



TÍTULO DE PATENTE No. 356355

Titular(es): INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Domicilio: Edificio de la Dirección General, Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Colonia Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, 07738, Distrito Federal, MÉXICO

D nominación: PROCESO PARA EL PRETRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES A PARTIR DE LODOS AEROBIOS.

Clasificación: CIP: C02F3/34; C02F3/28; C02F3/30; G02F11/04
CPC: C02F3/341; C02F3/286; C02F3/301; C02F11/04

Inventor(es): CLAUDIA GUERRERO BARAJAS; CLAUDIO GARIBAY ORIJEL; HÉCTOR OMAR TORIZ HERNÁNDEZ

SOLICITUD

Número:	Fecha de Presentación:	Hora:
MX/a/2012/007622	28 de Junio de 2012	11:46

Vigencia: Veinte años

Fecha de Vencimiento: 28 de junio de 2032

Fecha de Expedición: 17 de mayo de 2018

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 6º fracciones III y 7º bis 2 de la Ley de la Propiedad Industrial (Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) 27/06/1991, reformada el 02/08/1994, 25/10/1996, 26/12/1997, 17/05/1999, 26/01/2004, 16/06/2005, 25/01/2006, 06/05/2009, 06/01/2010, 18/06/2010, 28/06/2010, 27/01/2012 y 09/04/2012); artículos 1º, 3º fracción V inciso a), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 14/12/1999, reformado el 01/07/2002, 15/07/2004, 28/07/2004 y 7/09/2007); artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V inciso a), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 27/12/1999, reformado el 10/10/2002, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007); 1º, 3º y 5º inciso a) del Acuerdo que delega facultades en los Directores Generales Adjuntos, Coordinador, Directores Divisionales, Titulares de las Oficinas Regionales, Subdirectores Divisionales, Coordinadores Departamentales y otros subalternos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (D.O.F. 15/12/1999, reformado el 04/02/2000, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007).

El presente oficio se signa con firma electrónica avanzada (FIEL), con fundamento en los artículos 7 BIS 2 de la Ley de la Propiedad Industrial; 3o de su Reglamento, y 1 fracción III, 2 fracción V, 26 BIS y 26 TER del Acuerdo por el que se establecen los lineamientos para el uso del Portal de Pagos y Servicios Electrónicos (PASE) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, en los trámites que se indican.

LA DIRECTORA DIVISIONAL DE PATENTES NAHANNY CANAL REYES



Cadena Original:
NAHANNY MARISOL CANAL REYES|00001000000403252793|Servicio de Administración Tributaria|1695||MX/2018/45280|MX/a/2012/007622|Título de patente normal|1223|GAGV|Pág(s) 1|16K5PmZGjg0uAhIkz54HagARAFs=

Sello Digital:
e9xFn9StdFwo7lonSNZ9o7/hpo94QtvtZ3uJZNc8EDGVx3RgXg0AQpqFwiv2TtVUIbRTcFE3u+Y0inm+dPX1isqp
DMPRR5JEfzOIRc8aAOj6wK6uAPYwfZKc38MDkNGHqRSXGOo/uw4DLkMp8cPEoaDHeh5xq2/YZHjYvZuY/CHR+KzUe
4PBL7BqHCwUyv9P8cAe/26iRV+ioh1wq7paifBip8uEXzh7n9jnVyT+LXmsUkSmsXHUyQU3eiybwx3KCYVORhRNo
y/c2189o94PGyQTI/oC8hYESV0MmLaH8RGuXYJfEBChRrHww/4rL1/ipgm2sft510R5fs4oQ==



356355

2012/7622

-1-



PROCESO PARA EL PRETRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

A PARTIR DE LODOS AEROBIOS

5 Campo de la Invención

La presente invención se ubica en el campo de los pretratamientos para aguas residuales que contienen contaminantes orgánicos tóxicos. Específicamente, la presente invención se refiere a un proceso para el pretratamiento de
10 aguas residuales en donde se lleva a cabo la biodegradación de ácido tereftálico, sus isómeros y/o precursores utilizando un cultivo de microorganismos en condiciones metanogénicas y desnitrificantes.

15 Antecedentes de la Invención

La contaminación de acuíferos subterráneos y cuerpos de agua superficiales es un problema oculto pero muy importante, ya que los cuerpos de agua superficial son explotados principalmente por las industrias tanto en la obtención de
20 agua como en la descarga de aguas residuales a los ríos y lagos. Al respecto, la Comisión Nacional del Agua (CNA) en México reconoce al menos que el 31.6% de sus puntos de muestreo de agua superficial a nivel nacional tienen un DQO igual o superior a los 40 mg DQO/l y el 13.6% presentan un
25 DBO₅ de 30 mg DBO₅/l o mayor, lo cual los coloca como puntos contaminados o altamente contaminados según la normatividad mexicana (NOM-001-ECOL-1996; CNA, 2010). Anualmente en México, las descargas de aguas residuales no municipales
30 residuales de los cuales sólo se trata el 18% (1.07 km³/año),

se generan 7 millones de toneladas de DBO de las cuales sólo se remueven 1.15 millones de toneladas en las plantas de tratamiento. Desafortunadamente, la NOM-001-ECOL-1996 mexicana sólo regula parámetros convencionales de la calidad del agua y como consecuencia muchas de las descargas industriales que deberían de ser catalogadas como tóxicas son descargadas al ambiente sin ninguna sanción.

Dentro de las principales actividades industriales en México, destaca la producción de ácido tereftálico (AT), ésta genera grandes volúmenes de efluentes contaminados. Estos efluentes son tratados satisfactoriamente mediante lagunas anaerobias, sin embargo el proceso debe de ser optimizado en cuanto a tiempo de degradación y concentración de AT.

15

Al respecto, el ácido tereftálico es uno de los contaminantes de mayor distribución y amplia persistencia en el medio ambiente. Su uso en distintos productos continúa en aumento, por lo que su descarga al ambiente seguirá la misma tendencia en los próximos años.

20

Entre los contaminantes que llegan a producirse en estos procesos para la fabricación de múltiples productos encontramos a los ácidos ftálicos, como el ácido tereftálico (AT) y el ácido isoftálico (Figura 1) y algunos ésteres de estos como el dimetiltereftalato (DMP). El exceso en su uso y su entrada al ambiente los convierte en contaminantes importantes (Vamsee-Krishna and Phale 2008). En general los ácidos ftálicos forman soluciones coloidales y son poco solubles en agua. Desde 1970 los ácidos ftálicos son usados

30

como plastificadores, principalmente en la ~~producción~~ de polietilentereftalato (PET) y policloruro de vinilo (PVC) (Ferro 2008).

