



## Tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante proceso combinado de ultrafiltración y ósmosis inversa

### RESUMEN:

Los lixiviados de RSU se generan como fruto de la descomposición de la materia orgánica y el percolado de agua de lluvia a través de los residuos. Caracterizados por una altísima carga orgánica, elevado contenido en amonio y alta conductividad, el lixiviado de RSU supone una amenaza para el medio ambiente.

J. García Castillo<sup>1</sup>

C. Ferrer<sup>1</sup>

F. Moliner<sup>2</sup>

J. Donato<sup>2</sup>

F. Albarrán<sup>3</sup>

<sup>1</sup> FACSA

<sup>2</sup> SITRA

<sup>3</sup> RECIPLASA

En la planta de Reciclado y Compostaje de Onda se recoge, almacena y trata el lixiviado. Para ello se dispone de un sistema de drenajes que capta el lixiviado de toda la instalación almacenándolo en una balsa para su posterior tratamiento.

El tratamiento del lixiviado se basa en la combinación de varios procesos. Tras el tratamiento fisicoquímico del lixiviado se procede al filtrado del mismo mediante un sistema de filtros de cartucho previo a





una ultrafiltración (UF). El efluente de la ultrafiltración es por último sometido a un proceso de ósmosis inversa (OI) en dos etapas.

Los rendimientos obtenidos mediante este sistema son muy elevados (99 %) para parámetros como la DQO, amonio y conductividad, hecho que ha permitido la obtención por parte de la Planta de Reciclaje y Compostaje de la pertinente autorización de vertido a cauce concedida por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

**Palabras clave:** RSU, tratamiento lixiviados, osmosis inversa, ultrafiltración,

## 1. INTRODUCCION

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) plantea un problema medioambiental importante. Asociados a los vertederos de RSU apare-

cen los lixiviados por degradación de la materia orgánica presente.

Los lixiviados son líquidos oscuros que se producen al percolar el agua, generalmente de lluvia, a través de cualquier material permeable. Durante este proceso se arrastran partículas y se disuelven sustancias que están contenidas en los residuos. La composición de los mismos varía mucho de acuerdo con el tipo de residuos, las precipitaciones en el área, las velocidades de descomposición química, edad del vertedero y otras condiciones del lugar, pero todos coinciden en poseer una alta carga orgánica.

Son de naturaleza anóxica y ácida, son ricos en ácidos orgánicos, y suelen contener altas concentraciones de iones metálicos comunes. Su olor es bien característico, muy penetrante. Su peligrosidad se debe a las altas concentraciones de

contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal, así como a sustancias tóxicas que pueden estar presentes. Si no se controlan adecuadamente, pueden contaminar los suelos y las aguas superficiales y subterráneas.

El adecuado tratamiento de estos líquidos tóxicos debe ser parte fundamental de la gestión de los vertederos de RSU. La tecnología empleada para el tratamiento estará condicionada en cada caso por aspectos técnico-económicos.

Actualmente se opta por el tratamiento *in situ* de los lixiviados, económicamente más viable y con buenos resultados. La tecnología de tratamiento comúnmente empleada se basa en procesos biológicos y en procesos físico-químicos, que incluyen también procesos de membranas (ósmosis inversa). Si bien estos últimos resultan más caros, las instalaciones son más compactas.



**Tabla 1. Caracterización del Lixiviado**

Parámetro	Valor
pH	6,6 - 8,3
DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	50.400
DBO <sup>5</sup> (mg O <sub>2</sub> /l)	30.000
Conductividad (μS/cm)	30.500
Nitratos (mg/l)	200
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	1.824
Nitrógeno total (NTK+NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )	2.250
Sólidos en suspensión (mg/l)	2.820
Ecotoxicidad (U.T.)	175
Fluoruros (mg/l)	71,2
Fósforo total (mg/l)	65
Boro total (mg/l)	5
Cobre total (mg/l)	0,100
Cromo total (mg/l)	0,216
Cromo VI (mg/l)	0,051
Mercurio total (mg/l)	0,579
Cianuros totales (mg/l)	0,603
Cianuro libres (mg/l)	0,507
Plomo total (mg/l)	0,664
Níquel total (mg/l)	2,2
Zinc total (mg/l)	248
Cloruros (mg/l)	6.025
Carbonatos (mg/l)	100
Bicarbonatos (mg/l)	4.000
Sulfitos (mg/l)	88,45
Sulfuros totales (mg/l)	8,4
Sulfatos (mg/l)	100
Calcio (mg/l)	665

