

Tratamiento de la fracción sólida del purín de vacuno de leche para la producción del lecho de estabulación

Autoría:

Carles Eduard Izquierdo. Estudiando de Biología en prácticas. Facultad de Ciencias y Tecnología. UNIVERSIDAD DE VIC – UNIVERSIDAD CENTRAL DE CATALUÑA

Marçal Castells. Departamento de Ingeniería. MECÁNICAS SEGALÉS, SL

Valentí Turet. Asesor en biología y tratamientos medioambientales. TURET BIÓLOGOS

Introducción

En la actualidad, prácticamente todo el mundo ya es consciente de la gran problemática ambiental que comportan las deyecciones ganaderas mal gestionadas: contaminación de las aguas, dosifique inadecuada de nutrientes a los campos, ... (Turet et. al., 2013). Dentro del ámbito de la ganadería, a pesar de que el sector del vacuno ocupa, en unidades ganaderas (UR), la tercera posición en importancia en los censos ganaderos de Cataluña, su peso ligado además de 300.000 UR (INDESCAT, 2017), con más de 150.000.000 kg de peso vivo, comporta una producción realmente impactante de deyecciones que afectan en varias comarcas catalanas, como son Osona, el Segrià, etc... Por lo tanto, una gestión estratégica y barata de este tipo de deyecciones puede supuesto un gran paso hacia el desarrollo sostenible de la ganadería.

Mecániques Segalés es una empresa que se ha especializado en el tratamiento de las deyecciones ganaderas. Como un paso más en su itinerario de dar soluciones prácticas a los ganaderos, con la innovación de nuevos productos para aportar soluciones medioambientales y, al mismo tiempo, al disminuir los gastos económicos de los ganaderos, esta empresa ha llevado a cabo un proceso experimental evaluador del tratamiento de la fracción sólida de purines de las vacas de leche para su reutilización como lecho de estabulación. Por lo tanto, el

hito perseguido rae en transformar parte del purín resultante de la estabulación de las vacas, la fracción sólida, en un producto a reutilizar en la propia explotación, de forma que no sólo se da salida a una parte de las deyecciones, sino que hay el ahorro del dinero necesario en la compra de los material del lecho.

Además, hay que considerar que este lecho tiene unas características idóneas controladas por el mismo ganadero, gracias a que el proceso de fabricación hecho a la misma explotación, no tan sólo tiene cura de la buena separación de fracciones sólida y líquida de los purines (separador sólido-líquido), sino que, a continuación, se actúa sobre la fracción sólida con un tratamiento aeróbico y termófilo natural (gracias a hacer el arranque del proceso de compostaje), que reduce el contenido hídrico del material y lo higieniza.

Los resultados de este estudio, como se podrá apreciar, han permitido comprobar la bondad de este proceso de tratamiento, tanto en la robustez de los diferentes pasos a realizar (ver “Material y métodos”), muy adecuados para realizar en explotaciones, como en el grado de higienización obtenido (ver “Resultados”), fundamental para la minimización de los riesgos de infecciones y reinfecciones en ganadería.

Objetivos

El objetivo principal de este estudio experimental es el de conocer las características del proceso de preparación del material idóneo para lecho de estabulación a partir de la fracción sólida de la filtración de purines de vacuno de leche. Los objetivos específicos que se han estudiado son:

- Comprobar demostrativamente que la entrada inicial a un proceso de compostaje es suficiente para una buena higienización de la fracción sólida del purín de vacuno.
- Evaluar las diferencias obtenidas entre los resultados de dos tipos de pilas constituidos por este experimento.
- Comprobar que la energía requerida por el proceso de higienización es asumible por el ganadero.
- Conocer la idoneidad de las instalaciones utilizadas.

Materiales y métodos

Separación inicial

En un primer momento, el purín de la vaca se ha tratado físicamente gracias al “Separador MS100 Benfort” propio de Mecàniques Segalés. En todo momento, el aparato utilizado por esta función de separación ha mostrado la máxima idoneidad y robustez para su función, y así también nos lo manifiesta el ganadero propietario de las instalaciones ganaderas donde se realiza el proceso experimental, en las cuales está instalado desde hace 12 años. Por lo tanto, a partir de este proceso, se han generado dos tipos de efluentes, la fracción líquida, que se guarda en depósitos para que se pueda usar como adobo por los campos (reutilización agrícola) y la fracción sólida, que es la parte a reutilizar en la explotación ganadera.

Preparación de las pilas

Para lograr la higienización termófila (Viaene et. al., 2017; Lemunier et. al., 2005), la estrategia de aireo utilizada ha sido la de “pilas estáticas aireadas”, mediante la construcción de las pilas a higienizar sobre una estructura de tres tubos paralelos agujereados y conectados a un ventilador de baja presión de 0.18 kW.



Figura 1: Esquema del sistema de tubos que se han instalado en la realización del experimento.

En puntos elegidos de los tubos perpendiculares a la bomba, se han instalado manómetros para comprobar la pérdida de presión de aire a lo largo del sistema y minimizarla.

Para el montaje de las pilas de compostaje, del cual sólo se realizan las fases iniciales: calentamiento a temperaturas termófilas y tiempos de residencia para la higienización, se ha usado en las dos pruebas realizadas el efluente sólido de la separación física de fracciones (ver el apartado anterior), la llamada fracción sólida (FS). Para conocer si la pila de fracción sólida tenía condiciones mínimamente idóneas para la higienización térmica se ha experimentado con dos pilas de constitución y estructuración diferentes (Barrena et. al., 2011).