5 Diferentes estudios han analizado el impacto de estos
compuestos en el ambiente y los seres humanos, encontrándose
evidencia de que los ftalatos entran al ambiente de forma
directa o indirecta. En la forma directa encontramos los
derrames y las aguas residuales que descargan en los cuerpos
10 de agua. De forma indirecta, los ftalatos pueden entrar al
medio ambiente a través de los lixiviados en los tiraderos a
cielo abierto y por los procesos de bioaumentación que inicia
en organismos acuáticos que habitan los cuerpos de agua
contaminados de forma directa (R.Kleerebezem and Lettinga
15 1999). Se ha evidenciado que el AT puede permanecer en el
ambiente durante años, existe evidencia de que la remoción
abiótica del ácido tereftálico tiene vidas medias para su
hidrólisis química que van de los 4 meses hasta por encima de
los 100 años (Kleerebezem et al. 1999a; Vamsee-Krishna and
20 Phale 2008). Para la mayoría de los seres vivos este
compuesto y sus derivados tienen un impacto tóxico, esto se
debe principalmente a que tiene una biodisponibilidad muy
baja, producto de su prácticamente nula solubilidad en agua.
Esta característica provoca que sea adsorbida en materia
25 sólida suspendida en los cuerpos de agua o en los lechos de
los mismos.

En el caso de los humanos, los compuestos como el AT y
sus derivados son agentes teratogénicos, estrogénicos y
30 acarrear problemas reproductivos.

Las evidencias del impacto negativo de los ftalatos existen, el uso de materiales sintéticos y en especial de los plásticos continua en aumento, por lo tanto los desperdicios generados para la obtención de dichos plastificadores ha llamado la atención en busca de opciones para reducir el impacto de estos desperdicios en el ambiente y los seres vivos. El caso de las aguas residuales es un punto especial debido a lo limitado del recurso para consumo humano, por lo que se han desarrollado diferentes opciones para el tratamiento y mejorar la calidad de estas aguas. Existen tratamientos fisicoquímicos los cuales se basan en su oxidación mediante ozono con ayuda de la luz UV, entre estas opciones se encuentra la opción de UV-H₂O₂-Fe, O₃, O₃/Fe, O₃/TiO₂, sin embargo la capacidad de remoción es muy pobre, por ejemplo: se descomponen 50 ppm en 10 horas en el sistema de ozono y óxido de titanio (Thiruvengkatachari et al. 2007). De igual forma se ha reportado la posibilidad de remover el ácido tereftálico de aguas residuales mediante una mezcla de 70% de vapor y 30% de nitrógeno a temperaturas de 500°C (Masuda et al. 1997). Además de las obvias desventajas energéticas y de costo, también se ha demostrado que se generan compuestos como benzoquinona, benceno, ácido málico y oxálico, sin mencionar que es necesario invertir en la disposición de los residuos obtenidos (Thiruvengkatachari et al. 2007). Por otro lado, existen tratamientos biológicos en donde se lleva a cabo la transformación del ácido tereftálico en productos más inocuos (biomasa y CO₂) e incluso energéticamente útiles como el metano. Debido a la presencia y persistencia en el ambiente del AT y compuestos

relacionados, los microorganismos han desarrollado y adaptado nuevas rutas metabólicas para degradar estos compuestos. Se han encontrado tanto microorganismo aerobios como anaerobios capaces de degradar estos ácidos y sus esteres (Vamsee-
5 Krishna and Phale 2008). Para el caso del tratamiento anaerobio de AT, se han empleado principalmente consorcios bacterianos. En estos, los microorganismos se desarrollan en sintrofía, en este tipo de interacción uno o más miembros del consorcio produce uno o mas metabolitos necesarios para otros
10 grupos bacterianos miembros del consorcio. Existen diferentes investigaciones donde se ha evidenciado la degradación de ácido tereftálico y compuestos derivados de este en condiciones anaerobias. Asimismo, los procesos de biorremediación son posibles usando la variedad de los
15 sistemas biológicos, dentro de esta variedad los microorganismos pueden usar diferentes moléculas como aceptores finales de electrones con el fin de obtener energía a partir del transporte de electrones. Es importante mencionar que los pares anóxicos implican las condiciones de
20 microaerofilia por lo que en un sistema de este tipo se desarrollan microorganismos anaerobios facultativos y anaerobios estrictos (Baker and Herson 1999; Thauer 1998), tal es el caso de la desnitrificación. Por otro lado el caso de los sistemas anaerobios suele involucrar a microorganismos
25 anaerobios estrictos debido a la ausencia de oxígeno, estos sistemas suelen ser altamente reducidos (Baker and Herson 1999; B.Rittmann and McCarty 2001), un ejemplo de ellos es la metanogénesis.

30 La degradación de ácido tereftálico en condiciones

metanogénicas se ha reportado para diferentes concentraciones y en general con cultivos mixtos. El caso de cultivos puros sólo se ha reportado para el género *Pelotolomaculum* (Yan-Ling Qiu and al. 2006), en este caso los cultivos degradaron

5 concentraciones de 2 mM de tereftalato, isoftalato y ortoftalato, en cultivos separados, donde los microorganismos que se adaptaron a cada uno de los isómeros solo pudieron crecer en este y en ninguno de los otros, a pesar de ser la misma especie bacteriana. Dichos cultivos pudieron usar como

10 aceptores de electrones sulfato, sulfito, tiosulfato, nitrato, fumarato, Fe^{+3} y 4-hidroxibenzoato. En el caso de los cultivos mixtos existe un trabajo muy extenso de Kleerebezem y colaboradores, que inicia con pruebas de la biodegradabilidad del ácido en botellas serológicas con una

15 concentración de 2 mM (Kleerebezem et al. 1997) , observando la acumulación de acetato y benzoato, así como determinando que los microorganismos metanogénicos acetoclásticos predominantes pertenecían al género *Methanosaeta*, mientras que en los microorganismos metanogénicos hidrogenotróficos

20 predominaban los *Methanobacterium* (Kleerebezem et al. 1999b). Posteriormente en un reactor con un volumen de 1.5 L los microorganismos fueron capaces de degradar 0.5 g de ácido tereftálico (Kleerebezem et al. 2005). Por otro lado, se ha reportado la remoción de aproximadamente la misma

25 concentración de ácido tereftálico con una eficiencia del 90% en condiciones metanogénicas (Fdz-Polanco et al. 1999).

En la degradación de ácidos ftálicos en condiciones desnitrificantes se ha reportado la degradación de 10 μ moles

30 de ácido tereftálico con 50 μ moles de nitrato (Aftring et al.