**Tabla 2. Límites autorización vertido a cauce**

Parámetros Físico-Químicos	Valor	Unidades
pH	5,5 - 9,5	
Sólidos en suspensión	60	mg/l
Materias sedimentables	0,5	mg/l
Sólidos gruesos	Ausentes	
D.B.O. <sub>5</sub>	25	mg/l O <sub>2</sub>
DQO	125	mg/l O <sub>2</sub>
Temperatura	<25°	°C
Color	Incoloro	
Boro	1	mg/l B
Cloruros	250	mg/l Cl
Sulfatos	250	mg/l SO <sub>4</sub>
Amonio (*)	2	mg/l NH <sub>4</sub>
Nitrógeno Nítrico	11	mg/l
Aceites y grasas	10	mg/l
Detergentes	2	mg/l (laurilsulfato)
Aluminio	0,5	mg/l
Arsénico	NO	mg/l
Bario	10	mg/l
Boro	1	mg/l
Cromo VI	0,005	mg/l
Cromo Total	0,05	mg/l
Hierro	NO	mg/l
Manganeso	NO	mg/l
Níquel	2	mg/l
Plomo	NO	mg/l
Selenio	NO	mg/l
Estaño	5	mg/l
Cobre	0,04	mg/l
Cinc	1	mg/l
Cianuros	0,04	mg/l
Sulfuros	NO	mg/l
Sulfitos	NO	mg/l
Fluoruros	1,7	mg/l
Fósforo total	0,4	mg/l



## 2. OBJETO

La planta de Reciclaje y Compostaje de Residuos Sólidos Urbanos de Onda, gestionada por Reciplasa, (Reciclado de residuos la Plana, S.A.), Sociedad participada por los Ayuntamientos de la Plana, trata las basuras de varios municipios de la provincia de Castellón.

La generación de lixiviados es una variable muy estacional, dependiente de las lluvias caídas cada mes y del volumen de residuo urbano depositado en la instalación. El lixiviado generado en el vertedero posee una carga contaminante tal, que imposibilita su vertido directo a cauce. Así pues, el lixiviado es recogido en la balsa que para este fin dispone la citada instalación, requiriendo ser depurado antes de su vertido.

La tabla 1 recoge los valores medios de los parámetros químicos que caracterizan el lixiviado.

La solución novedosa implementada por SITRA, S.L. consiste en la investigación y desarrollo de un proceso fruto de la combinación, adecuación y optimización de procesos existentes. El efecto sinérgico de dicha combinación ha permitido obtener unos rendimientos depurativos óptimos con una altísima robustez que han permitido, incluso, la obtención del pertinente permiso de vertido a Cauce otorgado por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). La excelente calidad fisicoquímica y organoléptica del vertido final, así como la elevadísima robustez del proceso diferencian al mismo del resto de aplicaciones para el tratamiento de lixiviados.

La tabla 2 muestra los límites de vertido autorizados por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

## ¿Hay una idea que impulsa la naturaleza?

Son muchas las ideas que mueven el mundo, pero sólo unas pocas permiten un futuro sostenible. En GRUPOTEC INGENIERÍA la tecnología y el medioambiente tienen caminos paralelos. Desarrollamos ideas para la industria medioambiental. Desde hace años estamos presentes en la concepción, el diseño y la ejecución de proyectos de ingeniería ambiental

### Ámbitos de actuación:

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS	BIOCOMBUSTIBLES
VERTEDEROS CONTROLADOS	ENERGÍAS RENOVABLES
PLANTAS INDUSTRIALES	DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

1. Adecuación vertedero controlado de Gardelegi (Vitoria / Gasteiz)
2. Planta biodiesel 100.000 t/a en Algemesi (Valencia)
3. Ampliación depuradora de lixiviados del vertedero de Garraf (Barcelona)



**GRUPOTEC**  
INGENIERÍA, SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y CONSULTORÍA

Av. de los Naranjos, 33 | 46011 Valencia  
Tel. 963 391 890 | Fax. 963 932 607  
www.grupotec.es  
attclientes@grupotec.es



### 3. DESCRIPCION DE LA INSTALACION.

Los lixiviados del vertedero son recogidos en una balsa construida para tal fin y de ahí impulsados a la planta de tratamiento de los mismos.

