

**Resumen**

Se estudia la viabilidad de un tratamiento biológico integral de los purines de una granja de cerdos. Previamente, a escala de laboratorio se realiza un estudio anaerobio de la biodegradabilidad de dichas aguas residuales, empleándose soportes micronizados para la retención de los microorganismos en régimen discontinuo, a 35°C, en un intervalo de carga orgánica entre 0,2 y 2,2 g/l, como DQO. La máxima velocidad de producción de metano se obtiene en las primeras 24 horas. El valor medio más elevado del rendimiento en la depuración (% DQO consumida) lo presentan los reactores con saponita, sepiolita natural y sepiolita calcinada.

**Palabras clave:**

Purines de cerdo, Sistema anaerobio, Cinética, Proceso mesofílico, Soportes.

**Abstract**

*Assays at laboratory scale for anaerobic treatment of piggery farm wastewater.*

The viability of an integral biological treatment for the swine wastewater purification in a piggery farm, was studied. Previously, at a laboratory scale, the anaerobic biodegradability of this wastewater was analysed, using different clayey supports to immobilize the microorganisms in batch regime, at 35°C, with an organic load ranged from 0,2 to 2,2 g COD/l.

The highest methane production was achieved at the first 24 hours. The mean highest efficiency (%COD removal) was obtained in reactors with saponite, natural sepiolite and treated sepiolite.

**Keywords:**

Swine wastewater, Anaerobic system, Kinetics, Mesophylic process, Supports.

# Depuración anaerobia de aguas residuales de granjas porcinas. Ensayos a escala de laboratorio

Por: M.M. Durán Barrantes\*; P. Álvarez Mateos\*; F. Carta Escobar\*; F. Romero Guzman\* y J.A. Fiestas Ros de Ursinos\*\*

\* Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad de Sevilla,

C/Profesor García González, s/n, 41012-Sevilla. E-mail: mmduran@cica.es

\*\* Instituto de la Grasa, Avda. Padre García Tejero, 4, 41012-Sevilla.

**1. Introducción**

Entre las técnicas de bajo coste, utilizadas para la depuración de las aguas residuales, se encuentran las que se fundamentan en los procesos biológicos secuenciales de hidrólisis, digestión anaerobia, anóxica y fotosintética (Moreno-Grau, 1991). En nuestro caso se denomina *Proceso ecológico-fotosintético* desarrollado a partir de la Patente N° 8901368, propiedad del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.).

La depuración de aguas residuales tiene dos finalidades básicas: prevenir la transmisión de enfermedades por vía hídrica y evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Además, el tratamiento de aguas residuales puede enfocarse desde el punto de vista de la recuperación de un recurso renovable y escaso como es el agua. La reutilización en riegos del agua residual tratada es una práctica cada vez más extendida que debe garantizar la inexistencia de riesgos para la población expuesta a estas aguas, bien

directamente o a través de los productos agrícolas generados.

El tratamiento anaerobio se utiliza normalmente como primera fase en la depuración de aguas residuales con alto contenido en materia orgánica biodegradable. El objetivo primordial es la reducción del contenido en sólidos y de la materia orgánica del agua residual, y no la obtención de un efluente de alta calidad. Además, a partir de la transformación de la materia orgánica, en general, a ácidos orgánicos, un conjunto de bacterias los transforman finalmente en metano y dióxido de carbono. Son las bacterias metanogénicas, de metabolismo más lento que las demás y mucho más sensibles a las distintas condiciones ambientales (Brock, 1978).

Con el fin de determinar las constantes cinéticas necesarias para el diseño del sistema de depuración anaerobio que forma parte del tratamiento integral, se lleva a cabo, en el laboratorio, un estudio en reactores de tipo tanque agitado con soportes micronizados arcillosos para



