

Resumen

El presente artículo se basa en el tratamiento de purines de cerdo mediante la digestión anaerobia del residuo bruto, es decir, en las condiciones en que sale de las cochineras, sin previa separación de sólidos. Se proponen técnicas de inmovilización de los microorganismos mediante la adición de cuatro tipos de soportes arcillosos (saponita, zeolita, esmectita aluminica y sepiolita calcinada). La temperatura de trabajo ha sido de 25°C y se han estudiado cargas desde 0,6 a 7,0 g DQO/l. Se observa que la mayor producción de metano se da entre las 24 y 48 horas dependiendo de la carga inicial y del tipo de soporte, siendo el reactor con esmectita aluminica el de mayor rendimiento. La eficacia depuradora (%DQO consumida) es superior en los reactores con saponita, esmectita aluminica y sepiolita calcinada, mientras que las peores condiciones se obtienen en el reactor con soporte zeolita.

Palabras clave:

Purines cerdo, digestión anaerobia, soporte inmovilización, biogas, Rendimiento.

Abstract

Anaerobic treatment of pig sewage at 25°C: the influence of the binding medium.

In this paper, the treatment of swine wastewater as obtained in the farm without previous removal of solid by means of anaerobic digestion was studied. An immobilized microorganism method has been used with four kind of clayey supports (saponite, zeolite, esmectite and sepiolite). The working temperature was 25°C; the organic load ranged from 0,6 to 7,0 g COD/l. The highest methane production was achieved between 24 to 48 hours, depending on the initial load and the kind of support, esmectite being the one with the best yield. The higher efficacy (% COD removal) was obtained in reactors with saponite, esmectite and sepiolite supports; zeolite support showed the worst efficacy.

Keywords:

Pig sewage, anaerobic digestion, immobilized support, biogas, performance.

Depuración anaerobia de purines de cerdo a 25 °C: Influencia del soporte de inmovilización

Parte I: Tratamiento analítico

Por: Montaña Durán Barrantes*, Paloma Alvarez Mateos** y Fernando Romero Guzmán**

* Instituto de la Grasa, CSIC. Avda. Padre García Tejero, nº4. 41012 Sevilla.

** Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad de Sevilla. C/ Prof. García González, s/n. 41012 Sevilla.

E-mail: palvarez@cica.es.

1. INTRODUCCIÓN

En España, el 40% de la Producción Final Agraria se debe a la Ganadería¹. Según el Instituto Nacional de Estadística² el total de cabezas de porcino es de 11,9 millones, con una producción de residuos de 23,9 Mt/a y 577.900 t DBO₅/a (aproximadamente 22 millones de Habitantes Equivalente)³. Estas cantidades proceden en su mayor parte de instalaciones intensivas. Con la concentración de animales en estas explotaciones intensivas se registra un incremento de la producción de residuos, que hace prácticamente imposible la utilización tradicional de éstos como abono o acondicionadores de suelos en campos de cultivos.

A esta situación se une la mejora experimentada en las condiciones higiénicas de las explotaciones, con la sustitución de la cama de paja por el suelo de cemento, requiriendo una limpieza por agua, que provoca un incremento de los residuos generados.

Estos cambios no sólo han afectado al volumen, sino también a la

composición, a causa de la utilización de productos que inducen el crecimiento acelerado, medicamentos, metales pesados (caso del cinc y cobre), cuya persistencia en los residuos puede ocasionar daños imprevisibles en su utilización y posterior aplicación⁴.

El purín de cerdo es el agua residual que se recoge de las cochineras, sin previa separación de sólidos por tamizado o decantación. El volumen de vertido de las explotaciones de ganado porcino suele oscilar entre 6 y 8 litros por animal (70 kg) incluida el agua utilizada para la limpieza y arrastre de los residuos, y su característica principal es el importante contenido en sólidos totales, de 25-50 kg/m³, de los que un 80% son sólidos en suspensión, y hasta un 30% de la materia seca son sólidos minerales⁵.

Entre las posibles tecnologías disponibles con vistas a la depuración de este agua residual, destaca la digestión anaerobia, proceso altamente atractivo desde el punto de vista energético⁶. Sin embargo, la pequeña velocidad de reproducción

de los microorganismos anaerobios, unido a la pérdida de los mismos con los efluentes del proceso, da lugar a que en algunos casos se requieran elevados tiempos de retención hidráulica (10 a 30 días) para eliminar la materia orgánica presente en aguas residuales de alta carga orgánica, como la que se estudia en este trabajo. Una de las alternativas para disminuir el tiempo de retención hidráulica y, en consecuencia, el tamaño del reactor, actuando así favorablemente sobre la economía del proceso, ha sido recurrir a la inmovilización o retención de los microorganismos para construir reactores de alta densidad celular; con ello se consigue además aumentar la estabilidad del sistema, al evitar la pérdida de biomasa bacteriana⁷.

El objetivo de este trabajo se basa en el tratamiento del purín mediante la digestión anaerobia del residuo bruto, sin previa separación de sólidos como suele ser habitual en las instalaciones descritas en la bibliografía^{8,9}. Se proponen técnicas de inmovilización de los microorganismos mediante la adición de 4 ti-

pos de soportes arcillosos, que por sus características fisicoquímicas, permiten una retención de los microorganismos, favorecido por el aporte de nutrientes minerales e intercambios catiónicos en el medio, propiedad muy útil en la depuración de purines debido a que posee altas concentraciones de nitrógeno amoniacal (1-2 g/l). Por otra parte, y con vistas al desarrollo de procesos de depuración en mezcla completa, estos soportes poseen una baja densidad aparente que disminuye el consumo de energía.

