



MÁSTER EN GESTIÓN Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**“ARRANQUE DE UN REACTOR ANAEROBIO A ESCALA
LABORATORIO”**

**M^a EUGENIA SANTOS VEGA
SEPTIEMBRE, 2012**

MARÍA FERNÁNDEZ POLANCO IÑIGUEZ DE LA TORRE, profesor/a del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid
INFORMA:

Que D. M^a EUGENIA SANTOS VEGA ha realizado bajo nuestra dirección el Trabajo Fin de Máster titulado "*arranque de un reactor anaerobio a escala laboratorio*".

Valladolid, 11 de Septiembre de 2012

Fdo. María Fernández Polanco Iñiguez de la Torre

Reunido el Tribunal designado por el Comité Académico del Master en Gestión y Tecnología Ambiental, para la evaluación de Trabajos Fin de Master, y después de estudiar la memoria y atender a la defensa del trabajo “*arranque de un reactor anaerobio a escala laboratorio*”, presentado por el alumno D. *M^a Eugenia Santos Vega*, decidió otorgarle la calificación de _____.

Valladolid, 11 de Septiembre de 2012

El Presidente

ÁNGEL CARTÓN

Fdo.:

El Secretario

MÓNICA COCA

Fdo.:

Vocal

RUBÉN IRUSTA

Fdo.:

ÍNDICE

RESUMEN	2
OBJETIVO	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIAL Y MÉTODOS	4
Características del reactor	4
Características de la alimentación	5
Parámetros de seguimiento/control	6
OPERACIÓN-SEGUIMIENTO.....	7
RESULTADOS.....	8
MICRO-AIREACIÓN	11
CONCLUSIONES	14
RECOMENDACIONES	14
BIBLIOGRAFÍA	15
ANEXO (Tablas)	16
ANEXO (Gráficas).....	18

RESUMEN

El mayor problema del arranque de un reactor anaerobio, es mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de las bacterias y para ello hay que controlar una serie de parámetros como el pH, la temperatura, los AGV's, el nitrógeno o amonio entre otros, ya que pueden afectar a dichas bacterias.

Cuando todos estos parámetros de control estuvieron estabilizados, lo que nos duró unos 70 días aproximadamente, se pudo concluir que el reactor había arrancado y operaba adecuadamente.

Una vez alcanzado este objetivo, se propuso realizar otro ensayo de micro-aireación. Para ello se tuvo que introducir sulfatos para elevar la concentración de H_2S y poder eliminarla posteriormente mediante la inyección de oxígeno. Se calculó la cantidad de sulfato de sodio necesario para alcanzar una concentración de H_2S en el biogás de 3000 ppm suponiendo que solamente la mitad del H_2S de la fase acuosa se desorbe.

Tras 40 días introduciéndole sulfatos, no se llegó a dicha concentración, por lo que este ensayo no se puede dar por concluido para este estudio.

OBJETIVO

El principal propósito de éste estudio, es la realización del arranque y operación de un reactor anaerobio a escala laboratorio para el tratamiento de la fracción orgánica del residuo sólido urbano de un agua residual, así como el control de varios parámetros de seguimiento.

También intentar realizar un ensayo de micro-aireación, es decir, eliminar el H_2S presente en el biogás, generado forzosamente por nosotros, ya que le iremos introduciendo pequeñas cantidades de sulfato sódico anhidro (Na_2SO_4) hasta alcanzar una concentración teórica deseada y posteriormente lo eliminaremos mediante la inyección de oxígeno puro.

Por lo tanto podemos decir que el estudio consta de dos partes bien diferenciadas pero relacionadas entre sí:

- Arranque y operación del reactor anaerobio.
- Preparación y eliminación de H_2S mediante un ensayo de micro-aireación.

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental se centra en el aumento de la generación de residuos debido al rápido crecimiento demográfico, sobre todo en los centros urbanos, la utilización de bienes materiales de rápido envejecimiento y el aumento de uso de envases sin retorno.

El uso de la tecnología anaerobia implica dos etapas fundamentales: el arranque y operación del sistema.

El proceso de digestión anaerobia, consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos en ausencia de oxígeno molecular, *Pacheco J. et al.* En ella, se obtiene como subproducto biogás, gas que se compone aproximadamente de un 70% de metano (CH_4) y un 30 % de una mezcla de dióxido de carbono (CO_2) y otros compuestos como nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2), amoníaco (NH_3) y sulfato de hidrógeno (H_2S), los cuales son los responsables de los malos olores generados durante el proceso. Dicho biogás, puede emplearse para producir energía térmica, eléctrica o en sistemas de cogeneración.

El proceso se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de microorganismos, que son los que transforman la materia orgánica en sustratos simples fermentables por las bacterias metanogénicas.