La planta objeto del presente estudio está basada en la combinación de varios procesos. Tras el tratamiento físico-químico del lixiviado se procede al filtrado del mismo mediante un sistema de filtros de cartucho previo a una ultrafiltración (UF). El efluente de la ultrafiltración es por último sometido a un proceso de ósmosis inversa (OI) en dos etapas.

La planta de depuración, con un volumen de rechazo muy bajo (menor del 30%), tiene una capacidad de tratamiento de 60 m<sup>3</sup>/día. Los distintos procesos que configuran la instalación se describen a continuación. En la figura 1 se ilustra el diagrama de flujo de la instalación.



#### 3.1. BOMBEO DE ELEVACION.

El lixiviado a tratar será objeto de un bombeo desde la balsa de mayor capacidad de lixiviado de la instalación hasta el tanque de alimentación a la etapa de pretratamiento físico químico. Se trata de una bomba sumergible especial para soportar las condiciones extremas en el interior de la balsa de lixiviados, con impulsor Vórtex. La bomba se encuentra en el interior de una caja de ardilla con un sistema de flotación que mantiene a la bomba sumergida por encima de los sedimentos de la balsa y protegida de sólidos flotantes.

#### 3.2. PRETRATAMIENTO FISICO-QUIMICO: CAMARA DE MEZCLADO Y DECANTACION.

Las aguas llegan a la cámara de reacción donde se añaden los reac-



tivos, coagulantes y floculantes. Una vez ha tenido lugar el mezclado de las aguas con los reactivos, el lixiviado pasa al decantador estático, de forma cilíndrica con fondo inferior cónico en 60°, con 4 metros de diámetro total y una capacidad de 27 m³, equipado con campana deflectora interior, canal interior, escalera con quitamiedos, pasarela, y bridas de salida de lodo y canal.

El agua pasa al decantador donde por gravedad se va depositando en la parte inferior del decantador, aquellas partículas de mayor densidad que el agua en forma de flóculos, formando el fango que posteriormente se evacuará.

### 3.3. ETAPA DE FILTRACION: FILTROS DE SEGURIDAD.

El agua de salida del decantador es bombeada hacia los filtros de seguridad. Se trata de dos (2) baterías de cuatro (4) portafiltros cada una de ellas, que alojan en su inte-

rior filtros de cartucho de tipo big realizados en polipropileno de 20 pulgadas de longitud con un grado de filtración de 25 micras. Estos cartuchos tienen una baja pérdida de carga y una muy alta resistencia a la perforación o aplastamiento debido a la presión diferencial, con un óptimo grado de retención. Debido a su capacidad de retención, actúan como filtros de seguridad para proteger a las membranas tanto de ultrafiltración como de ósmosis inversa.

### 3.4. ETAPA DE ULTRAFILTRACION.

El agua a tratar una vez pasa la etapa de filtros llega hasta la planta de ultrafiltración. Se trata de una instalación formada por dos (2) líneas de tratamiento independientes, cada una de ellas constituida por tres (3) membranas de ultrafiltración de fibra hueca encapsuladas, modelo HydraCap-60 de Hydranautics.

La planta presenta una capacidad máxima de hasta 8 m³/h, pudiendo trabajar a flujo cruzado o a final ciego, con una conversión media final del 85-90%, recirculando los sobrantes a cabecera del proceso.

Las membranas son capaces de filtrar un flux típico de permeado de unos 30 l/mh, consiguiendo valores de turbidez inferiores a 0,1 NTU, siendo especialmente indicadas para el tratamiento de lixiviados actuando como pretratamiento a la ósmosis inversa.