1981) y la degradación de dimetiltereftalato (DMP) con una
velocidad de degradación específica de 0.32 mM/g VSS h usando
8 mM de nitrato (Liang et al. 2007). El uso del nitrato como
aceptor final de electrones en lugar del oxígeno tiene como
5 ventajas la promoción de la biodegradación de hidrocarburos
aromáticos, además a diferencia del oxígeno el nitrato es muy
soluble, lo cual provee una homogénea dispersión, evitando la
limitación del proceso relacionada con un ineficiente
mezclado (Baker and Herson 1999).

10

Por todos estos motivos, es gran importancia desarrollar
tecnologías de biodegradación de ácido tereftálico altamente
eficientes con el fin de proteger el medio ambiente, la salud
de la población y que además sean tecnologías sustentables
15 mediante la obtención de energía a partir de fuentes
renovables, por lo que los sistemas de tratamiento anaerobio
aparecen como una excelente opción pues tienen la capacidad
de producir metano como un compuesto final útil, consumir
pocos nutrientes extras y generar cantidades pequeñas de
20 lodos biológicos al final del proceso, siendo de esta forma
un proceso amigable con el ambiente.

Mientras que los ambientes metanogénico y
desnitrificante han sido ampliamente descritos en la
25 literatura para la biodegradación de xenobióticos, existe
poca información para los ambientes combinados metanogénico-
desnitrificante (M-D). Se han reportado pocos estudios en
ambiente combinado metanogénico-desnitrificante, en estos
estudios con diferentes sistemas se han observado remociones
30 de contaminantes primarios por arriba del 90% y de los

subsiguientes por arriba del 60% en general, principalmente
para compuestos de tipo fenólico como fenoles y nitrofenoles,
PCE, bifenilo, naftaleno, fenantreno y dibenzofurano en
reactores inoculados con lodos granulares (Herbert y Zhou,
5 1999; Karim y Gupta, 2001; López-Navarrete et al., 2003) las
remociones tanto de materia orgánica como de nitratos se
reportan en estos casos por arriba del 95% en promedio además
de tener remociones de los diversos contaminantes.

10 **Sumario de la Invención**

Por lo tanto es un objetivo de la presente invención
brindar un proceso para el pretratamiento de aguas residuales
que contienen ácido tereftálico, sus isómeros y/o precursores
en condiciones anaerobias a partir de un inóculo proveniente
15 de una planta de tratamiento de aguas residuales, tal como
lodos aerobios, a fin de incrementar de manera muy
considerable los niveles de degradación de dichas sustancias
en condiciones anaerobias metanogénicas y desnitrificantes
mantenidas con el mismo inóculo.

20

Asimismo, otro objetivo de la invención es brindar un
pretratamiento para agua residual que contiene ácido
tereftálico, sus isómeros y/o precursores en condiciones
anaerobias a partir de lodos aerobios, a fin de que este
25 proceso sea apto para incluirse en la etapa previa de un tren
de tratamiento de agua residual con la intención de obtener
aguas tratada libre de partículas de plásticos así como de
sus precursores, específicamente, del ácido tereftálico.

30

Breve Descripción de las Figuras de la Invención

La figura 1 se refiere al reactor para la biodegradación de AT, en donde se muestran sus componentes: (1) recipiente de alimentación, (2) bomba peristáltica, (3) lecho de sedimentos (4) bomba para la recirculación, (5) medio, (6) campana de separación gas/líquido, (7) efluente (8) salida del gas y (9) columna de desplazamiento del gas (10) serpentín para calentamiento del cuerpo del reactor.

La figura 2 se refiere a una gráfica que muestra los promedios de la producción de gas en el sistema desnitrificante y metanogénico.

La figura 3 se refiere a una gráfica que muestra el desempeño del reactor en cuanto a la biodegradación del AT bajo condiciones metanogénicas.

La figura 4 muestra la formación del biogás en el reactor a lo largo de la biodegradación de AT.

Descripción Detallada de la Invención

La presente invención se refiere a un proceso para el pretratamiento de aguas residuales que contienen ácido tereftálico, sus isómeros y/o precursores en condiciones anaerobias a partir de un inóculo proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales, tal como lodos aerobios, a fin de incrementar de manera muy considerable los niveles de degradación de dichas sustancias en condiciones anaerobias

metanogénicas y desnitrificantes mantenidas ~~con el mismo~~
inóculo.

El proceso para llevar a cabo la presente invención
5 comprende las siguientes etapas:

A. Obtención del inóculo aerobio y adaptación del mismo a
condiciones anaerobias.

10 - Obtener el inóculo. Primeramente se debe obtener el
inóculo aerobio contenido en agua residual de una planta de
tratamiento de aguas. El agua residual de la que se obtiene
el inóculo es desechada y remplazada por agua corriente, para
disminuir la carga de fuentes de carbono presentes en la
15 muestra. El inóculo es caracterizado mediante la
determinación de sólidos totales, sólidos disueltos totales y
sólidos suspendidos volátiles con el fin de tener un estimado
de la biomasa inicial y calcular las cantidades de sustrato y
aceptor de electrones que deben utilizarse en el momento de
20 inocular los bioreactores, ya sea a escala de microcosmos o a
una escala mayor.

- Acondicionar el inóculo. El inóculo obtenido en el
paso anterior se adapta a condiciones metanogénicas y
25 desnitrificantes, para poder brindar la condiciones
necesarias adecuadas para degradar el ácido tereftálico, de
la siguiente manera:

Condiciones metanogénicas.

30 - La adaptación a condiciones metanogénicas se

realiza en depósitos serológicos. El depósito serológico se
llena a un volumen total compuesto por 45% de medio de
cultivo según se describe en la Tabla 1; 1% de una solución
de metales traza según se describe en la Tabla 2; 20% del
5 inóculo aerobio; 20% de una solución de bicarbonato de sodio
a una concentración de 5 g/L, 10% de agua y 4% de una
solución de metanol a una concentración 125 mM a fin de que
esta sirva como única fuente de carbono. Posteriormente se
evacua el depósito serológico con N₂ para crear un ambiente
10 anaerobio con la finalidad de favorecer bacterias
metanogénicas sobre otros grupos bacterianos que pudieran
estar presentes en el inóculo. La alimentación con la
solución de metanol se lleva a cabo dos veces por semana
durante 8 semanas. Posteriormente, se cambia la alimentación
15 por una mezcla de metanol/acetato (5mM/3mM) hasta la
producción de biogás, lo cual es señal de inicio de la
anaerobiosis.

Condiciones desnitrificantes.

