

## ORIGINAL BREVE

## ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE DROGAS DE ABUSO Y SUS METABOLITOS A PARTIR DE SU PRESENCIA EN EL AGUA RESIDUAL DE TALAVERA DE LA REINA Y EN EL RÍO TAJO (\*)

Ana Frías Chicharro (1), Silvia González-Alonso (1), Juan Carlos Montero Rubio (2) y Yolanda Valcárcel Rivera (1).

(1) Departamento de Medicina Preventiva, Salud Pública, Inmunología y Microbiología Médica. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos.

(2) Instituto de Ciencias de la Salud. Consejería de Salud y Bienestar Social de Castilla-La Mancha. Talavera de la Reina. Toledo.

(\*) Este proyecto fue financiado por la Fundación de Estudios de la Salud en Castilla-La Mancha (FISCAM) (PI 2007/28).

No existen conflictos de interés

## RESUMEN

**Fundamentos:** en los últimos años se ha evidenciado la presencia de nuevos contaminantes en el agua, existiendo pocos estudios que analicen dicha presencia. Los objetivos fueron determinar drogas de abuso (DAs) y sus metabolitos en el influente y efluente de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Talavera de la Reina y en el río Tajo, evaluar el rendimiento de la EDAR en la eliminación de estas sustancias y estimar el consumo de drogas en la ciudad de Talavera.

**Métodos:** el muestreo fue realizado, el día 28 de Junio de 2010. En todas las muestras se analizaron 5 grupos de drogas (10 DAs y 9 metabolitos). Se calculó el rendimiento a partir del porcentaje de reducción de la concentración a la entrada y salida de la EDAR y el consumo de drogas a partir de las concentraciones del influente y utilizando una metodología específica, basada en la asunción de que las drogas después de ser consumidas y metabolizadas en el cuerpo humano, son excretadas como compuestos principales o metabolitos, cuyas rutas metabólicas son conocidas; y que la cantidad de droga o metabolito cuantificado corresponde con la dosis consumida.

**Resultados:** se detectaron 10 sustancias. La presencia de Benzoilegonina (BE) (metabolito de la cocaína), efedrina, y metadona junto su metabolito EDDP fue hallada en todas las muestras. Las mayores concentraciones fueron de BE (239 ng/L), y de THC-COOH (35 ng/L), ambas en influente. En el río Tajo las concentraciones más altas fueron de BE (5,38 ng/L) y EDDP (4,4 ng/L). El rendimiento de la EDAR fue mayor del 80% para todas las sustancias excepto para metadona (que fue nulo) y EDDP (con mayor concentración en el efluente de la EDAR). Las sustancias más consumidas fueron cannabis (THC) (1,88 g/día) y cocaína (0,46 g/día).

**Conclusiones:** Se detectó la presencia de DAs en el río Tajo a su paso por Talavera de la Reina, lo que evidencia que estas sustancias no son eliminadas totalmente por la EDAR. El consumo de drogas estimado indica que la población de Talavera consume principalmente cannabis y cocaína. Demostrando que esta metodología puede complementar las encuestas sobre consumo de drogas.

**Palabras clave:** Drogas ilícitas. Plantas de Tratamiento de agua. Aguas superficiales. Consumo.

## Correspondencia

Yolanda Valcárcel Rivera  
Departamento de Medicina Preventiva, Salud Pública, Inmunología y Microbiología.  
Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Rey Juan Carlos  
Avda. de Atenas s/n  
28922 Alcorcón  
Madrid  
yolanda.valcarcel@urjc.es

## ABSTRACT

### Evaluation of the Efficacy of the Sewage Treatment Plant of Toledo, Spain in the Elimination of Drugs of Abuse and the Estimation of Consumption

**Background:** in the last years, the presence of new contaminants in water has been rising. There are only few studies which analyze such presence. The aims were to determine the occurrence of drugs of abuse and their metabolites in the influent and effluent of the Sewage Treatment Plant (STP) in Talavera de la Reina, and the River Tagus, as well as to evaluate the STP removal efficiency in the elimination of these substances and to estimate the consumption of drugs in Talavera.

**Methods:** the samples were taken on June 28, 2010. The presence of 5 groups of drugs (10 drugs of abuse and 9 metabolites) was quantified. The efficiency was calculated from the percentage of reduction of the concentration in the influent and effluent of the STP. Drug consumption was calculated from influent concentrations. Using a specific methodology, based on the assumption the drugs after they are consumed and metabolized in the human body are excreted as parent compounds or metabolites. Whose metabolic pathways are known, and the amount of drug or metabolite quantified corresponds to the dose consumed.

**Results:** ten substances were detected. In all sampling points appeared: Benzoilegonina (BE) (cocaine metabolite), ephedrine, methadone and its metabolite EDDP. The highest concentrations were of BE (239 ng/L), and THC-COOH (35 ng/L), both in influent. In the Tagus River, the highest concentrations were of BE (5.38 ng/L) and EDDP (4.4 ng/L). The STP removal efficiency was up to 80% for all substances except for methadone (which was zero) and EDDP (increasing to leave the STP). The estimated consumption shows that the most consumed substances were cannabis (1.88 grams / day) and cocaine (0.46 grams / day).

**Conclusion:** the presence of drugs of abuse in River Tagus in Talavera demonstrates that these substances are not eliminated completely by STPs. Drug consumption estimate indicates that the population of Talavera mainly consumed cannabis and cocaine. Thus this methodology can complement epidemiological surveys.