Los reactores se inoculan con cultivos microbianos mixtos, aislados a partir de una balsa de recepción de purines, en la misma granja de cría y engorde de cerdos en donde se realiza la toma de muestra.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material

Características del agua residual de purines utilizada.- El agua residual se toma del conducto final hacia donde convergen todas las posibles aguas, limpias y sucias, gene-

*Los reactores
se inoculan
con cultivos
microbianos
mixtos*

radas en la granja, previo a su vertido en la balsa de recepción de purines. Su caracterización, **Tabla I**, corresponde a los valores medios de 30 determinaciones.

Inóculo.- La siembra se lleva a cabo con lodo tomado del fondo de una balsa de recepción y maduración de purines de cerdo, de 3-4 m de profundidad. La balsa pertenece a la misma granja de donde se toman las muestras de agua residual de purines, empleadas en el estudio, por lo que la adaptación de la biomasa se puede considerar idónea. Las ca-

Características medias del agua residual empleada

pH	8,0	Sólidos Totales (ST)	19,8 g/l
Demanda Química Oxígeno Total (DQO _T)	21,0 g/l	Sólidos Minerales (SM)	7,1 g/l
Demanda Química Oxígeno Soluble (DQO _S)	4,8 g/l	Sólidos Volátiles (SV)	13,1 g/l
Alcalinidad (CaCO ₃)	4,6 g/l	Sólidos Suspensión Totales (SST)	14,7 g/l
Acidez Volátil (Ac. acético)	690 mg/l	Sólidos Suspensión Minerales (SSM)	5,2 g/l
NH ₄ ⁺	800 mg/l	Sólidos Suspensión Volátiles (SSV)	9,8 g/l
NO ₃ ⁻	40,6 mg/l	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	4,1 g/l
NO ₂ ⁻	3,6 mg/l	Sólidos Disueltos Minerales (SDM)	1,5 g/l
N _k	4,3 g/l	Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)	2,8 g/l
PO ₄ ³⁻	46,2 mg/l		

Características del inóculo empleado	
pH	7,6
S.T.	70,5 g/l
S.M.	17,5 g/l
S.V.	53,0 g/l
S.S.T.	62,7 g/l
S.S.M.	14,4 g/l
S.S.V.	48,3 g/l

racterísticas del Inóculo utilizado se presentan en la **Tabla II**.

Soportes. - Los materiales arcillosos empleados como soportes para la inmovilización de la biomasa son: Saponita, Zeolita, Sepiolita Calcinada (a 500 °C) y Esmectita Aluminica, suministrados por Tolsa, S.A. (Madrid). La composición y características de cada uno de los citados soportes se muestran en la **Tabla III**.

Equipo experimental. - El equipo en el que se realiza el proceso de fermentación anaerobia (**Figura 1**) está constituido por unidades de di-

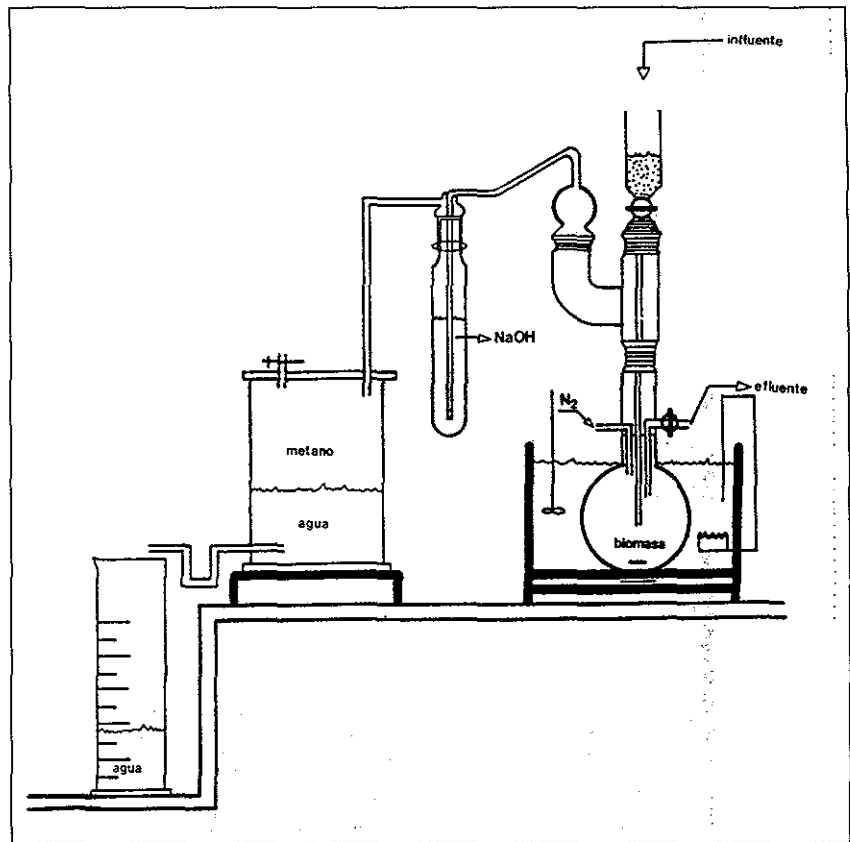


Figura 1. Unidad de digestión anaerobia (U.D.A.).

gestión anaerobia (U.D.A.)¹⁰ consistentes en matraces Pyrex de 1 li-

tro de volumen útil, con dos piezas acopladas en la parte superior. Una

Composición de los soportes utilizados en el estudio

% sobre muestra seca	SAPONITA	ZEOLITA	SEPIOLITA CALCINADA	ESMECTITA ALUMINICA
SiO ₂	57,3	67,9	62	60,3
Al ₂ O ₃	4,4	11,9	1,7	16,8
Fe ₂ O ₃	2	2,1	0,5	3,6
TiO ₂	0,2	-	-	0,2
MgO	25,4	1,2	23,9	4,6
CaO	0,6	2,8	0,5	1,7
Na ₂ O	0,2	1,5	0,3	4,5
K ₂ O	1	1,1	0,6	1,3
Pérdida Calcínación (a 1000°C)	8,3	11,5	10,5	6,7
Contenido en Humedad (%)	8	-	8,5	15
Densidad Aparente (g/cm ³)	0,5	-	0,1	0,7

de ellas sirve para introducir la carga, y por la otra pieza es desplazado el gas. El matraz está modificado con dos entradas laterales en el cuello, una para la entrada del gas inerte (N_2), necesario para realizar la descarga, y otra para la salida del efluente. Los reactores están sumergidos en baño de agua, a $25^\circ C$ y agitados magnéticamente.