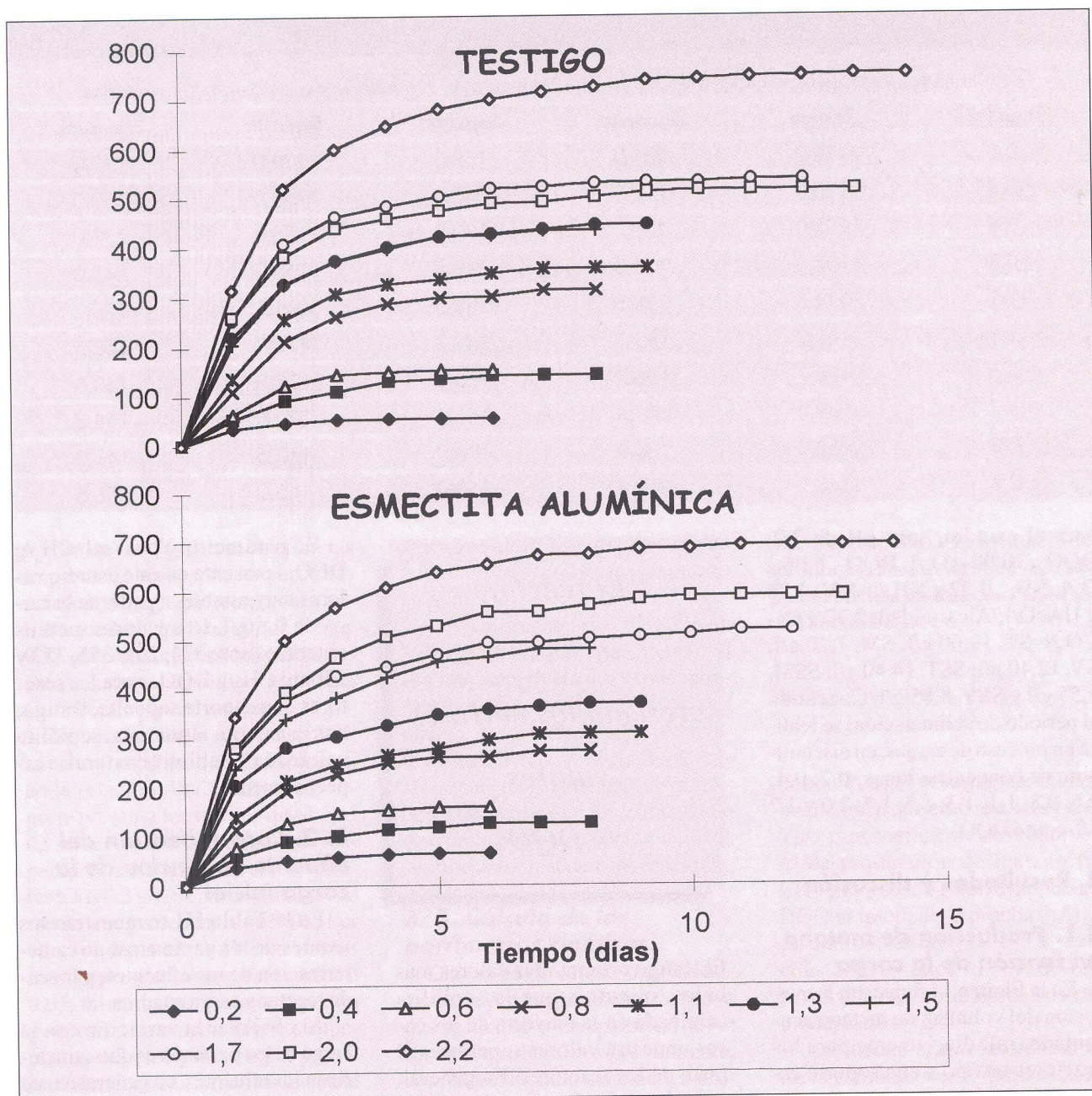


Fig. 1. Evolución del volumen de metano acumulado (ml). Reactor TESTIGO y reactor con soporte ESMECTITA.

la retención de los microorganismos responsables del proceso.

## 2. Material y métodos

Se emplean reactores de 1 litro de volumen útil, tipo tanque agitado, a una temperatura constante de 35°C (Fiestas et al., 1990). Los soportes arcillosos micronizados utilizados son: saponita, sepiolita natural, sepiolita calcinada y esmectita aluminica en concentración 15 g/l, suministrados por Tolsa, S.A. (Madrid).

Estos soportes arcillosos se escogen debido a su óptimo comportamiento cinético (Durán-Barrantes et al., 1997). Además se emplea un reactor sin soporte como "testigo". Se inoculan los reactores con 7 g/l, como SSV, de un fango proveniente de la balsa de almacenamiento de los purines en la granja "Santa Clara", a 3-4 m de profundidad.