**Keyword:** Illicit drugs. Water treatment plants. Surface waters. Consumer.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han identificado las drogas de abuso (DAs) como contaminantes ambientales<sup>1,2</sup>. En la última década se han publicado los primeros estudios sobre la contribución de las drogas a la carga ambiental<sup>3</sup> y varios estudios recientes han demostrado efectos negativos de las drogas de abuso sobre los organismos vivos<sup>4,5</sup>.

El Centro de Monitorización Europeo sobre Drogas y Drogadicciones<sup>6</sup> destaca la continuidad de la problemática del consumo de drogas de abuso en Europa. En España, según la Encuesta Domiciliaria sobre Alcohol y Drogas de 2012<sup>7</sup>, la sustancia psicoactiva más consumida es el cannabis seguida de la cocaína. España es uno de los mayores consumidores de cocaína en Europa<sup>6</sup> con valores de consumo semejantes a los de Estados Unidos (EEUU)<sup>8</sup>. Por el contrario, el consumo de heroína ha disminuido y se ha estabilizado<sup>7</sup> pasando a ser la droga menos consumida en Europa<sup>6</sup>. Los consumos de drogas sintéticas como éxtasis, anfetaminas, alucinógenos o inhalables volátiles se mantienen en España en niveles bajos y estables, apreciándose incluso un ligero descenso<sup>7</sup>.

Algunos estudios realizados en España indican la presencia de estas drogas y sus metabolitos en aguas residuales y superficiales<sup>9</sup> y recientemente en agua subterránea<sup>10</sup>. Las principales investigaciones se han centrado en el análisis de drogas en agua y en la fase sólida (sedimento y suelo), como es el caso de la Comunidad Valenciana<sup>11</sup> y en agua residual y superficial, como las realizadas en Cataluña y provincias cercanas<sup>12,13</sup>. Además, en algunos estudios como el de Huerta-Fontela et al.<sup>14</sup>, Boleda et al.<sup>15</sup> y el de López-Serna et al.<sup>16</sup> se ha analizado la presencia de drogas de abuso tras los tratamientos convencionales para su potabilización a partir de agua del río Llobregat. Recientemente se ha publicado un estudio realizado en la provincia de Toledo que muestra la presencia de este tipo de compuestos en aguas residuales y aguas superficiales del río Tajo<sup>17</sup>.

Todos estos trabajos de vigilancia proporcionan información para determinar la presencia, el destino y los posibles efectos de las drogas más consumidas y sus principales metabolitos en el medio acuático y para estimar el consumo de drogas en las áreas investigadas a partir de los datos obtenidos en influentes de las depuradoras y agua fluvial<sup>18</sup>.

Los estudios que realizaron estimaciones de consumo de drogas en base a esta herramienta proponen su uso como información adicional de apoyo a las encuestas epidemiológicas clásicas. Asimismo, consideran que puede ser útil en la identificación de nuevas tendencias de consumo en un período corto y proporcionar información sobre el abuso de DAs casi en tiempo real<sup>19</sup>.

El presente trabajo es uno de los pocos que analiza la presencia de DAs en la zona centro de la península (Talavera de la Reina), ya que la mayoría de los estudios españoles se han realizado en la zona noreste y este de España. Estas áreas presentan características ambientales claramente diferentes y son las zonas semiáridas, las que presentan unas características climatológicas basadas en bajas precipitaciones y grandes oscilaciones térmicas (centro de España) lo que influye en el comportamiento de las masas hídricas, ya que disminuciones del caudal pueden generar incrementos en la presencia de estos compuestos<sup>20</sup>. Datos publicados sugieren la vulnerabilidad de las cuencas, como la del río Tajo, por la reducción de la disponibilidad de agua y el incremento de la demanda. La monitorización de la calidad de los sistemas acuáticos y la realización de estudios de toxicidad se vuelven imprescindibles para mantener su equilibrio, aspecto de especial importancia dada la creación de nuevas plantas de tratamiento de agua potable (ETAP) que abastecerán directamente a la población con el agua de los ríos, como ya ocurre con el río Llobregat<sup>16</sup> y como se ha implementado en el sur de la Comunidad de Madrid, con el agua del río Tajo (ETAP de Colmenar de Oreja) que posiblemente se extenderá a lo largo de la cuenca del mismo.

Estos nuevos tratamientos de potabilización a partir de agua fluvial hacen necesario un sistema de vigilancia continuado de los contaminantes emergentes en los ríos españoles.

El objetivo de este estudio es determinar la presencia de 19 tipos de DAs y sus metabolitos en el influente y efluente de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Talavera de la Reina así como en agua fluvial del río Tajo, evaluar el rendimiento de la planta en la eliminación de estas sustancias y estimar el consumo de drogas de la población entre 15 y 64 años de Talavera de la Reina a partir de las concentraciones obtenidas de influente, con el fin de comprobar si los resultados pueden complementar la información de las encuestas de consumo de drogas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