Para la determinación del volumen de metano producido durante el proceso, se utilizan unos depósitos de 1 litro de capacidad tipo Boyle-Mariotte, acoplados a cada reactor. Previamente a ellos, se intercala un borboteador, perfectamente cerrado, que contiene una disolución de $NaOH$ 3N, cuya función es retener el CO_2 producido durante el proceso¹¹. El CH_4 originado desplaza el agua de los depósitos, y así, conocido este volumen, se tiene la cantidad de metano producido.

2.2. Método

Procedimiento operativo.- Se emplea una batería de cinco reactores: un testigo, más 4 reactores con 15 g/l de cada uno de los soportes mencionados anteriormente. Cantidades superiores de soporte aumentan la viscosidad aparente del medio, dificultando la transferencia de materia y disminuyendo la velocidad del proceso. Se inoculan con 9 g SSV/l de biomasa de cerdo y se adaptan durante seis semanas a la temperatura de trabajo ($25^\circ C$), adicionándose cargas de purín más metanol (1,0 g DQO/l), en porcentajes decrecientes en este último, para favorecer el desarrollo de la bacterias metanogénicas¹².

Se realizan los experimentos adicionándose cargas sucesivas de 0,6 ; 1,2 ; 1,8 ; 2,4 ; 3,0 ; 3,5 ; 4,5 ; 5,0 ; 6,0 y 7,0 g/l como DQO. La duración de cada experimento se corresponde con la del tiempo necesario para la biometanización completa de cada carga, determinándose el volumen de metano producido diariamente. Previo a la adición de estas cargas, se retiran del reactor los mismos volúmenes correspondien-

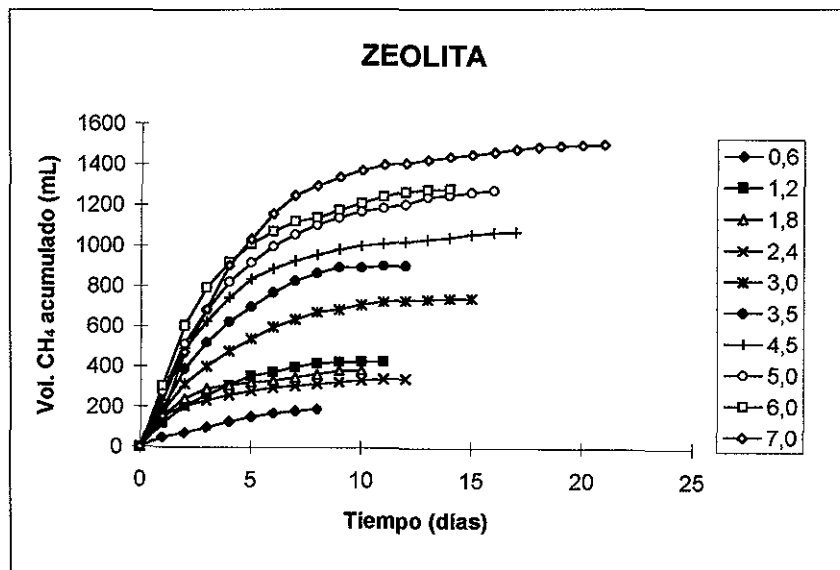


Figura 2. Evolución del volumen de metano acumulado. Reactor ZEOLITA.

tes a cada carga tras 12 horas de decantación para evitar las pérdidas de biomasa. A estos efluentes recogidos se les determinan los siguientes parámetros: pH, DQOs, nitrógeno amoniacal, acidez volátil, alcalinidad, sólidos totales y en suspensión, minerales y volátiles.

Análisis.- Los análisis de pH, DQO, nitrógeno amoniacal, acidez volátil, alcalinidad, sólidos totales y en suspensión, minerales y volátiles, nitritos, nitratos y ortofosfatos se realizan de acuerdo con los métodos de la APHA¹³.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Producción de metano acumulado en función de la carga

Evolución del volumen de metano acumulado.- En las Figuras 2 y 3 se representan los volúmenes de metano acumulado (ml) frente al tiempo (días) para las distintas cargas añadidas, en los reactores con soportes Zeolita y Sepiolita calcinada, los demás reactores presentan un comportamiento similar, con con-

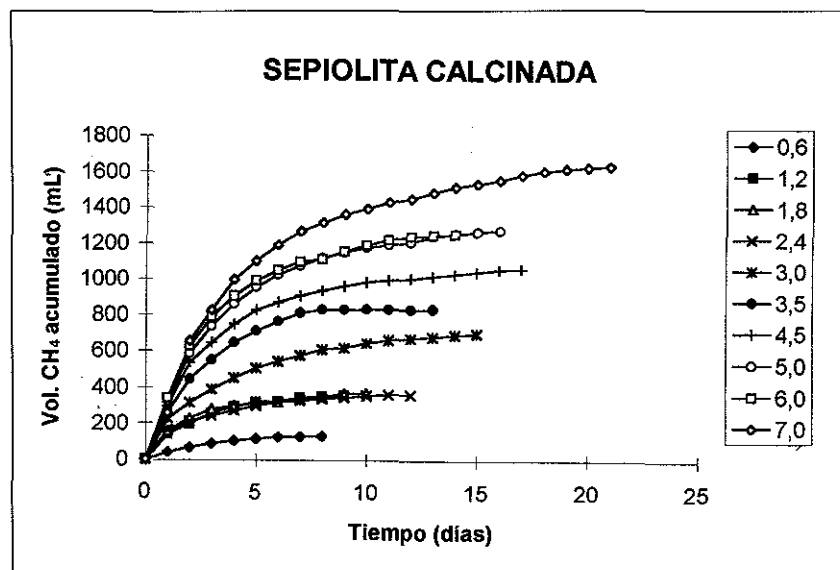


Figura 3. Evolución del volumen de metano acumulado. Reactor SEPIOLITA CALCINADA.

