



COMPOSTAJE

DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE ACCIONES DE VALORIZACIÓN DE LOS LODOS DE DEPURADORAS GENERADOS POR LA INDUSTRIA DE TRANSFORMADOS VEGETALES

ANA BELÉN MORALES MORENO, ÁNGEL GARCÍA VICENTE Y LUIS MIGUEL AYUSO GARCÍA. ÁREA DE MEDIOAMBIENTE. CTC.
JOSÉ ANTONIO PASCUAL VALERO Y MARGARITA ROS. CEBAS-CSIC

RESULTADOS DE UN PROYECTO COORDINADO POR EL CENTRO TECNOLÓGICO NACIONAL DE LA CONSERVA Y ALIMENTACIÓN EN COLABORACIÓN CON EL CENTRO DE EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA APLICADA DEL SEGURA, SUBVENCIONADO POR EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO QUE SE ENGLoba EN EL PROGRAMA NACIONAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO EXPERIMENTAL EN EL MARCO DEL PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, 2008-2011, DENTRO DEL SUBPROGRAMA DE MEDIO AMBIENTE Y ECOINNOVACIÓN, Y MÁS CONCRETAMENTE DENTRO DE LA LÍNEA DEL SUBSECTOR DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.

En los últimos años y en respuesta a la cada vez mayor importancia del factor ambiental, a la presión de la sociedad, de las distintas Administraciones y a la cada vez más exigente normativa son numerosas las empresas que han instalado depuradoras, o que lo harán en un periodo de tiempo más o menos breve. Sin entrar en detalles técnicos podemos decir que las características de las aguas residuales del sector de transformados vegetales son: elevada contaminación orgánica que se traduce en un alto contenido en sólidos en suspensión de naturaleza orgánica y altos valores de DQO y DBO, un contenido en sales solubles variable y pH's también variables. Estas características hacen que la depuración biológica sea la más idónea para el tratamiento de este tipo de aguas resi-

duales. Por ello el tratamiento biológico es el mayoritariamente adoptado por las empresas del sector de transformados vegetales y, en particular, el sistema de fangos activos en cualquiera de sus variantes es el más implantado.

Una de las consecuencias lógicas de este mayor número de depuradoras instaladas es el progresivo incremento de la generación de lodos de depuradora. Nos encontramos con que los problemas de almacenamiento y eliminación de lodos se han agravado al haberse incrementado muy significativamente el volumen de agua depurada y, en consecuencia, el volumen de lodos a gestionar y en el futuro se prevé, sin duda, que el número de depuradoras industriales en el sector seguirá creciendo y, por tanto, la generación lodos también.

Actualmente, la gestión de estos lodos por parte de las empresas se realiza fundamentalmente mediante la eliminación del problema, para ello o bien se realiza mediante su depósito en vertedero con efectos negativos de contaminación derivada de su concentración y composición o bien, lo más habitual, mediante la gestión por medio de gestores autorizados que habitualmente lo trasladan a vertedero, y en ocasiones, a plantas de compostaje. Todo ello conlleva efectos económicos negativos derivados de los costes directos de gestión y/o eliminación (transporte, tasas de depósito en vertedero, etc.) y de los costes indirectos de remediación de esos efectos ambientales negativos. Asimismo, de los costes que derivan de la oportunidad perdida en el aprovechamiento de materiales que poseen características y valores potencialmente útiles.

Hay que destacar que los lodos de depuradora generados en la industria de transformados vegetales son esencialmente diferentes a los procedentes de depuradoras urbanas, fundamentalmente en que son mucho más homogéneos en su composición ya que proceden del tratamiento de aguas residuales cuya carga contaminante es principalmente materia orgánica de origen vegetal y carentes de contaminantes tipo metales pesados y compuestos orgánicos de naturaleza tóxica (hidrocarburos, disolventes,...) ya que este tipo de compuestos no se utilizan en este tipo de actividad. Además al no proceder del tratamiento de efluentes fecales son microbiológicamente más “limpios” que los lodos de depuradoras urbanas que por la enorme heterogeneidad de los efluentes tratados presentan o pueden presentar problemas asociados al contenido en metales pesados, patógenos y otros contaminantes. Todas estas características los hacen muy aprovechables en sectores tales como el agrícola, la obtención de energía, la biorremediación, etc.

Otro aspecto destacable es que la industria de transformados vegetales está, lógicamente, muy asociada a la producción agrícola y es muy habitual que las propias empresas dispongan de sus propios terrenos agrícolas. Este aspecto propicia y facilita la alternativa de valorización agrícola de los lodos.

