediante análisis por SPE-UHPLC-MS/MS

H. Conclusiones preliminares

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 sin ningún tratamiento de muestra (inyección directa de la muestra, ID) ha permitido la determinación de 40 fármacos y 25 plaguicidas. Adicionalmente, el uso de una tercera metodología con una etapa previa de extracción en fase sólida (SPE), ha permitido la determinación de los 7 plaguicidas incluidos en la Lista de Observación de la UE, con los bajos límites de detección establecidos para los mismos.

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 junio de 2019.

Mediante análisis directo basado en UHPLC-MS/MS se han detectado varios de los fármacos incluidos en el estudio, aunque más de la mitad de las detecciones correspondió a compuestos con niveles muy bajos de concentración. De hecho, la gran mayoría de los fármacos identificados no superó el valor de 50 ng/L, con las únicas excepciones de los antiepilépticos carbamazepine (195 ng/L en una muestra) y gabapentin (596 y 302 ng/L, en dos muestras). Entre los fármacos investigados se han incluido 4 antibiótiocos de la Lista de Observación. Tres de ellos (azythromycin, clarithromycin y ciprofloxacin) se han detectado en las aguas, pero siempre a niveles inferiores al límite máximo de detección establecido en dicha Lista.

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.

Los análisis llevados a cabo mediante UHPLC-MS/MS (ID) también han permitido detectar plaguicidas y TPs, la mayoría de ellos a muy bajos niveles de concentración (del orden de pocos ng/L). Ningún positivo superó el nivel de 100 ng/L (0.1 µg/L), valor

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.

De los 7 plaguicidas incluidos en la Lista de Observación, tan sólo se han encontrado dos neonicotinoides: clothianidin tan solo en una muestra (a nivel de 2 ng/L) y imidacloprid en cinco muestras, superando en dos ocasiones el límite de detección establecido en la Lista de Observación (8.3 ng/L): muestra 2 (Piezómetro aguas abajo, zona afino compost, 577 ng/L) y muestra 3 (Piezómetro aguas abajo, zona acopio restos de poda, 37 ng/L).

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. Este hecho se justifica por la intensa actividad agrícola en la zona de estudio.

Los resultados de los análisis del segundo muestreo, llevado a cabo en Noviembre de 2019, se adjuntarán posteriormente como Anexo a este informe.

I. Referencias

Bade R., Bijlsma L., Miller F.H., Barron L.P., Sancho J.V., Hernández F. (2015), Suspect screening of large numbers of emerging contaminants in environmental waters using artificial neural networks for chromatographic retention time prediction and high resolution mass spectrometry data analysis, Science of the Total Environment 15:934-941

Boix C., Ibáñez M., Sancho J.V., Rambla J., Aranda J.L., Ballester, S., Hernández F. (2015) Fast determination of 40 drugs in water using large volume direct injection liquid chromatography-tandem mass spectrometry, Talanta 131:719-727

DECISIÓN DE EJECUCIÓN (UE) 2018/840 DE LA COMISIÓN de 5 de junio de 2018 por la que se establece una lista de observación de sustancias a efectos de seguimiento a nivel de la Unión en el ámbito de la política de aguas, de conformidad con la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, y se deroga la Decisión de Ejecución (UE) 2015/495 de la Comisión (DO L 141 de 7.6.2018, p.9)

Gracia-Lor, E., Sancho, J. V., Serrano, R., Hernández, F. (2012) Occurrence and removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants at the Spanish Mediterranean area of Valencia, Chemosphere 87: 453–462

Hernández F., Marín J.M., Pozo O.J., Sancho J.V., López F.J., Morell I. (2008), *Pesticide residues and transformation products in groundwater from a Spanish agricultural region on the Mediterranean Coast*, International Journal of Environmental Analytical Chemistry 88:409-424

Hernández F., Bakker J., Bijlsma L., de Boer J., Botero-Coy A.M., Bruinen de Bruin Y., Fischer S., Hollender J., Kasprzyk-Hordern B., Lamoree M., López F.J, ter Laak T.L, van Leerdam J.A., Sancho J.V., Schymanski E., de Voogt P., Hogendoorn E.A. (2018), *The role of analytical chemistry in exposure science: identification of New and/or Emerging Risks of Chemicals in the aquatic environment*, Chemosphere, submitted