20 - La adaptación a condiciones desnitrificantes se
realiza en depósitos serológicos. Los depósitos serológicos
se llenan a un volumen total, compuesto por 45% de medio de
cultivo según se describe en la Tabla 1, 1% de una solución
de metales traza según se describe en la Tabla 2, 20% del
25 inóculo aerobio, 20% de una solución de bicarbonato de sodio
a una concentración de 5 g/l, 9% de agua, 1% de una solución
de nitrato de potasio a una concentración de 525 mM y 4% de
una solución de metanol a una concentración 125 mM a fin de
que esta sirva como única fuente de carbono. Posteriormente
30 los depósitos serológicos se gasean durante aproximadamente

cinco minutos con nitrógeno para desplazar ~~la atmósfera~~
 oxidante del sistema. La alimentación con la solución de
 metanol se lleva a cabo dos veces por semana durante 8
 semanas. Posteriormente, se cambia la alimentación por una
 5 mezcla de metanol/acetato (5mM/3mM) hasta la producción de
 biogás, lo cual es señal de inicio de la anaerobiosis.

Tabla 1. Composición del medio de cultivo

Composición	Concentración g/L
NH ₄ NO ₃	0.25
KH ₂ PO ₄	0.1
MgSO ₄ . 7H ₂ O	0.05
NaCl	0.05

10 **Tabla 2.** Composición de la solución de metales traza

Composición	Concentración g/L
NaHCO ₃	1.73
MgSO ₄ . 7H ₂ O	0.0736
K ₂ HPO ₄	0.0429
KH ₂ PO ₄	0.0171
CaCl ₂	0.0225
NiSO ₄ . 7H ₂ O	0.0092
CoCl ₂ . 2H ₂ O	0.001
(NH ₄)MoO ₄ . 4H ₂ O	0.007
Resarzurina	0.02

B. Preinoculación del reactor

Posteriormente los reactores de preinoculación se
 adaptan para cultivar el consorcio bacteriano y prepararlo
 para el reactor. Los reactores de preinoculación se inundan
 15 completamente con medio de cultivo para favorecer las
 condiciones anaerobias. Cada reactor de preinoculación
 contiene 57.5% de medio de cultivo según la Tabla 1, 3% del
 inóculo anaerobio obtenido según el paso A, 16.5% de solución

de bicarbonato de sodio a una concentración de ~~5 g/l, 19%~~ de
agua, 0.2% de solución de metales según la Tabla 2 y 3.8% de
metanol. Se montan los reactores de preinoculación hasta
lograr una concentración de sólidos suspendidos volátiles de
5 aproximadamente 0.635 gSSV.

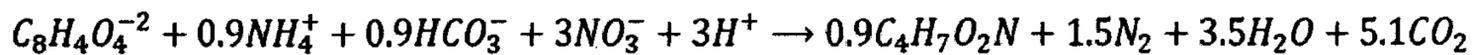
C. Adaptación del reactor para la biodegradación de AT

Se montó el reactor para la degradación de AT como se
muestra en la Figura 1, el reactor se conecta a una bomba con
10 una manguera de tygon con la cual se alimenta y se mantiene
en recirculación el reactor y posteriormente se sella. La
salida del embudo para coleccionar gas se conecta a una manguera
del mismo calibre que la usada en la bomba, dicha manguera se
conecta a un punto de muestreo que consiste en una botella
15 serológica que contiene dos boquillas por donde se conectan
mangueras, con pinzas mohr cuya función es impedir el
intercambio gaseoso con el exterior. En la boca principal de
la botella serológica se coloca una válvula mininert. Después
de este punto de muestreo, el gas es burbujeado a un
20 recipiente que contiene una solución de hidróxido de sodio 3%
donde el dióxido de carbono se disuelve. El resto del gas,
compuesto por metano desplaza esta solución que se recolecta
en otro frasco anexo al de la solución de hidróxido de sodio.
Si no se cuenta con un área de temperatura controlada, se
25 puede utilizar un serpentín de calentamiento externo al
reactor para llevarlo a una temperatura de 37°C. El serpentín
funciona con una manguera de silicón por la que circula agua
a 85°C. La temperatura alcanzada en el interior del reactor
es de 36.5 °C ± 1 °C.

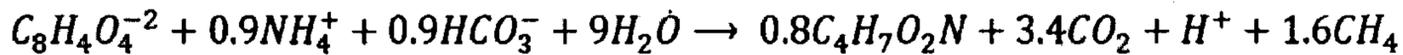
D. Biodegradación de AT

El reactor para la biodegradación de AT se inocula hasta
vertiendo inóculo húmedo en el reactor y completando el
5 volumen del mismo con medio de cultivo fresco y una alícuota
de la solución de metales traza (Tablas 1 y 2).
Posteriormente se agrega al reactor agua residual contaminada
con ácido tereftálico a una concentración de 3 g/L y un
tiempo de retención hidráulica (TRH) de 13 min. El reactor se
10 puede operar a concentraciones menores de AT siendo 0.6 g/L
la más baja concentración usualmente encontrada en agua
residual contaminada con AT.

En cuanto a los balances estequiométricos de la
15 biodegradación de ácido tereftálico en desnitrificación y
metanogénesis, se tiene que para este proceso, se plantean
los balances estequiométricos de acuerdo a semireacciones de
oxido-reducción, considerando como fuente de nitrógeno al
amonio, única fuente de carbono al ácido tereftálico (donador
20 de electrones), en su forma iónica como tereftalato. Para la
desnitrificación se considera al nitrato como aceptor de
electrones, para la metanogénesis se considera como aceptor
de electrones al dióxido de carbono. Los balances
estequiométricos permiten conocer el máximo teórico de biogás
25 (como CO₂ o como mezcla de CO₂ y CH₄) que se puede producir
durante la biodegradación, así como una idea de la
distribución de AT en los diferentes productos en el sistema.
A continuación se muestran las reacciones globales en moles
(referenciada a AT) que suceden en el reactor para los
30 sistemas desnitrificante (Ec.1) y metanogénico (Ec.2):



Ec. 1



5

Ec. 2

En los balances estequiométricos se puede observar que, en condiciones desnitrificantes, son necesarias tres moles del ión nitrato para consumir un mol de ácido tereftálico, es decir, por cada gramo de ácido tereftálico consumido se consumirán 1.12 g del ión NO_3^- . Para el caso de la metanogénesis cada mol de ácido tereftálico producirá 1.6 moles de metano y 3.4 moles de dióxido de carbono, cuyos volúmenes dependerán de la temperatura y presión.