Comarca	Lodos generados (Tm/año)
Huerta de Murcia (6 - 4 - 2)	1150 - 2200
Mar Menor (1 - 0)	-
Noroeste (8 - 6 - 5)	2910 - 4450
Río Mula (2 - 1 - 1)	1200 - 2000
Valle de Ricote (3 - 1 - 0)	-
Vega Media (14 - 3 - 2)	1200 - 2100
TOTAL (34 - 14 - 9)	6460 - 10750

Tabla 1. Lodos generados por empresas de conservas vegetales. Entre paréntesis: nº de empresas total, nº de empresas que disponen de tratamiento biológico y por lo tanto generan lodos y nº de empresas que disponemos de datos de cantidad de lodos generados.



Potencialmente, la opción más atractiva sería esparcir los lodos en terrenos agrícolas, porque podrían reciclar nutrientes y ser útiles desde el punto de vista agronómico. Sin embargo, ello puede conllevar problemas tanto para el medio ambiente como para la salud pública (microorganismos patógenos). Por ello, nuestra legislación apuesta por la incorporación de los lodos al suelo previo tratamiento de los mismos.

El compostaje, que es un tratamiento biológico aerobio de materiales orgánicos que busca fundamentalmente estabilizar la materia orgánica al tiempo que “sanea” el material orgánico de microorganismos patógenos, parece ser una vía de valorización de los lodos de la industria de transformados vegetales con una proyección interesante. Con ello se consigue reducir, de manera significativa, el poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de la incorporación al suelo de los lodos. Además, el compostaje es el tratamiento de estabilización mayoritariamente aceptado además de por su probada eficacia y sencillez por ser una alternativa de muy bajo coste.



Figura 1. Ubicación de empresas de conservas vegetales.

EL MAYOR NÚMERO DE DEPURADORAS INCREMENTA LA GENERACIÓN DE LODOS



Pero, ¿qué cantidad de lodos generan las empresas de transformados vegetales de nuestra Región?

En primer lugar, parece interesante cuantificar el problema, y para ello en este estudio planteamos conocer la cantidad de lodos y poder localizarlos. Una forma de poner de manifiesto la cantidad de lodos generados se consiguió mediante la elaboración de una base de datos separando el sector de transformados vegetales en varios subsectores. Se seleccionó a los subsectores de conservas vegetales, zumos y congelados vegetales por ser los más representativos en el tema que nos ocupa, pues subsectores como el de encurtidos, IV y V Gama, etc, son menos interesantes en el sentido de que la generación de lodos de depuradora en estos subsectores en la actualidad es muy pequeña.

La base de datos incluía para cada empresa el producto procesado, su situación geográfica por comarca dentro de la Región de Murcia, el sistema de depuración para el tratamiento de sus aguas residuales y la cantidad de lodos generada.

Dicha base de datos nos ha aportado el dato real que íbamos buscando, pero también nos ha permitido conocer las zonas que más generan lodos actualmente porque tienen implantados tratamientos secundarios de sus aguas residuales y, otros posibles focos según la proyección futura de las empresas que

Materia prima	Agua residual (m ³) Tm de materia prima procesada	DQO de las aguas residuales	Lodos Tm/100 Tm materia prima procesada
Alcachofa	500-1600	1200-4200	2-4
Pimiento	500-900	1300-5600	2-3
Tomate	400-800	1800-4000	5-7
Melocotón	600-900	2300-6400	4-7
Albaricoque	600-900	900-3400	2-4
Pera	400-800	1500-4300	4-6
Fresa	400-700	1500-3500	2-4
Mandarina	500-900	2800-6600	5-8

Tabla 2. Volumen y características de las aguas residuales en función de la campaña procesada.

sólo disponen de un tratamiento primario, porque sin duda en los próximos años muchas de ellas instalarán sistemas de depuración y generarán lodos que será necesario tratar y/o gestionar debidamente.

Conservas vegetales. Para la realización de esta base de datos se ha manejado información de 34 empresas de conservas vegetales de entre las 50/55 existentes en la Región de Murcia. De estas 34, 19 tratan sus aguas residuales con un sistema de depuración de tipo secundario (un 55 %) y de estas últimas 14 tienen un tratamiento de tipo biológico y cinco de tipo físico-químico u otros tipos. Las que disponen de tratamientos de tipo físico-químico se corresponden con empresas pequeñas que con este tipo de tratamiento, más sencillo que el biológico, reducen la carga contaminante de sus aguas residuales pero sin la efectividad de los tratamientos biológicos. En conclusión un 40% de las empresas de conservas vegetales controladas disponen de un tratamiento biológico de fangos activos, siendo estas las que generan lodos y un 45% de las empresas controladas no disponen en estos momentos de un sistema de depuración secundario y es previsible que progresivamente lo vayan instalando (Tabla 1 y Figura 1).