Hernández F., Calisto-Ulloa N., Gómez-Fuentes C., Gómez M., Ferrer J., González-Rocha G., Bello-Toledo H., Botero-Coy A.M., Boix C., Ibáñez M., Montory M. (2019), *Occurrence of antibiotics and bacterial resistance in wastewater and sea water from the Antarctic*, Journal of Hazardous Materials 363:447-456

Marín J.M., Gracia-Lor E., Sancho J.V., López F.J., Hernández F. (2009), Application of ultra-high pressure liquid chromatography tandem mass spectrometry to the determination of multi-class pesticides in environmental and wastewaters samples. Study of matri√ effects, Journal of Chromatography A 1216:1410

Rousis N.I., Bade R., Bijlsma L., Zuccato E., Sancho J.V., Hernández F., Castiglioni S. (2017), *Monitoring a large number of pesticides and transformation products in water samples from Spain and Italy,* Environmental Research 156:31-38

Pitarch E., Portolés T., Marín J.M., Ibáñez M., Albarrán F., Hernández F. (2010), Analytical strategy based on the use of liquid chromatography and gas chromatography with triple-quadrupole and time-of-flight MS analyzers for investigating organic contaminants in wastewater, Analytical Bioanalytical Chemistry 397:2763-2776

Pitarch E., Cervera M.I., Portolés T., Ibáñez M., Barreda M., Renau-Pruñonosa A., Morell I., López F., Albarrán F., Hernández F. (2016), *Comprehensive monitoring of organic micro-pollutants in surface and groundwater in the surrounding of a solid-waste treatment plant of Castellón, Spain,* Science of the Total Environment 548-549: 211-220

SANTE/11945/2015. 30 November -1 December 2015 rev.0. European Commission Directorate-General for Health & Food Safety. Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed

5. Menciones a la Cátedra en Prensa Escrita de 2019

Debate sobre la gestión sostenible de residuos
(Mediterráneo, 23/10/2019)

La Càtedra Reciplasa de Gestió dels Residus Urbans de la Universitat Jaume I organitza demà dijous (18.00 hores) a la Llotja del Cànem una jornada dins del cicle Gestió sostenible dels residus urbans

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/10/23/noticiesuji/4/

La Cátedra Reciplasa aborda la recogida selectiva de residuos
(El Mundo Castellón al Día, 23/10/2019)

Jornada sobre gestió de residus urbans demà a la Llotja del Cànem organitzada per la Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/10/23/noticiesuji/4j/

`Què fem amb el fem?', todo un éxito
(Mediterráneo, 22/06/2019)

El concurs Què fem amb el fem?, organitzat per Reciplasa, amb la col·laboració de la Càtedra Reciplasa UJI i el Seminari d'Educació Ambiental de Castelló, tindrà una tercera convocatòria després de collir un gran èxit enguany

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/22/noticiesuji/3/

Els escolars mostren en còmics, relats i maquetes els models més sostenibles
(Mediterráneo, 18/06/2019)

L 'aula magna de la Facultat de Ciències de la Salut de la UJI ha albergat el

lliurament de premis de la II edició del concurs Què fem amb el fem?, organitzat per Reciplasa, amb la col·laboració de la Càtedra Reciplasa UJI i el Seminari d'Educació Ambiental de Castelló

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/18/noticiesuji/5/

Lliuren els segons premis `Què fem amb el fem?´
(Mediterráneo, 12/06/2019)

La Facultat de Ciències de la Salut de l'UJI va acollir el lliurament de premis de la II edició del concurs Què fem amb el fem?, organitzat per Reciplasa

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/12/noticiesuji/3/

La Cátedra Reciplasa de la UJI entrega los premios de "Què fem amb el fem?"
(Levante de Castelló, 07/06/2019)

La Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans ha lliurat la segona edició dels premis "Què fem amb el fem?"

