



PROYECTO SINGULAR ESTRATÉGICO

**Desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España (PROBIOGAS)**

**SUBPROYECTO 11:**

**DEMOSTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS A PARTIR DE LA CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS GANADEROS Y AGROINDUSTRIALES**



## INDICE

<b>1 Objetivo del subproyecto .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Descripción de la planta de demostración .....</b>	<b>3</b>
<b>3 Resultados obtenidos .....</b>	<b>4</b>
3.1 Desarrollo técnico de la etapa de digestión anaerobia .....	4
3.2 Desarrollo técnico de la etapa de compostaje .....	4
3.3 Caracterización microbiológica del proceso de compostaje .....	8

## PARTICIPANTES:



ROS ROCA  
[www.rosroca.com](http://www.rosroca.com)



GESTCOMPOST S.L.  
[www.gestcompost.com](http://www.gestcompost.com)



CEBAS-CSIC  
[www.cebas.csic.es](http://www.cebas.csic.es)



GIRO CT  
[www.giroct.net](http://www.giroct.net)



UMH  
[www.umh.es](http://www.umh.es)

## 1 Objetivo del subproyecto

El objetivo general del proyecto de demostración era validar a escala industrial la tecnología de producción industrial de enmiendas y abonos orgánicos mediante compostaje de los digeridos producidos tras la digestión anaerobia de residuos agroindustriales.

## 2 Descripción de la planta de demostración

Los ensayos para la viabilidad industrial del compostaje de los digeridos se han realizado en las instalaciones de la empresa Gestcompost en Pina de Ebro. La planta tiene una capacidad anual para tratar más de 75000 Tm de residuos orgánicos de diferente tipología y cuenta con una superficie de 50.000 m<sup>2</sup>, debidamente impermeabilizadas y hormigonadas, con recogida de lixiviados en dos balsas con capacidad conjunta superior a los 5.000 m<sup>3</sup>.



*Figura 1. Detalle de las instalaciones de la empresa Gestcompost.*

Al lado de la instalación existente debía construirse una planta de digestión anaerobia, optimizando de este modo el coste de transporte del digerido resultante del proceso hasta la planta de compostaje, disponiendo a su vez de un sistema de higienización para los subproductos animales, tal y como exige el reglamento 1774/2002. La construcción de la planta se inició en 2008 y debía estar a pleno rendimiento en 2010, sin embargo, la tramitación administrativa de la misma todavía no ha concluido, con lo que una vez finalizado el diseño de la misma, no ha sido posible la construcción y puesta en operación al no disponerse de los permisos necesarios. Este retraso obligó a cambios en el proyecto según se describe en los resultados obtenidos.



## **3 Resultados obtenidos**

### **3.1 Desarrollo técnico de la etapa de digestión anaerobia**

Debido a la paralización de la ejecución de la instalación de digestión anaerobia por distintos trámites administrativos, fue necesario replantear el proyecto, para cumplir con los objetivos establecidos sin dicha instalación. Por ello, se buscó digerido de otras instalaciones, así como residuos agroindustriales. Este cambio supuso la realización de más ensayos de compostaje y su seguimiento adicionalmente con análisis de microbiología molecular.

### **3.2 Desarrollo técnico de la etapa de compostaje**

#### **3.2.1. Caracterización analítica del digerido y de los agentes estructurantes.**

##### Identificación y caracterización de los residuos gestionados en Gestcompost

Se llevó a cabo una completa identificación y caracterización de los materiales residuales recibidos por Gestcompost, para evaluar la viabilidad de su uso como potenciales insumos para el proceso de digestión anaerobia. Los residuos recibidos y gestionados por la empresa Gestcompost se clasifican principalmente en:

- a) Residuos de la agricultura y silvicultura.
- b) Residuos de la industria de productos lácticos.
- c) Residuos de la preparación y elaboración de carne, pescado y otros alimentos de origen animal.
- d) Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los residuos mostraron una notable variabilidad, tanto a nivel físico-químico, como de humedad, contenidos de materia orgánica, relación C/N, contenido en macro y micronutrientes. Por otra parte, cabe destacar que estos residuos se caracterizaron por presentar, en general, bajos contenidos de metales pesados, excepto el fango deshidratado de EDAR respecto a las concentraciones de Zn y Cr.