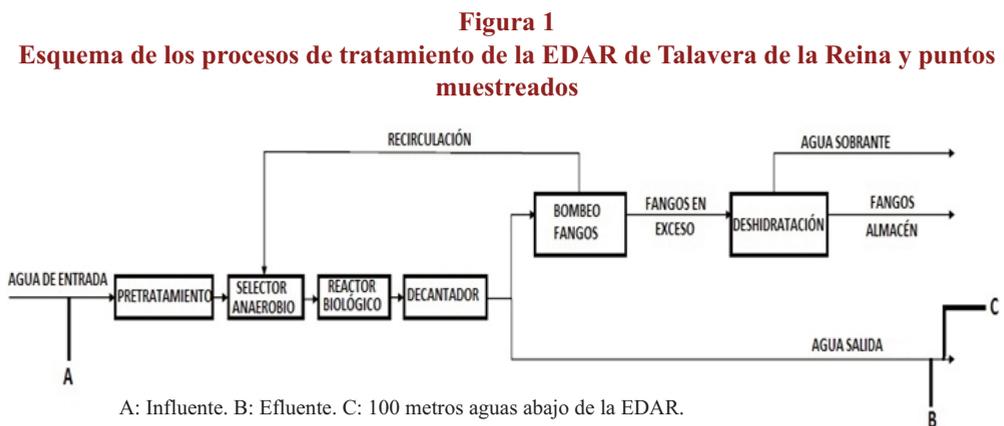
**Descripción de la zona de muestreo.** Talavera de la Reina es la localidad más grande de la provincia de Toledo (Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha) con una población de 89.332 habitantes (INE base 2010)<sup>21</sup>. La ciudad recibe agua del río Tajo tras su paso por dos grandes núcleos de población, Madrid y Toledo.

La EDAR de Talavera de la Reina trató un flujo medio en el mes de junio de 2010 de 36.128 m<sup>3</sup>/día. La planta consta de un pretrata-

miento (donde se eliminan sólidos, grasas y arenas), un selector anaeróbico (donde se seleccionan las bacterias que se introducirán en los reactores biológicos y eliminarán fósforo) y un tratamiento secundario formado por reactores biológicos tipo carrusel y decantadores circulares donde se elimina la materia orgánica y los nutrientes, además de la línea de fangos (figura 1).

**Recogida de muestras.** Las muestras de agua fueron recogidas a la entrada y salida de la EDAR y 100 metros aguas abajo del efluente de la depuradora (río Tajo) el día 28 de junio de 2010. Se tomaron 1.000 mL de muestra en botellas de vidrio borosilicatado ámbar previo lavado con agua de la muestra. Las muestras se mantuvieron entre 2 y 5°C y fueron enviadas al laboratorio en menos de 24 horas. El muestreo fue descriptivo puntual, realizándose entre las 15:30 y las 17:00 horas del día 28 de junio de 2010, comenzando por el influente, posteriormente el efluente y siendo el último punto muestreado 100 metros aguas abajo de la EDAR.

**Compuestos analizados.** Se analizaron 10 drogas y 9 metabolitos pertenecientes a cinco clases diferentes de compuestos químicos similares a las anfetaminas, cannabinoides, cocaínicos, LSD y a los opiáceos. Dentro del grupo de compuestos similares a las anfetaminas se incluyeron anfetamina (AM),



metanfetamina (MA), 3,5- metilenedioxime-tamfetamina (MDMA o éxtasis) y efedrina (EPH). Los cannabinoides son el principal componente psicoactivo de la planta de cannabis, formándose  $\Delta 9$ -tetrahidrocannabinol (THC) y dos productos metabólicos, 11-nor-9-carboxi- $\Delta 9$ -tetrahidrocannabinol (THC-COOH) y 11-hidroxi- $\Delta 9$ -tetrahidrocannabinol (OH-THC). Dentro del grupo de los cocaínicos se incluye la cocaína (COC), su principal metabolito benzoilecgonina (BE), en menor proporción nor-benzoilecgonina (nor-BE) y en caso de que se produzca trans-esterificación entre la cocaína y el etanol se forma cocaetileno (CE). De los compuestos lisérgicos investigados la sustancia alucinógena más potente conocida fue la dietilamida del ácido lisérgico (LSD) y dos de sus metabolitos, la N-demetil-LSD (Nor-LSD) y 2-oxo-3-hidroxi-LSD (OH-LSD). De los opiáceos se analizó morfina (MOR), heroína (HER), el producto metabólico de la heroína 6-acetil-morfina (6ACM), metadona (METH) y su producto de excreción principal 2-etilidino-1,5-dimetil-3,3-difenilpirrolidina (EDDP). Cada uno de estos compuestos presentó un límite de detección diferente (tabla 1).

**Método de análisis.** Tras su recepción, las muestras fueron filtradas en vacío a través de filtros de fibra de vidrio de 1  $\mu\text{m}$  y filtros de membrana de nailon de 0,45  $\mu\text{m}$  (*Whatman International Ltd., Maidstone, Inglaterra*). Posteriormente, se almacenaron en recipientes de ámbar polietileno tereftalato (PET) a una temperatura de menos 20°C en total oscuridad hasta su posterior análisis. Se utilizaron patrones de solución de alta pureza (N97%) de los compuestos de destino y sus análogos deuterados [utilizado como sustituto normas (SS) para la cuantificación]. Se obtuvieron a partir de Cerilliant (*Round Rock, Texas, Estados Unidos*.) como solución en metanol o acetonitrilo. La metodología aplicada para el análisis de drogas y sus metabolitos es una variación del método automatizado descrito por Postigo et al.<sup>22</sup> basado en el método de extracción de fase sólida, cromatografía líquida y espectrometría de masas de tándem (SPE-LC-MS/MS)<sup>17</sup>.

