

## POSIBILIDADES DE VALORIZACIÓN DE DIFERENTES LODOS DE DEPURADORAS

F.J. Colomer, M. Carlos, A. Gallardo, M.D. Bovea, L. Herrera

*INGRES (Ingeniería de Residuos)*

*Universitat Jaume I*

### Abstract

The actual legislation in terms of waste water treatment plants digested sludge recommends its application as fertilizer. But, the presence of heavy metals may limit this application. This limitation is even more important in the case of industrial waste water treatment plants.

Another of the possible solutions is its stabilization and composting by mixing the sludge with other materials which have an elevated content in carbon until reaching a C/N acceptable ratio. Nevertheless, with this kind of mixing the heavy metals problem is not avoided.

The third possibility to eliminate the heavy metals is the energetic valorisation of the sludge. To make it possible, the sludge must be dry and must be assimilated as a solid waste derived fuel if its calorific power is more competitive than other fuels.

In this work, the energetic balance of digested sludge coming from 7 different waste water treatment plants of several productive sectors has been analysed. So, first of all, it has been necessary to know the sludge humidity to be able to calculate the energy used in the sludge drying process. Next, with an isoperibolic calorimeter the sludge calorific power is calculated and it is compared with another fuels. Finally the samples are calcinated and the content of ashes of every kind of sludge is determined.

With all the data exposed, on the one hand it is determined the elemental analysis to determine the content of essential nutrients to the soil (C, H, O, N and S) and on the other hand the content of heavy metals to accept or not the sludge as a fertilizer and/or to identify and analyze the pollutant power of its combustion gases.

**Keywords:** *sludge, valorisation, RDF (Refuse Derived Fuel)*

### Resumen

La legislación vigente en materia de lodos digeridos de depuradoras recomienda su aplicación como fertilizante. El contenido en metales pesados puede limitar esta aplicación la cual es todavía más acuciante en el caso de depuradoras de efluentes industriales.

Otra solución es su estabilización y compostaje mezclándolos con materiales con elevado contenido en carbono hasta llegar a una relación C/N aceptable. Sin embargo, no se evita el problema de los metales pesados.

La tercera vía es la valorización energética: secar el lodo y asimilarlo a un combustible derivado de residuos, siempre que su poder calorífico sea atractivo frente a otros combustibles.

En este trabajo se analiza el balance energético de lodos digeridos procedentes de 7 depuradoras de diferentes sectores. Para ello, es necesario determinar la humedad. A continuación, mediante un calorímetro isoperibólico, se calcula el poder calorífico de la

muestra y se compara con otros combustibles. Por último, se calcinan las muestras y se determina el contenido en cenizas de cada lodo.

También se muestran por una parte, el análisis elemental de nutrientes esenciales (C, H, O, N y S) y por otra parte, el contenido en metales pesados para aceptar o no su aplicación como fertilizante y/o establecer el poder contaminante de los humos de combustión.

**Palabras clave:** lodos, valorización, CDR (*Combustible Derivado de Residuos*)

## 1. Introducción

La gestión de lodos de las depuradoras de aguas residuales, código CER 190805, tiene la peculiaridad de que ciertos usos y posibilidades de reciclaje están regulados por normas específicas, con el objeto de limitar el posible efecto nocivo sobre factores ambientales como agua, suelo, vegetación, animales y ser humano. Algunas de estas normas son de carácter agronómico, como es el caso de los lodos utilizados como enmienda orgánica en suelos (Real Decreto 1310/1990; Real Decreto 824/2005).

Por otra parte, se ha observado un incremento continuado en la generación de lodos de depuradoras debido al importante aumento de caudal de la depuración de aguas residuales, de forma que mientras que en el año 1998 se generaban en España alrededor de 800.000 toneladas de lodos (PNLD, 2001) en el año 2005 esta cantidad se había incrementado en un 39% (PNIR, 2008).