Para un mejor rendimiento de las membranas es conveniente que nunca se llegue a presiones diferenciales elevadas, pues las membranas sufren en exceso. Para ello es conveniente realizar limpiezas químicas, tanto ácidas para eliminar en la superficie de la membrana materia inorgánica (sales) como básicas para eliminar materia orgánica, también deben efectuarse limpiezas con desinfectantes para completar la oxidación de toda

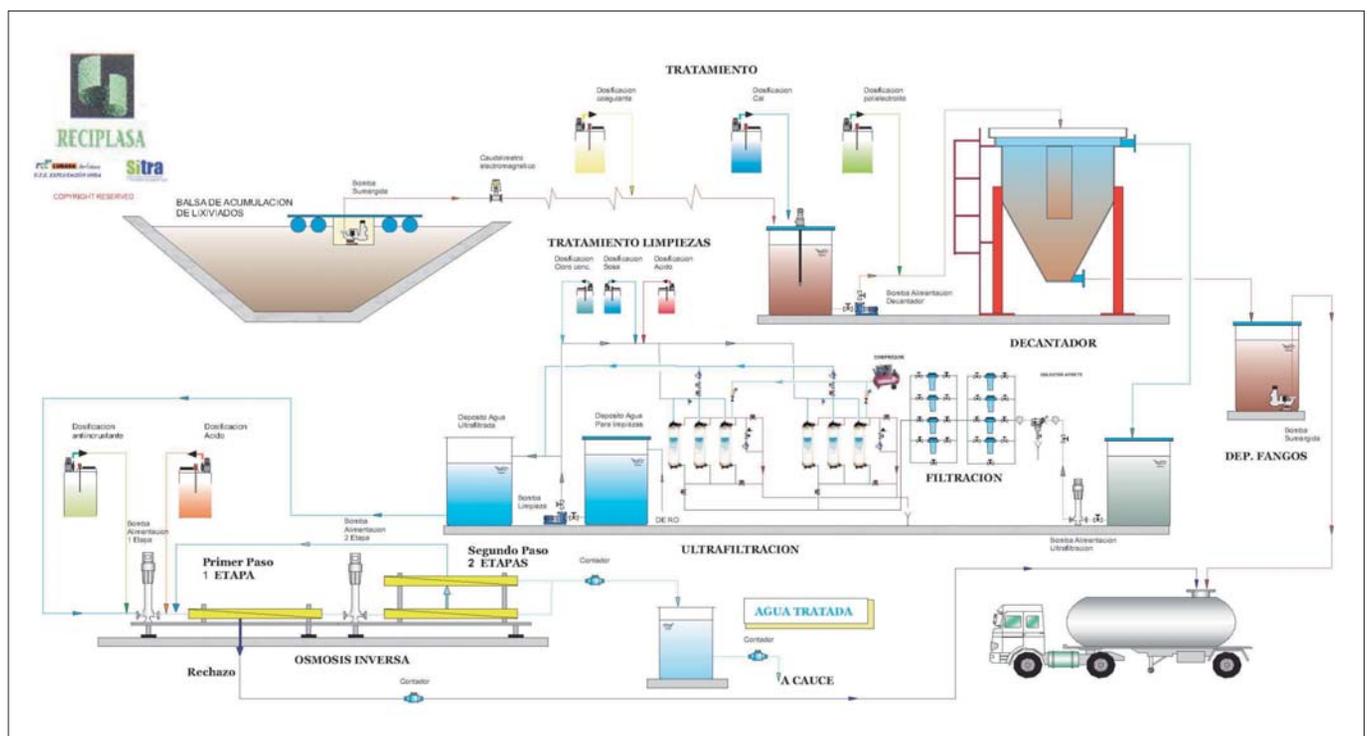


Figura 1. Diagrama del proceso

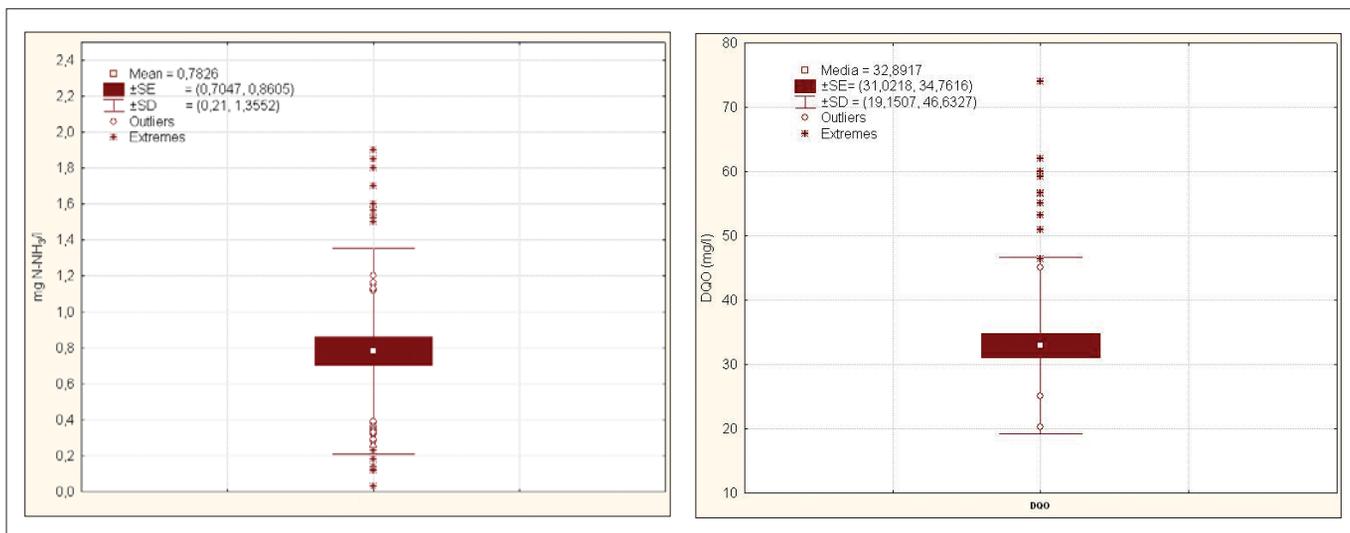


Figura 2: Diagramas de cajas para la DQO y el nitrógeno amoniacal del efluente de la planta de tratamiento de lixiviados.

aquella materia que no se haya podido eliminar anteriormente.

### 3.5. ETAPA DE OSMOSIS INVERSA.

Tras el tratamiento del agua de lixiviado en la ultrafiltración previa, el agua es bombeada hasta la planta de ósmosis.

La elevada concentración de ciertos parámetros como la DQO, la salinidad (cloruros-conductividad), nitrógeno y fósforo impide alcanzar el límite de vertido a cauce mediante la tecnología de ósmosis de un sólo paso, por lo que se hace necesario incluir una segunda etapa de ósmosis inversa, especialmente para eliminar el amonio del agua.

Debido a la alta complejidad de depuración, el agua de lixiviado presenta un valor de LSI muy elevado por la gran proporción de bicarbonatos en el agua (tabla 1), con lo que se hace necesaria la dosificación a la entrada del proceso de ósmosis inversa de ácido y reactivo antiincrustante para incrementar la vida útil de las membranas, disminuyendo el valor del LSI. Con ello, se consigue llegar a los valores deseados de conversión, pues

se reduce considerablemente el porcentaje de precipitación de sales como el carbonato cálcico, sulfato cálcico, sulfato de bario y estroncio, inhibiendo los depósitos de hierro, aluminio y sílice.

El primer paso de la OI consiste en una etapa en donde se obtiene una conversión media del 70-75%, por lo que se precisa recircular parte de rechazo. El caudal de agua de alimentación al sistema es de 4.4 m³/h, para un caudal de permeado de entre 3,1 y 3,3 m³/h, mientras

que el caudal de agua de alimentación a membranas es de 6,9 m³/h ya que se recircula un caudal de 2,5 m³/h de rechazo. La presión recomendada para la bomba es de 40 bar. Las membranas, un total de seis (6), son de agua de mar para un mayor rechazo de sales (del orden del 99,6%), modelo SWC3 de Hydranautics.