Al finalizar cada carga se caracterizan los efluentes (APHA, 1992), donde  $DQO_s$  es la demanda química

de oxígeno soluble ( $g O_2/l$ ),  $NH_4^+$  es la concentración de nitrógeno amoniacal ( $g NH_3/l$ ), A.V. es la acidez volátil ( $g HAcO/l$ ), Alcalin. es la alcalinidad ( $g CaCO_3/l$ ), y SST, SSM, SSV son los sólidos en suspensión totales, minerales y volátiles ( $g/l$ ). Así mismo,  $DQO_c$  representa la concentración de DQO consumida en cada carga ( $g O_2/l$ ).

Las características medias del agua residual de la granja empleada



Tabla 1

Rendimientos específicos iniciales (ml CH<sub>4</sub>/g DQO<sub>alimentada</sub>), en función de las cargas alimentadas.

carga (g/l)	Testigo	Saponita	Sep. nat.	Sep. calc.	Esmec. al.
0,2	170,0	235,0	150,0	230,0	190,0
0,4	135,0	112,5	140,0	150,0	150,0
0,6	105,0	121,7	130,0	138,3	130,0
0,8	137,5	133,8	147,5	150,0	145,0
1,1	124,5	134,5	134,5	141,8	128,2
1,3	169,2	183,1	149,2	172,3	158,5
1,5	136,7	156,7	153,3	173,3	160,0
1,7	149,4	179,4	151,2	173,5	158,8
2,0	130,0	135,0	134,0	167,5	141,0
2,2	143,2	161,4	150,0	165,0	156,8

para el estudio, son: pH de 7,2; DQO<sub>T</sub>, 10,90 g O<sub>2</sub>/l; DQO<sub>S</sub>, 6,06 g O<sub>2</sub>/l; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 1,22 g NH<sub>3</sub>/l; A.V., 1,78 g HAcO/l; Alcalinidad, 2,77 g CaCO<sub>3</sub>/l; ST, 19,60 g/l; SM, 7,20 g/l; SV, 12,40 g/l; SST, 14,40 g/l; SSM, 5,55 g/l y SSV, 8,85 g/l. Concluido el período de aclimatación, se realiza un proceso de cargas, en discontinuo, de concentraciones: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,1; 1,3; 1,5; 1,7; 2,0 y 2,2 g/l, como DQO.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Producción de metano en función de la carga

En la **Figura 1** se muestra la evolución del volumen de metano acumulado (ml) diariamente para los reactores testigo y con soporte esmectita aluminica, como ejemplo del comportamiento general. En todos los casos, dicha evolución corresponde a curvas exponenciales crecientes casi perfectas. Constituye un proceso muy regular en donde, en el intervalo de cargas estudiado, 0,2 a 2,2 g/l, no se observan procesos de inhibición o retardo en la velocidad de producción.

La máxima velocidad de producción de metano se da siempre en las primeras 24 horas, por lo que se calcula el rendimiento específico inicial (ml CH<sub>4</sub>/g DQO<sub>alimentada</sub>) al primer día de reacción (**Tabla I**).

*El reactor  
sin soporte  
presenta los mayores  
valores  
de DQOs*

El testigo presenta los valores más bajos, mientras que la sepiolita calcinada en la mayoría de los casos, muestra valores superiores al resto de los reactores. En general, los valores medios en torno a los que se obtiene este parámetro son: 166, 155, 152, 144 y 140 mlCH<sub>4</sub>/gDQO<sub>alimentada</sub> para los reactores con soportes sepiolita calcinada, saponita, esmectita aluminica, sepiolita natural y el testigo sin soporte, respectivamente.

De igual forma se calcula el %CH<sub>4</sub> a las 24 horas respecto del total (**Tabla II**). Los valores medios obtenidos son del 50% para los soportes saponita, sepiolita calcinada y esmectita aluminica; y del 47 y 46% para sepiolita natural y testigo, respectivamente.

El parámetro Yp/s (ml CH<sub>4</sub>/g DQO<sub>c</sub>) presenta en este estudio valores muy estables a partir de la carga de 0,8 g/l. Los valores medios obtenidos son: 374, 364, 355, 352 y 336 ml CH<sub>4</sub>/g DQO<sub>c</sub> para los reactores con soporte saponita, testigo, con esmectita aluminica, sepiolita calcinada y sepiolita natural, respectivamente.

#### 3.2. Caracterización del efluente en función de la carga inicial

En la **Tabla III** se muestran los valores de los parámetros de caracterización de los efluentes, para cada reactor y carga añadida.