La cantidad de lodo generada es dependiente de la cantidad de materia prima procesada que es variable año a año y de las diferentes campañas llevadas a cabo (cada campaña genera diferentes volúmenes de aguas residuales por tonelada procesada y también hay grandes diferencias en relación con la carga contaminante) por ello trabajamos con intervalos de valores. Por último, se ha realizado un estudio para estimar los datos de lodos que se generarían en función de la cantidad de la materia prima procesada que en todo caso condiciona el volumen de agua residual generada y su carga contaminante. En las tablas 2 y 3 podemos observar los datos de producción para la Región de Murcia, el ratio de aguas residuales que genera cada una de las campañas así como la carga contaminante de las

Materia prima	Toneladas procesadas/año	Agua residual (m ³ /año)	Lodos (Tm/año)
Alcachofa	120.000	600000 - 1920000	2400 - 4800
Pimiento	60.000	300000 - 540000	1200 - 1800
Tomate	29.000	116000 - 232000	1450 - 2030
Melocotón	120.000	720000 - 1080000	4800 - 8400
Albaricoque	65.000	390000 - 585000	1300 - 2600
Pera	19.500	78000 - 156000	780 - 1170
Fresa	22.000	88000 - 154000	440 - 880
Mandarina	10.500	52500 - 94500	525 - 840
TOTAL	446.000	2.344.500-4.761.500	12.895-22.520

Tabla 3. Estimación de la cantidad de agua residual y lodos de depuradora generados en las diferentes campañas en función de la materia prima procesada en la Región de Murcia (año 2008).

ACTUALMENTE LA GESTIÓN DE LODOS SE REALIZA FUNDAMENTALMENTE MEDIANTE LA ELIMINACIÓN

mismas (referida como DQO). También se expone la cantidad de lodos que se generan por cada 100 Tm de materia prima procesada; esta estimación se ha realizado en base a bibliografía consultada y en base a los datos que han aportado las empresas de conserva vegetales y la estimación global de lodos generados en la Región de Murcia si todas sus aguas se depuraran por tratamientos biológicos de fangos activos.

En estas tablas podemos observar que la cantidad de lodos generados en la empresas del sector de conservas vegetales en la Región si se depuraran las aguas residuales generadas en el procesado de las diferentes campañas sería entre 12895 a 22520 Tm por año (los datos de producción utilizados corresponden al año 2008). A tenor de los datos reales obtenidos en nuestras visitas a las empresas del subsector (6460–10750 Tm de lodos por año) podemos intuir que esta estimación no está muy desencaminada, teniendo en cuenta que los datos reales son de nueve empresas, que estas empresas son de las de mayor tamaño y por ello el dato real es alrededor del 50% de la estimación total. Recordar que hay otras cinco empresas que tienen tratamiento biológico de las que no disponemos datos pero que si los tuviéramos posiblemente el total de lodo de depuradora generado rondaría el 75% del estimado con lo que se confirmaría que aunque el porcentaje de empresas que depuran respecto al total es del orden del 40% en realidad se está depurando alrededor del 80% de las aguas residuales del subsector.



Figura 2. Ubicación de empresas de zumos.

Comarca	Lodos generados (Tm/año)
Altiplano (1-1-1)	1200 - 3000
Huerta de Murcia (10-8-5)	6700 - 9000
Noroeste (1-0-0)	3 - 10*
Vega Media (3-2-0)	---
TOTAL (15-11-6)	7900 - 12000

Tabla 4. Lodos generados por empresas de zumos. Entre paréntesis: n° de empresas total, n° de empresas que disponen de tratamiento biológico y por lo tanto generan lodos y n° de empresas que disponemos de datos de cantidad de lodos generados.



Zumos. La distribución de las empresas de zumos en nuestra Región la podemos ver en la Figura 2 y en la Tabla 4, en ellas observamos que sólo en cuatro de las 12 comarcas hay empresas de zumos, y es la comarca de la Huerta de Murcia en la que están la mayoría de las empresas con 10 de la 15 empresas controladas, en la comarca de la Vega Media se localizan tres empresas y en las del Altiplano y el Noroeste una en cada una. En el subsector de zumos la mayoría de las empresas disponen de un tratamiento secundario y la mayoría de estos tratamientos son de tipo biológico (11 empresas) otras tres tienen una depuración de tipo físico químico y solo una de las contactadas sólo tiene un tratamiento primario.