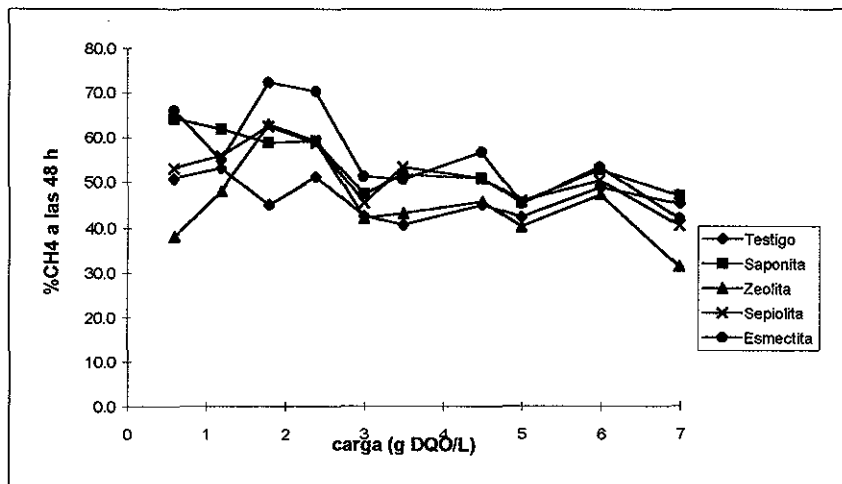


Figura 4. Porcentaje del metano total en las primeras 48 horas, en función de la carga alimentada.

centraciones de metano acumulado intermedia entre estos dos. Se observa que: 1) la evolución de las curvas corresponde en todos los casos a exponenciales crecientes; 2) a cargas inferiores a 3,0 g/l no existe proporcionalidad entre la producción de metano y la concentración de sustrato añadido, siendo prácticamente la misma para las cargas 1,2; 1,8 y 2,4 g/l; 3) la pendiente inicial de las curvas en el reactor con soporte Zeolita es menor que en los otros reactores, es decir, produce metano más lentamente.

Rendimiento relativo en las primeras 48 horas.- Se observa en las curvas que la máxima velocidad de

producción de metano ocurre entre el 1º y 2º día de reacción, en todos los casos, como muestra la **Figura 4** sobre el cálculo del porcentaje del metano total en las primeras 48 horas. A la carga de 3,0 g/l los reactores con relleno Esmectita aluminica, Sepiolita calcinada y Saponita producen entre el 50 y el 75% del metano total, siendo el primero de ellos el que mejor se comporta. A cargas intermedias (superiores a 3,0 g/l e inferiores a 5,0 g/l), todos los reactores producen en las primeras 48 horas entre el 40 y el 60% del metano total, siendo los que peor se comportan el Testigo y el reactor con Zeolita, que no alcanzan el

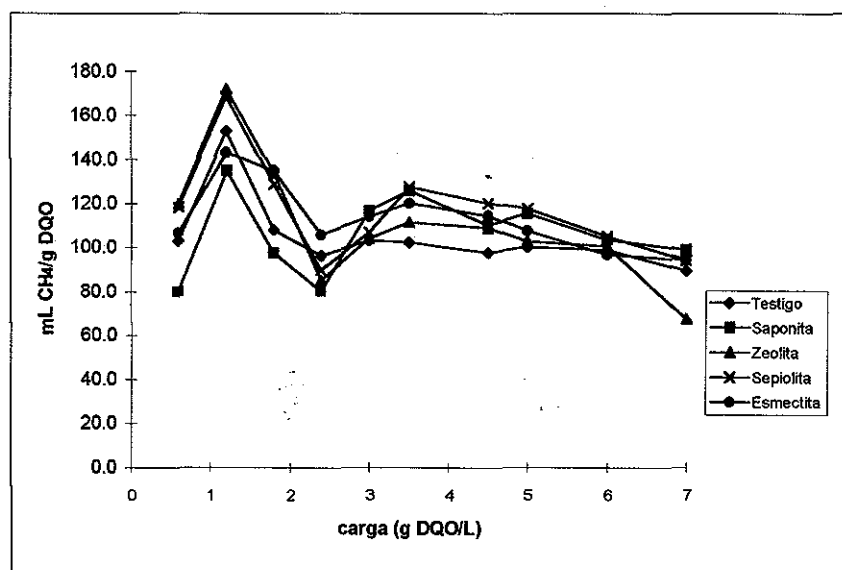


Figura 5. Rendimientos específicos iniciales, en función de las cargas alimentadas.

50%, mientras que los demás se sitúan en torno a dicho valor. A partir de 6,0 g/l desciende la producción de metano por debajo del 50%, especialmente en el caso del soporte Zeolita.

Rendimiento Específico Inicial (48 h).- Puesto que es en los dos primeros días cuando la producción de metano es máxima, con el fin de comparar los rendimientos en la metanización para las diferentes pruebas, se ha elegido como índice la relación entre el volumen de gas recogido en ese período y el valor de la DQO alimentada, en cada caso. Los valores de estos rendimientos específicos iniciales se han representado en la **Figura 5**, en función de la carga alimentada.