Sin embargo, aunque la opción favorable desde el punto de vista económico y ambiental de los lodos es la utilización como enmienda agrícola (preferiblemente compostado y estabilizado), es necesario considerar que estos materiales tienen riesgos de contaminación del medio ambiente, especialmente suelos, por lo que las dosis de aplicación deben fijarse en función de las características agronómicas y edafológicas del suelo, de la presencia de patógenos, de las semillas que contienen y de las exigencias nutricionales de los cultivos (PNIR, 2008; Ingelmo et al., 2008). Pero, además de estabilizar el producto, es necesario conocer previamente el contenido y las formas químicas de los metales pesados que contiene, es decir, su biodisponibilidad, ya que estos elementos además de no ser biodegradables pueden ser tóxicos a muy bajas concentraciones (MAPA, 1990; Ministerio de Presidencia, 2005) y tienden a acumularse a lo largo de la cadena alimentaria humana (Dudka y Miller, 1999; Amir et al., 2005) lo que hace que lodos con estas características, en algunos casos, deban ser gestionados como residuos peligrosos.

Por ello, hay ocasiones en que, por no cumplir con los requisitos que marca la ley para considerar el lodo como fertilizante estabilizado, es necesario utilizar otro método de eliminación, ya sea depósito en vertedero, biometanización o combustión controlada.

La combustión controlada es un proceso en el que la fracción orgánica de los lodos se transforma en materia inerte. Como es evidente, no se trata de un sistema de eliminación total, genera cenizas y gases, pero también produce una significativa reducción de peso y volumen del material original, por lo que puede ser tratado como combustible derivado de residuos (CDR) si su poder calorífico es adecuado. Si este tipo de transformación se produce de forma incontrolada puede originar problemas medioambientales debido a las características propias de los lodos que pueden tener carácter ácido, básico o salino (Lilly y Zhang, 2005; Principi et al., 2006) y por otra parte, es posible que contengan elementos de transición y no metálicos que pueden favorecer la generación de sustancias tóxicas durante el proceso de combustión (Ramírez et al., 2007)

Aparte de los problemas ambientales y sanitarios hay que tener en consideración que los lodos con secado mecánico procedentes de las depuradoras suelen tener un contenido en agua bastante elevado, próximo al 70-75%, lo cual incrementa los costos de manipulación y

transporte y dificulta su incineración. De hecho, el Plan Nacional de Lodos de Depuradora (PNLD, 2001) recomienda seguir el principio de proximidad en el tratamiento de eliminación de los lodos, de forma que en lo posible se evite su transporte a grandes distancias.

Sin embargo y pese a lo anterior, el II Plan Lodos de Depuradora establece como objetivo que en el año 2010 un 15% de lodos de depuradora sean valorizados energéticamente presupuestando una inversión de 6 millones de euros en la adaptación y modernización de las plantas de incineración de lodos de depuradora existentes (PNLD, 2001; PNIR, 2008).

En este trabajo se han estudiado siete tipos diferentes de lodo de depuradora, determinando su humedad, su poder calorífico en base seca y en base húmeda, su contenido en cenizas, su análisis elemental (C, H, O, N) y su contenido en metales pesados. Con estos datos será posible evaluar la rentabilidad energética que supondría una incineración con recuperación de energía a partir de lodo húmedo y de lodo seco. Así mismo, se valorará la posibilidad de someter previamente el lodo a un secado térmico y también la viabilidad de los lodos como aplicación agrícola. En principio se ha descartado la biodigestión ya que son lodos ya digeridos y por tanto, ya sometidos a fermentación anaerobia.

## **2. Procedimiento operativo**

### **2.1. Toma de muestra**

Personal técnico de las estaciones depuradoras envían al laboratorio de Residuos Sólidos del grupo de investigación INGRES (INGeniería de RESiduos) de la Universitat Jaume I de Castellón dos muestras de unos 15 kg de cada uno de los lodos digeridos pertenecientes a las actividades siguientes:

- Lodo 1: procedente de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) urbanas
- Lodo 2: procedente de una EDAR de una industria papelera
- Lodo 3: procedente de una EDAR urbanas
- Lodo 4: procedente de una EDAR de una industria de curtidos
- Lodo 5: procedente de una EDAR de una industria textil
- Lodo 6: procedente de una EDAR de una industria láctea
- Lodo 7: procedente de una EDAR de una industria cervecera

Cada una de estas dos muestras de cada procedencia es enviada en distintas épocas del año. De estas muestras se selecciona por cuarteo unos 100 g para ser secados mediante estufa. Para cada determinación se ha calculado el promedio de 8 muestras de cada lodo (4 de cada procedencia) y se calcula el dato medio de cada tipo de lodo.

### **2.2. Determinación de la humedad**

Mediante el secado de los lodos en estufa se determina su humedad. Para ello se sigue el procedimiento descrito en la norma UNE 32-002 (Gallardo, 2002; Norma UNE 32-002). La humedad media obtenida se representa en la Tabla 1.