La cantidad de lodos generados por el subsector de zumos se corresponden con los datos aportados por seis de las 11 empresas que disponen de una depuración secundaria por fangos activos (del total de 15 empresas contactadas) y es de 7900 a 12000 toneladas de lodos al año de los cuales entre 6700 y 9000 se generan en la comarca de la Huerta de Murcia y entre 1200 y 3000 toneladas en la comarca del altiplano (estos se deben a una sola empresa que además de zumos elabora otros productos de transformados vegetales). En todo caso, suponiendo que tuviéramos los datos de todas las empresas que depuran sus aguas residuales con un tratamiento biológico, serían cinco empresas más (hay que decir que una de estas empresas tiene instalado un sistema de depuración biológica tipo anaerobio que no genera prácticamente lodos, por lo que se quedaría en cuatro empresas), el volumen de lodos sería notablemente más alto y posiblemente rondaría la cantidad de 11000 a 20000 toneladas al año.

Congelados vegetales. La distribución de las empresas de congelados vegetales la podemos ver en la Figura 3, en ella observamos que sólo tres de las 12 comarcas de la Región de Murcia tienen empresas de congelados vegetales: Huerta de Murcia y Vega Media con tres cada una y la comarca oriental con una. De estas siete empresas sólo dos disponen de un tra-



tamiento secundario y las dos de tipo biológico de fangos activos, ambas están ubicadas en la comarca de la Huerta de Murcia. La cantidad de lodos generados por estas dos empresas es de entre 2800–4000 toneladas al año (Tabla 5), teniendo en cuenta que son sólo dos empresas y que las demás no tienen depuración secundaria y que es previsible que la instalen en los próximos años, lo normal es que esta cantidad se duplique en los próximos años.

En resumen, el total de lodos generados al año, que tengamos datos reales, es de 17160–26750 toneladas. Teniendo en cuenta que disponemos de datos de 18 de las 28 empresas que tienen instalado un sistema de depuración biológico podemos deducir que el dato final (si la cantidad de lodos fuera lineal con el número de empresas que los generan, que lógicamente no lo es pero la estimación no quedaría muy lejos de la realidad) será del orden de 26000–40000 toneladas al año.

¿Cuáles son sus características?

Como ya se ha comentado, los lodos generados en el sector de transformados vegetales se diferencia de otros lodos en que proceden de aguas residuales que están compuestas principalmente por materia orgánica de origen vegetal y, presumiblemente, no han de tener carácter tóxico. Pero además presentan otras características que los hacen muy apropiados para su uso agrícola.

La caracterización de los lodos se dirige hacia la determinación de sus características físico-químicas (pH, conductividad, materia seca y contenido en materia orgánica), su contenido nutricional (nitrógeno, fósforo, potasio, boro y algunos micronutrientes) y su contenido en metales pesados, pensando sobre todo en su utilización agrícola, por lo que en el último caso pueden ser especialmente interesantes los que marca el Real Decreto 1310/1990 por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario; es decir cobre, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc. También se realiza un estudio microbiológico con el fin de determinar la presencia o ausencia de patógenos, especialmente para su uso

en agricultura, tales como Clostridium Sulfito Reductores, Estreptococos fecales, E. Coli O157, Listeria Monocytogenes y Salmonella. Finalmente, a dichos lodos se les hace un análisis de plaguicidas para comprobar la ausencia o presencia de materias activas que pudieran condicionar la valorización de estos lodos. Hay que tener en cuenta que muchas actuaciones de valorización de los lodos utilizan microorganismos, como son el compostaje, obtención de biogás..., por lo que los resultados de estos análisis pueden ser necesarios.

En este estudio, realizado conjuntamente por el CTC y el CEBAS-CSIC, se han caracterizado los lodos generados por la actividad del sector de transformados vegetales de la Región de Murcia. En concreto, respecto a las características físico-químicas podemos decir que el origen de estos lodos asegura un alto contenido en materia orgánica, un contenido en macro y micronutrientes interesante desde el punto de vista de valorización agrícola, pero difícilmente en exceso que pudiera crear problemas de contaminación y la práctica seguridad de que el contenido en metales pesados va a estar muy por debajo de los exigidos por la normativa para su uso agrícola (Tabla 6). Esta homogeneidad marca la mayor diferencia con los lodos de origen urbano que, en todo caso, debido a la diversidad de efluentes que maneja, siempre cabe la posibilidad de que tengan problemas con el contenido excesivo de nutrientes o la presencia de metales pesados en concentraciones por encima de lo exigido por la normativa.

Otro aspecto destacable que nos hemos encontrado en el estudio de caracterización de estos lodos, es que no parece que el origen



Figura 3. Ubicación de empresas de congelados.