Puede observarse que el tipo de comportamiento es, en general, el mismo en todos los reactores: la máxima conversión se consigue cuando la DQO del influente es la misma a la que se había preadaptado la biomasa, 1,2 g/l. Tras de un brusco descenso para la alimentación de 2,4 g/l, se insinúa un nuevo máximo secundario, en la zona que va de 3,0 a 5,0 g/l, para después descender, posiblemente por lavado de la biomasa, lo que es especialmente acusado en el caso de la Zeolita.

Es precisamente el reactor con soporte Zeolita el que presenta un comportamiento más irregular, puesto que da los rendimientos específicos iniciales más alto y más bajo de todas las experiencias. Por el contrario, la menor variabilidad la presenta el reactor con Esmectita aluminica, con un valor medio que es el segundo más alto, pero con un valor mínimo que es el mayor de todos.

Con arreglo a los rendimientos específicos iniciales, se pueden ordenar los soportes según sus eficacias, para cada intervalo de valores de la carga alimentada.

- Para 1,2 g/l, son la Zeolita y la Sepiolita las que dan mejores resultados y la Saponita la peor.
- Entre 3,0 y 5,0 g/l, son Sepiolita y Saponita los mejores y la Zeolita el peor relleno.

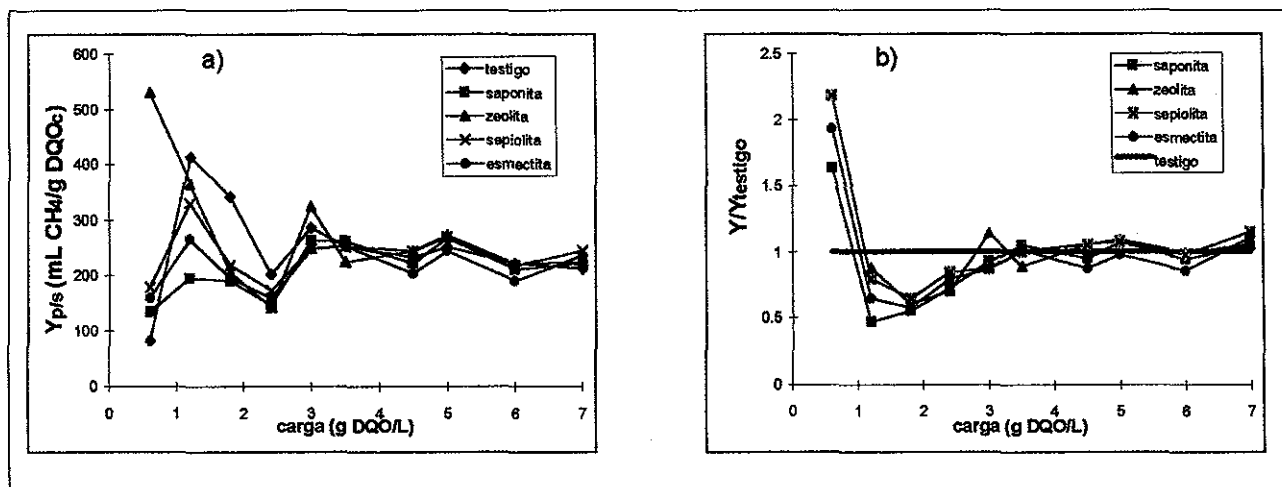


Figura 6. Relación del coeficiente de producción de metano $Y_{p/s}$ (mL CH₄/g DQO_c) en función de la carga añadida; a) valores de $Y_{p/s}$; b) valores de $Y_{p/s}$ relativos al testigo.

c) Para 7,0 g/l, el mejor es la Saponita y el peor la Zeolita.

Coefficientes de Rendimiento.- Con el fin de aclarar la posible influencia de la carga inicial sobre la producción de metano, se han calculado los coeficientes de rendimiento de formación de producto, definidos por:

$$Y_{p/s} = \frac{\text{vol. CH}_4(\text{ml})}{\text{DQO}_{\text{consumida}} (\text{gO}_2/\text{l})}$$

En la **Figura 6-a**) puede verse cómo hay una apreciable dispersión de los valores de $Y_{p/s}$, cuando las cargas de la alimentación son inferiores a 3,5 g/l, especialmente acentuada en los reactores con Zeolita y en el Testigo. Este último, sin embargo, presenta un comportamiento semejante al de los restantes reactores: un valor máximo en torno a 1,2 g/l y una tendencia a la estabilización entre 175 y 275 ml/g, para cargas superiores a 3,5 g/l.

Si comparamos los valores del coeficiente de rendimiento con respecto al del reactor Testigo en iguales circunstancias (**Figura 6-b**), se puede observar que todos los reactores con soportes presentan un comportamiento casi concordantes, que pueden resumirse de la siguiente manera:

1) Para cargas inferiores a 1 g/l, todos los reactores con soporte dan

valores de Y superiores a los del Testigo, siendo el mayor, con diferencia, el de la Zeolita y el más bajo el de la Saponita. Así, pues, la presencia del soporte aumenta la eficacia en la producción de metano.

2) Entre 1,0 y 3,0 g/l, todos los reactores con microorganismos soportados presentan valores de Y inferiores a los del reactor Testigo, no siendo posible identificar ninguna ventaja relativa de un soporte frente a otros.

3) Por último, cuando las alimentaciones tienen cargas comprendidas entre 3,0 y 7,0 g/l, todos los reactores, con o sin soporte, se comportan de manera análoga, si bien la Esmectita aluminica da, sistemáticamente, valores de Y inferiores a los del resto de los soportes ensayados.

Según esto, las mayores producciones de metano, por unidad de DQO consumida, se dan a valores muy bajos de la carga orgánica del influente, exactamente al valor 1,2 g/l, al que se había preadaptado la biomasa. Esto ocurre en todos los reactores excepto en la Saponita, cuyo intervalo óptimo está entre 3,0 y 5,0 g/l.