Una vez que las distintas muestras están secas se trituran en mortero hasta alcanzar una granulometría de 1-2 mm.

### 2.3. Cálculo del poder calorífico inferior (PCI)

Los lodos procedentes de la depuradora no están secos sino que tienen una elevada humedad en torno al 60-70%. Con estos datos se ha calculado el PCI correspondiente al lodo húmedo (smh), tal y como se obtendría de la depuradora (tabla 1) tras un secado exclusivamente mecánico, y al lodo seco (sms).

lodo	Humedad (%)	PCI (kcal/kg) (smh)	PCI (kcal/kg) (sms)	Cenizas (%) (sms)	Cenizas (%) (smh)
Lodo 1	67,10	672,99	2979,14	39,10	11,74
Lodo 2	56,29	1283,82	3511,49	28,30	11,61
Lodo 3	79,05	294,27	2769,80	36,47	8,35
Lodo 4	70,88	714,61	3675,19	24,95	7,30
Lodo 5	76,55	228,71	2650,39	24,44	6,69
Lodo 6	52,55	483,29	1532,62	54,24	25,74
Lodo 7	70,94	36,33	1116,26	76,96	22,36

Tabla 1: Dato medio de la humedad, PCI (smh), PCI (sms), cenizas (sms) y cenizas (smh)

El poder calorífico de un combustible es la energía liberada por unidad de peso por combustión con oxígeno. Siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE 32 006:1995 (Gallardo, 2002; Norma UNE32-006) se introducen ocho de cada una de las muestras secas en la bomba calorimétrica y se obtiene el poder calorífico superior (PCS). Con este valor se obtiene el poder calorífico inferior (PCI) que es el dato que interesa desde el punto de vista práctico. Los datos medios se muestran en la Tabla 1 y se representan en la figura 1.

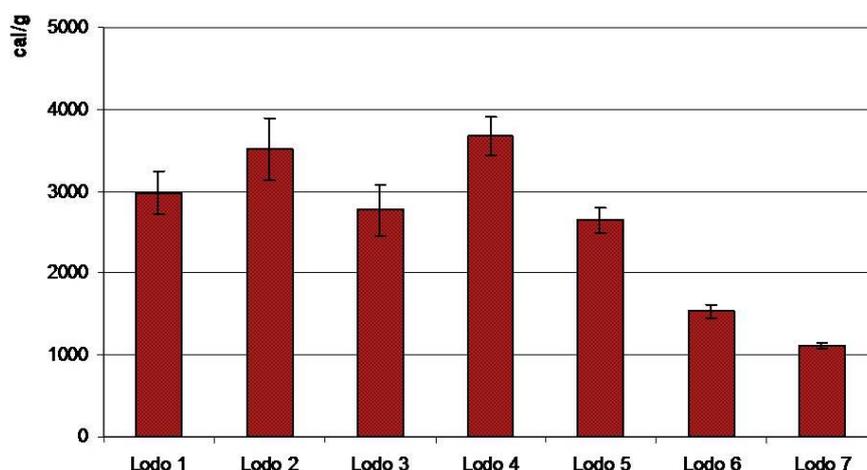


Figura 1: Gráfica comparativa del PCI medio sobre masa seca de los distintos tipos de lodos con su correspondiente desviación típica

### 2.4. Determinación del contenido en cenizas

El cálculo del porcentaje en cenizas en la incineración de un lodo es importante para conocer las cantidades de inquemados que se pueden generar y prever así su gestión. El procedimiento seguido para la determinación del contenido en cenizas es el dictado por la norma UNE 32-004-84 (Gallardo, 2002; Norma UNE 32-004-84) es decir, introducir

aproximadamente 2 gramos de 4 muestras de cada uno de los lodos en horno mufla a 900°C durante 60 minutos (figura 2).

Sin embargo, para conocer el porcentaje real de cenizas que se obtendrían en caso de incinerar los lodos al salir de la depuradora (con el 70% de humedad aproximadamente) hay que proporcionar los datos correspondientes a muestras húmedas (tabla 1).



Figura 2: Aspecto de las cenizas de cada muestra de lodos después de su calcinación

Los datos obtenidos de porcentaje en peso de cenizas base seca después de la calcinación de la muestra se resumen en la tabla 2 y figura 4.