Comarca	Lodos generados (Tm/año)
Huerta de Murcia (3 - 2 - 2)	2800 - 4000
Oriental (1 - 0 - 0)	---
Vega Media (3 - 0 - 0)	---
TOTAL (7 - 2 - 2)	2800 - 4000

Tabla 5. Lodos generados por empresas de congelados vegetales. Entre paréntesis el nº de empresas controladas, el nº de empresas que disponen de tratamiento biológico y por lo tanto generan lodos y el nº de empresas que disponemos de datos de cantidad de lodos generados).

del lodo respecto a las diferentes materias primas procesadas mar- que diferencias entre las características de los lodos obtenidos de la depuración de las aguas residuales que generan. Sólo en aque- llos casos en los que se utiliza potasa para la etapa del pelado químico el contenido en potasio en el lodo es mayor, como se ob- serva en dos lodos procedentes de la depuración de aguas resi- duales generadas en la elaboración de conserva de melocotón en almíbar que utiliza este tipo de pelado y presenta valores de po- tasio de cerca del 1%.

En relación con el análisis de microorganismos patógenos en los lodos de la industria de transformados vegetales, se ha po- dido observar que la aparición de patógenos es de forma dis- par, pero ha puesto de manifiesto varios aspectos que es inte- resante comentar.

La determinación de los *Streptococos Fecales* y los *Clostridium Sulfito Reductores* (junto con los coliformes fecales y *Escherichia coli*) ha sido utilizado frecuentemente como indicadores de con- taminación de origen fecal que se definen como grupos de mi- croorganismos no patógenos pero frecuentemente asociados con los mismos (Payment y Franco, 1993; OMS, 1995). Aunque, en el caso de los sulfito-reductores, su origen no es exclusivamente fe- cal, ya que pueden proceder de otras fuentes ambientales (OMS, 1995) como suelo, sedimentos marinos, vegetación en descom- posición, etc. (Sneath y Col., 1986). En todo caso, su presencia en los lodos procedentes de la depuración de aguas residuales en empresas de transformados vegetales, sobre todo los estrepto- cocos fecales que aparecen en todos los lodos analizados, evi- dencia que, a pesar de que estas depuradoras reciben aguas de proceso y tienen muy baja carga de aguas fecales de los servicios de la empresa (despreciable en volumen frente a las de proceso), hay una contaminación de origen fecal de las aguas residuales. En principio y, dado que incluso en algunas empresas las aguas de origen fecal se separan de las de proceso, puede suceder (y de hecho nos consta que así es) que la propia materia prima (sobre todo si es de tipo hortícola) lleve cierta contaminación de tipo fe- cal y que, en las primeras etapas de lavado, el agua residual va- ya ligeramente contaminada con este tipo de microorganismos (los análisis que se han realizado a estas aguas de lavado han da- do como resultados positivos para este tipo de microorganismos). En todo caso, los resultados que se exponen también ponen de manifiesto que esta contaminación es ligera y la presencia de es- treptococos fecales y los *clostridium sulfito reductores* es peque- ña incluso estos últimos no aparecen en todos los lodos.

En relación con el análisis de microorganismos patógenos *E. Coli* 0157, *Listeria Monocytogenes* y *Salmonella*, los resultados son negativos y sólo se observa cierta presencia de *E. Coli* 0157. El origen de esta presencia puede estar también en la propia materia prima procesada.

Parámetros	Valores Límite RD 1310/1990		
	Media [Min-Max]	Suelos pH<7	Suelos pH<7
Parámetros físico-químicos y contenido en materia orgánica			
Conductividad (µS/cm)	3397 [1184 – 6600]	----	----
pH)	6.66 [5.31 – 9.93]	----	----
Materia seca (%)	17.2 [4.8 – 56.7]	----	----
Materia orgánica (%)	85.2 [54.4 – 96.7]	----	----
Carbono orgánico Total (%)	49.4 [31.6 – 56.1]	----	----
Relación C/N	18.89 [6.15 – 64.0]	----	----
Nutrientes			
Nitrógeno total (%)	3.73 [0.51 – 8.0]	----	----
Fósforo total (%P ₂ O ₅)	1.45 [0.24 – 5.4]	----	----
Potasio %	0.48 [0.07 – 1.16]	----	----
Metales pesados			
Cadmio (mg/Kg)	0.07 [< 0.2 – 0.42]	20	40
Cobre (mg/Kg)	40.2 [4.70 – 102]	1.000	1.750
Cromo (mg/Kg)	29.8 [4.10 – 178]	1.000	1.500
Mercurio (mg/Kg)	0.03 [<0.05 – 0.24]	16	25
Níquel (mg/Kg)	18.8 [2.40 – 63]	300	400
Plomo (mg/Kg)	9.5 [0.60 – 41]	750	1.200
Zinc (mg/Kg)	235 [14.4 – 838]	2.500	4.000
Arsénico (mg/Kg)	0.05 [<0.01 – 0.38]	----	----
Boro (mg/Kg)	41.2 [12 – 98]	----	----

Tabla 6. Características de los lodos procedentes de depuradoras de aguas residuales generadas de la industria de transformados vegetales. Datos expresados en peso seco. Parámetros estable- cidos en el RD 1310/1990 para caracterizar lodos para uso agrícola.