##### Características de los residuos seleccionados para el compostaje

Debido a los problemas para la consecución de la planta de digestión anaerobia, se utilizó la fracción sólida de un digerido procedente de una planta industrial derivada

del tratamiento de purines porcinos. Junto a este material, se caracterizaron y emplearon otros residuos agroindustriales procedentes de la propia instalación de la empresa Gestcompost, como son un lodo de depuradora de aguas residuales urbanas, un lodo de industria papelera, un residuo de origen animal (pelo de cerdo) y dos agentes estructurantes (caña de maíz y paja de cereal) (Fig. 2).



Figura 2. Detalle de los materiales iniciales seleccionados para el compostaje.

Todos los residuos mostraron, en general, un pH próximo a la neutralidad; valores de conductividad eléctrica, en general, inferiores a 4 dS/m, altos contenidos de materia orgánica, contenidos variables de N y de relación C/N, alto contenido en macroelementos, especialmente de K y Na en el caso de los materiales estructurantes (caña de maíz y paja), de Ca en el residuo de papelera y en el residuo de pelo porcino y de Mg en la fracción sólida del digerido, contenidos variables de microelementos y metales pesados, mostrando el lodo de depuradora los contenidos más altos de Fe, Cr y Pb, mientras que la fracción sólida mostró las concentraciones más altas de Mn, Cu y Zn, debido al origen porcino del digerido, pudiendo constituir los altos contenidos de Cu y Zn un aspecto limitante para la calidad del compost final obtenido y, por tanto, también limitante para su verificación como fertilizante. En general, los materiales iniciales no mostraron altos niveles de metales pesados, siendo los valores de Cd, Pb y Ni, en general, por debajo de los límites de detección para cada elemento.

### 3.2.2. Mezclas elaboradas y principales resultados obtenidos.

El diseño se amplió respecto a la propuesta inicial que se basaba en la elaboración de dos mezclas digerido/estructurante y se dividió en tres experimentos:



### 1. Experimento 1: Elaboración de 3 pilas binarias de compostaje

En el diseño de estas pilas se ha utilizado la fracción sólida del digerido de origen porcino y caña de maíz como agente estructurante en distintas proporciones (Tabla 1), para evaluar el efecto del uso de un agente estructurante en la mezcla, así como la proporción óptima de dicho material para la misma.

Tabla 1. Composición de las pilas de compostaje elaboradas en el Experimento 1.

Pila	Ingredientes y proporciones (%)	
	Peso fresco	Peso seco
P1	100% Fracción sólida digerido	100
P2	80% Fracción sólida digerido + 20% caña de maíz	54:46
P3	60% Fracción sólida digerido + 40% caña de maíz	31:69

### 2. Experimento 2: Elaboración de 3 pilas ternarias de compostaje

En el diseño de estas pilas se usó la fracción sólida del digerido de origen porcino, diversos residuos de origen agroindustrial y dos agentes estructurantes (Tabla 2), para evaluar el efecto del uso de un tercer componente en la mezcla de compostaje.

Tabla 2. Composición de las pilas de compostaje elaboradas en el Experimento 2.

Pila	Ingredientes y proporciones (%)	
	Peso fresco	Peso seco
P6	35% Fracción sólida digerido + 35% lodo EDAR + 30% mezcla caña de maíz/paja	20:22:58
P7	35% Fracción sólida digerido + 35% lodo papelera + 30% mezcla caña de maíz/paja	17:34:49
P8	35% Fracción sólida digerido + 35% pelo porcino + 30% mezcla caña de maíz/paja	15:42:44



*Figura 3. Vista general de las pilas elaboradas.*

### 3. Experimento 3: Elaboración de la pila optimizada a escala industrial

En el diseño de esta pila se han tenido en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos previos, por lo que se ha utilizado la fracción sólida del digerido de origen porcino junto con el residuo de origen agroindustrial que mejor funcionó, como fue el residuo de industria papelera, y como agente estructurante se usó la caña de maíz, en las proporciones (peso fresco): 58,7% de fracción sólida de digerido + 39,8% de lodo de papelera + 1,5% de caña de maíz.