15 Comprobación de la biodegradación del ácido tereftálico contenido en agua residual, en anaerobiosis.

Ejemplo 1

La anaerobiosis tiene como una de sus características más representativas la producción de biogás producto de la biodegradación de los compuestos presentes en el cultivo, por lo tanto la cantidad producida de biogás en el sistema es un indicativo de la capacidad del cultivo para consumir un contaminante como única fuente de carbono. Primeramente se calculó el volumen de biogás producido, el cual es el máximo teórico. Este máximo teórico se compara con la producción real, para la cual se colocan cultivos alimentados con una concentración definida de carbono. Primeramente se debe

calcular el máximo teórico de biogás en condiciones estándar, dicho valor se obtiene usando la ecuación de los gases ideales, tomando en cuenta la concentración de carbono presente en el sistema, y haciendo la consideración de que
5 toda esta concentración pasará a la fase gaseosa, en una mezcla de metano y dióxido de carbono. Esto se realizó con una concentración de 1 mM de ácido tereftálico en un volumen de 100 ml, lo cual equivale a 9.62 mg de carbono en el sistema, los que pasarán a la fase gaseosa, esta cantidad de
10 carbono generará 18 mL de biogás en un caso teórico ideal, cálculo realizado con la ley de los gases ideales.

Este experimento se realizó por triplicado para una muestra de cada uno de los sistemas, desnitrificante y
15 metanogénico, los promedios de la producción de gas se presentan en la Figura 2. En el caso de la metanogénesis se produjeron 17.67 mL de gas lo que equivale a 98% del gas teórico, para la desnitrificación se produjeron 15.33 ml de gas lo que equivale a 85%.

20

El desempeño del reactor en cuanto a la biodegradación del AT bajo condiciones metanogénicas a lo largo de un poco más de un mes de operación se muestra en la Figura 3. En la Figura 3 se dividió la operación del reactor con tres
25 concentraciones diferentes de AT (0.6 g/l, 2g/l y 3 g/l).

Las velocidades de biodegradación del AT fueron para cada uno de los periodos 20.6 mg/lh, 187 mg/lh y 115.5 mg/lh para concentraciones iniciales de AT de 0.6 g/L, 2g/L y 3 g/L
30 respectivamente. Solamente la concentración más baja de AT

correspondiente a 0.6 mg/L se trabajó a un TRH de 7 min. En general se recomienda que el TRH en el reactor se mantenga entre 13 y 15 min. La Figura 4 muestra la formación del biogás en el reactor a lo largo de la biodegradación del AT.

5

Las velocidades de biodegradación para el AT bajo condiciones desnitrificantes y metanogénicas para las diferentes concentraciones de AT usadas se presentan en la Tabla 3.

10 **Tabla 3.** Velocidades de biodegradación de AT en el reactor a condiciones desnitrificantes y metanogénicas.

	Sistema en el reactor	[Biomasa]	[AT]	Velocidad de consumo
15	desnitrificante	2.43 g SSV/l	249 mg/l	2.6 mg/lh
			498 mg/l	12.13 mg/lh
20	metanogénico	2.43 g SSV/l	249 mg/l	1.7 mg/lh
			498 mg/l	9.28 mg/lh
25	metanogénico	3 g SSV/l	600 mg/l	19 mg/lh
			2000 mg/l	187 mg/lh
			3000 mg/l	115.5 mg/lh

30

De acuerdo a los balances de materia realizados tanto para condiciones de desnitrificación como metanogénicas se puede concluir que en reactor de la presente invención la desnitrificación se lleva a cabo de forma completa con crecimiento de biomasa puesto que los rendimientos experimentales se acercan a los rendimientos teóricos de ese balance (Tabla 4).

Tabla 4. Rendimientos experimentales de la biodegradación de AT en condiciones de desnitrificación

Descripción del sistema en el reactor	Y NO ³⁻ /AT teórico	Y N ₂ /AT teórico	Y CO ₂ /AT teórico
Desnitrificación completa con crecimiento de biomasa. Balance teórico	3	1.5	5.1
Desnitrificación completa sin crecimiento de biomasa. Balance teórico	6	3	8
	Y NO ³⁻ /AT teórico	Y NO ₂ /AT teórico	Y CO ₂ /AT teórico
Desnitrificación incompleta sin crecimiento de biomasa. Balance teórico	15	15	8
Desnitrificación incompleta con crecimiento de biomasa. Balance teórico	7.5	7.5	5.1
	YNO ³⁻ /AT teórico	YN ₂ /AT teórico	YCO ₂ /AT teórico
Rendimientos experimentales	3.73 (± 0.8)	0.44 (± 1.8)	1.59 (± 2.2)

NOTA: Estos rendimientos fueron calculados de acuerdo a

la ecuación para la desnitrificación.

En cuanto a la metanogénesis, los rendimientos experimentales se acercan a un proceso de metanogénesis incompleta acumulando acetato y biomasa (Tabla 5).

Tabla 5. Rendimientos experimentales de la biodegradación de AT en condiciones de metanogénesis

Descripción del sistema en el reactor	$Y_{CH_4/AT}$ teórico	$Y_{CO_2/AT}$ teórico	$Y_{acetato/AT}$ teórico
Metanogénesis con crecimiento de biomasa. Balance teórico	1.6	3.4	0
Metanogénesis incompleta, acumulando acetato y biomasa. Balance teórico	0.3	1.35	3
Metanogénesis incompleta sin crecimiento de biomasa. Balance teórico	0.75	1.25	3
	$Y_{CH_4/AT}$	$Y_{CO_2/AT}$	$Y_{acetato/AT}$
Rendimientos experimentales	0.4 (± 0.2)	1.19 (± 2.2)	1.74 (± 2.02)

10

NOTA: Estos rendimientos fueron calculados de acuerdo a la ecuación para la metanogénesis.

Los datos obtenidos en el presente reactor para la biodegradación de AT de 115.51 mg/h mayores a los reportados por Kleerebezeem et al. (1997) quienes utilizaron más o menos

15

las mismas dimensiones de reactor para la biodegradación de AT y lograron una velocidad de biodegradación de 24 mg/h.

5 De lo anterior se puede concluir que el reactor propuesto en la presente invención puede trabajar simultáneamente tanto en condiciones desnitrificantes como metanogénicas para biodegradar AT usando en ambos casos el mismo inóculo.