Finalmente, si se realiza el análisis de plaguicidas en los lodos procedentes de depuradoras de industrias de transformados ve- getales éste refleja que, en ocasiones, pueden aparecer restos de plaguicidas procedentes de los tratamientos de la materia prima procesada. En particular, los resultados positivos se deben a tres materias activas: clorpirifos, imazalil y ortofenilfenol.

Teniendo en cuenta la necesidad de realizar tratamientos post- cosecha con el fin de reducir pérdidas en frutas y hortalizas des- pués de recolectadas, siendo este aspecto muy importante des- de el punto de vista económico y de funcionamiento de las em- presas de transformados vegetales, que exportan materias pri- mas de otros países y éstas vienen tratadas con este tipo de pro- ductos, no parece extraño que estas materias activas estén pre- sentes en los lodos. Sin embargo, las cantidades encontradas están muy por debajo de los límites establecidos por la norma- tiva.

Opciones de valorización. El compostaje

El compostaje está considerado como la opción de valoriza- ción más atractiva y viable para el tipo de lodos que se gene- ra en la industria de transformados vegetales y que destacan por ser homogéneos en su composición (proceden de aguas re-

EL COMPOSTAJE, ES UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO DE MATERIALES ORGÁNICOS



Figura 4. Desde materiales iniciales hasta un compost a madurar.

siduales cuya carga contaminante es principalmente materia orgánica de origen vegetal), carecer de contaminantes tipo metales pesados y compuestos orgánicos de naturaleza tóxica y ser microbiológicamente más limpios al no proceder del tratamiento de efluentes fecales. Además, el elevado contenido en materia orgánica de estos lodos y su alta biodegradabilidad los hace muy adecuados para utilizarlos como materia prima para compostaje.

En nuestro estudio, se han realizado diversas experiencias de compostaje conjuntamente con otros residuos generados por el sector de transformados vegetales. En este primer artículo, donde exponemos los resultados obtenidos en este proyecto, pretendemos centrar al lector sobre las características y posibilidades de valorización de un residuo “relativamente nuevo” para las empresas del sector y que además tiene un coste elevado de gestión. Por otra parte, el futuro legal de su gestión se encamina a prohibir llevarlo a vertedero y obligará a una valorización previo tratamiento de estabilización. En este punto es donde estamos desarrollando el proyecto, en estudiar diferentes alternativas de valorización (compostaje, compostaje dirigido, biometanización.) e informar a técnicos interesados sobre estas posibilidades de valorización. Por ello, desarrollaremos varios artículos donde expondremos los resultados de las diferentes alternativas de valorización. En este primer artículo, además de enmarcar y cuantificar la problemática, se muestran los resultados obtenidos de una experiencia de compostaje utilizando lodo procedente de la depuración de aguas residuales generadas en la elaboración de pimiento y residuos vegetales

de cultivos de pimiento en invernadero como agente estructurante (Figura 4).

El lodo en sí no se puede compostar pues es muy compacto y tiene elevada humedad, que no favorece un proceso aerobio, por lo que requiere de un agente estructurante que genere espacios de aire que facilitan la circulación de oxígeno y, por tanto, el desarrollo de microorganismos aerobios. La industria agrícola y de transformados vegetales ofrece muchas alternativas de residuos para su uso como agentes estructurantes. Nosotros hemos realizado varias pruebas de compostaje (restos de poda, restos de alcachofa, orujo, restos de cultivos de pimiento...). La utilización de otros residuos de la propia industria de transformados vegetales tiene otras ventajas como son: valorizar otro residuo y facilitar la logística del proceso (se generan en el mismo espacio y en el mismo tiempo). Antes de proceder al proceso de compostaje es necesario analizar dichos materiales iniciales con el fin de determinar su contenido o ausencia en patógenos, metales pesados y restos de plaguicidas químicos. Además de saber sus características químicas con el fin de ajustar las cantidades ideales de cada uno de los residuos para que el proceso de compostaje discorra correctamente (Tabla 7).