*Figura 4. Detalle del proceso de elaboración de la pila industrial.*

Los resultados obtenidos hasta el momento han mostrado que el uso del agente estructurante en la mezcla binaria con la fracción sólida del digerido de porcino ha tenido un efecto positivo sobre el desarrollo de la etapa termófila del compostaje, presentando los valores más altos de temperatura la mezcla con la proporción 80% de fracción sólida de digerido y 20% de caña de maíz. Por otra parte, la caña de maíz como agente estructurante en las pilas binarias redujo las pérdidas de nitrógeno, pero también incrementó la salinidad de las mezclas. El uso de residuos agroindustriales como agentes co-compostantes ha favorecido el proceso de compostaje, alcanzándose temperaturas termófilas superiores a las alcanzadas en las pilas binarias, mostrando los valores más altos la mezcla elaborada con la fracción sólida del digerido, el residuo de industria papelera y la mezcla de estructurantes (caña de maíz/paja). Por otra parte, el uso del residuo de papelera en la mezcla ternaria consiguió favorecer la concentración de



nitrógeno y reducir inicialmente la salinidad de la mezcla, aspectos importantes a tener en cuenta a la hora del uso agrícola del compost y que deberán ser corroborados en la pila industrial que actualmente está en proceso de elaboración.

Con respecto a la valorización de los compost obtenidos como abonos húmicos líquidos que se pudieran adecuar a los requerimientos legales mínimos exigidos (Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes), para un abono órgano-mineral líquido tipo PK (6% de la suma  $P_2O_5+K_2O$ , con un mínimo de 2% de  $P_2O_5$  y 2% de  $K_2O$ , y 4% de carbono orgánico), los ensayos realizados han mostrado que la obtención de este tipo de productos fertilizantes a partir de estos compost no sería viable tecnológicamente, ya que las características de estos materiales dificultan las condiciones fijadas en el proceso para cumplir los requerimientos de la legislación.

### 3.3 Caracterización microbiológica del proceso de compostaje

#### Preparación de las muestras y metodología analítica

La caracterización microbiológica del proceso de compostaje se realizó mediante la técnica de PCR cuantitativa (qPCR), con el objetivo de determinar cuantitativamente la población de eubacterias, arqueas y hongos, y la evolución de los ratios existentes entre ellas, en función de diferentes condiciones del proceso. Se analizaron un total de 22 muestras del ensayo 1 (los sustratos y diversas muestras a lo largo del proceso) y un total de 5 muestras en el segundo ensayo con la mezcla identificada como óptima.

Las muestras obtenidas se liofilizaron y se conservaron congeladas a  $-80^{\circ}C$  antes de proceder a su análisis.

La qPCR consiste en una extracción inicial del ADN de como mínimo 3 extractos independientes de cada una de las muestras. Después de realizar las pruebas de inhibición de la reacción de PCR para establecer la dilución adecuada, se procedió a realizar el análisis de qPCR mediante el termociclador modelo Stratagene MX3000P. Para la detección de la población de arqueas, se utilizaron primers específicos del gen *mcrA*. En el caso de la eubacterias totales, se utilizará *primers* que se unen a regiones conservadas de su gen *16S rRNA* y en el caso de los hongos se amplificó la región del espaciador interno transcrito *ITS1 rRNA*.

#### Caracterización de los sustratos iniciales

El número de copias del gen *16S rRNA* (eubacterias) es mayoritaria en todas las muestras, entre 2 y 3 órdenes de magnitud superior, seguida del gen arqueas *mcrA*



(arqueas) y del gen *ITS1 rRNA* (hongos). La fracción sólida digerida (FSD) es la que presenta un mayor contenido de copias génicas correspondientes a eubacterias, seguida de los lodos de depuradora (LD) y los lodos de papelera (LP). De la misma manera, las dos muestras de lodos (LD y LP) y la FSD son las muestras que presentan la mayor cantidad de genes de arqueas, hecho que está de acuerdo con las condiciones anaerobias de las muestras. En el caso de los hongos, son los lodos de papelera los que presentan una cantidad inicial más elevada de copias génicas pertenecientes a este grupo.

No obstante, es importante destacar las elevadas desviaciones en las repeticiones derivadas de la heterogeneidad en el muestreo y la dificultad en la extracción del ADN de las muestras liofilizadas.

#### Evolución de las poblaciones microbianas de las pilas binarias de compostaje

Tal como se ha indicado, se montaron tres pilas con la fracción sólida del digerido de origen porción y caña de maíz como agente estructurante en distintas proporciones. La pila P1 se formó únicamente con la fracción sólida digerida, en el caso de la pila P2 y P3 la mezcla inicial fue de un 80% de FSD / 20% de Caña de Maíz, y del 60% de FSD / 40% de Caña de Maíz, respectivamente.