La primera, pila 1, se ha construido sólo con fracción sólida separada de purines vacunos. A la pila 2 se ha añadido vilorda en proporción 1/5 v/v respecto al volumen final. Para que la vilorda actuara como agente esponjando en la mezcla a compostar, ha hecho falta que la mezcla resultante fuera el máximo de homogénea posible. Para conseguirlo se han repartido la vilorda en medio de la dosificación de paladas de FS y después se ha mezclado con el tractor empujando la pila y removiendo toda la mezcla hasta que a la vista no se detectaban masas blancas de vilorda juntas. Una vez se ha conseguido una buena textura, se ha procedido a montar la pila 2 de forma idéntica a la pila 1, gracias a las paladas del tractor depositadas sobre los tubos y aportadas desde una altura considerable, con el objetivo de conseguir la máxima esponjosidad del material y, por lo tanto, garantizando que el aire pueda circular muy repartido en la masa a higienizar.

Las medidas de las pilas de sección triangular han estado de unos 6 m de largo, 3 m de ancho y 1,75 (al inicio) – 1,5 (al final) m de alto.

Seguimiento térmico

El estado térmico de la pila se ha determinado a partir de un patrón estándar en la distribución de la toma de medidas de temperatura. Este patrón se indica a la figura 2. Las medidas de la temperatura se han obtenido con un termómetro digital de la marca Hanna con el sensor ubicado al extremo de una varilla de 1 metro de largo, que ha permitido tomar muestras a diferentes profundidades: 5-10 cm, 50 cm y 100 cm. Estas medidas se han llevado a cabo diariamente, a primera hora de la tarde, a la cara sombreada de la pila y se han tomado a diferentes alturas de la pila (figura 2): cercano a la carena de la pila (arriba), a la parte mediana aproximadamente de su altura (medio) y a la base de la pila (bajo).

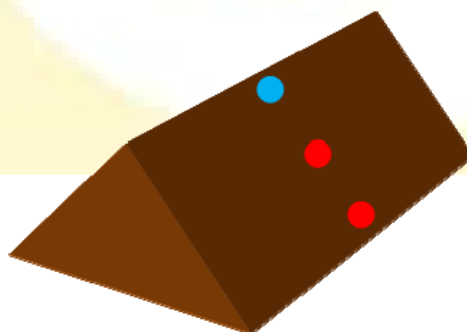


Figura 2: Esquema de la pila donde se representan los puntos donde se hace la lectura de la temperatura. El punto azul (lo “arriba” de la pila) indica que se hacen sólo dos lecturas de temperatura, a nivel superficial (5-10 cm) y a 50 cm de profundidad. Los puntos de color rojo (el “medio” y el “bajo” de la pila) son puntos de muestreo con 3 lecturas: a 5-10 cm, 50 cm y 100 cm de profundidad.

La temporización de los aires de las pilas (tiempos de aireo y de parada) se han modulado a partir de las determinaciones de temperatura realizadas a lo largo del tiempo, de forma que se lograra rápidamente la termofilia (temperaturas por encima de 45°C) y que esta se mantuviera en valores de temperatura elevados (siempre superiores a los 50°C y cercanos o superiores a los 70°C) todos los días deseados: de 2 a 6 días. Por lo tanto, los tratamientos de higienización han tenido unas duraciones experimentales globales de 3 y 7 días. Para la regulación del sistema de aireo se ha usado un sistema electrónico implantado por Mecàniques Segalés.

Análisis de laboratorio

Para la evaluación de la higienización de las pilas se han llevado a cabo una serie de análisis microbiológicos en un laboratorio independiente, los cuales han sido complementados por algunas de físico-químicas. En la mesa 1 se indica los análisis realizados y en qué momento se han tomado las muestras pertinentes.

Tabla 1. tabla ilustrativa de las tandas analíticas realizadas (cuadros marcados) a los dos ensayos experimentales practicados.

ENSAYOS EXPERIMENTALES		1r (de 3 días)		2ndo (de 7 días)		
		Inicial	Final	Inicial	A los 3 días	Final
Muestreos						
PARÁMETROS ANALÍTICOS	Símbolos					
Físico-químicos						
Sólidos totales	ST					
Sólidos volátiles	SV					
Nitrógeno total Kjeldahl	NKT					
Nitrógeno amoniacal	N-NH ₄ ⁺					
Microbiológicos						
Coliformas totales						
<i>Escherichia coli</i>						
Enterobacterios						
<i>Clostridium</i> sulfito-reductores						
<i>Staphylococcus</i> coagulasa positivos						
<i>Salmonella</i>						

El procedimiento para tomar muestras siempre ha sido el mismo. Utilizando una pala se han cogido 8 muestras en diferentes puntos de la pila y en diferentes profundidades, agrupándolas en una muestra mixta con un volumen representativo de cada una de las diferentes zonas

(parte exterior e interior, una cara y el otro, parte superior e inferior). Para obtener una muestra integrada de laboratorio, se han depositado las 8 paladas dentro de una bolsa de plástico nueva y de dimensiones grandes y se han mezclado cuidadosamente manipulando su contenido desde el exterior (evitar contaminaciones); finalmente, se ha introducido una alícuota de un volumen de 1 L en un bote de plástico nuevo y estéril.

Resultados

El proceso experimental se ha realizado dos veces en el tiempo, de forma que los resultados obtenidos muestren a la vez la redundancia de aquellos aspectos que resultan normalmente del proceso y la divergencia de aquellos otros que son variables.