A continuación se han de acondicionar los sustratos o materiales iniciales con el fin de favorecer el proceso por lo que, si el tamaño del agente estructurante es muy grande, se puede triturar a un tamaño de partícula adecuado. Dicha trituración es para favorecer la actuación de las bacterias, ya que los microorganismos actúan degradando las partículas desde la superficie de las mismas, pe-

EL COMPOSTAJE ES LA OPCIÓN MÁS ATRACTIVA Y VIABLE PARA LOS LODOS DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMADOS

ro también se ha de tener en cuenta que las partículas no deben ser excesivamente pequeñas para no afectar a la porosidad de la pila de compostaje, provocando ambientes de carácter anaerobio. Las experiencias de compostaje se realizaron en composteras de 250 litros de capacidad, semihermética con el fin de que no se perdiera humedad de forma descontrolada pero que permitiera la entrada de aire para asegurar el carácter aerobio del proceso y evitar zonas de anaerobiosis. La compostera se instaló en un recinto cerrado con el fin de controlar mejor el proceso y no estar expuesta a cambios climáticos y dispone de un sistema de control de temperaturas automático.

Los materiales seleccionados ya triturados a un tamaño de partícula adecuado se mezclan en cantidades precisas para que la relación C/N se encuentre entre 25-30, que es la idónea para el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso de compostaje y se ajusta la humedad entre un 55-60%, pues la presencia de agua es imprescindible para que el desarrollo de microorganismos.

Estos dos parámetros son especialmente importantes al inicio del proceso, pero teniendo en cuenta que en el proceso de compostaje, los responsables o agentes de la transformación son los seres vivos, todos aquellos factores que puedan limitar su vida y desarrollo, limitarán también al propio proceso. Por tanto, en el proceso de compostaje los factores que se pueden señalar como más importantes son la temperatura, el pH, la humedad, la aireación y la relación C/N o balance de nutrientes.

En nuestro estudio la pila contenía una mezcla de 120 Kg de lodo de origen agroalimentario en peso fresco con 80 Kg de restos de cultivos de pimiento de invernadero también en fresco triturado a 1 cm y se utilizó como aditivo 20 Kg de cáscara de almendra molida con el fin de ajustar la relación C/N porque el alto contenido en nitrógeno del residuo de cultivo de pimiento hace necesario incorporar alguna fuente de carbono ya que, si la relación C/N es muy baja (inferior a 18), se produce un fenómeno de autorregulación en el cual se pierde el exceso de nitrógeno como amoníaco, aunque es un fenómeno que no afecta negativamente al compostaje en sí mismo se pierden nutrientes. En este caso, la relación C/N inicial que hemos probado es de 18:1, un poco más baja que la óptima teórica.

El proceso de compostaje pasa por varias etapas (fases mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración) y en cada etapa actúa una familia específica de microorganismos que llevan a cabo la degradación y estabilización de la materia orgánica. Inicialmente, la pila está más o menos a temperatura ambiental, pero conforme se va biodegradando la materia orgánica (o lo que es lo mismo estabilizando el residuo orgánico), se genera calor y también se consume oxígeno y la temperatura puede aumentar por encima de los 60°C. La actividad de los microorganismos es más intensa en el interior de la pila y, por tanto, la degradación de la materia orgánica y el consumo de oxígeno también. Ello implica que el interior de la pila de compostaje se empobrece en materia orgánica biodegradable y en oxígeno, lo que

a su vez puede provocar por una parte la parada del proceso de compostaje y por otra ambientes anaeróbios, por ello es necesario voltear la pila con el fin de introducir la materia orgánica periférica de la pila el interior de la misma y airear el conjunto de la misma asegurando el carácter aerobio del proceso. En nuestro estudio se llevó un control automático de la temperatura por medio de una sonda de temperatura conectada a un *software*. Para airear la pila se realizaron volteos de forma manual cuando la temperatura alcanzaba valores por encima de 65°C y se controlaron el resto de factores más influyentes a lo largo del proceso de compostaje, para lo que se tomaron muestras de forma regular.

Por otro lado, como uno de los aspectos importantes respecto al uso de composts es el potencial riesgo sobre la salud humana, también se realizó un seguimiento de los microorganismos patógenos (Salmonella, Listeria, E. Coli, Clostridium perfringens y Streptococos fecales) para comprobar el correcto desarrollo del compostaje según la temperatura de las pilas y los volteos. Con él se ha podido demostrar que durante el compostaje se produce un descenso en los niveles de estos microorganismos, llegando a niveles de higienización, entre los que destaca la bajada de tres órdenes en cuanto a estreptococos fecales (Tabla 8).