Para operación continua, en principio, podría trabajarse con cargas en torno a 2,0 g/l, en las que se alcanzan rápidamente los mayores rendimientos específicos, en parti-

cular si se utiliza Esmectita aluminica como soporte. Rellenos de Sepiolita calcinada, Saponita y Zeolita dan, para el mismo intervalo de cargas alimentadas, valores claramente superiores a los del Testigo, aunque inferiores a los del soporte antes citado. Sin embargo, si la carga alimentada no se mantiene en un valor constante, sino que puede estar sujeta a oscilaciones, sería aconsejable trabajar con influentes cuyas cargas estén comprendidas entre 3,0 y 5,0 g/l. En estas condiciones, presentan resultados muy parecidos los reactores con Esmectita, Sepiolita y Saponita.

3.2. Caracterización del efluente en función de la carga inicial

pH, DQO_s, Alcalinidad, Nitrógeno amoniacal y Acidez volátil.- Como se observa de los valores obtenidos de DQO en los efluentes, tras cada carga finalizada, destaca el reactor sin soporte, por ser el que posee los mayores valores (>1,0 g/l) desde el principio del estudio, con bajos porcentajes de DQO_c que no mejoran hasta cargas altas. A ello se unen elevadas concentraciones de acidez volátil y amoníaco, cuando la alcalinidad en el reactor tiende a disminuir. La capacidad amortiguadora se pierde en este reactor, lo que indica que a cargas superiores a 7,0 g/l, tendería a desestabilizarse

ARTICULOS TECNICOS

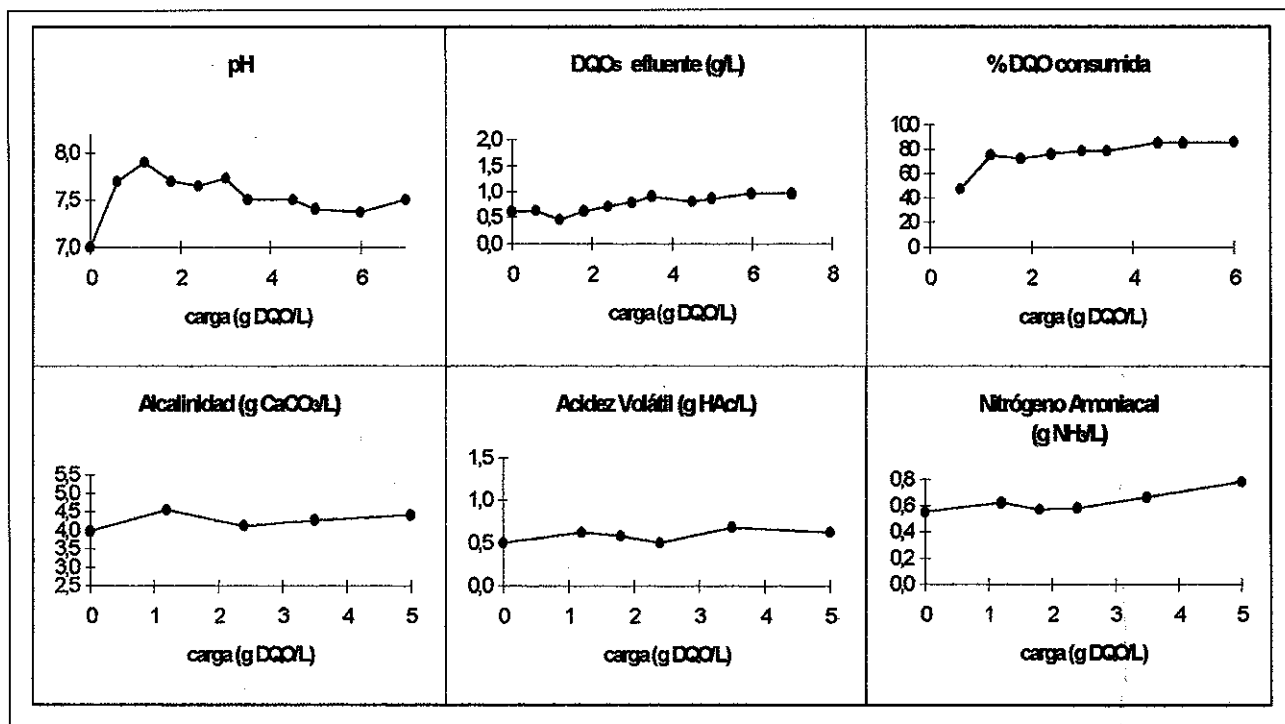


Figura 7. Parámetros analíticos de los efluentes del reactor con soporte SAPONITA.

(acidificación del reactor e inhibición de las bacterias metanogénicas).

Como puede observarse de la **Figura 7**, el reactor con soporte Saponita posee durante todo el proceso

de adaptación, concentraciones de ácidos volátiles y amonio muy bajas y un valor de la alcalinidad bajo, pero suficiente para no perder la capacidad tampón. Los valores de DQO_s en los efluentes son inferiores a 1,0

g/l, con porcentajes de DQO_c elevados desde bajas cargas.