Temperatura de las pilas La evolución de temperatura de las diferentes pilas a lo largo de los dos experimentos se expone en las figuras 3 y 4. Las tres evoluciones representadas corresponden a los diferentes puntos de la altura de la pila en que se ha introducido la sonda térmica: cercano a la carena de la pila (arriba), a la parte mediana aproximadamente de su altura (medio) y a la base de esta (bajo), tal y cómo se ha expuesto en el apartado anterior. Para dar unos resultados comprensibles sin perder valor interpretativo, se han representado sólo las medias de temperatura por cada punto de los muestreos hechos a diferentes profundidades.

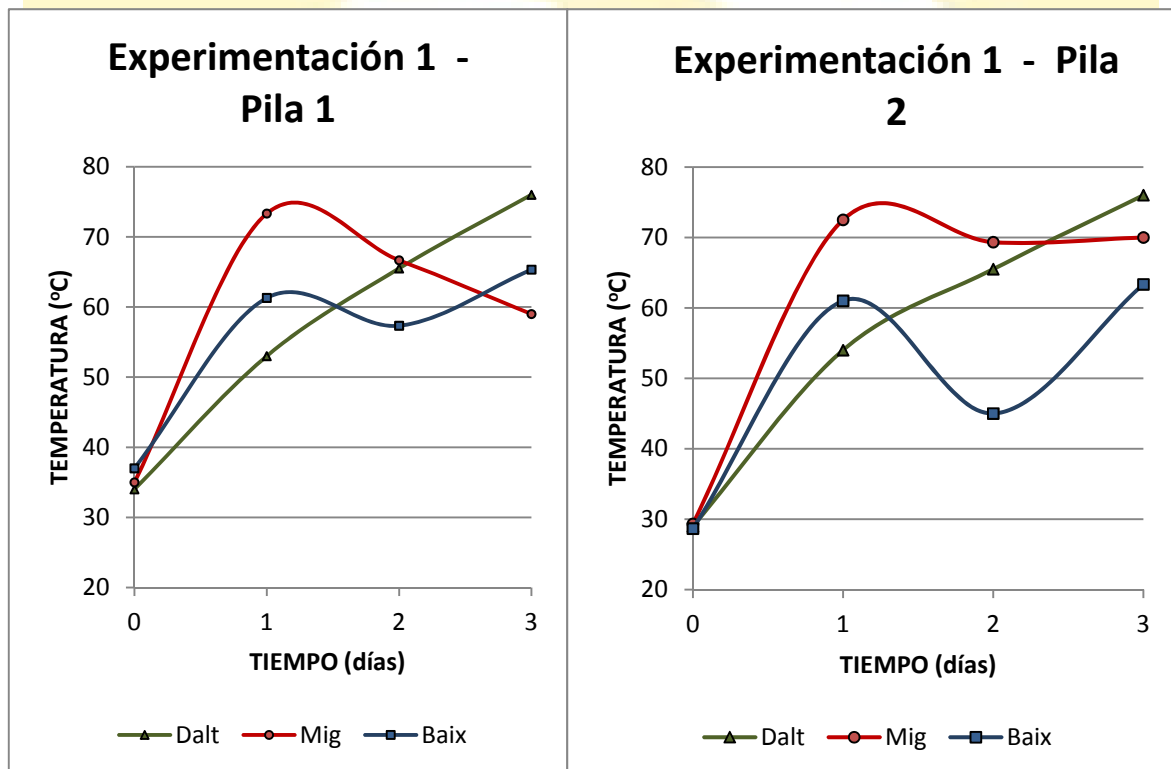


Figura 3: Evolución de la temperatura de los tres niveles de altura en las dos pilas experimentales de higienización durante los tres días del primer estudio piloto. Descodificación: “Arriba”: de 5-10 cm de la carena, “Medio”: a unos 80-90 cm de altura y “Bajo”: a unos 10-20 cm de altura de la base.

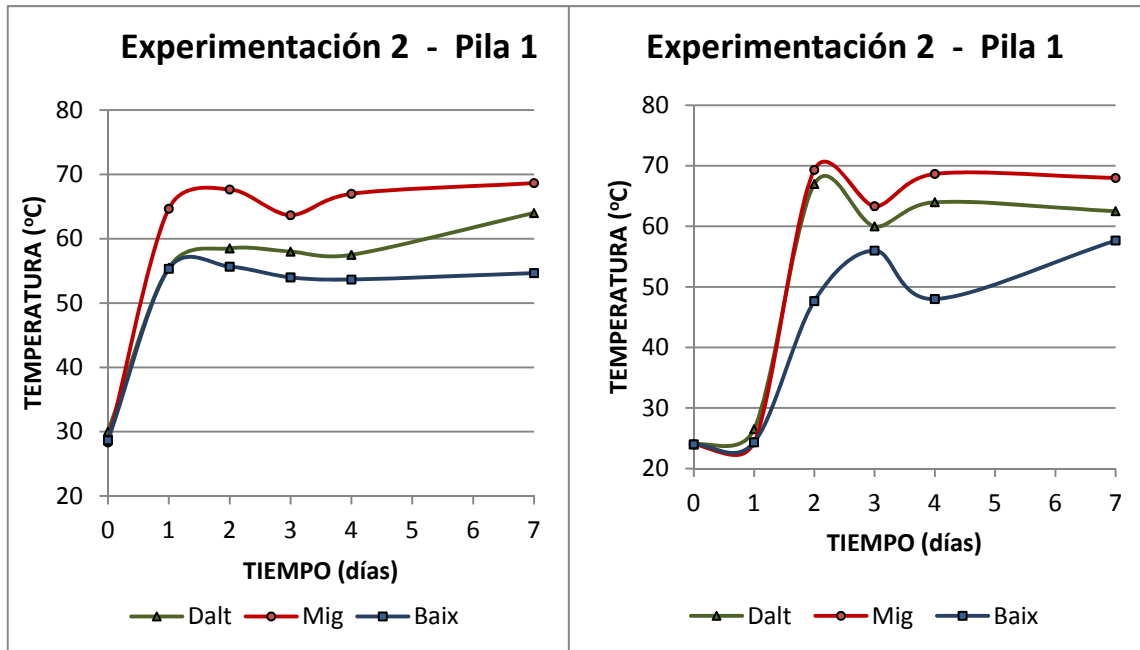


Figura 4: Evolución de la temperatura de los tres niveles de altura en las dos pilas experimentales de higienización durante los siete días del segundo estudio piloto. Descodificación: “Arriba”: de 5-10 cm de la carena, “Medio”: a unos 80-90 cm de altura y “Bajo”: a unos 10-20 cm de altura de la base.