**Rendimiento de eliminación de la EDAR.** El rendimiento promedio fue calculado para pH ácidos aplicando la siguiente fórmula

$$[1-(E_f / I_f) \times 100]^{23}$$

donde  $E_f$  es la concentración en el efluente de la EDAR e  $I_f$  es la concentración en el influente. La eficacia de la planta se calculó para junio de 2010.

**Estimación del consumo a través del análisis de aguas residuales.** Para estimar el consumo de drogas a partir de la concentración hallada en influente utilizamos el procedimiento propuesto por Daughton en 2001<sup>24</sup> y utilizado por Zuccato et al.<sup>25</sup>. Este método se basa en primer lugar, en asumir que las drogas después de que son consumidas y metabolizadas en el cuerpo humano son excretadas como compuestos principales/metabolitos y pueden llegar a las EDAR a través de las aguas residuales procedentes de los sanitarios. En segundo lugar se basa en que son conocidas las rutas metabólicas y principales metabolitos de las drogas y fármacos. Y, por último, se asume que la cantidad de droga o metabolito cuantificado en aguas residuales corresponde con la dosis consumida. Los parámetros necesarios para poder calcular el uso de drogas incluyen la concentración de droga en las aguas residuales, la población a la que sirve la EDAR, y los metabolitos y rutas metabólicas de las drogas analizadas, es decir, el porcentaje de droga o principal metabolito excretado (esta información puede encontrarse en la literatura)<sup>1</sup>. Por lo tanto se calcularon tres valores:

La carga de droga: gramos al día de droga en el agua residual. Para calcularla se aplica la fórmula:

concentración (g/L) en influente por caudal (L/día)

La carga equivalente: los gramos al día de droga consumida, teniendo en cuenta el comportamiento de las drogas y metabolitos, rutas metabólicas, porcentaje

**Tabla 1**  
**Drogas de abuso y metabolitos analizados, abreviaturas, fórmulas, números CAS, límites de detección y factores de corrección necesarios para aplicar la metodología utilizada**

Grupos de drogas	Drogas y metabolitos	Abreviaturas	Números CAS*	Límites de detección (ng/L)	Factor de corrección †
Anfetaminas	Anfetaminas	AM	300-62-9	1,28	-
	Metanfetaminas	MA	537-46-2	0,25	-
	Efedrina	EPH	299-42-3	0,14	1,313
	3,5-metilendioximetanfetamina	MDMA	42542-10-9	0,38	1,513
Cannabinoides		9-tetrahidrocannabinol	THC	03/08/1972	2,04
	11-hidroxi-	9tetrahidrocannabinol	OH-THC	36557-05-8	0,37
	11-nor-9-carboxy	9 tetrahidrocannabinol	THC-COOH	23978-85-0	1,26
Cocáinicos	Benzoilecgonina	BE	519-09-5	0,08	2,3313
	Cocaína	COC	50-36-2	120	
	Nor- Benzoilecgonina	Nor-BE	(-)	0,29	371
	Cocaetileno	CE	529-38-4	0,07	4,781
LSD	Dietilamida de ácido lisérgico	LSD	50-37-3	0,32	-
	2-oxo-3hidroxi-LSD	OH-LSD	(-)	0,05	-
	N- demetil- LSD	Nor-LSD	35779-43-2	0,26	-
Opiáceos	Morfina	MOR	57-27-2	0,42	3,0725
	6 - acetilmorfina	6ACM	2784-73-8		
	0,08	-			
	Metadona	METH	76-99-3	0,15	3,331;2
	2-ethylidene-1,5-dimethyl-3-3-diphenyl-pyrrolidine	EDDP	66729-78-0	0,17	2,871
	Heroína	HER	561-27-3	0,5	

\* Los números CAS son identificadores numéricos asignados a cada compuesto químico descrito en la literatura. Esta asignación la realiza una división de la Sociedad Americana de Química, Chemical Abstracts Service (CAS). (-): No existe número CAS.

-: No aplica.

† Los valores utilizados han sido obtenidos de diversos estudios recogidos en la bibliografía.

excretado, etcétera se calcula con la siguiente fórmula (tabla 1).

Carga de drogas por factor de corrección

Consumo de droga: gramos estimados de consumo por cada 1000 habitantes (entre 15 y 64 años), se calcula con la siguiente fórmula:

Carga equivalente por 1000/población abastecida por STP

A partir de los datos del INE (INE base 2010)<sup>21</sup> se consideraron 103.750 habitantes

entre los 15 y 64 como población abastecida por la EDAR de Talavera de la Reina en junio de 2010.

## RESULTADOS

En total se detectaron 10 sustancias, todas ellas en concentraciones bajas. En las muestras de los tres puntos de muestreo (influyente, efluente y agua fluvial) aparecieron el metabolito de la cocaína Benzoilecgonina (BE), efedrina y metadona junto su metabolito EDDP (tabla 2). Las concentraciones más altas fue-

**Tabla 2**  
**Concentración de drogas de abuso y metabolitos (ng/L) en influente, efluente y a 100 metros aguas abajo de la EDAR, el rendimiento de la planta y la estimación del consumo**