Referencias

- Fdz-Polanco F, Hidalgo MD, Fdz-Polanco M, García Encina PA. 1999. Anaerobic treatment of Polyethylene Terephthalate (PET) wastewater from lab to fullscale. Water Science and Technology 40(8):229-236.
- 5
- Ferro CT. 2008. El envase de polietilentereftalato: su impacto ambiental y los métodos para su reciclado. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria.
- 10
- R.Kleerebezem, Lettinga LWHyG. 1999. Anaerobic biodegradability of phthalic acid isomers and related compounds. Biodegradation 10:63-73.
- 15
- Kleerebezem R, Beckers J, Hulshoff Pol LW, Lettinga G. 2005. High rate treatment of terephthalic acid production wastewater in a two-stage anaerobic bioreactor. Biotechnol Bioeng 91(2):169-79.
- 20
- Kleerebezem R, Hulshoff Pol LW, Lettinga G. 1999a. Anaerobic biodegradability of phthalic acid isomers and related compounds. Biodegradation 10(1):63-73.
- Kleerebezem R, Hulshoff Pol LW, Lettinga G. 1999b. Anaerobic degradation of phthalate isomers by methanogenic consortia. Appl Environ Microbiol 65(3):1152-60.
- 25
- Kleerebezem R, Hulshoff Pol LW, Lettinga G. 1999c. The role of benzoate in anaerobic degradation of terephthalate. Appl Environ Microbiol 65(3):1161-7.
- 30

Kleerebezem R, Mortier J, Hulshoff Pol LW, Lettinga G. 1997.

Anaerobic pre-treatment of petrochemical effluents:
Terephthalic acid wastewater. Water Science and Technology
36(2-3):237-248.

5

Thiruvengkatachari R, Kwon TO, Jun JC, Balaji S, Matheswaran
M, Moon IS. 2007. Application of several advanced oxidation
processes for the destruction of terephthalic acid (TPA).
Journal of hazardous materials 142(1-2):308-314.

10

Vamsee-Krishna C, Phale P. 2008. Bacterial degradation of
phthalate isomers and their esters. Indian Journal of
Microbiology 48(1):19-34.

REIVINDICACIONES

Habiéndose descrito la invención, se reclama como propiedad lo contenido en las siguientes reivindicaciones:

5

1. Un proceso para el pretratamiento anaerobio de aguas residuales caracterizado porque se lleva a cabo a partir de lodos aerobios y consiste además de la siguientes etapas :

- 10 a) Realizar un depósito serológico llenado a un volumen total compuesto por 45% de medio de cultivo, 1% de una solución de metales traza, 20% del inóculo aerobio; 20% de una solución de bicarbonato de sodio a una concentración de 5g/L, 9-10% de agua y 4% de una
- 15 solución de metanol a una concentración de 125mM;
- b) Adaptar el inóculo a condiciones anaerobias metanogénicas y desnitrificantes utilizando como medio de cultivo NH_4NO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y NaCl a una concentración de 40% a 50% y una solución de metales
- 20 traza de NaHCO_3 , MgSO_4 , $7\text{H}_2\text{O}$, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , CaCl_2 , $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y Resarzurina a una concentración de 1% a 5%;
- c) Preinocular el reactor con 57.5% del medio de cultivo de NH_4NO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y NaCl , 3% del inóculo
- 25 aerobio de la etapa b), 16.5% de una solución de bicarbonato de sodio a una concentración de 5g/L, 19% de agua corriente, 0.2% de la solución de metales traza y 3.8% de metanol;
- d) Adaptar el reactor para la biodegradación de AT hasta
- 30 que alcance una temperatura de 37°C;

- e) Inocular el reactor; y
- f) Hacer pasar aguas residuales contaminadas con ácido tereftálico para su biodegradación con un tiempo de retención hidráulica de entre 13 a 15 min a una
- 5 velocidad de degradación de AT de 115.5 mg/L por hora para llevar a cabo la biodegradación.

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un proceso para el
5 pretratamiento de aguas residuales en donde se lleva a cabo
la biodegradación de ácido tereftálico, sus isómero y/o
precursores utilizando un cultivo de microorganismos en
condiciones metanogénicas y desnitrificantes.