El reactor con soporte Zeolita (**Figura 8**) presenta los valores más irregulares. Posee las concentraciones más bajas de todos los reactores

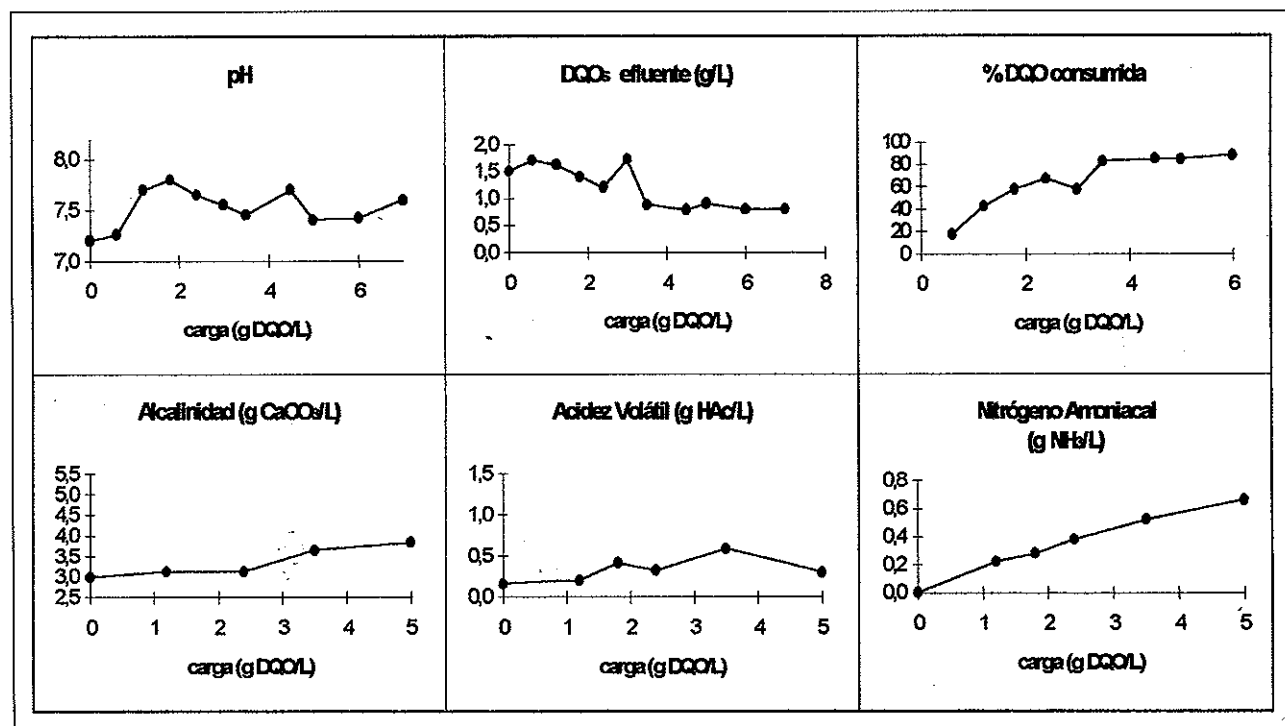


Figura 8. Parámetros analíticos de los efluentes del reactor con soporte ZEOLITA.

Valores medios de SSM y SSV (g/l) en los efluentes, y porcentaje de SSV evacuados respecto a los SV totales					
	TESTIGO	SAPONITA	ZEOLITA	SEPIOLITA CALCINADA	ESMECTITA ALUMINICA
%SSM _{medio}	0,965	0,385	1,472	0,494	0,405
SSV _{medio}	0,616	0,176	0,666	0,189	0,322
%SSV/SV	24,6%	13,5%	30,2%	14,6%	20,0%

en alcalinidad, acidez volátil y amonio, a lo que se unen los valores más altos de DQO_s en los efluentes a cargas bajas. A partir de las cargas medias, la eliminación de DQO es mayor del 80%. A la vista de las propiedades adsorbentes de las Zeolitas se interpreta que, a bajas cargas, posea las menores concentraciones de amonio, acidez y alcalinidad, hasta el punto de no permitir la utilización de nutrientes por los microorganismos, con la consecuente disminución de actividad de los mismos y aumento de la DQO del efluente. Desde la concentración de sustrato inicial de 3,0 g/l, el reactor tiende a estabilizarse, de lo que se deduce que el soporte está saturado y no adsorbe más nutrientes del medio.

En el reactor con Sepiolita calcinada, se observa un comportamiento parecido al reactor con Saponita, con un rendimiento medio en depuración superior al 80% a altas car-

gas. En el caso del soporte Esmectita aluminica, este rendimiento supera el 85%.

A la carga de 7,0 g/l, la depuración alcanza el 90% en todos los reactores, mientras que el Testigo posee el 80%.

Al evaluar las tendencias de todos los parámetros analíticos, se observa un comportamiento anómalo en el intervalo de carga 1,2 a 3,0 g/l, que coincide con lo ocurrido en todos los reactores, en el mismo intervalo, en las curvas de volumen de metano acumulado frente al tiempo. Se piensa que la causa está en que al aplicarse el proceso de aclimatación de los reactores se añaden concentraciones de 1,2 g/l de sustrato (purín más metanol, en concentración decreciente de este último). Al comenzar el presente estudio, con una DQO de 0,6 g/l, la biomasa adaptada a una alimentación doble que ésta, reacciona eliminando nutrientes del medio. Y aparte, los valores del

pH en dicho intervalo son los más alcalinos, interpretable por la presencia del agua residual de cerdo, cuyo pH es 8,1, hasta que la biomasa comienza a actuar a pH aproximado de 7,5 (pH óptimo para un proceso anaerobio).

A partir de concentraciones de sustrato de 3,0 g/l, las concentraciones de nutrientes en el medio se estabilizan ya que los microorganismos se adaptan a un consumo mayor, sin carencias de alimento.

Estudio de las variaciones en la concentración de ST, SM, SV, SST, SSM y SSV de los efluentes.—El reactor Testigo presenta una acumulada pérdida de ST desde el principio del estudio, al igual que el reactor con soporte Zeolita. En la **Tabla IV** se presentan los valores medios de SSM y SSV evacuados con los efluentes, para cada reactor, donde se distinguen de nuevo el de soporte Zeolita y el Testigo con los valores más altos. Además, ambos reactores

Caracterización del lodo al finalizar el estudio, en cada digestor					
	TESTIGO	SAPONITA	ZEOLITA	SEPIOLITA CALCINADA	ESMECTITA ALUMINICA
Condiciones Finales del Lodo (g/l)					
pH	7,5	7,5	7,6	7,4	7,3
SST	20,5	31,7	35,4	31,1	34,1
SSM	10,4	19,1	22,5	19,6	20,2
SSV	10,0	12,6	12,9	11,5	13,9
%SSV acumulados al final	10%	28%	30%	21%	35%

pierden casi el doble de SSV, es decir, microorganismos, con respecto a los volátiles totales eliminados. Por todo ello, se deduce que el reactor sin soporte posee las mayores pérdidas de biomasa con los efluentes, mientras que el reactor con Zeolita pierde soporte colonizado, es decir, soporte más microorganismos adheridos. Hay que tener en cuenta que la dilución aplicada a los reactores durante el proceso de adaptación a la carga de 7,0 g/l, parte del 15% y concluye en un 34%.