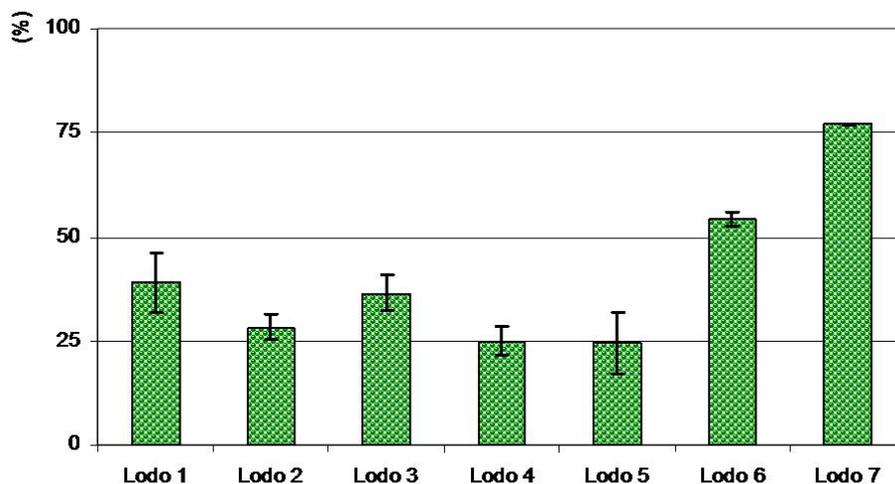


Figura 3: Gráfica comparativa del porcentaje en cenizas medio sobre masa seca de los distintos tipos de lodos con su correspondiente desviación típica

## 2.5. Análisis elemental de los lodos

Por medio de los analizadores correspondientes se determina para cada uno de los lodos los contenidos en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre (Tabla 2).

El C y el N son dos constituyentes básicos de la materia orgánica, por lo que la relación C/N tiene que ser equilibrada para asegurar un fertilizante de buena calidad. Además, el contenido de estos elementos en el lodo servirá para estimar la composición de los gases que serán liberados en el proceso de combustión. El azufre provoca la formación de SO<sub>2</sub> (causante de la lluvia ácida), el carbono genera emisiones de CO<sub>2</sub> (gas de efecto invernadero) y el nitrógeno en condiciones adecuadas forma óxidos de nitrógeno (causante del smog fotoquímico y de lluvia ácida).

Muestra seca	C (%)	H (%)	O (%)	N(%)	S (%)	C/N
Lodo 1	26,62	4,18	17,05	3,33	1,55	7,99
Lodo 2	37,17	4,46	28,97	1,29	0,35	28,82
Lodo 3	32,69	3,62	20,85	3,91	1,45	8,35
Lodo 4	41,59	5,02	21,75	4,84	1,31	8,60
Lodo 5	30,40	5,13	28,74	5,71	1,58	5,32
Lodo 6	19,45	4,68	25,33	1,71	0,08	11,37
Lodo 7	12,32	4,06	4,03	2,13	0,30	5,71

Tabla 2: análisis elemental de los lodos; contenido en nutrientes

## 2.6. Contenido en metales pesados

Los metales pesados se clasifican dentro de los contaminantes químicos inorgánicos y se pueden presentar en forma iónica o molecular. Como consecuencia de la actividad humana y especialmente la industrial, los metales pesados están presentes en muchos lodos generados en las estaciones depuradoras.

En el caso concreto del aprovechamiento energético de los lodos de depuradora, las emisiones máximas de metales pesados a la atmósfera vienen reguladas por el Real Decreto 653/2003 sobre incineración de residuos. En concreto, según este R.D. se deben controlar: el cadmio (Cd), talio (Tl), mercurio (Hg), antimonio (Sb), astato (As), plomo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni) y vanadio (V). las concentraciones se muestran en la tabla 3. Por su parte EURITS (European Association of Waste Thermal Treatment Companies for Specialised Waste (Gendebien et al., 2003)) establece las condiciones mínimas que deben tener los combustibles derivados de residuos para ser incinerados en plantas cementeras

Por otro lado, el contenido en metales pesados también permite estimar la posibilidad de aplicar estos lodos, una vez compostados y estabilizados, como enmienda agrícola, según el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario

Muestra seca (ppm)	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Tl	Pb
Lodo 1	5,33	10,0	34,7	0,82	6,86	4466	219	2,34	0,28	0,64	2,45	0,01	7,74
Lodo 2	34,9	234	460	15,1	200	523	1427	10,6	1,68	8,07	4,09	0,27	86,6
Lodo 3	31,5	4132	271	7,38	58,7	241	498	6,92	7,17	3,76	1,21	0,14	96,7
Lodo 4	38,7	14271	122	5,64	26,2	156	291	3,57	12,1	4,85	0,39	0,05	62,5
Lodo 5	37,4	14273	127	5,35	27	162	291	3,61	12,6	3,68	0,28	0,05	60,2
Lodo 6	19,6	29,8	232	3,89	19,6	77,9	71	4,2	0,32	2,2	0,36	0,05	4,25
Lodo 7	73,3	148	51,7	3	38,2	67,9	260	1,93	0,29	1,38	0,55	0,03	13,5

Tabla 3: concentración de metales pesados en cada uno de los lodos (ppm)

### 3. Discusión de resultados

El compostaje de los lodos y su aplicación al suelo como fertilizante orgánico está limitado por el contenido en metales pesados. Según la tabla 3 el lodo 1 tiene una concentración de cobre (4446 mg/kg) muy superior a lo permitido (1750 mg/kg). Por otro lado, los lodos 3, 4 y 5 tienen un contenido en cromo (4132 mg/kg, 14271 mg/kg y 14273 mg/kg) que superan también el límite permitido por la normativa (1500 mg/kg). Así pues dichos lodos (lodo 1, lodo 3, lodo 4 y lodo 5) no podrían ser aprovechado como aplicación agrícola. Los lodos restantes (lodo 2, lodo 6 y lodo 7) sí que podrían emplearse para este fin. No obstante los lodos 6 y 7 deberían mezclarse con otros materiales con elevado contenido en carbono para incrementar su relación C/N y situarse en un valor entre 15 y 20. Esto se podría hacer mezclando los lodos con restos de poda.

Su aplicación para combustible alternativo en hornos de la industria cementera (Gendebien et al., 2003) no es viable debido a que el poder calorífico exigido por EURITS (>3588,5 kcal/kg) y el contenido mínimo de cenizas y metales pesados no lo cumple ninguno de los siete lodos analizados. No obstante, los datos obtenidos de PCI de los cinco primeros lodos secos son lo suficientemente altos como para que su valorización energética por incineración sea viable, no así el del lodo 6 y el del lodo 7. Sin embargo, debido a la elevada humedad que contienen al salir del secado mecánico, su transporte encarecería mucho el proceso. Así pues sería recomendable un secado térmico o prensado previo a su transporte hacia la planta incineradora, ya que el secado térmico permite eliminar la mayor parte del agua intracelular de los lodos mediante la aplicación de calor externo así como el prensado mediante bandas-filtro. El producto resultante del secado mantiene su contenido en material sólido pero su humedad queda reducida a un 10–15 %. En estas condiciones de mayor sequedad se mejoran las posibilidades de eliminación del lodo y se abarata su transporte (Ochera y Permuy, 2003). El consumo energético para el secado térmico de lodos puede oscilar según el rendimiento de la instalación pero se sitúa entre 0,35-0,50 kWh/litro de agua evaporada.

En estas condiciones y con los datos medios de humedad de los lodos analizados se obtendría el PCI de los lodos con una humedad alrededor del 10% (tabla 4) que es la

humedad máxima permitida en los hornos de incineración. Así pues, a los lodos digeridos procedentes de la EDAR sería muy aconsejable realizar, en la misma instalación, un secado mecánico hasta una humedad alrededor del 70-75% y a continuación un secado mecánico mediante prensado o térmico hasta un contenido en agua del 10-15%, con ello se reduciría alrededor del 70-75% el peso de los lodos.

muestra hum. 10%	PCI (kcal/kg)	Nm <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /kg de lodo		Nm <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> /kg de lodo		Nm <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> /kg de lodo	
		smh	sms	smh	sms	smh	sms
Lodo 1	2635,42	0,497	0,552	0,062	0,069	0,029	0,032
Lodo 2	3115,74	0,694	0,771	0,024	0,027	0,007	0,007
Lodo 3	2456,62	0,610	0,678	0,073	0,081	0,027	0,030
Lodo 4	3257,47	0,776	0,863	0,090	0,100	0,024	0,027
Lodo 5	2334,05	0,567	0,631	0,107	0,118	0,029	0,033
Lodo 6	1336,16	0,363	0,403	0,032	0,035	0,001	0,002
Lodo 7	964,03	0,230	0,256	0,040	0,044	0,006	0,006

Tabla 4: Poder calorífico inferior de los lodos analizados con un contenido en humedad de 10% y emisión de gases contaminantes en el proceso de combustión

El procedimiento operativo recomendado para los lodos procedentes de las distintas EDAR sería el representado en la figura 5.