Al observar la variación con la carga de los parámetros que caracterizan los efluentes, en general existe bastante estabilidad, excepto en los valores del pH. Estos comienzan alcalinos, incluso hasta 8,4 (saponita), para ir disminuyendo hasta 7,5 a alta carga, valor óptimo para el funcionamiento de las bacterias anaerobias. El reactor sin soporte presenta los mayores valores de DQOs (en torno a 1 g/l), mientras que el resto de los soportes presentan datos aproximadamente de 0,5 g/l, sufriendo lentamente con la carga hasta los 0,8 g/l, excepto la saponita que se mantiene. El testigo presenta también las mayores concentraciones de nitrógeno amoniacal (valor



Tabla 2

Porcentaje de metano total en las primeras 24 horas, en función de la carga alimentada.

carga (g/l)	Testigo	Saponita	Sep. nat.	Sep. calc.	Esmec. al.
0,2	64,2%	56,0%	60,0%	65,7%	58,5%
0,4	38,6%	42,5%	44,8%	42,9%	47,6%
0,6	41,4%	46,2%	54,5%	51,9%	49,1%
0,8	35,3%	36,8%	38,2%	37,6%	42,6%
1,1	38,5%	49,2%	43,5%	46,6%	45,8%
1,3	49,5%	55,7%	46,7%	52,0%	55,8%
1,5	47,5%	54,5%	47,6%	53,7%	50,0%
1,7	47,5%	59,9%	49,1%	56,2%	52,1%
2,0	50,6%	52,8%	45,3%	48,9%	48,0%
2,2	42,2%	45,4%	38,0%	44,2%	50,0%

medio de 0,64 g/l), sin diferencias importantes respecto a los reactores con soporte, que presentan unos valores medios de: 0,63, 0,58, 0,55 y 0,53 g/l para sepiolita calcinada, sepiolita natural, saponita y esmectita aluminica, respectivamente.

Donde destaca el soporte sepiolita natural es al analizar la evolución en la relación AV/Alcaln. Este soporte presenta los valores más bajos de acidez volátil con diferencia respecto a los demás reactores: inferiores a los 0,2 g/l, frente a los 0,5 g/l de media que presentan los demás. Por ello, los datos de AV/Alcaln son los más bajos y estables, inferiores a 0,05, mientras que testigo, saponita y sepiolita calcinada llegan a superar los 0,2 en alguna carga, próximos al valor de 0,5 encontrado en la bibliografía como indicador de procesos de inhibición de la depuración anaerobia (Sierra y Lettinga, 1990).

Al observar la evolución de los valores de la eficacia depurativa (%DQO<sub>cons</sub>), desde la carga de 0,6 g/l, los reactores con soporte rondan el 65% aumentando suavemente hasta el 80% a alta carga, excepto la sepiolita calcinada que no supera el 76%, y el testigo que consigue el 67% a los 2,2 g/l de carga. La saponita presenta el valor medio más elevado (64%), seguida por la sepiolita natural (63%) y la sepiolita calcinada (62%). La esmectita se

aproxima al 60%, pero el testigo no llega a un 50% de eficacia depurativa promedio.

Los valores medios de SSM en los efluentes de la sepiolita natural son muy superiores a las concentraciones en los demás reactores. Así mismo, su valor de SSV<sub>medio</sub> equivale a una pérdida importante de microorganismos. Esta pérdida de ambos parámetros con los efluentes se interpreta como una disminución de soporte colonizado en los reactores.

### 3. 3. Cálculo de los parámetros cinéticos

Con el fin de caracterizar cinéticamente cada experimento de forma que se facilite la comparación de los resultados obtenidos previamente, se aplica el modelo matemático propuesto para procesos fermentativos por Romero-García (1991), en función de la producción de metano acumulado, a partir del cual se obtiene el valor máximo de la velocidad de crecimiento microbiano. Dicho modelo ha sido utilizado con éxito para modelizar diferentes procesos (aerobios y anaerobios) (Nebot-Sanz, 1992; Pérez et al., 1996; Durán-Barrantes, 1998), con distintos sustratos (vinazas de vino, tensioactivos, purines de cerdo, etc.) y en condiciones muy diferentes (cultivos discontinuos, semicontinuos y continuos). La ecuación correspon-

diente, respecto a la formación de producto (P), en régimen discontinuo, aplicada en este caso en su forma simplificada es:

$$P = P_0 + Y_{p/s} \left( S_T + \frac{k_0}{k_1} \right) (1 - e^{-k_1 t})$$

donde  $P_0$  es el volumen de metano inicial (ml), que en este caso es cero;  $Y_{p/s}$  es el coeficiente de rendimiento de producción de metano (ml  $CH_4/g$  DQO<sub>c</sub>);  $S_T$  corresponde a la DQO al inicio de la prueba (g/l);  $k_0$  es una constante (g/l-d);  $k_1$  es la constante cinética ( $d^{-1}$ ) y  $(S_T + k_0/k_1)$  es la concentración de sustrato biodegradado (g/l).