En el primer estudio piloto de 3 días de duración (figura 3), se observa el aumento rápido de la temperatura en las dos pilas, hasta lograr valores de higienización (temperaturas por sobre los 50 °C) en menos de 24 horas. Estas condiciones de higienización presuntiva se mantienen en las dos pilas experimentales durante los dos días restantes de la prueba, todo y el efecto negativo de la ligera lluvia del segundo día. Las medias de la temperatura de tratamiento extraídas de la globalidad de los valores determinados a las 24, 48 y 72 horas del inicio en los tres niveles de “arriba, medio y bajo” han sido respectivamente de: 64,8, 66,3 y 61,3 °C, para la pila 1, y 66,2, 70,6 y 56,4 °C, para la pila 2, indicadoras de la capacidad microbicida del sistema. En esta prueba experimental, es la pila 2, constituida por mezcla entre fracción sólida de purín y vilorda, la que más se ha calentado, exceptuando su parte baja que ha almacenado más agua de la lluvia.

El segundo estudio experimental ha querido tratar los materiales a higienizar con más días de termofilia (más de 45 °C), de forma que la prueba se ha planificado para 7 días de duración, a pesar de que la pila 2 empezó a recibir su aireo correspondiente con un día de retraso por problemas técnicos en la instalación. Se observa que tanto los registros hechos en la parte superior como en la media son los que adquieren y mantienen las temperaturas más altas,

rondando los 60-70 °C desde las 24 horas o antes, mientras que las de la parte inferior se sitúan más bien cerca o entre 50-60 °C. En ambos casos, las temperaturas más elevadas se han obtenido en la zona de muestreo de media altura.

Las medias de la temperatura de tratamiento extraídas de la globalidad de los valores determinados a las 24, 48 y 72 horas del inicio en los tres niveles de “arriba, medio y bajo”, las cuales han sido respectivamente de: 58,7, 66,3 y 54,7 °C, para la pila 1, y 63,4, 67,3 y 52,3 °C, para la pila 2. Comparativamente con la prueba experimental 1, estas condiciones térmicas globales han mostrado valores ligeramente más bajos, pero también han sido indicadoras de la capacidad microbicida del sistema. En esta experimentación se observa que la pila que más se calienta es la 1, precisamente la que sólo tiene fracción sólida, a la inversa que en la prueba experimental 1.

Características físico – químicas de los substratos

Los resultados obtenidos en los diferentes parámetros físico – químicos analizados son los que se exponen en los histogramas de las figuras 5 y 6.

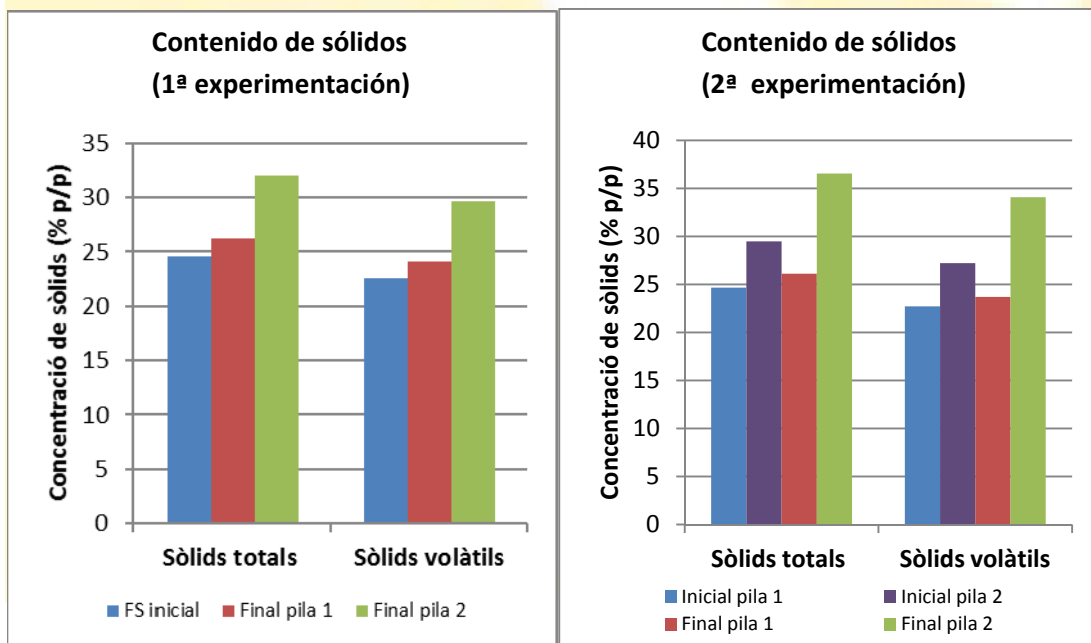


Figura 5: Contenidos de sólidos totales y volátiles en los productos obtenidos (Final pila 1 y final pila 2) de los dos pilotajes experimentales (1a y 2a experimentación) respecto a los materiales de entrada (Fracciones sólidas de los purines de vacuno: FS inicial e Inicial pila 1, y mezcla de fracción sólida con vilorda: Inicial pila 2).