El crecimiento de la población de eubacterias y de hongos de la pila P1 es el más bajo comparado con las pilas P2 y P3. El ligero incremento en la población de arqueas, indica la presencia de zonas anaerobias. La ausencia de material estructurante en la mezcla inicial, ha resultado en una menor evolución (degradación) de la pila, hecho que se ve constatado por las menores temperaturas alcanzadas por la pila y el menor crecimiento microbiano.

En el caso de las pilas P2 y P3, la presencia de material estructurante asegura, a priori, unas mejores condiciones de aerobiosis, minimizando las zonas anaerobias. La disminución de la población de arqueas, así como el ratio arqueas/eubacterias confirman esta hipótesis. No obstante, la presencia de arqueas a lo largo de todo el proceso, nos indican que posiblemente sigan existiendo zonas anaerobias en la matriz de la pila de compostaje. En referencia a la población de eubacterias, indicar que su crecimiento es muy elevado en las dos pilas, hecho que asegura una elevada degradación de la materia orgánica. Por último, indicar que la pila P2, la que ha alcanzado mayores temperaturas, presenta un incremento claro del ratio hongos/eubacterias, indicando que el material ya ha finalizado su fase inicial de descomposición y se encuentra en la etapa de maduración (Figura 5).

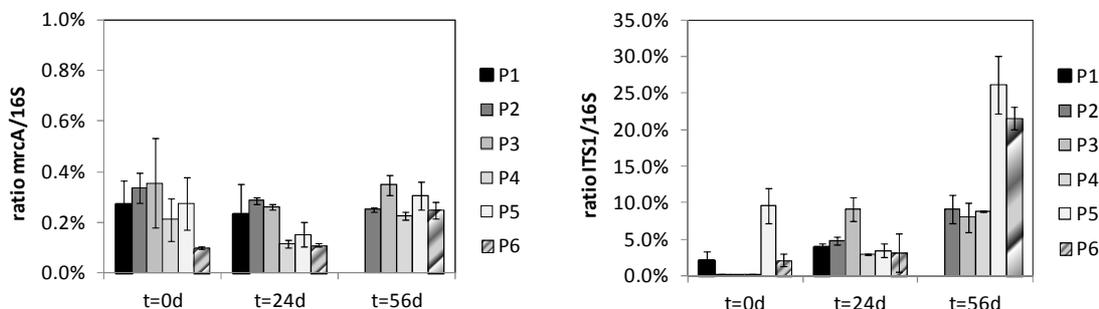


Figura 5. Evolución de los ratios arquea/eubacterias y hongos/eubacterias de las pilas de compostaje (P1-P6).

#### Evolución de las poblaciones microbianas de las pilas ternarias de compostaje

Las proporciones de los distintos residuos en las pilas ternarias fueron de un 35% de la fracción sólida del digerido de origen porcino, un 30% de una mezcla de caña de maíz y paja, y un 35% de diversos residuos orgánicos: lodos de EDAR urbana -LD-, lodos de industria papelera -LP- y residuo de pelo porcino -RP-.

En las tres pilas la concentración de eubacterias incrementa de manera destacada acorde con la gran actividad observada; la temperatura de las pilas alcanzó valores superiores a los 70°C durante la primera semana de proceso y se mantuvieron durante un período bastante largo. La población de arqueas fue bastante variable, tanto entre pilas como a lo largo del tiempo, no obstante los ratios respecto a la población de eubacterias se mantuvieron alrededor del 0,2% en todos los casos, mostrando que la matriz de compostaje es fundamentalmente aerobia.

En relación a la población de hongos, en todos los casos se observa un incremento importante, con ratios hongos/eubacterias superiores al 10%. Destacar el elevado ratio de la pila 7, superior al 25%, pila que contiene en su mezcla inicial un 35% de lodos de papelera, residuo que ya inicialmente contenía una proporción elevada de hongos. Este hecho se podría deber a un elevado contenido en residuos de carácter lignocelulósico presentes en estos lodos, sustratos en los que los hongos presentan una mayor capacidad metabólica que las bacterias y las arqueas.

Como conclusión general decir, que a pesar de la dificultad en procesar unas muestras tan heterogéneas, y de la gran dispersión observada en los resultados, la qPCR se presenta como una herramienta muy útil para explicar el comportamiento y la evolución de parámetros de operación, como puede ser la temperatura, en pilas de compostaje de diferente naturaleza (Figura 5).