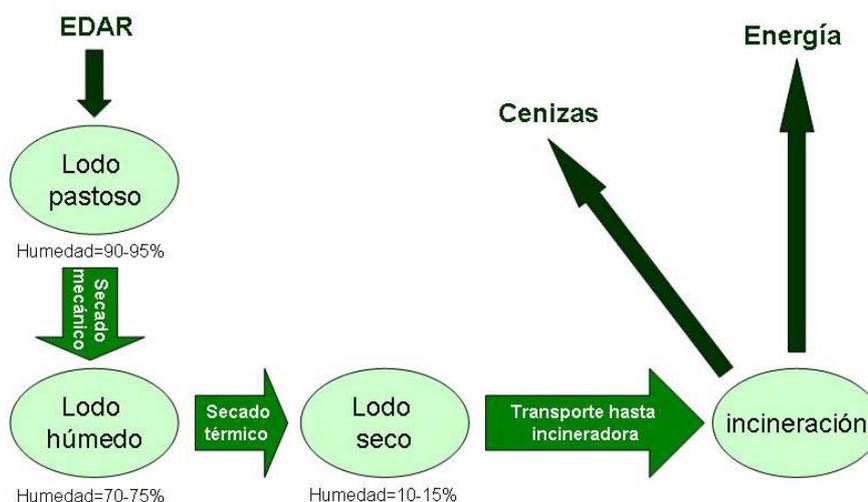


Figura 5: representación gráfica del procedimiento recomendado para los lodos digeridos procedentes de EDAR

Una vez incinerado el lodo quedarían las cenizas, por lo que el peso final se reduciría alrededor de un 45-75% con respecto a la muestra seca (tabla 2) y alrededor de un 75-90% con respecto a la muestra húmeda inicial (tabla 1).

En cuanto a las diferencias de PCI entre los distintos tipos de lodo con el 10% de humedad, se observa que el lodo cuyo balance energético final es más favorable es el procedente de la industria de curtidos (lodo 4) cuyo PCI es un 5% superior al de la industria papelera (lodo 2), un 24% superior al lodo 1, un 33% superior al lodo 3, un 40% superior al de la industria textil (lodo 5), y un 144% superior al lodo de la industria láctea (lodo 6) y la industria cervecera (lodo 7). Es consecuencia de este bajo PCI del lodo 6 y del lodo 7 el hecho de que estos también son los que generan mayor porcentaje de cenizas.

El volumen de contaminantes generados en el proceso de combustión ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ ) de los lodos con una humedad del 10% a partir del contenido en C, N y S (tabla 3) se muestran en la tabla 4. En cualquier caso resulta obvio que la incineración de estos lodos debe llevar asociado un sistema de depuración de gases de modo que los gases finales emitidos a la atmósfera cumplan con la legislación vigente tanto en materia de compuestos volátiles como de metales pesados (Real Decreto 653/2003).

Si se hiciera la comparación de estos lodos como combustible derivado de residuos con otros combustibles como la antracita ( $\text{PCI}=6700 \text{ cal/g}$ ) y el lignito ( $\text{PCI}=2177 \text{ cal/g}$ ) se puede decir que, suponiendo una humedad media del lodo del 10%, la incineración de una tonelada de lodo equivaldría a quemar una cierta cantidad de combustible fósil (lignito o antracita) tal y como se resume en la tabla 5.

En la tabla 5 se hace una comparación del peso necesario de cada uno de los lodos (con 10% de humedad) para producir 1800 kWh de electricidad en una central térmica. También se compara con combustibles fósiles utilizados en este tipo de instalaciones como la antracita ( $\text{PCI}=6700 \text{ kcal/kg}$ ) y el lignito ( $\text{PCI}=2177 \text{ kcal/kg}$ ). La energía obtenida de la incineración depende de la eficacia energética de las instalaciones de valorización (Gallardo et al., 2006; Bovea et al., 2006).