Las medias aritméticas de los valores estimados de  $k_1$  para cada reactor, al 95% de confianza, son 0,684, 0,664, 0,650, 0,645 y 0,640  $d^{-1}$  para los reactores con soportes sepiolita calcinada, saponita, esmectita aluminica, testigo sin soporte y con sepiolita natural, respectivamente. Además se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\left( S_T + \frac{k_0}{k_1} \right) = 1,01 \cdot DQO_c + 0,71$$

$$r = 0,9302 \quad (n=50)$$

$$k_1 = 1,56 \cdot \%CH_{4(24h)} - 0,098$$

$$r = 0,9166 \quad (n=50)$$



Tabla 3

Caracterización analítica (g/l) de los efluentes al final de cada carga, para cada reactor

Reactor TESTIGO											
	inicio	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2
pH	8,2	8,1	7,9	7,9	7,5	8,1	7,7	7,8	7,5	7,7	7,7
DQOs	0,76	0,68	0,90	0,88	0,88	0,85	1,03	1,05	1,00	0,94	0,98
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,61	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,66	n.d.	n.d.	0,64	0,67
A.V.	0,40	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,69	n.d.	0,22	0,43
Alcalin.	3,05	3,27	3,12	2,98	n.d.	3,00	n.d.	2,98	2,98	3,12	n.d.
S.S.T.	1,96	1,83	1,82	1,18	0,73	0,53	0,22	0,17	0,16	0,09	n.d.
S.S.M.	1,38	1,18	1,08	0,57	0,29	0,43	0,15	0,23	0,20	0,10	n.d.
S.S.V.	0,58	0,64	0,74	0,61	0,44	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	n.d.
Reactor SAPONITA											
	inicio	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2
pH	8,4	8,4	8,2	8,2	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5	7,6	7,7
DQOs	0,31	0,45	0,30	0,37	0,45	0,50	0,47	0,53	0,46	0,55	0,50
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,54	n.d.	n.d.	0,58	0,56
A.V.	0,36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,63	n.d.	0,40	0,38
Alcalin.	2,72	2,84	2,84	2,70	n.d.	2,85	n.d.	2,56	2,84	2,98	n.d.
S.S.T.	0,53	0,17	0,38	0,08	0,27	0,14	0,14	0,03	0,08	0,10	n.d.
S.S.M.	0,46	0,20	0,47	0,23	0,18	0,13	0,01	0,16	0,08	0,20	n.d.
S.S.V.	0,07	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,13	0,00	0,00	0,00	n.d.
Reactor SEPIOLITA NATURAL											
	inicio	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2
pH	8,2	8,1	7,9	8	7,5	7,9	7,6	7,4	7,3	7,6	7,5
DQOs	0,51	0,34	0,48	0,40	0,48	0,50	0,79	0,60	0,43	0,74	0,81
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,63	n.d.	n.d.	0,57	0,58
A.V.	0,12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,13	n.d.	0,16	0,20
Alcalin.	3,00	3,27	3,26	3,12	n.d.	3,26	n.d.	2,98	3,12	3,97	n.d.
S.S.T.	3,70	2,95	3,85	1,76	3,64	9,04	9,37	9,98	8,31	7,60	n.d.
S.S.M.	3,20	2,52	3,17	1,50	2,60	7,00	7,54	7,98	5,86	0,01	n.d.
S.S.V.	0,50	0,43	0,68	0,26	1,04	2,04	1,83	2,00	2,45	0,00	n.d.
Reactor SEPIOLITA CALCINADA											
	inicio	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2
pH	8,1	8,1	8	7,9	7,6	7,6	7,6	7,4	7,4	7,6	7,5
DQOs	0,50	0,45	0,56	0,44	0,50	0,47	0,60	0,60	0,55	0,77	0,80
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,63	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,62	n.d.	n.d.	0,64	0,65
A.V.	0,48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,60	n.d.	0,70	0,77
Alcalin.	3,12	3,41	3,55	3,55	n.d.	3,26	n.d.	2,84	3,98	3,27	n.d.
S.S.T.	0,50	0,28	0,35	0,22	0,34	0,20	0,13	0,41	0,15	0,10	n.d.
S.S.M.	0,67	0,40	0,41	0,24	0,18	0,17	0,09	0,41	0,27	0,10	n.d.
S.S.V.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	n.d.