Las menores pérdidas, tanto de soporte (SSM) como de biomasa (SSV) se observan en el reactor con Saponita, resultando el de mayor poder clarificador. En los reactores con Sepiolita calcinada y Esmectita alumínica se observan, también, bajas pérdidas de soporte y biomasa.

Al finalizar las experiencias se determinan las concentraciones de sólidos en suspensión del lodo y el valor del pH, en cada uno de los reactores. Los resultados se presentan en la **Tabla V**. Ya se mencionó que estos microorganismos tienen elevados tiempos de generación, por lo que, en primera aproximación, no se cometería mucho error al considerar su concentración constante. Como se inoculan los reactores con 9 gSSV/l, se restan a los SSV finales y se obtienen, en porcentaje, los SSV acumulados en los reactores al final.

De su observación se desprende que el reactor con Esmectita alumínica sería el que posee mayor acúmulo de SSV, mientras que el Testigo es el de menor capacidad de retención.

4. CONCLUSIONES

La máxima producción de metano, en cada una de las cargas alimentadas, se obtiene en los dos primeros días de reacción, generándose entre el 40% (Testigo) y el 72% (Esmectita alumínica), según sean el soporte y la alimentación:

a) Por debajo de 3,0 g/l, el reactor con soporte Esmectita es el que alcanza en las primeras 48 h un

porcentaje de producción de metano más alto.

b) En las primeras 48 h, el máximo en la producción de metano, por unidad de DQO alimentada, se presenta para cargas en torno a 1,2 g/l, teniendo el reactor con Zeolita el valor más alto.

c) El máximo en la producción de metano, por unidad de DQO consumida, relativo al del Testigo, se presenta para valores inferiores a 1,0 g/l, con brusco descenso a la carga de 1,2 g/l.

Entre 1,2 y 3,0 g/l se dan anomalías (comportamientos opuestos) en todos los reactores:

a) Las producciones de metano acumulado se equiparan.

b) Los valores de Y/Y_{testigo} son inferiores a 1.

c) La eficacia depuradora (% DQO_{consumida}) es superior en los reactores con soportes Saponita, Esmectita alumínica y Sepiolita calcinada.

Entre 3,5 y 7,0 g/l los reactores presentan una estabilización en los parámetros de análisis de la producción de metano, como en la de consumo de sustrato ($Y_{p/s}$, Rendimiento específico inicial, Y/Y_{testigo} y %DQO_{consumida})

Los reactores con Saponita, Sepiolita calcinada y Esmectita alumínica presentan las menores pérdidas tanto de soporte como de biomasa.

BIBLIOGRAFIA

- Torres, A. & Avellá, Ll.. La ganadería en la CEE, España y la Comunidad Valenciana: Situación General. Ed. Consellería de Agricultura y Pesca. Generalitat Valenciana (1989).
- I.N.E.. Censo Agrario. 1989. De. Instituto Nacional de Estadística (1991).
- Turzó, P.E.. "Residuos ganaderos". Anapora, 120:68-72 (1993).
- Nasr, F.A. & Abdel Shafy, H.I.. "The toxicity of heavy metal ions on anaerobic digestion". Proc. 5th Int. Symp. Anaer. Dig.. Bologna, Italy, Mayo. 133-138 (1988).
- Carballas, T., Beloso, M.C. & Villar, M.C.. "Characterization and degradation of poultry manure and poultry slurry". I Symp. Hispano-Portugués sobre Residuos Ganaderos, 9 Nov (1990).
- Oleszkiewicz, J.A. & Koriarski, J.. "Low temperature anaerobic biofiltration in upflow reactors". J. Poll. Cont. Fed., 54:1456-1471 (1982).
- Kennedy, K.J. & van der Berg, L.. "Stability and performance of anaerobic fixed films reactors during hydraulic overloading at 10-35°C". Water Res. 16:1391-1398 (1982).
- Flotats, X. & Puigjaner, L.. "Tratamiento de la fracción líquida de purines de cerdo. Aplicación del filtro anaerobio con relleno orientado". Congreso Nacional del Agua y Medio Ambiente, Zaragoza, Nov., 380-386 (1994).
- Fiestas, J.A., Olivares, J. & García, A.J.. "Instalación piloto para el tratamiento anaerobio de residuos de ganado vacuno y porcino". Actas I Congreso Nacional sobre recuperación de recursos de los residuos. Soria, 5-9 Oct., 435-440 (1982).
- Fiestas, J.A.. "La depuración anaerobia en la depuración de las aguas residuales de alta carga orgánica". Actas II Congreso Mediterráneo de Ingeniería Química. Barcelona, (1981).
- Field, J. & Lettinga, G.. "The methanogenic toxicity and anaerobic degradability of a hydrolyzable tannin". Wat. Res. 21(3):367-374 (1986).
- Bonastre, N., París, J.M., López-Santín, J. & Rehues, E.. "Start-up and performance of an upflow anaerobic filter treating diluted pig slurry". Aquatech_86, Amsterdam, (1986).
- APHA-AWWA-WPCF. "Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales". 17th Ed., Díaz de Santos, S. A., Madrid (España) (1992).