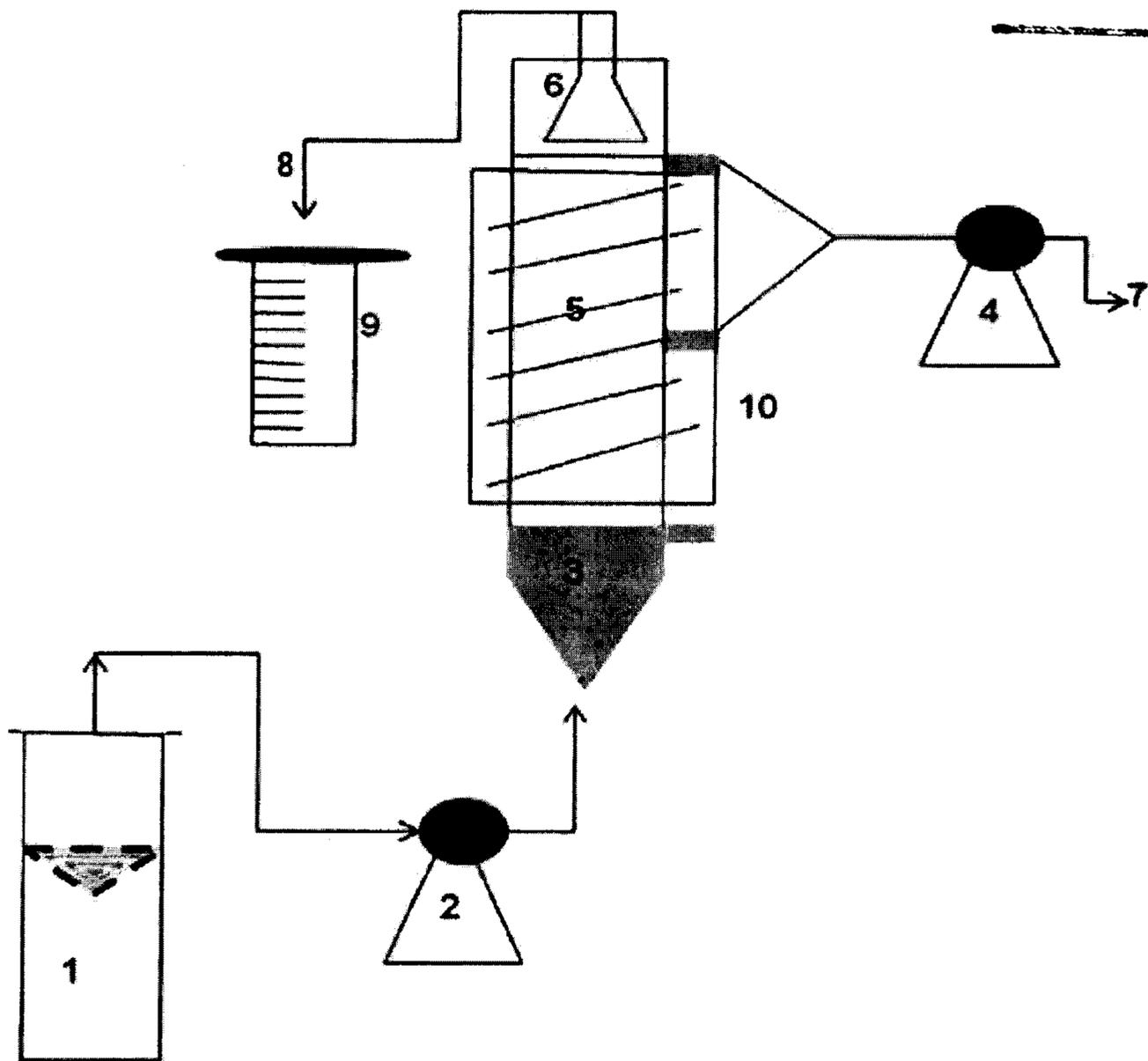


Figura 1

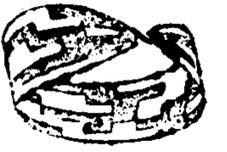
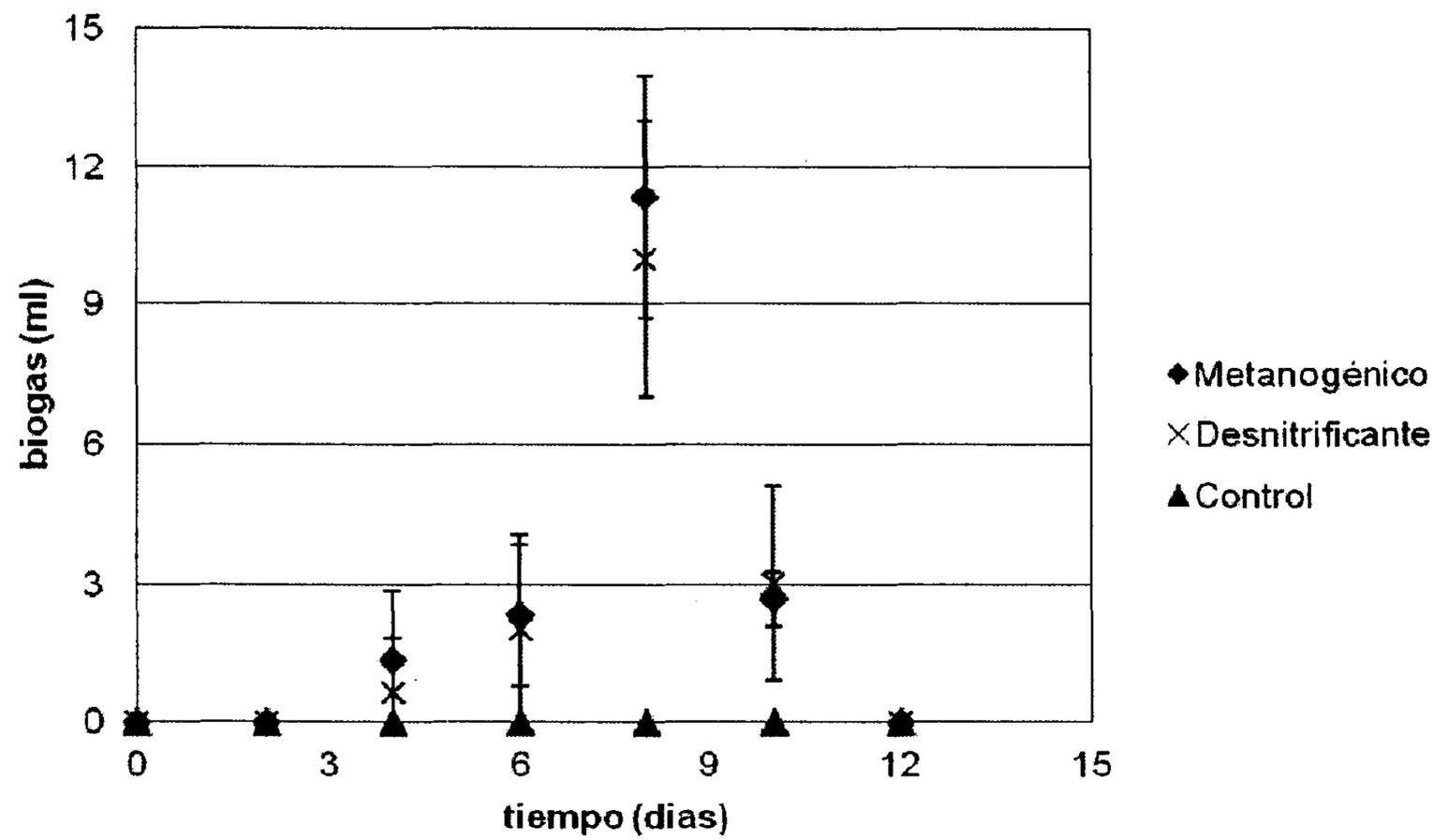
**Evidencia de biodegradación anaerobia de AT**