Se observa que los contenidos de sólidos de las diferentes pilas experimentales (figura 5), tanto en el primer pilotaje experimental como en el segundo, incrementan ligeramente en el caso de las pilas confeccionadas sólo con fracción sólida de purín de vacuno, o de una forma

más notoria en las pilas confeccionadas con mezcla de fracción sólida y vilorda. Este comportamiento diferencial es debido a la mayor esponjosidad de las pilas con vilorda, lo cual aporta una mayor volatilización hídrica, y también a la menor biodegradabilidad de los sólidos aportados en las pilas 2 (la lignina de la vilorda es poco biodegradable), de forma que se descomponen menos en el proceso. De todos modos, los tratamientos han mostrado, en ambas experimentaciones y situaciones experimentales, que los productos se obtienen con un menor contenido de agua que los sustratos iniciales y con unos sólidos más estabilizados.

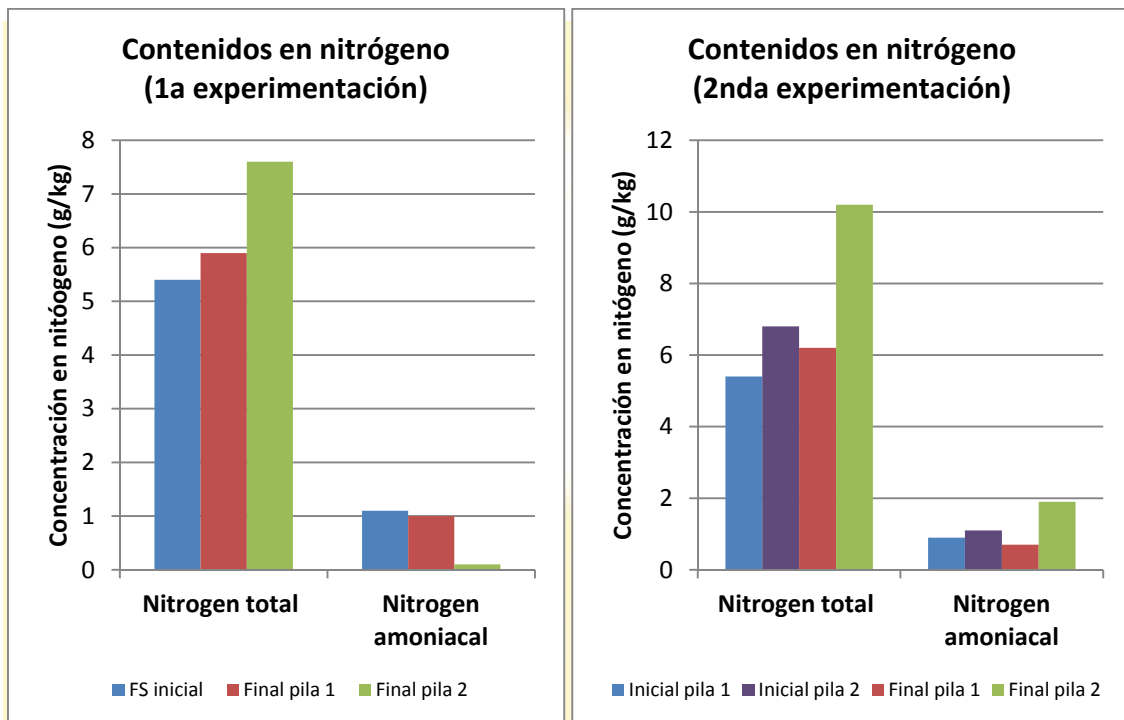


Figura 6: Contenidos de nitrógeno en los productos obtenidos (Final pila 1 y final pila 2) de los dos pilotajes experimentales (1a y 2a experimentación) respecto a los materiales de entrada (Fracciones sólidas de los purines de vacuno: FS inicial e Inicial pila 1, y mezcla de fracción sólida con vilorda: Inicial pila 2).

El contenido de nitrógeno (nitrógeno total Kjeldahl) también ha aumentado en todos los casos, indicando que la tasa de volatilización de compuestos nitrogenados ha sido más baja que no la mengua asociada del contenido hídrico (volatilización de agua) y del contenido orgánico (degradación de la materia orgánica a dióxido de carbono y otras sustancias volátiles). Aún así, el contenido final de nitrógeno amoniacal en los productos tratados suele ser baja (cerca de 1 g N/kg) y normalmente inferior a la concentración inicial, a excepción de la pila 2 de la segunda experimentación, que se ha comportado muy diferente a la reducción importante del primer experimento. Las diferencias térmicas entre las dos experimentaciones son muy probablemente la explicación.

Características microbiológicas de los substratos

En la primera experimentación piloto de 3 días, los contenidos microbianos antes y después del tratamiento de higienización por temperatura vienen expuestos en la figura 5. Se remarca que el eje de ordenadas es logarítmico y, por lo tanto, las reducciones de microorganismos viables (que pueden crecer y reproducirse) logradas se han situado en valores que superan en todos los casos el 99% en la pila 1 y el 95% en la pila 2. Hay que añadir que los recuentos de viables al final de los tratamientos en los *Streptococcus coagulasa*-positivos han dado < 100 cfu/g y que se ha determinado la ausencia de *Salmonella* en 25 g de muestra.