Grupo de drogas	Drogas y metabolitos	Puntos muestreados			Rendimiento EDAR	Carga de drogas ilícitas y sus metabolitos (g/día)	Carga equivalente de drogas ilícitas y sus metabolitos (g/día)	Consumo de drogas (g/día por cada 1000 habitantes entre 15 y 64 años)
		Influente (ng/L)*	Efluente (ng/L)*	100 m aguas abajo de la EDAR (ng/día)*				
Anfetaminas	AM	<LQ	<LQ	<LQ	-	0	0	-
	MA	<LQ	<LQ	<LQ	-	0	0	-
	EPH	25,1	1,26	3,17	95%	0,91	1,183	0,01
	MDMA	4,21	0,85	<LQ	80%	0,15	0,225	0,00
Cannabinoides	THC	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	194,53§	1,88§
	OH-THC	0,6	<LQ	<LQ	Satisfactorio†	0,02	-	
	THC-COOH	35,4	<LQ	<LQ	Satisfactorio†	1,28	-	
Cocainicos	BE	239	1,48	5,38	99%	8,63	-	
	COC	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	47,53§	0,46§
	Nor-BE	19,9	<LQ	1,86	Satisfactorio†	0,72	-	
	CE	4,68	<LQ	<LQ	Satisfactorio†	0,17	-	-
LSD	LSD	<LQ	<LQ	<LQ	-	0	0	-
	OH-LSD	<LQ	<LQ	<LQ	-	0	0	-
	Nor-LSD	<LQ	<LQ	<LQ	-	0	0	-
Opiáceos	MOR	6,47	<LQ	<LQ	Satisfactorio†	0,23	-	
	6ACM	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	
	METH	6,07	6,04	1,14	0%	0,22	2,16	0,02
	EDDP	13,8	15,9	4,4	Insatisfactorio‡	0,50	-	
	HER	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	0,71§	0,00§

\* <LQ: límite inferior de cuantificación. † Reducción de la sustancia por debajo del Límite inferior de cuantificación. ‡ Rendimiento inferior al 0%. § Algunos compuestos no son detectados en los puntos muestreados pero se calcula su carga al ser excretados en forma de otros metabolitos.

Carga de drogas (L/día) = concentración (g/L) en influente \* Caudal (L/día)

Carga equivalente de drogas (g/día) = Carga de drogas (g/día) \* Factor de corrección.

Consumo de droga (g / 1000 habitantes) = Carga equivalente (g/día) \* 1000 / población que abastece la STP .

En la columna "Consumo de drogas" las celdas vacías indican que no pueden calcularse las concentraciones de consumo para esas drogas y metabolitos.

ron de BE (239 ng/L), de THC-COOH (35 ng/L) (principal metabolito del THC) y de efedrina (25,10 ng/L), todas ellas en influente. En agua fluvial, a su salida de la depuradora, la concentración más alta también fue de BE (5,38 ng/L), EDDP (4,40 ng/L) y efedrina (3,17 ng/L). No se detectó ninguna sustancia del grupo de LSD en ningún punto de muestreo.

Los rendimientos de la EDAR en la eliminación de las sustancias detectadas fueron superiores al 90% en los siguientes casos: efedrina, morfina, derivados de los cannabinoides y metabolitos de la cocaína (BE, COC y Nor-BE). El rendimiento para MDMA (éxtasis) fue del 80%. Para la metadona fue nulo y para su metabolito, EDDP, se incrementó la concentración a la salida de la depuradora.

En relación a los datos estimados de consumo se obtuvo que la sustancia más consumida por cada 1.000 habitantes (entre 15 y 64 años) fue el THC (compuesto fundamental del cannabis), con un valor de 1,88 gramos /día, seguido por la cocaína (0,46 gramos/ día). Las drogas menos consumidas fueron la heroína y el éxtasis

## DISCUSIÓN

En relación a la determinación de restos de DA's en aguas residuales y superficiales, la BE apareció en todos los puntos analizados. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Postigo et al.<sup>13</sup> en el río Ebro y en otros ríos europeos<sup>19</sup>. Se detectaron además Nor-BE y cocaetileno (metabolitos de la cocaína), presentando valores algo más altos que en otros estudios realizados en zonas cercanas<sup>17</sup>. Habitualmente, en ausencia de alcohol la cocaína se degrada en sus dos principales metabolitos: BE y EME (ecgonina metil ester)<sup>26</sup>. Igualmente, los valores manifestados de cocaína en otros estudios resultan inferiores a los detectados en las muestras analizadas<sup>13</sup>. Este fenómeno

puede ser debido a que solo entre el 1% y el 5% de la cocaína consumida es excretada sin ser transformada en otros metabolitos. Los resultados están influidos por otros factores, como el transporte, la manipulación, la vía de consumo (no se metaboliza igual si la droga es inhalada, inyectada, etcétera) y otras vías de excreción como el sudor<sup>2</sup>. Los datos presentados en este estudio son valores absolutos, por lo que estos factores no han podido ser considerados. Asimismo, la cocaína es poco estable en agua residual, cualquier aumento potencial en el alcantarillado puede producir mayores concentraciones de BE<sup>27</sup>. De todas formas, en el presente estudio las concentraciones encontradas son bajas y la población analizada no es tan grande como en otras publicaciones donde fue detectada esta sustancia.

Los opiáceos, metadona y EDDP, fueron detectados en todas las muestras aunque en concentraciones bajas comparado con las de otras drogas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en los principales estudios españoles<sup>15</sup> y europeos<sup>28</sup>.