Tabla 3 (Continuación)

Caracterización analítica (g/l) de los efluentes al final de cada carga, para cada reactor											
Reactor ESMECTITA ALUMÍNICA											
	inicio	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2
pH	8,2	8	7,9	8,2	7,5	7,8	7,8	7,5	7,4	7,6	7,6
DQOs	0,37	0,45	0,64	0,46	0,50	0,50	0,60	0,67	0,46	0,78	0,82
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,58	n.d.	n.d.	0,50	0,54
A.V.	0,51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,54	n.d.	0,57	0,59
Alcalin.	3,08	3,20	3,41	2,98	n.d.	2,98	n.d.	2,98	3,26	2,98	n.d.
S.S.T.	0,85	0,51	0,27	0,23	0,24	0,26	0,10	0,09	0,16	0,03	n.d.
S.S.M.	0,73	0,49	0,37	0,23	0,19	0,24	0,14	0,15	0,19	0,04	n.d.
S.S.V.	0,12	0,02	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	n.d.

*En función de estos resultados, se decide construir un sistema de lagunaje*

Dichas relaciones matemáticas confirman que el término (ST + k0/k1), denominado por Romero "sustrato biodegradado", coincide en el presente estudio con los valores de materia orgánica consumida, obtenida de los datos experimentales; así mismo, k1 se corresponde con la producción de metano en el punto de la curva de mayor pendiente.

#### 4. Conclusión

Al observar la máxima producción de metano diario, los soportes presentan pequeñas mejoras tanto del rendimiento inicial como del %CH<sub>4</sub> al primer día de reacción. No obstante, estas mejoras, que influirían para el proceso de depuración en continuo, no son suficientes para compensar en el rendimiento eco-

nómico de depuración de los purines de esta granja, en particular, mediante el uso de un reactor anaerobio, mantenido a 35°C, empleándose un soporte arcilloso.

En función de estos resultados, se decide construir un sistema de lagunaje, con empleo de sepiolita natural como soporte por su óptimo comportamiento en eficacia depurativa y baja relación A.V./Alcalinidad.

#### Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio de Educación y Ciencia por la concesión de una beca F.P.I. para financiar este trabajo. También queremos agradecer, sinceramente, a la granja "Santa Clara" (Sevilla, España) su colaboración con la aportación del agua residual empleada en este trabajo.

#### Bibliografía

- APHA-AWWA-WPCF. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17th Ed., Díaz de Santos, S.A., Madrid.
- Brock, A. (1978). Microbiología de los microorganismos. Ed. Omega, Barcelona.
- Durán-Barrantes, M.M. (1998). Estudio de depuración integral de purines de cerdo. Tratamiento anaerobio: Influencia de la temperatura y de soportes arcillosos. Tesis Doctoral. Univ. de Sevilla.
- Durán-Barrantes, M.M.; Álvarez-Mateos, P. & Romero-Guzmán, F. (1997). "Depuración anaerobia de purines de cerdo a 25°C: Influencia del soporte de inmovilización. Parte II: Estudio Cinético.". *Tecnol. del Agua*, nº 169, 52-60.
- Fiestas, J.A., Martín, A & Borja, R. (1990). "Influence of the immobilization supports on the kinetic constants of anaerobic purification of olive mill wastewater". *Biol. Wastes* 33:131-142.
- Moreno-Grau, M.D. (1991). Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores. M.O.P.T. Ed.: Secretaría General Técnica, Madrid.
- Nebot-Sanz, E. (1992). Caracterización de los principales parámetros de operación de sistemas tipo filtro anaerobio: aplicación al diseño. Tesis Doctoral. Univ. de Cádiz.
- Pérez, M.; Romero, L.I.; Quiroga, J.M. & Sales, D. (1996). *Tenside Surf. and Detergents* 6:473-478.
- Romero-García, L.I. (1991). Desarrollo de un modelo matemático general para los procesos fermentativos. Tesis Doctoral. Univ. de Cádiz.
- Sierra, R. & Lettinga, G. (1990). "The metanogenic toxicity of wood resin constituents". *Biol. Wastes* 33:211-226.