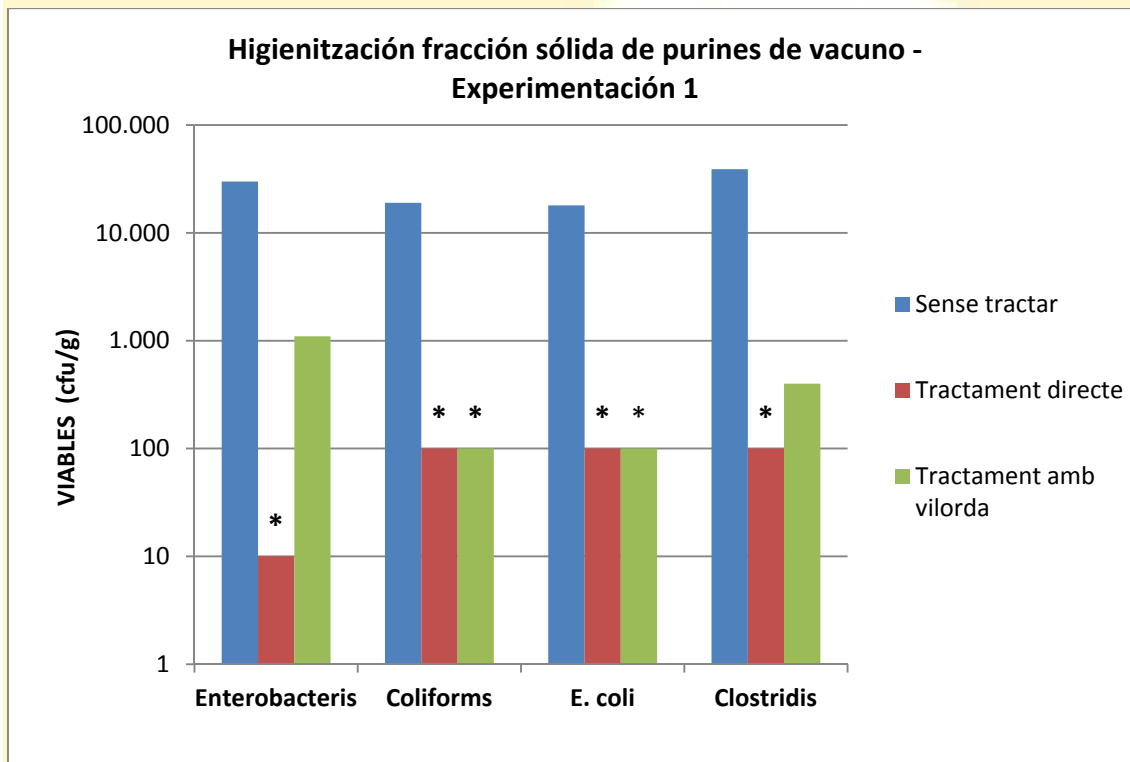


Figura 5: Contenidos de viables de diferentes tipos microbianos presentes en la fracción sólida de vacuno una vez apilada para el tratamiento ("Sin tratar") y al final del tratamiento higienizador de 3 días, tanto en la pila 1 ("Tratamiento directo", con ausencia de vilorda como esponjando) cómo en la pila 2 ("Tratamiento con vilorda", con la presencia de esta vilorda como esponjando). Descodificación: las barras con un * representan los resultados por debajo el límite de la detección analítica y se tienen que interpretar como < 10 cfu/g o como <100 cfu/g, para cada valor expuesto.

Los resultados de higienización microbiana obtenidos en el segundo pilotaje experimental (figura 6), con 7 días de tratamiento pero con temperaturas ligeramente más bajas, también muestran reducciones muy importantes, superiores al 99,9% en los viables de los coliforms y *E. Coli* en las dos pilas y más elevados del 99,0% en los viables de los enterobacterios y de los clostridios de la pila 1, mientras que estos dos tipos bacterianos han logrado reducciones de sólo el 80-90% a la pila 2. Los recuentos de viables al final de los tratamientos en los

Streptococcus coagulasa-positivos han dado < de 100 cfu/g y se ha determinado la ausencia de *Salmonella* en 25 g de muestra.