El segundo paso está compuesto por dos etapas. El caudal de entrada es el permeado del primer paso, es decir, de 3,1-3,3 m³/h,

Concentración	afluente	U.F.	P RO-1	P RO-2
Conductividad (µS/cm)	13.500	8.000	1.905	178,61
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	516	256	58	0,78
DQO (mg/l)	5497	1.054	86	32,89

Rendientos (%)	U.F.	P RO - 1	P RO - 2
Conductividad (µS/cm)	41%	76%	91%
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	50%	77%	99%
DQO (mg/l)	81%	92%	62%

Tabla 3: Calidad del efluente y rendimiento relativo al proceso previo. U.F. (ultrafiltración), P RO-1 (primer paso ósmosis inversa), P RO-2 (Segundo paso ósmosis inversa).



obteniéndose una conversión media del 90 % (producto final 2,8-3,0 m<sup>3</sup>/h). El rechazo se recircula a cabecera de ósmosis inversa. La presión recomendada para la bomba es de 15 bar. Las membranas, un total de doce (12), son de agua salobre, modelo CPA2-4040 de Hydranautics, en una configuración 2:1, con cuatro (4) membranas por tubo de presión.

Todas las salidas de rechazo y permeado cuentan con la instalación de contadores para visualizar el caudal instantáneo presentando a su vez función totalizadora. Con ello, se consigue tener un seguimiento continuo a la instalación.

La planta dispone de un sistema de limpieza común (CIP – flushing) para el lavado de las membranas de ósmosis, que permita su funcionamiento automático o manual según interese.

Dada la disminución del pH a la salida del proceso de ósmosis inversa, se instala una dosificación de reactivo químico básico que permita elevar el pH del permeado hasta valores de pH que se ajusten al rango óptimo.

### 3.6. EVACUACION DEL PERMEADO.

El permeado es almacenado en un depósito de PP de 5000 litros

antes de abandonar la planta de tratamiento. Esto es una medida de seguridad para verificar las óptimas características del agua tratada. En caso de no ser así, se evitaría su vertido a cauce directo, ya que se recircularía a cabecera de planta.

La Figura 1 muestra un diagrama del proceso de tratamiento con todos los equipos que intervienen en el mismo.