El THC-COOH presenta la segunda concentración más alta en influente. La detectada es similar a la encontrada en el río Ebro por Postigo et al.<sup>13</sup> que además detectó THC-COOH y OH-THC. En este estudio no se detectó THC que por el contrario si había sido detectado en otros<sup>13,15</sup>. La ausencia de esta sustancia en las muestras analizadas puede deberse a que solo el 20% del THC consumido es excretado por la orina y se elimina fundamentalmente en forma de sus dos principales metabolitos THC-COOH y OH-THC.

Respecto al grupo de las anfetaminas, solo se detecta efedrina y éxtasis en bajas concentraciones. En otros estudios además se detectaron otros compuestos como anfetaminas<sup>12</sup>, y metanfetaminas<sup>13</sup>.

No es detectado ningún compuesto del grupo de LSD, aunque en otros estudios como el de Postigo et al.<sup>13</sup> sí encontraron Nor-LSD.

Debemos tener en cuenta que los valores obtenidos están influidos por diversos factores. A nivel individual, las drogas no son metabolizadas del mismo modo, influye la edad, el sexo, la masa corporal, la capacidad de la función renal y hepática, la interacción con otras drogas, los antecedentes del consumo de drogas o la variabilidad genética. Así como la vía de administración de las mismas<sup>2,27</sup>.

Recientemente, un estudio europeo ha destacado la variabilidad de resultados interlaboratorio<sup>27</sup>. La estandarización interlaboratorios es fundamental para la correcta comparación de resultados.

Es importante destacar que ninguna EDAR está diseñada para la eliminación específica de drogas de abuso y el rendimiento de la depuración de estas sustancias es debido a su coincidencia molecular con otras sustancias orgánicas similares. La EDAR de Talavera elimina adecuadamente los cocaínicos aunque habría que hacer un estudio para monitorizar estas sustancias de forma continuada. La BE es eliminada por debajo de los límites de detección (99%). Este resultado no coincide con los datos reportados en el estudio de Huerta-Fontela et al.<sup>12</sup> con estimaciones de varias estaciones muestreadas. Sin embargo, en general las estimaciones de eficiencia de la EDAR respecto a los cocaínicos fueron similares a otros estudios europeos<sup>29</sup>.

El rendimiento de la depuradora en la eliminación de algunos opiáceos (metadona y su metabolito) ha sido nulo, lo que demuestra que estas sustancias son más resistentes a los procesos de eliminación. Esta información ya había sido reportada anteriormente en otros estudios tanto en procesos de depuración<sup>30</sup>, como de potabilización, detectándose tras los tratamientos de potabilización del río Llobregat<sup>15</sup>.

Por último, el rendimiento de eliminación de éxtasis fue del 80%, existiendo resultados similares en otros estudios<sup>12</sup>.

Los resultados muestran que en el momento en que se realizó el estudio el cannabis era la droga más consumida, aunque el consumo es menor que el obtenido en otros estudios<sup>18</sup>. Estos datos a su vez coinciden con la información auto-declarada en la encuesta EDADES en el periodo 2011-20127. La muestra de estudio no abarca grandes núcleos de población como en otros análisis y fue una medición puntual. Aún así se mantiene la tendencia y coincide con el resto de los estudios españoles y europeos en situar el cannabis como la droga más consumida entre la población de 15-64 años. España es considerado el país que consume mayor cantidad de cocaína de Europa<sup>6</sup>. Si comparamos con otros estudios comprobamos resultados similares<sup>18</sup>. El consumo de MDMA (éxtasis) es bajo (<0,01 gramos/día) comparado con los resultados obtenidos en otras ciudades europeas como Lugano, Suiza, donde observamos una estimación de consumo mucho mayor (0,10 g/día por cada 1.000 habitantes)<sup>18</sup>. Nuestras estimaciones muestran un reducido consumo de heroína en España, en otros puntos europeos aparece una estimación ligeramente mayor, como ocurre en Londres<sup>18</sup>.

La presente investigación corresponde a un estudio piloto a través del cual se ha tratado de disponer de datos preliminares de una depuradora ubicada en una ciudad con una población relativamente baja. Las muestras se recogieron en los tres puntos el mismo día y la EDAR tiene un periodo de retención de entre 25-26 horas, por lo que la discusión sobre los rendimientos debe considerarse teniendo en cuenta esta limitación. Por lo tanto, no se puede valorar la variabilidad diaria, semanal y estacional.

Igualmente, debemos destacar que la metodología utilizada aplica un procedimiento muy complejo en el que intervienen muchos parámetros. Este estudio ha utilizado datos de la literatura para conocer el comportamiento de

las distintas especies analizadas en el organismo humano, porcentaje que acumula el cuerpo humano, reacciones químicas que tienen lugar, etcétera. En esta metodología algunos factores no se tienen en cuenta por desconocimiento, pero modelos más complejos podrían incluir todos estos parámetros que sí se conocen en muchos casos tras realizar estudios específicos. Por ejemplo, la información sobre el tipo de procesos de transformación física, química y biológica, transporte o degradación de solutos en sistemas de aguas residuales es incompleta incluso para contaminantes convencionales<sup>2</sup>. Estas limitaciones hacen que sea interesante seguir profundizando en la toxicocinética y toxicodinámica de las drogas así como en los efectos ecotoxicológicos, como ya se está haciendo<sup>4,5</sup>.