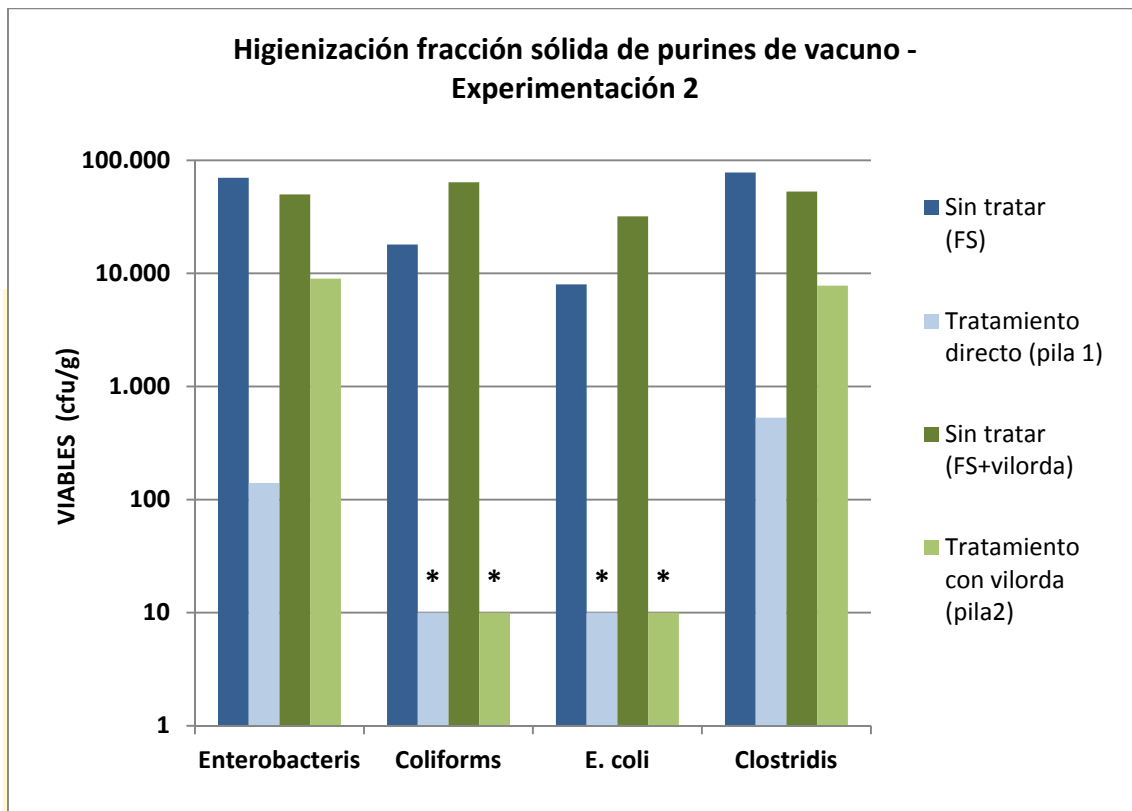


Figura 6: Contenidos de viables de diferentes tipos microbianos presentes en la fracción sólida de vacuno una vez apilada para el tratamiento ("Sin tratar (FS)"), mezclada con vilorda y a punto para tratar ("Sin tratar (FS+vilorda)") y al final del tratamiento higienizador de 3 días, tanto en la pila 1 ("Tratamiento directo (pila1)", con ausencia de vilorda como esponjando) cómo en la pila 2 ("Tratamiento con vilorda (pila2)", con la presencia de esta vilorda como esponjante). Descodificación: las barras con un * representan los resultados por debajo el límite de la detección analítica y se tienen que interpretar como: < 10 cfu/g.

En las gráficas que se muestran a continuación (figura 7), se refleja la mengua de la viabilidad bacteriana que ha habido en la globalidad de las bacterias estudiadas: el sumatorio de enterobacterias, clostridios sulfito-reductores y estreptococos coagulasa-positivos. Tal y cómo se puede ver, las reducciones de viables logradas han superado en todos los casos el 90% y las de las pilas 1, sin vilorda en su constitución, se ha situado siempre por encima del 99%. Las higienizaciones de la primera experimentación, con temperaturas más elevadas y sólo 3 días de tratamiento, han sido ligeramente más eficientes que en la segunda prueba piloto, la cual ha logrado unos niveles térmicos inferiores, todo y la mayor duración de los tratamientos.

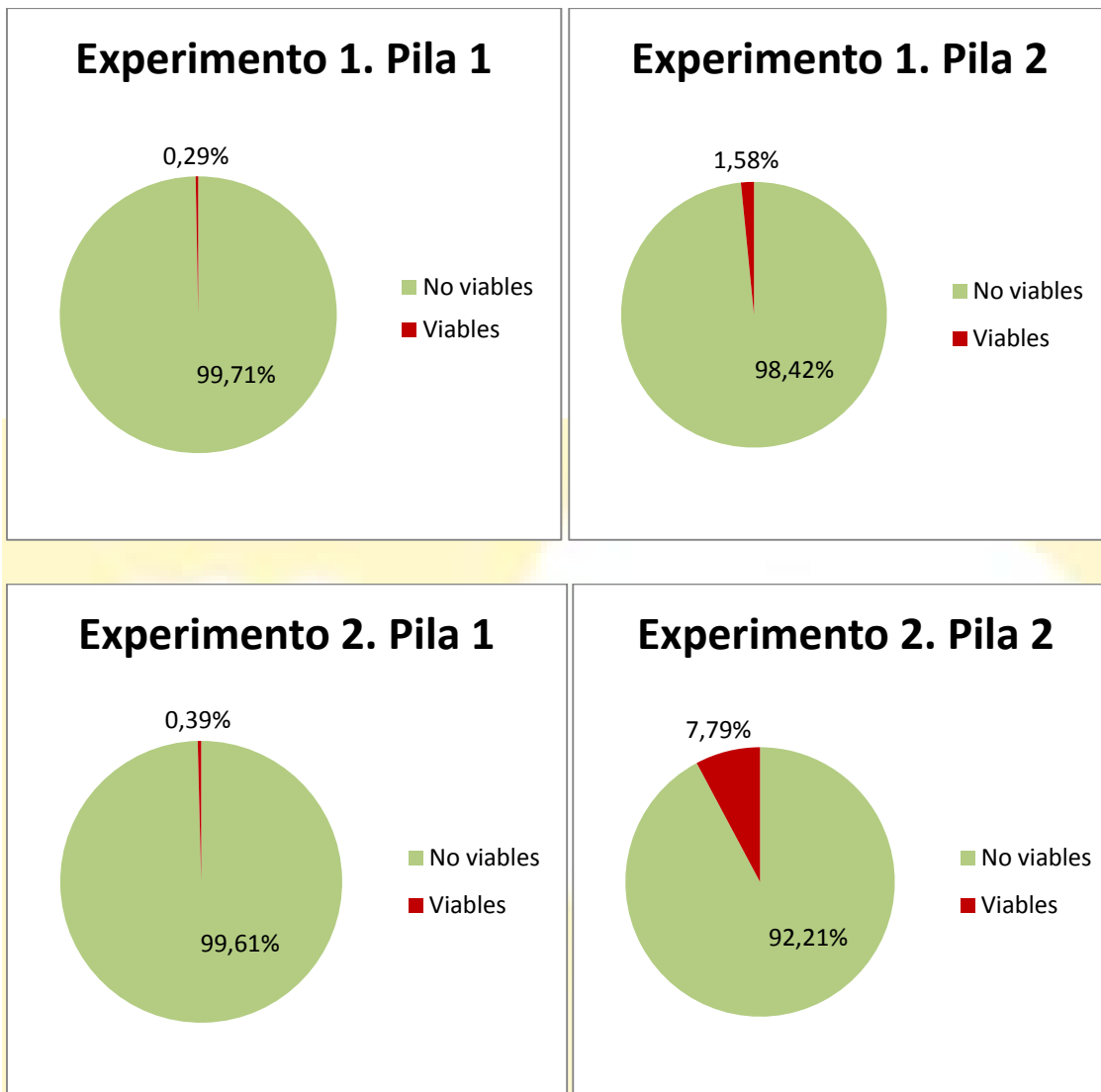


Figura 7: Las 4 gráficas describen, en cada uno de los pilotajes de higienización realizados, la relación existente entre la globalidad de las bacterias viables detectadas analíticamente en el material a tratar (el 100%) y los que se detectan al final del tratamiento (en rojo). El sector en verde indica la reducción de la viabilidad bacteriana producida por el tratamiento.

Consumo de energía

Durante todos los experimentos, se ha hecho un seguimiento de la energía eléctrica que se ha hecho servir para el aireo del proceso de higienización. A partir de este seguimiento se puede decir:

- Se considera que los tratamientos realizados han tenido una duración media de 5 días /los primeros eran de 3 días y los segundos de 7).
- El consumo eléctrico global de 31,4 kWh implica que cada pila haya consumido 7,85 kWh.

- Por lo tanto, cada metro cúbico de fracción sólida de purín de vacuno requiere 0,58 kWh de energía eléctrica para higienizarse.

Conclusiones

Este estudio experimental ha aportado las conclusiones principales que se exponen a continuación:

1. El proceso de higienización utilizado, aireo estático de pilas de fracción sólida de los purines de vacuno con y sin vilorda como agente esponjante, ha demostrado en todos los pilotajes experimentados realizados unos niveles de higienización elevados, superando los 95 y el 99% de reducción de bacterias viables (como suma de enterobacterios, coliformas sulfito-reductores y estreptococos coagulasa positivos), respectivamente al hecho de si la fracción sólida iba o no acompañada de vilorda.
2. En todos los procesos de higienización ensayados, las reducciones de los viables de coliformas y *Escherichia Coli*, bacterias indicadoras de fecalidad, se han situado siempre en valores cercanos y superiores al 99,5%.
3. En todos los procesos de higienización ensayados en las pilas con fracción sólida exclusivamente, las reducciones de los viables de enterobacterios y de coliformas sulfito-reductores, siendo bacterias normales al ambiente y que cuentan con especies oportunistas para producir efectos de patogenicidad, se han situado siempre en valores cercanos y superiores al 99,0%.
4. En la evaluación de los resultados de las diferentes pilas ensayadas, se observa que en se ha producido globalmente una mayor higienización en las pilas que sólo contienen fracción sólida en relación a las que se han confeccionado con la mezcla de fracción sólida y vilorda.
5. Considerando los dos pilotajes experimentales realizados, de 3 y 7 días de duración, con sus condicionantes sufridos y los resultados obtenidos, es aconsejable trabajar con un mínimo de 5 días de tratamiento para tener garantías de unos bonos resultados de higienización.
6. El sistema de separación física de fracciones utilizado ha aportado una fracción sólida desde los purines porcinos de vacuno de leche que ha sido idónea, tanto si se utiliza exclusivamente como si se mezcla con algún agente esponjante (como la vilorda), para el proceso de obtención de buenos productos para la suyo uso como cama del ganado.

7. El consumo eléctrico requerido para los procesos de higienización ensayados se ha situado en alrededor de unos 0,58 kWh por m³ de fracción sólida de purín vacuno tratada.
8. Las instalaciones y maquinaria que se han usado para los pilotajes ensayados se han mostrado idóneas para la consecución de los hitos propuestos, a pesar de que merecen, obviamente, las adecuaciones pertinentes para su uso definitivo y continuado en la explotación.



Bibliografia

Barrena, R. , J. Turet, A. Busquets, M. Farrés, X. Font & A. Sánchez, 2011. Respirometric screening of several types of manure and mixtures intended for composting. *Bioresource Technology*. 102 (2): 1367 - 1377.

INDESCAT, 2017. <https://www.idescat.cat/> Institut d'Estadística de Catalunya. Generalitat de Catalunya.

Lemunier, M., C. Francou, S. Rousseaux, S. Houot, P. Dantigny, P. Piveteau & J. Guzzo, 2005. Long-term survival of pathogenic and sanitation indicator bacteria in experimental biowaste composts. *Applied and Environmental Microbiology*. 71 (10): 5779–5786.

Turet, J., A. Busquets i N. Bruch, 2013. Separación física de purines: un gran paso para su tratamiento y gestión medioambiental. *Interempresas.net Ganadería*. <http://www.interempresas.net/Ganadero/Articulos/111025-Separacion-fisica-de-purines-un-gran-paso-para-su-tratamiento-y-gestion-medioambiental.html>.

Viaene, J., V. Nelissen, B. Reubens, K. Willekens, F. Driehuis, S. De Neve & B. Vandecasteele, 2017. Improving the product stability and fertilizer value of cattle slurry solid fraction through co-composting or co-ensiling. *Waste Management*. 61: 494-505.