### 4. ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACION

La instalación de depuración de la planta de Reciclaje y Compostaje



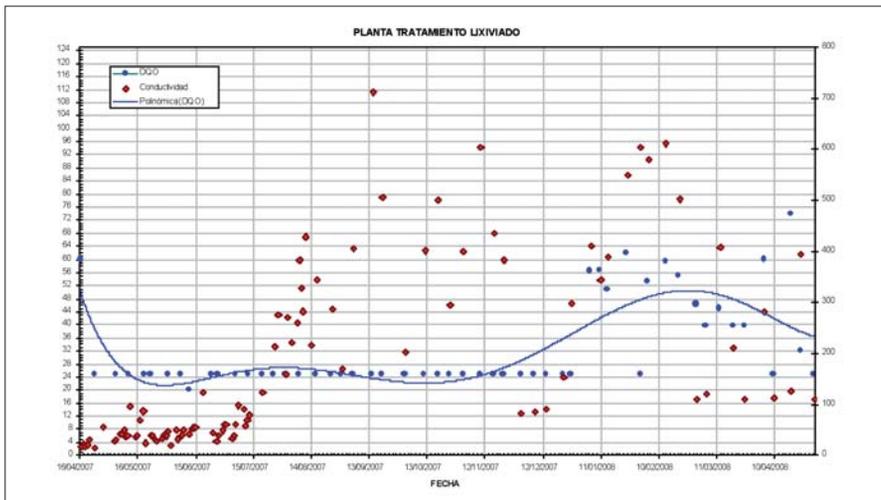


Figura 3: Concentración en el efluente de DQO y Conductividad

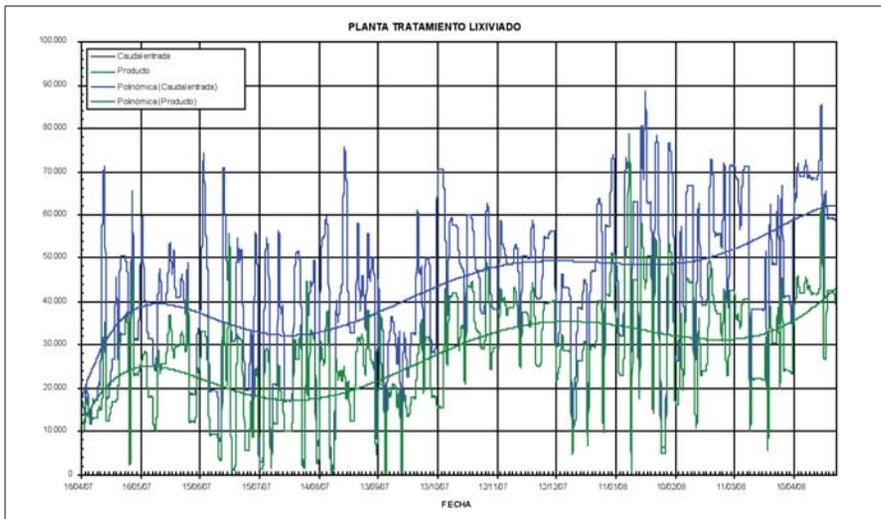


Figura 4 : Caudal afluente a instalación vs. caudal vertido a dominio público hidráulico

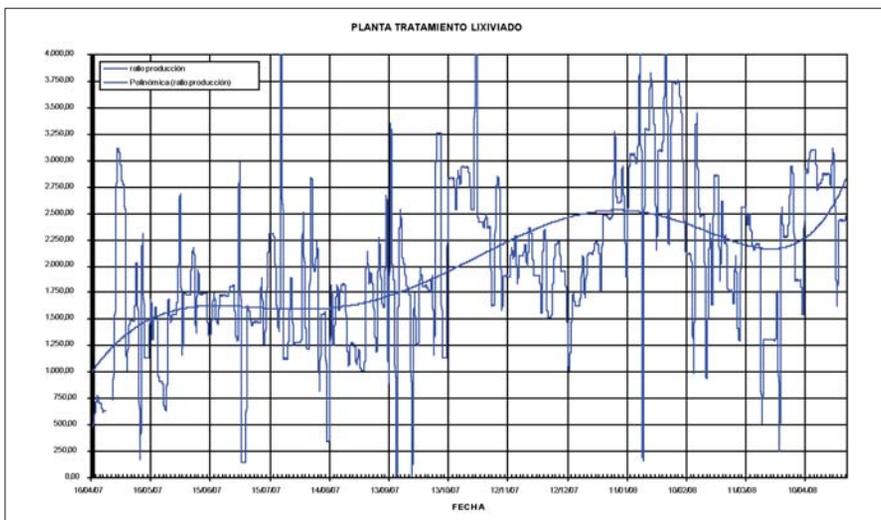


Figura 5 : Rendimiento de la instalación (caudal vertido por hora de funcionamiento)

de RSU de Onda desarrollada por SITRA, S.L. fue puesta en servicio el 19 de febrero de 2007. La vocación innovadora de SITRA, S.L. y su filosofía de trabajo basada en la mejora continua han marcado la evolución de la instalación en constante optimización.

Toda la analítica de control de la instalación se efectúa en Iproma, S.L., laboratorio acreditado por ENAC.

El lixiviado del vertedero sin diluir (en periodos exentos de precipitaciones) presenta valores de DQO medios de 45.600 mg/l y una conductividad de 26.565  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La concentración de nitrógeno amoniacal alcanza valores de 1.900 mg/l. Estos lixiviados se acumulan en una balsa desde donde son bombeados a la instalación de tratamiento. En dicha balsa los lixiviados se diluyen al mezclarse con agua de lluvia y lixiviados más diluidos recogidos durante la percolación del agua de precipitación a través de los RSU.

El afluente a la instalación de depuración se caracteriza por unos valores de DQO medios de 5.497 mg/l, una conductividad de 13.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y una concentración de nitrógeno amoniacal de 516 mg/l.