COMBUSTIBLE	PESO NECESARIO
Lodo 1	1680,7 kg
Lodo 2	1421,6 kg
Lodo 3	1830,1 kg
Lodo 4	1359,7 kg
Lodo 5	1897,7 kg
Lodo 6	3324,1 kg
Lodo 7	4594,5 kg
Antracita	661,1 kg
Lignito	2034,6 kg

Tabla 5: Peso de combustible necesario para producir 1800 kWh de electricidad en una central térmica con un rendimiento medio del 35%

Si este poder calorífico se emplea en una planta cementera se podrían producir alrededor de 5000 kg de clinker.

Así pues y como resumen de todos los resultados obtenidos de los análisis realizados a los 7 distintos lodos, se obtiene la tabla 6 en la cual se muestra el posible destino final de cada uno de los lodos.

<b>Lodo</b> (++) destino más aconsejable (++) destino posible (+) destino posible pero no aconsejado (--) destino no permitido	Fertilizante	Valorización energética	Vertedero de residuos no Peligrosos*	Vertedero de residuos Peligrosos*
Lodo 1	(--)	(++)	(+)	(+)
Lodo 2	(+++)	(++)	(+)	(+)
Lodo 3	(--)	(++)	(+)	(+)
Lodo 4	(--)	(+++)	(+)	(+)
Lodo 5	(--)	(++)	(+)	(+)
Lodo 6	(++)	(+)	(++)	(+)
Lodo 7	(+)	(+)	(+++)	(+)

Tabla 6: orientación sobre el posible destino final de los distintos lodos de depuradora.

\*siempre que se cumplieran los ensayos de lixiviación establecidos en la Decisión 2003/33/CE, del Consejo, de 19 de diciembre de 2002 por lo que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE (DOCE núm. L 11, de 16 de enero de 2003)

#### 4. Conclusiones

El II Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales recomienda como opción más favorable desde el punto de vista ambiental, la utilización de los lodos como enmienda orgánica en agricultura una vez que se han compostado. No obstante, la posibilidad de encontrar elementos tóxicos o metales pesados en estos lodos, obliga a realizar análisis frecuentes previos al vertido en terreno agrícola. En caso de encontrar contenidos elevados de metales pesados o sustancias tóxicas, la incineración con recuperación de energía o la biometanización sería la opción más recomendable. Tras realizar los correspondientes análisis se puede observar que los lodos con mayor heterogeneidad de resultados son los de las depuradoras de aguas residuales urbanas lo cual, por otra parte, es lógico debido a la elevada variabilidad de los generadores. Aun así, los lodos 2, 6 y 7 podrían aprovecharse para este fin.

En este trabajo se analizan 7 lodos ya digeridos, por lo que la biometanización no resultaría viable. Así pues, la investigación se ha centrado en analizar la viabilidad de realizar una incineración con recuperación de energía para los siete tipos de lodos.

- Lodo 1: procedente de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) urbanas
- Lodo 2: procedente de una EDAR de una industria papelera
- Lodo 3: procedente de una EDAR urbanas
- Lodo 4: procedente de una EDAR de una industria de curtidos
- Lodo 5: procedente de una EDAR de una industria textil
- Lodo 6: procedente de una EDAR de una industria láctea
- Lodo 7: procedente de una EDAR de una industria cervecera

Los datos aportados demuestran que el poder calorífico de 5 de los lodos secos o con un contenido en humedad próximo al 10%, después de haber sido sometidos a secado mecánico y/o térmico, es aceptable para su incineración ya que se sitúa en torno a 2000-3000 kcal/kg de hecho, se demuestra que su valorización térmica aportaría, para los lodos 1 al 5, una energía mayor o igual a la del lignito que es un combustible usado normalmente en centrales térmicas. Sin embargo, estos datos no son suficientes para ser aceptados por las industrias cementeras como combustible alternativo en sus hornos. Por otro lado el elevado contenido en C, N, S y metales pesados, tampoco favorece esta opción.

En estos 5 lodos, la reducción en peso tras el secado mecánico y térmico es considerable (60-75%) con lo cual el transporte de los lodos desde la EDAR hasta la planta de incineración se abarataría sensiblemente. La recuperación de energía que se obtendría de su incineración podría compensar los costes de secado y de transporte, siempre que la planta incineradora estuviese a una distancia no excesiva de los lugares de generación. Este último aspecto sería el objetivo de futuros trabajos.