Figura 2

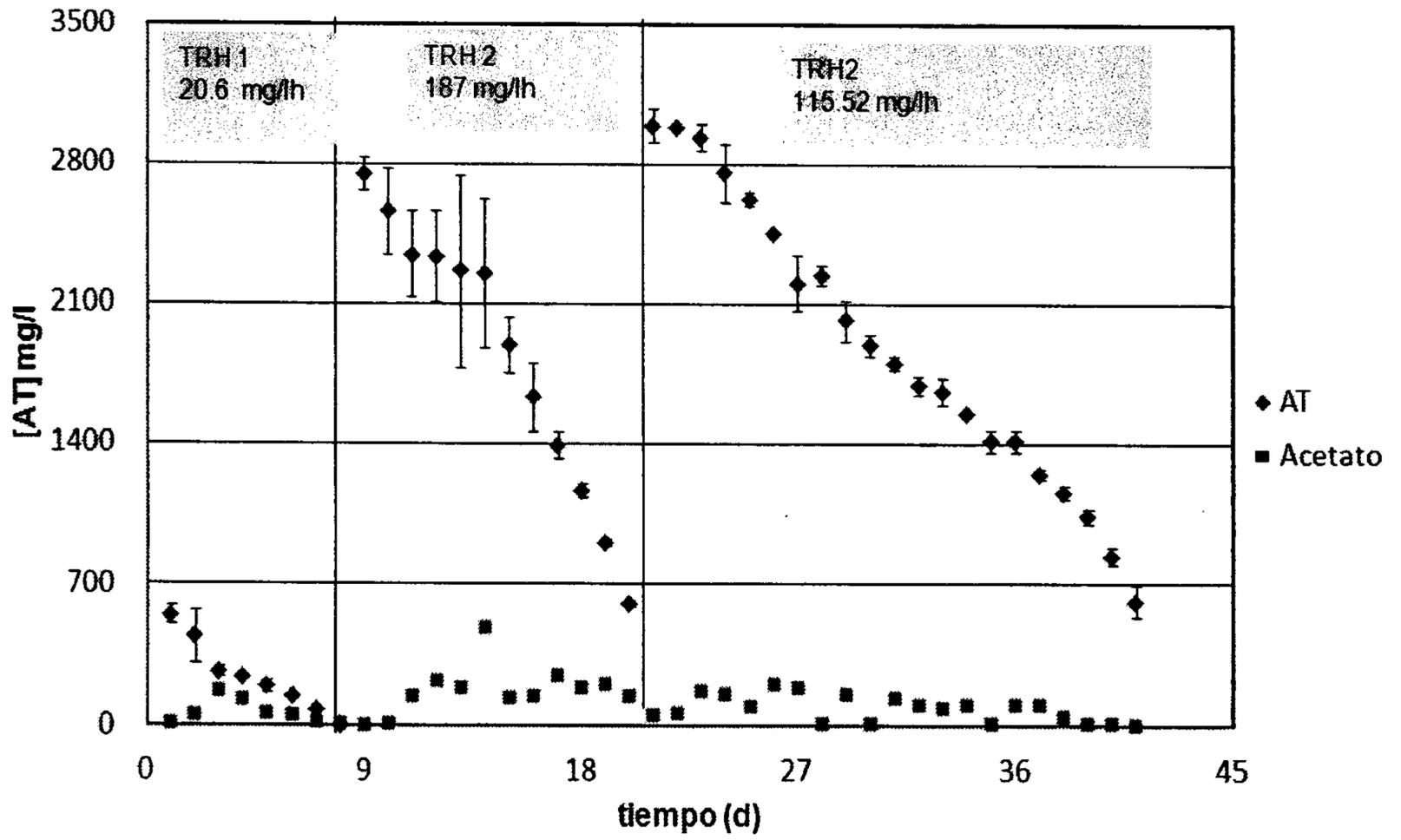


Figura 3

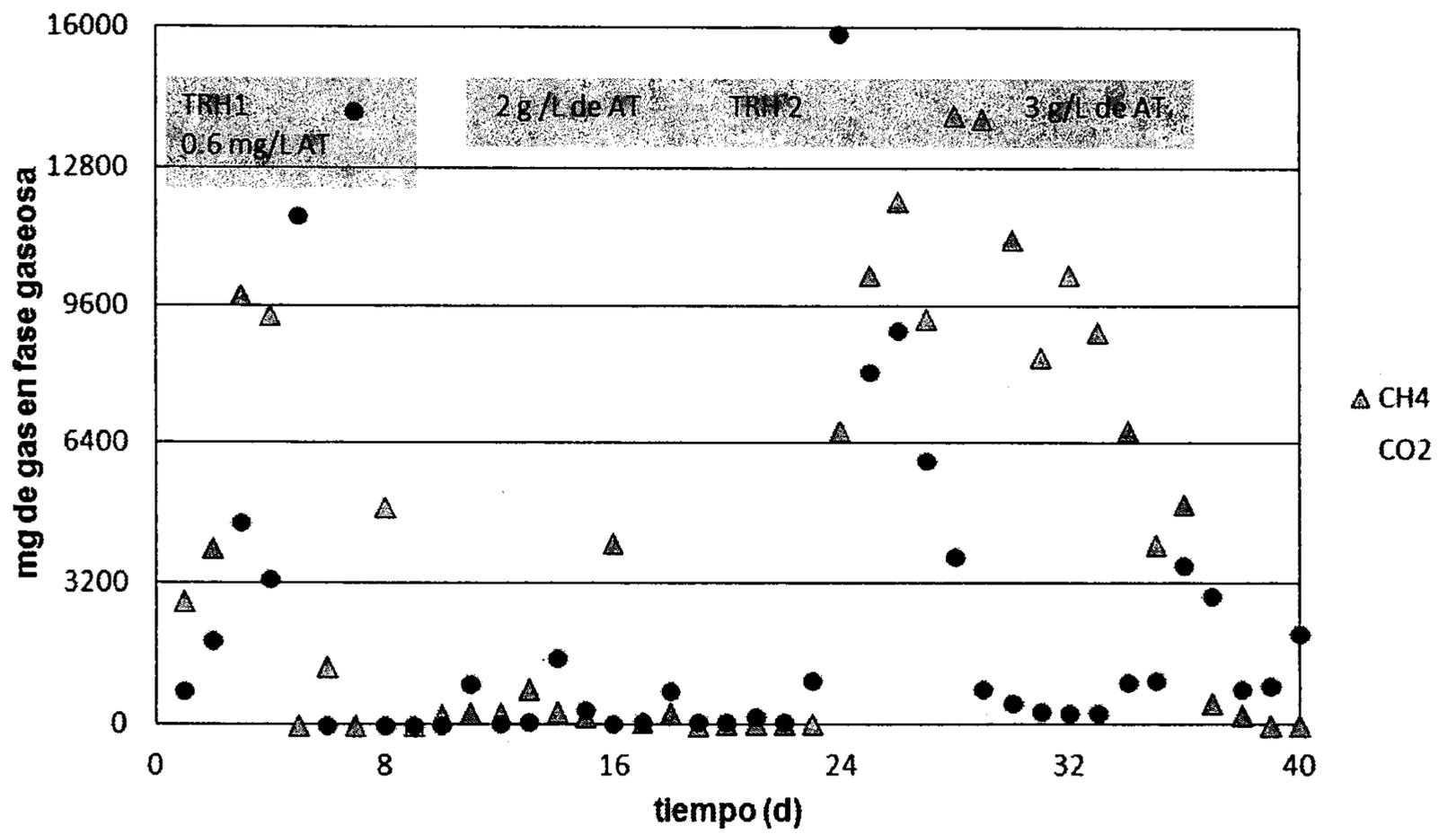
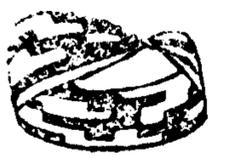


Figura 4