El efluente de la instalación, presenta unos valores medios de DQO de 32,89 mg/l, su conductividad, como término medio se sitúa en 178,61  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la concentración de nitrógeno amoniacal en 0,78 mg/l.

En la figura 2 presentamos los diagramas de caja en el que se puede apreciar la agrupación de datos en torno a la media, tanto con respecto a la DQO como conductividad del efluente. Este hecho que pone de manifiesto la robustez del sistema fruto de la combinación y optimización de procesos. En ningún caso se exceden los límites de



vertido definidos en la autorización (125 mg/l para la DQO y 2 mg/l para el Nitrógeno amoniacal) manteniéndose la media muy por debajo de estos valores.

Así pues, los rendimientos medios de eliminación de la planta de tratamiento de lixiviados se sitúan en torno al 98,67 % para la conductividad, 99,40% en cuanto a eliminación de DQO y 99,85 % para el nitrógeno amoniacal, rendimientos no solo elevados sino que a su vez, sostenidos en el tiempo.

Atendiendo a los rendimientos medios obtenidos por procesos, en la tabla 3 podemos ver la calidad del efluente de cada uno de ellos así como el rendimiento de eliminación de carga con respecto al efluente del proceso previo.

Cada proceso reduce la carga del agua de aporte al siguiente proceso "protegiéndolo", en cierta medida, e incrementando con ello la capacidad del siguiente así como su vida útil. El resultado final, un efecto sinérgico con respecto al rendimiento individual de cada una de las etapas así como un incremento de la vida útil de cada una de los elementos que componen el sistema.

Tal y como se observa en la figura 3 los valores de DQO en el efluente, a lo largo de todo un año, en ningún momento ha superado los 125 mg/l, máximo permitido por la autorización de vertido.

La combinación de tecnologías ha sido un proceso dinámico y planificado de mejora continua de la instalación. Actualmente se sigue mejorando la misma, optimizando día a día la capacidad de tratamiento y el coste de mantenimiento de esta.

Muestra de ello es la constante mejora de la capacidad de tratamiento así como de la calidad del agua. Tomando los datos del último año podemos observar en la figura



4 como el caudal de tratamiento se ha ido incrementando paulatinamente conforme se han introducido mejoras y se ha optimizado el mantenimiento de la instalación, especialmente en lo concerniente a los ciclos de limpieza y reactivos empleados en las mismas.

Lo mismo sucede con respecto al rendimiento de la instalación. En la figura 5 vemos como el incremento de caudal tratado y producido no es fruto de un aumento en el número de horas de trabajo de la instalación sino del incremento del rendimiento de la misma.

## 5. CONCLUSIONES

La combinación de procesos propuesta, desarrollada e implementada por SITRA, S.L. para el tratamiento de lixiviados de la Planta de Reciclaje y Compostaje de Onda presenta una elevada eficacia y robustez.

La adecuación de la calidad del agua a tratar para cada proceso y la configuración en línea de los mismos ha permitido potenciar el efecto sinérgico de los mismos. Los elevados rendimientos del sistema han permitido garantizar el vertido

a cauce del lixiviado tratado de forma continua durante todo el periodo de funcionamiento de la misma.

El tratamiento de los lixiviados de RSU de forma eficiente y robusta supone una importante mejora medioambiental en la gestión de Residuos Sólidos Urbanos. La eficiente eliminación de la elevada carga contaminante fruto de la innovadora aplicación y combinación de procesos para el tratamiento de lixiviados, no solo permite el vertido de 60 m<sup>3</sup>/día de agua depurada a dominio público hidráulico con totales garantías de calidad sino que abre una puerta hacia la regeneración y reutilización de estas masas de agua en origen.

## 6. BIBLIOGRAFIA

J.L. Martínez Muro, J.J. García García, V. Benito Landete, A. Ferrándiz Ruiz, M. Rubio Visires, D. Zarzo Martínez (2001) Estudio del tratamiento de lixiviados de RSU mediante ósmosis inversa.

Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 29 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.

M. Fariñas Iglesias (1999). Osmosis Inversa, tecnología y aplicaciones,

AWWA Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, WRC of South Africa (1998). Tratamiento del agua por procesos de membrana.

Degremont (1991) Water Treatment Handbook.