Recientemente, una investigación europea ha destacado la importancia de seleccionar adecuadamente los factores de corrección para reducir el sesgo en la estimación de consumo. Así, por ejemplo, explica que para la cocaína se calculó un factor de corrección a partir de estudios clínicos, donde la distribución de los usuarios según vía de administración no corresponde con la de los consumidores en la población general, proponiendo valores nuevos para Europa<sup>27</sup>. Por lo tanto, los valores obtenidos pueden compararse con estudios donde se haya aplicado la misma metodología y los mismos factores de corrección, pero debemos tener en cuenta que los resultados no pueden generalizarse a toda la población.

Sin embargo, a pesar de todas estas limitaciones, es uno de los primeros trabajos sobre detección de drogas de abuso realizado en la zona centro de España con agua del río Tajo a su salida de Madrid.

Asimismo, con nuestro estudio se muestra la utilidad de aplicar una metodología epidemiológica que estime el consumo de drogas de adicción en tiempo real, ofreciendo así una información sencilla, rápida y veraz que sirva de complemento a las encuestas reforzando sus resultados. Esta metodología podría ser

una herramienta de evaluación que podría aplicarse para medir la efectividad de las campañas de prevención de drogas en diferentes ciudades, regiones, etc.<sup>31</sup> o para vigilar nuevas tendencias en su consumo, siempre teniendo en cuenta que hay varios factores que influyen en la fiabilidad del método, como conocer el destino metabólico de las drogas (la estabilidad, la degradación, la partición, la sorción, etc.) y los efectos de los parámetros externos (las condiciones climáticas, las características de los sistemas de alcantarillado municipales, etc.)<sup>1</sup>.

En base a los resultados encontrados y los aportados en otros estudios, consideramos recomendable introducir un sistema de vigilancia continuado para detectar la presencia de estas sustancias, principalmente las más refractarias, como metadona o EDDP, e identificarlas como “contaminantes prioritarios” con el fin de impedir su paso al medio natural.

Actualmente no existe ninguna legislación española ni europea que obligue a realizar el análisis y seguimiento de dichas sustancias en aguas residuales reutilizadas para otros usos, aguas superficiales o agua potable<sup>17</sup>, pero son biológicamente activas y no necesitan ser persistentes para causar efectos negativos sobre el medio acuático, ya que su consumo y por tanto su eliminación es constante, pudiendo encontrarse continuamente en el agua. A día de hoy se desconocen los posibles efectos que pueden tener sobre la salud humana, sin embargo estudios recientes muestran que la exposición a estos compuestos causan efectos adversos en los organismos vivos en el agua<sup>4</sup>. Por tanto, las nuevas ETAPs abastecidas de agua directa del río pueden suponer un riesgo futuro mayor por la continua exposición a estas sustancias.

Como conclusión podemos destacar que se detecta la presencia de drogas de abuso y/o sus metabolitos, como BE o metadona, en el agua superficial del río Tajo a su paso por Talavera, evidenciando que algunas de estas sustancias no son totalmente eliminadas por la EDAR de

esa ciudad. El rendimiento de la depuradora fue ineficaz para metadona, y su metabolito (EDDP), mientras que para el resto de las sustancias se puede evaluar como adecuado o satisfactorio. El consumo de drogas estimado a partir de las concentraciones de influente indica que la población entre 15-64 años de Talavera consume principalmente cannabis, seguido de cocaína, mientras que el consumo de heroína es bajo.

### AGRADECIMIENTOS

A la empresa Aqualia, Gestión Integral del Agua, entidad que gestiona la EDAR de Talavera de la Reina, por su colaboración para la obtención de muestras. Y a D<sup>a</sup> Raquel Feito y D Juan Antonio Ibáñez por su colaboración en la recogida. Asimismo, queremos agradecer al equipo del Dr. Barceló del Departamento de Química Ambiental de IDAEA-CSIC su ayuda con el análisis de las drogas.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Kasprzyk-Hordern B, Dinsdale RM, Guwy AJ. Illicit drugs and pharmaceuticals in the environment--forensic applications of environmental data. Part 1: Estimation of the usage of drugs in local communities. *Environ Pollut*. 2009;157(6):1773-7.
2. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA). Assessing Illicit drugs in wastewater. Potential and limitations of a new monitoring approach. Insight 9. Luxembourg: Office for official Publications of the European Communities; 2008.
3. Daughton CG. Illicit drugs: contaminants in the environment and utility in forensic epidemiology. *Environ Contam Toxicol*. 2011;210:59-110.
4. Binelli A, Pedriali A, Riva C, Parolini M. Illicit drugs as new environmental pollutants: Cyto-genotoxic effects of cocaine on the biological model *Dreissena polymorpha*. *Chemosphere*. 2012 Mar;86(9):906-11.
5. Gagné F, André C, Gélinas M. Neurochemical effects of benzodiazepine and morphine on freshwater mussels. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*. 2010;152(2):207-14.
6. European monitoring centre for drugs and drug addiction (EMCDDA). El problema de la drogodependencia en Europa, Informe Anual 2012. Lisboa: EMCDDA; 2013. Disponible en <http://www.emcdda.europa.eu/>
7. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Encuesta sobre alcohol y drogas en población general España edades 2011-2012. Disponible en <http://www.msssi.gob.es/gabinete/notasPrensa.do?id=2711>
8. United Nations Office of Drug and Crime (UNODC) 2011. [Citado el 20 de Julio de 2013]. Disponible en: <http://www.unodc.org/unodc/>
9. Postigo C, Lopez de Alda MJ, Barceló D. Analysis of drugs of abuse and their human metabolites in water by LC-MS2: A non-intrusive tool for drug abuse estimation at the community level. *TrAC Trends Analyt Chem*. 2008;27(11):1053-69.
10. Jurado A, Mastroianni N, Vázquez-Suñé E, Carrera J, Tubau I, Pujades E, et al. Drugs of abuse in urban groundwater. A case study: Barcelona. *Sci Total Environ*. 2012 May 1;424(0):280-8
11. Vazquez-Roig P, Andreu V, Onghena M, Blasco C, Pico Y. Assessment of the occurrence and distribution of pharmaceuticals in a Mediterranean wetland (L'Albufera, Valencia, Spain) by LC-MS/MS. *Anal Bional Chem*. 2011;400(5):1287-301.
12. Huerta-Fontela M, Galceran MT, Martin-Alonso J, Ventura F. Occurrence of psychoactive stimulatory drugs in wastewaters in north-eastern Spain. *Sci Total Environ*. 2008;397(1-3):31-40.
13. Postigo C, Lopez de Alda MJ, Barceló D. Drugs of abuse and their metabolites in the Ebro River basin: occurrence in sewage and surface water, sewage treatment plants removal efficiency, and collective drug usage estimation. *Environ Int*. 2010;36(1):75-84.
14. Huerta-Fontela M, Galceran MT, Ventura F. Stimulatory drugs of abuse in surface waters and their removal in a conventional drinking water treatment plant. *Environ Sci Technol*. 2008;42(18):6809-16.
15. Boleda MA, Galceran MA, Ventura F. Monitoring of opiates, cannabinoids and their metabolites in wastewater, surface water and finished water in Catalonia, Spain. *Water Res*. 2009;43(4):1126-36.
16. López-Serna R, Postigo C, Blanco J, Pérez S, Ginebreda A, de Alda ML et al. Assessing the effects of tertiary treated wastewater reuse on the presence emerging contaminants in a Mediterranean river (Llobregat, NE Spain). *Environ Sci Pollut Res Int*. 2012;19(4):1000-12.