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/07/noticiesuji/9j/

RECIPLASA convoca los premios al mejor TFG y al mejor TFM sobre el sector ambiental
(Levante, 05/06/2019)

La Càtedra RECIPLASA de la Universitat Jaume I sobre Gestió de Residus convoca els premis al millor treball de fin de grau i final de màster per incentivar projectes en el marc del sector ambiental

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/05/noticiesuji/18j/

Reciplasa convoca sus premios para estudiantes
(Mediterráneo, 05/06/2019)

Reciplasa ha convocat per segon any consecutiu, a través de la Càtedra Reciplasa UJI per a la gestió de residus, els premis al millor treball final de grau (TFG) i fi de màster (TFM) que tracten sobre la gestió de residus urbans i el medi ambient

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/05/noticiesuji/5/

Vila-real promueve la educación ambiental con una jornada en la Virgen de Gracia
(Levante de Castelló, 03/06/2019)

El Seminari d'Educació Ambiental de Castelló celebra a Vila-real la VI Trobada d'Intercanvi d'Experiències en educació ambiental amb la col·laboració de la Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/03/noticiesuji/6j/

Jornada ambiental en Vila-real
(El Mundo Castellón al Día, 03/06/2019)

La Càtedra RECIPLASA de la Universitat Jaume I col·labora en una trobada d'experiències d'educació ambiental celebrada a Vila-real

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/06/03/noticiesuji/9j/

Trabajos de fin de grado con el sello ambiental
(El Mundo Castellón al Día, 25/05/2019)

Reciplasa convoca mitjançant la seua Càtedra amb la Universitat Jaume I els premis a millor TFG i TFM sobre l'àmbit ambiental amb l'objectiu d'incentivar treballs relacionats amb la gestió de residus i medi ambient i que aporten solucions a la problemàtica actual

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/05/25/noticiesuji/5/

Premis per als millors treballs
(Mediterráneo, 07/05/2019)

La Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans ha convocat la segona edició dels premis als millors treballs de fi de carrera i de fi de màster a la Universitat Jaume I

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/05/07/noticiesuji/9/

Reciplasa repite unas cuentas equilibradas
(El Mundo Castellón al Día, 03/05/2019)

Convocats els premis a millor treball de màster i de fi de curs per part de la Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/05/03/noticiesuji/5j/

La UJI convoca los premios al TFG medioambiental
(Levante de Castelló, 03/05/2019)

La Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans convoca la segona edició dels seus premis al millor treball fi de grau i de fi de màster

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/05/03/noticiesuji/1j/

Convoquen els segons premis universitaris en medi ambient
(Mediterráneo, 01/05/2019)

La Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans de l'UJI convoca la segona edició dels seus premis a millor treball de fi de grau i de fi de màster

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/05/01/noticiesuji/3j/

Cátedra Reciplasa
(Mediterráneo, 30/04/2019)

Convocada per la Càtedra RECIPLASA de Gestió de Residus Urbans la segona edició dels premis a millors treballs de fi de grau i de fi de màster

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/04/30/noticiesuji/8/

Renovado el convenio de la Cátedra Reciplasa de la Jaume I
(Levante de Castelló, 07/03/2019)

La rectora de la Universitat Jaume I, Eva Alcón, i el president de Reciplasa, Ignasi Garcia, han signat aquest dimecres la renovació del conveni de la Càtedra Reciplasa de Gestió de Residus Urbans de l´UJI

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/03/07/noticiesuji/7j/

Reciplasa y la UJI renuevan la investigación
(Mediterráneo, 07/03/2019)

La rectora de l´UJI, Eva Alcón, i el president de Reciplasa, Ignasi Garcia, van renovar el conveni de la Càtedra de Gestió de Residus per a seguir amb recerques

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/03/07/noticiesuji/1/

Reciplasa y la UJI renuevan la Cátedra de Residuos
(El Mundo Castellón al Día, 07/03/2019)

Renovació per part de la Universitat Jaume I i de RECIPLASA de la Càtedra de Residus Urbans de la universitat que continuarà dirigida pel catedràtic Félix Hernández

https://www.uji.es/com/revista/base/2019/03/07/noticiesuji/9j/

UJI

RECIPLASA®

http://catedrareciplasa.uji.es