Los trabajos realizados muestran también una pequeña diferencia entre los distintos tipos de lodos. El lodo que aporta un mayor poder calorífico inferior es el procedente de la industria de curtidos y el que menos energía desprende en su combustión son los de la industria láctea y el de la industria cervecera. De hecho, la incineración no resulta viable para estos últimos, tanto por sus bajos PCI como por sus elevados contenidos en cenizas.

Así pues, con la valorización energética de estos lodos (1 al 5) se obtendrían fundamentalmente dos ventajas. La primera es que se podría eliminar un residuo de manera sostenible siempre que la planta cumpliera la legislación vigente en materia de emisiones. La segunda ventaja es que al tener un poder calorífico aceptable podría evitarse la extracción de materiales fósiles no renovables. Sin embargo, dada la aptitud del lodo 2 como fertilizante, y a pesar de su favorable PCI, su destino final sería la estabilización mediante compostaje y aplicación en agricultura.

## 5. Agradecimientos

El grupo de investigación INGRES agradece la financiación concedida por la Generalitat Valenciana (Consellería de Educación, D.G. de Política Científica) en su programa de fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en la Comunitat Valenciana (DOCV nº 5.689, de 28-01-2008), en su anexo VI "Ayudas para la realización de proyectos precompetitivos de I+D para equipos de investigación" con el proyecto código GVPRE/2008/090.

## 6. Referencias

Amir S, Hafidi M, Merlina G, Revel JC. Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge. *Chemosphere* 2005 vol. 59: pp. 801–810.

Bovea, M.D., Gallardo, A., Beltrán, M., Ochera, L., Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellón) (II) *Residuos: Revista técnica* 2006 vol. 92, pp. 38-44.

Dudka S, Miller WP. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. *J. Environ. Sci. Health B*; 1999, vol. 34: pp.681–708.

Gallardo, A. Análisis de Residuos Sólidos, Ed. Publicación de la Universitat Jaume I, Castellón. 2002

Gallardo, A., Bovea M.D., Ochera, L., Beltrán, M., Albarrán, F., Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellón) (I). *Residuos: Revista técnica* 2006 vol. 90, pp. 52-60

Gendebien, A. et al., Refuse derived fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/MAR/E3), Final Report (2003) WRc Ref: CO5087-4 JULY 2003 European Commission – Directorate General Environment, 2003

Ingelmo, F., Molina, M<sup>a</sup>. J., Soriano, M<sup>a</sup>. D., Gallardo, A., Lapeña, L., Efecto del tiempo de compostaje en la biodisponibilidad de metales pesados en un compost elaborado con lodos de depuradora y virutas de madera. *I Simposio Iberoamericano sobre Ingeniería de Residuos*, isbn: 9788480216654. Ed. Universitat Jaume I, Castellón, 2008

Lilly Shen, Dong-ke Zhang (2005) Low-temperature pyrolysis of sewage sludge and putrescible garbage for fuel oil production, *Fuel*, 2005. vol. 84 (7-8) pp. 809-815

MAPA (1990). RD 1310/1990 de 29 de Octubre por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. BOE,; 262: 32339 – 32340.

Ministerio de la Presidencia, 2005. RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. BOE; 171: 25592- 25654.

Norma UNE 32-002 Combustibles minerales sólidos. Determinación de la humedad de la muestra para análisis

Norma UNE 32-006. Combustibles minerales sólidos. Poder calorífico mediante determinación en calorímetro automático

Norma UNE 32-004-84. Combustibles minerales sólidos. Determinación de cenizas

Ochera, L.; Permuy, D., Lodos industriales a pequeña escala: mejoras en su gestión, haciendo uso de un proceso de secado térmico de los fangos, *Residuos: Revista técnica* 2003 vol. 75, pp. 36-41

Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales-EDAR (PNLD)-(2001-2006) según RESOLUCIÓN de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006.

Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015, Anexo 5 (II Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales EDAR 2008-2015)

Principi, P.; Villa, F.; Bernasconi, M. y Zanardini, E., Metal toxicity in municipal wastewater activated sludge investigated by multivariate analysis and in situ hybridization, *Water Research* 2006 vol. 40, pp 99-106.

Ramírez, M.C., Larrubia, M.A., Herrera, M.C., Guerrero-Pérez, M.O., Malpartida, I., Alemany, L.J., Palacios, C., Valorización energética de biosólidos: algunos aspectos económicos y ambientales en la EDAR Guadalhorce (Málaga) *Residuos: Revista técnica* 2007 vol. 98, pp. 60-67

Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.

Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes