

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AMONIACO DE PURINES DE CERDO MEDIANTE EVAPORACIÓN AL VACÍO

Roberto Estéfano¹, Àngel Cuadras², Xavier Flotats³

¹MANNOL Lubricantes SL. Avda. Bertran i Güell 61, 08850 Gavà (Barcelona), roberto@mannol.es. ²Dep Eng Electrònica, EEBE-UPC-BarcelonaTech. Eduard Maristany 16, 08019 Barcelona, angel.cuadras@upc.edu. ³GIRO unitat mixta IRTA-UPC. Dep Eng Agroalimentària i Biotecnologia, UPC-BarcelonaTECH. Esteve Terrades 8, 08860 Castelldefels (Barcelona), xavier.flotats@upc.edu

RESUMEN: El amoníaco es una relevante materia prima de una extensa industria química, aparte de la de los fertilizantes nitrogenados, y su producción se basa en recursos no renovables. Así mismo, los purines de cerdo contienen una concentración elevada de nitrógeno amoniacal, cuyas pérdidas por volatilización deben evitarse. En el presente trabajo se describe el estado actual de desarrollo de un sistema de recuperación de nitrógeno amoniacal, en forma de agua amoniacal, basado en el proceso de evaporación al vacío y absorción, aplicable en zonas excedentarias de nutrientes y con el fin de valorizar el nitrógeno excedentario. Hasta el presente, de entre diferentes configuraciones del sistema y parámetros de operación, se ha observado que las variables más importantes que afectan a la eficiencia del sistema son el pH de los purines y la concentración de nitrógeno amoniacal en estos, obteniendo valores medios de captura como agua amoniacal del 64,6% respecto del nitrógeno extraído de los purines, que ha presentado valores de hasta el 83%. Para futuras mejoras en el proceso de desarrollo se estudiará el efecto de una digestión anaerobia previa y una absorción secuencial, para obtener diferentes calidades de los productos y minimizar las pérdidas de amoníaco.

PALABRAS CLAVE: AMMONEVA, evaporación al vacío, purines, amoníaco, TAN (*total ammonia nitrogen*).

1. INTRODUCCIÓN

En Europa se producen anualmente unos 1.400 millones de toneladas de deyecciones ganaderas, de las cuales unos 127 millones de toneladas de purines de cerdo, con un contenido del orden de 7-10 millones de toneladas de nitrógeno (N), orgánico y amoniacal (Oenema y col., 2007; Foged y col., 2012). Según Oenema y col. (2007), un máximo del 52% de N se aprovecha como nutriente para cultivos, mientras que el resto se pierde, principalmente por volatilización de NH_3 . El valor fertilizante de las deyecciones es indudable, pero en zonas de elevada densidad ganadera, excedentaria en nutrientes, deben implantarse procesos de transformación que permitan la recuperación de estos nutrientes y facilitar su transporte a zonas con demanda de fertilizantes. Otra alternativa es transformar estos nutrientes en productos con demanda en otros sectores de actividad. Este es el caso del NH_3 , producido a partir de N_2 e H_2 , procedente de gas natural, mediante el proceso Haber-Bosch, que sustenta una amplia industria química, aparte de la de los fertilizantes nitrogenados. La recuperación de NH_3 aparece como estratégica en el contexto de una economía circular.

Existen diversas tecnologías de recuperación de nitrógeno amoniacal de deyecciones (Flotats y col., 2012), pero el proceso de evaporación al vacío no ha recibido atención hasta fechas recientes. Stopp y col. (2017) ensayaron la evaporación al vacío de amoníaco en modo discontinuo, a elevada temperatura y sin modificación de pH del substrato, obteniendo diferentes concentraciones de amonio de forma secuencial en la fase de absorción posterior con ácido sulfúrico.

El objetivo es presentar los trabajos de desarrollo de una planta piloto del proceso AMMONEVA[®], basado en evaporación al vacío de amoníaco a temperatura moderada y modificación de pH, con recuperación de amonio en forma de agua amoniacal, aplicado a la fracción líquida de purines de cerdo y operado en discontinuo. Estudios previos de laboratorio (Cerrillo y col., 2017) han sido la base del diseño de la planta piloto actual y permitieron definir los parámetros prioritarios de operación y control.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Sistema AMMONEVA[®]

El sistema AMMONEVA[®] (Figura 1), está compuesto por un reactor cerrado de 60 litros (Figura 2a) que opera a baja presión, una bomba de vacío que impulsa los gases aspirados del reactor, y dos borbotadores en agua, pudiendo operar en serie o paralelo, que actúan como absorbedores de nitrógeno amoniacal. Los borbotadores se localizan en un refrigerador para favorecer la condensación (Figura 2c). A fin de favorecer la transferencia de gases, el reactor contiene un empaquetado de platos (Figura 2b), integrado con un intercambiador de calor para mantener la temperatura deseada, circulando el substrato mediante una bomba de recirculación, que puede ser interna o externa al reactor. Así mismo, el reactor puede funcionar con o sin entrada de aire de aspiración.

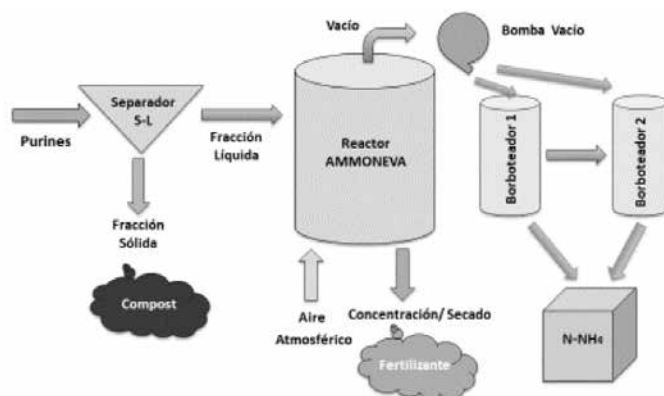


Figura 1. Esquema del sistema AMMONEVA[®].



Figura 2. Detalles de: a) Reactor; b) Platos de evaporación; c) Borbotadores de NH_3

El proceso en el reactor se basa en desplazar el equilibrio $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ hacia el NH_3 mediante el control de la temperatura y el pH. El sistema opera a una temperatura moderada (40-45°C) y se ensaya con diferentes pH, entre 8 y 12,5. A pH básico se favorece la volatilización del NH_3 y se reduce la de ácidos grasos volátiles (Flotats y col., 2012).

Los borboteadores contienen una cantidad inicial de agua y capturan el agua evaporada por condensación y parte del NH_3 . La entrada de gases se realiza mediante difusores (de burbuja gruesa o burbuja fina) y se ensaya con o sin material de relleno, anillos Pall, para favorecer la transferencia gas-líquido.

2.2. Materiales utilizados

Se ha ensayado con purines de cerdo procedentes de tres granjas de la comarca de Osona (Barcelona) y se ha modificado su pH añadiendo NaOH. A pesar de características diferentes de las granjas, las concentraciones de TAN (*total ammonia nitrogen*) no han resultado significativamente diferentes, con intervalos de confianza al 95% de $2,6 \pm 1,5$, $4,3 \pm 0,7$ y $4,5 \pm 1,2$ g TAN l⁻¹.

2.3. Diseño experimental

Se ha ensayado el sistema con los purines descritos y diferentes pH, operando el reactor con diferentes condiciones de: a) entrada o no de aire de aspiración, b) bomba de recirculación interna o externa, c) temperatura de 40°C o 45°C, d) tiempos de proceso de 4 o 6 horas. Los borboteadores se han operado en serie a una temperatura de $10,6 \pm 2,3$ °C con difusores de burbuja fina, con o sin anillos Pall de relleno. Se ha medido el volumen inicial y final de purines y de agua en borboteadores, y las concentraciones inicial y final de TAN en el reactor y en los borboteadores, obteniendo los porcentajes de TAN extraído de los purines, de TAN capturado y, por diferencia, el perdido, mediante balance de masas para las condiciones de trabajo ensayados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de extracción o la concentración de TAN en los vapores del reactor no han mostrado diferencias significativas debido a los diferentes parámetros de operación ensayados. Sólo el efecto del pH o la concentración inicial de TAN en los purines presentan una tendencia marcada (Figura 3), a pesar que debido a la dispersión de los resultados no sea estadísticamente significativa. Un mayor pH inicial incrementa el valor de la relación NH_3/TAN y una mayor concentración inicial favorece los procesos de transporte de la fase líquida a la gaseosa.

La concentración media de nitrógeno en los dos borboteadores ha sido de 2,8 g TAN l⁻¹, con una relación media de concentraciones entre el primero y el segundo de 5,1, y con una concentración máxima de 5,4 g TAN l⁻¹ en el primer borboteador. La eficiencia media de captura de TAN ha sido del 64,6% respecto del total entrado al sistema de absorción. Este valor se corresponde con la pendiente de la recta de ajuste de datos de concentración de TAN en absorbedores vs. los esperados en caso que la absorción fuera del 100%, o pérdidas nulas (Figura 4). No se han encontrado diferencias significativas en el rendimiento de captura por absorción debidas al uso de anillos Pall.

La recta de la Figura 4 se ha obtenido para ordenada cero en el origen. El máximo coeficiente de determinación (0,82) se obtiene para una ordenada en el origen de 0,63 g TAN l⁻¹ y una pendiente del 78,2%, que correspondería a la eficiencia media de captura a la que se tendería conforme aumenta la concentración de TAN esperada, esto es, conforme aumenta la concentración de TAN en vapores de extracción, que depende de la concentración de TAN en los purines

a tratar (Figura 3). Lo anterior sugiere la conveniencia de una digestión anaerobia previa, para aumentar su concentración en TAN. Para aumentar la eficiencia de captura se estudiará el interés de una absorción secuencial, para obtener agua amoniacal en el primer borboteador y una absorción en el segundo borboteador con ácido sulfúrico diluido, para minimizar las pérdidas.

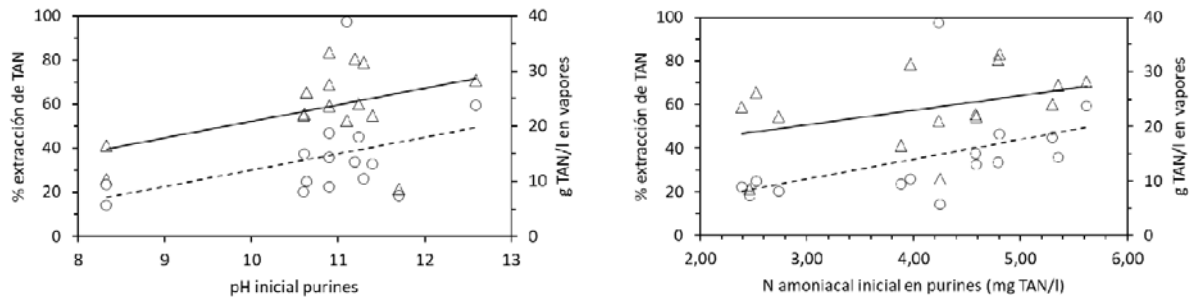


Figura 3. Resultados de % de extracción de TAN de los purines (Δ , con línea de tendencia continua) y concentración de TAN en los vapores aspirados del reactor (\circ , con línea de tendencia discontinua) en función del pH inicial de los purines (izquierda) o de su concentración inicial de TAN (derecha).

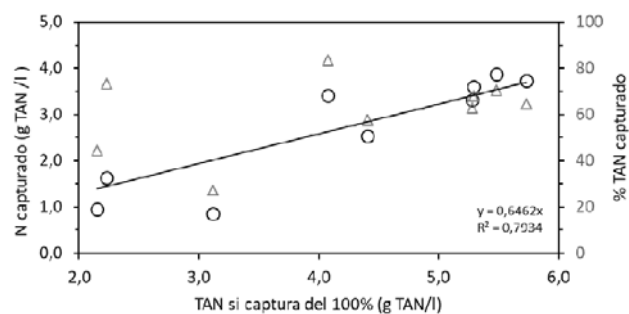


Figura 4. Concentración media final de TAN en los borboteadores (\circ , con recta de ajuste) y % de TAN capturado respecto a extraído de reactor (Δ), en función de la concentración esperada si TAN extraído es completamente absorbido.

4. CONCLUSIONES

En el estado presente de desarrollo del sistema AMMONEVA[®], se ha observado que los factores más importantes que afectan a su eficiencia son el pH de operación y la concentración de nitrógeno amoniacal en los purines, lo cual sugiere la conveniencia de una digestión anaerobia previa. Para aumentar la eficiencia de captura de amonio, se deberá estudiar una absorción secuencial para obtener dos productos, aguas amoniales y dilución de sulfato amónico, y minimizar las pérdidas de NH_3 .

5. BIBLIOGRAFÍA

Cerrillo M., Morey L., Burgos L., Estefano R., Bonmatí A., 2017. Recovery of ammonium from digestates through vacuum evaporation. *International conference on manure management and valorization*, November 27-29, Eindhoven (The Netherlands).

Flotats X., Foged H.L., Bonmatí A., Palatsi J., Magrí A., Schelde K.M., 2012. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment. <http://hdl.handle.net/2117/18944>.

Foged H.L., Flotats X., Bonmatí A., Palatsi J., Magrí A., Schelde K.M., 2012. Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No. I concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate General Environment. <http://hdl.handle.net/2117/18943>.

Oenema O., Oudendag D., Velthof G.L., 2007. Nutrient losses from manure management in the European Union. *Livest Sci.* 112, 261–272.

Stopp P., Weichgrebe D., Rosenwinkel K.H., 2017. Innovative digestate evaporation for nutrients recovery and post-processing. *Proceedings of the 15th World Congress on Anaerobic Digestion*, Beijing (China), 17-20 October 2017, pp. 657-660.

6. AGRADECIMIENTOS

Al AGAUR por la ayuda al desarrollo del doctorado industrial del primer autor (ref. 2016 DI 036).