17. Valcárcel Y, Martínez F, González-Alonso S, Segura Y, Catalá M, Molina R, et al. Drugs of abuse in surface and tap waters of the Tagus River basin: Heterogeneous photo-Fenton process is effective in their degradation. *Environ Int.* 2012;41(0):35-43.
18. Van Nuijs AL, Castiglioni S, Tarcomnicu I, Postigo C, de Alda ML, Neels H, et al. Illicit drug consumption estimations derived from wastewater analysis: A critical review. *Sci Total Environ.* 2011;409(19):3564-77.
19. Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, Calamari D, Bagnati R, Schiarea S, et al. Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse. *Environ Health.* 2005;4:14.
20. Fernandez C, Gonzalez-Doncel M, Pro J, Carbonell G, Tarazona JV. Occurrence of pharmaceutically active compounds in surface waters of the Henares-Jarama-Tajo River system (Madrid, Spain) and a potential risk characterization. *Sci Total Environ.* 2010;408(3):543-51.
21. Instituto Nacional de Estadística (datos 2010). Disponible en [http://www.ine.es/inebmenu/mnu\\_salud.htm](http://www.ine.es/inebmenu/mnu_salud.htm)
22. Postigo C, de Alda MJ, Barcelo D. Fully automated determination in the low nanogram per liter level of different classes of drugs of abuse in sewage water by on-line solid-phase extraction-liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry. *Anal Chem.* 2008;80(9):3123-34.
23. Stackelberg PE, Gibs J, Furlong ET, Meyer MT, Zaugg SD, Lippincott RL. Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. *Sci Total Environ.* 2007;377(2-3):255-72.
24. Daughton CG. *Illicit Drugs in Municipal Sewage. Pharmaceuticals and Care Products in the Environment.* Washington, DC: American Chemical Society; 2001. p. 348-64.
25. Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, Bagnati R, Fanelli R. Estimating community drug abuse by wastewater analysis. *Environ Health Perspect.* 2008;116(8):1027-32.
26. Vazquez-Roig P, Andreu V, Onghena M, Blasco C, Pico Y. Assessment of the occurrence and distribution of pharmaceuticals in a Mediterranean wetland (L'Albufera, Valencia, Spain) by LC-MS/MS. *Anal Bional Chem.* 2011;400(5):1287-301.
27. Castiglioni S, Bijlsma L, Covaci A, Emke E, Hernández F, Reid M, Ort C, Thomas KV, van Nuijs AL, de Voogt P, Zuccato E. Evaluation of uncertainties associated with the determination of community drug use through the measurement of sewage drug biomarkers. *Environ Sci Technol.* 2013;47(3):1452-60.
28. Zuccato E, Castiglioni S, Bagnati R, Chiabrando C, Grassi P, Fanelli R. Illicit drugs, a novel group of environmental contaminants. *Water Res.* 2008;42(4-5):961-8.
29. Van Nuijs AL, Pecceu B, Theunis L, Dubois N, Charlier C, Jorens PG, et al. Spatial and temporal variations in the occurrence of cocaine and benzoylecgonine in waste and surface water from Belgium and removal during wastewater treatment. *Water Res.* 2009;43(5):1341-9.
30. Zuccato E, Castiglioni S. Illicit drugs in the environment. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci.* 2009;367(1904):3965-78.
31. Van Nuijs AL, Pecceu B, Theunis L, Dubois N, Charlier C, Jorens PG, et al. Cocaine and metabolites in waste and surface water across Belgium. *Environ Pollut.* 2009;157(1):123-9.