Finalmente se obtiene un compost, que desde el punto de vista de calidad agrícola y según los límites marcados por la normativa en relación a la presencia de metales pesados (Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes), es especialmente adecuado para cultivos agrícolas ecológicos ya que la cantidad de metales pesados están muy por debajo del límite establecido para la Clase A, que es la más exigente y que se relaciona con la agri-

	Lodo Pimiento	Restos Pimiento	
Microbiología			
Salmonella	/25 g	Ausencia	Ausencia
E. Coli β-Glucuronidasa +	ufc/g	<10	<10
Costridium	ufc/g	<10	18E1
Estreptococos Fecales	ufc/g	<10	71E2
Listeria Monocytogenes	/25 g	Ausencia	Ausencia
Metales pesados			
Cobre	mg/Kg	59,04	20,57
Cromo	mg/Kg	54,62	14,28
Cadmio	mg/Kg	0,18	0,26
Níquel	mg/Kg	20,81	5,43
Plomo	mg/Kg	8,72	15,79
Zinc	mg/Kg	155,00	47,07
Mercurio	mg/Kg	0,03	0,05
Arsénico	mg/Kg	0,57	2,94
Multiresiduo			
Plaguicidas	mg/Kg	<LQ	<LQ

Tabla 7. Caracterización componentes iniciales.

cultura ecológica que marca este RD (Tabla 9). Es importante volver a destacar que estos lodos se diferencian de los urbanos en que aseguran el cumplimiento de la normativa debido a la homogeneidad de los efluentes y a la certeza de no contener compuestos de naturaleza tóxica.

En resumen, efectivamente en los últimos años se ha incrementado muy significativamente la generación de lodos de depuradora en el sector de transformados vegetales y es presumible que seguirá aumentando en el futuro. Los lodos procedentes de depuradoras de empresas de transformados vegetales presentan una características físico-químicas que los hace apropiados para su valorización aprovechando su alto contenido en materia orgánica y la seguridad de que no van a tener metales pe-

sados en su composición ni otros compuestos de naturaleza tóxica y que van a tener un contenido en macro y micronutrientes interesante pero difícilmente en exceso que puedan acarrear problemas de contaminación; y que su valorización agrícola mediante compostaje proporciona un compost de calidad que puede utilizarse incluso en agricultura ecológica, además de que proporciona una serie de beneficios en el suelo, tanto en su estructura, sobre los nutrientes de las plantas, la salud del suelo, como mejorando su calidad al permitir disminuir el uso de fertilizantes químicos. Aspectos que también se están estudiando en otras fases de este proyecto.

		Mezcla inicial	Compost final
Salmonella	/25 g	Ausencia	Ausencia
E. Coli β -Glucuronidasa +	ufc/g	<10	<10
Clostridium Perfringens	ufc/g	37E1	51E1
Estreptococos Fecales	ufc/g	24E3	<10
Listeria Monocytogenes	/25 g	Ausencia	Ausencia

Tabla 8. Seguimiento de los patógenos en la experiencia de compostaje.

		Experiencia	RD 824/2005		
			Clase A	Clase B	Clase C
Cobre	mg/Kg	31,31	70	300	400
Cromo	mg/Kg	18,58	70	250	300
Cadmio	mg/Kg	0,24	0,7	2	3
Níquel	mg/Kg	8,83	25	90	100
Plomo	mg/Kg	12,35	45	150	200
Zinc	mg/Kg	74,83	200	500	1000
Mercurio	mg/Kg	0,04	0,4	1,5	2,5
Arsénico	mg/Kg	3,13	-	-	-

Tabla 9. Valores de metales pesados en el compost final. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.



“SU EMPRESA DE INSTRUMENTACIÓN”

TECNOQUIM, S.L.

Pol. Ind. Oeste. Avda. Principal, P. 29/28 – 30169 San Ginés-MURCIA
 Tel. 968 880 298 - Fax 968 880 417
 E-mail: ventas@tecnoquim.es
 Web: <http://www.tecnoquim.es>



Distribuidor Autorizado para Murcia y Albacete:



METROHM	ATAGO	BAC-TRAC	MILESTONE
VALORADORES AUTOMÁTICOS CROMATOGRAFÍA IÓNICA	REFRACTOMETROS POLARIMETROS	EQUIPOS MICROBIOLÓGICOS DE IMPEDANCIA	EQUIPOS DIGESTIÓN Y EXTRACCIÓN POR MICROONDAS






SOLICITEN INFORMACIÓN Y PRESUPUESTO DE:

Autoclaves / Agitadores magnéticos / Balanzas / Baños termostáticos / Calibraciones / Cámaras climáticas
 Conductímetros / Cromatógrafos de gases y líquido / Espectrofotómetros VIS-UV y A.A. / Estufas / Fibra
 Grasa / IRTF / Lupas / Microscopios / Mobiliario / Molinos / Patrones certificados / PH-metros...

Delegación: Polígono Industrial. Campollano. Calle D, Parc. 57, Nave 9. 02007 ALBACETE
 Tlf.: 967609860 / Fax: 967609861 / E-Mail: albacete@tecnoquim.es WEB: <http://www.tecnoquim.es>