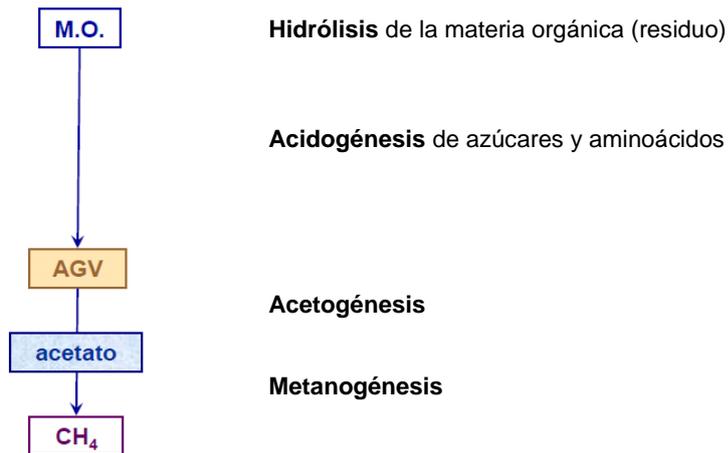
Primeramente, las macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos), son hidrolizados por enzimas extracelulares a compuestos más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos). Este proceso de hidrólisis ayuda a que el material orgánico de las aguas, sea asimilado por las bacterias e incorporado a su proceso metabólico.

Una vez formados los compuestos simples, éstos son absorbidos y descompuestos por las bacterias acidogénicas, generando como producto final el ácido acético u otros ácidos grasos volátiles (AGV), dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno.

En reactores anaerobios, especialmente con la presencia de sulfatos, existe un grupo de bacterias capaces de reducir los sulfatos a sulfuros. Estas bacterias son conocidas como “sulfato – reductoras” (BSR), las cuales utilizan el sulfato como aceptor final de electrones.

La última etapa de la digestión anaerobia, se lleva a cabo mediante un grupo de bacterias conocidas como metanogénicas, cuya denominación da nombre al proceso “metanogénesis” y se basa en la reducción del dióxido de carbono a metano.

El proceso queda esquematizado en la siguiente figura:



Las condiciones óptimas para nuestro proceso anaerobio son las siguientes:

- Nutrientes suficientes.
- pH entre 6,5 y 7,7.
- Temperatura en torno a 35°C (intervalo mesófilo).
- Ausencia de oxígeno.
- Evitar inhibidores.

MATERIAL Y MÉTODOS

Características del reactor

El reactor es horizontal (como se observa en la imagen 1) y tiene un volumen total de 30 litros, aunque hemos trabajado con volúmenes de 24 litros de líquido por lo que el resto, 6 litros, es gas.

El experimento se llevó a cabo en condiciones mesófilas (en torno a 35°C), que se consiguen y se conservan mediante una cámara termoestada a dicha temperatura, en la que se encuentra el reactor, ya que es a la temperatura a la que trabajan con mayor eficacia los microorganismos.



Imagen 1: Reactor anaerobio.

Las partes de las que consta el reactor son las siguientes:

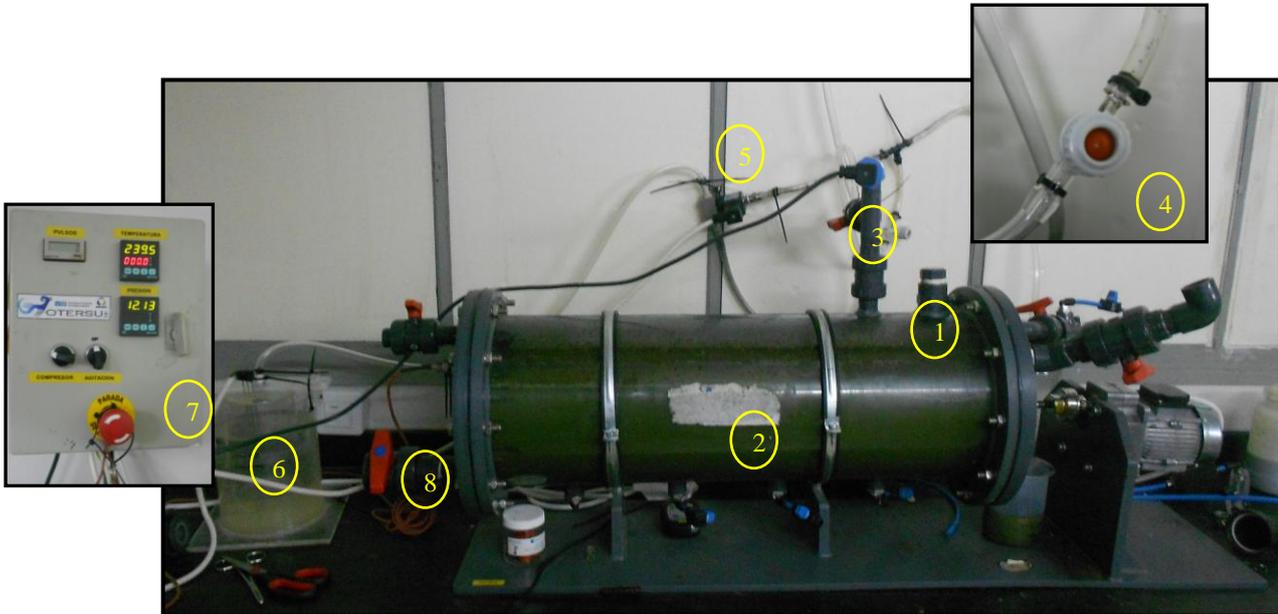


Imagen 2: partes del reactor anaerobio.

La alimentación es introducida por el punto 1, junto con 500 gramos de fango sacado previamente desde el punto 8, que es el punto por el que se saca las muestras para los análisis de control y seguimiento. En el interior del reactor (punto 2), la alimentación se mezcla gracias a unas palas giratorias mecanizadas cada 10 minutos y es donde se produce la digestión anaerobia.

El biogás que se genera en dicha digestión, sale por el conducto punto 3 y gracias al “septum” (punto 4), podemos caracterizar el biogás, ya que con una jeringa de 100 μL se coge una muestra del gas y lo analizamos en un cromatógrafo de gases (*Varian 3800*).

El punto 5 es la electroválvula que controla la cantidad de biogás para el medidor de pulsos (punto 6), y la salida del gas a la calle.

El punto 7 es el cuadro eléctrico y en su pantalla queda reflejado el número de pulsos que ha dado el reactor, la temperatura y la presión a la que opera.

Características de la alimentación

Para la alimentación, vamos a emplear un residuo orgánico sintético (imagen 3) que hemos ido creando con el fin de controlar mejor sus propiedades frente a uno real, a partir de cereal (arroz cocido), verdura (pepino), fruta (naranja), carne (pechuga de pollo cruda) y pescado (sardinas crudas sin cabeza), en diferentes proporciones (tabla 1), las cuales se han definido a partir de estudios anteriores sobre el residuo orgánico real.



Imagen 3: Mezcla final de la alimentación.

Finalmente es sometido a reducción de tamaño por trituración mecánica para poder introducirlo en el reactor.

TIPO DE RESIDUO	% CONTENIDO
PESCADO	3
CARNE	4
FRUTA	37
VERDURA	37
CEREAL	19

Tabla 1: Proporciones para un kilo de alimentación.

El reactor es alimentado en semicontínuo, diariamente, con una cierta cantidad de dicha alimentación que hemos ido variando (se empezó a alimentar con 100 gramos) para conseguir los tiempos de residencia deseados. La alimentación es mezclada con unos 500 gramos de fango del propio reactor sacado previamente, de esta forma se facilita la operación de alimentación y la mezcla dentro del reactor.

Parámetros de seguimiento/control

El arranque y seguimiento del reactor anaerobio, incluye una serie de análisis químicos rutinarios de los parámetros de control para poder evaluar el rendimiento y la eficacia del proceso.

Por ello, hemos realizado la preparación de las muestras para los diferentes análisis del efluente, siguiendo los protocolos estándares de actuación:

- Análisis de Sólidos totales (ST) y volátiles (SV) en masa.
- Análisis de la Demanda química de oxígeno soluble (DQOs) y total (DQOt).
- Cantidad de amonios por destilación.
- Cantidad de nitrógeno en forma NKT en masa.
- Análisis del pH.
- Análisis de la alcalinidad mediante valoración por retroceso.
- Cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV's).
- Composición del biogás (CH₄, CO₂, H₂S, N₂ Y O₂).

La preparación de las muestras y los análisis se han realizado los martes y viernes de cada semana, exceptuando la cantidad de amonios y de nitrógeno (en forma de NKT), que solamente se analiza una vez por semana, los martes.

Los resultados de todos los análisis quedan detallados en el anexo-tablas (Tabla 2).

OPERACIÓN-SEGUIMIENTO

El arranque de cualquier reactor anaerobio es lento, debido a la baja producción de biomasa en relación al sustrato consumido, por lo que es conveniente la inoculación para acelerar la puesta en marcha del reactor, pero en este estudio, se contó con un inóculo procedente de unos reactores similares, adecuado y adaptado previamente.

La duración del arranque depende no solo de los parámetros biológicos, sino también de los químicos y físicos. También está influenciado por el volumen, la actividad y la adaptación del inóculo, condiciones ambientales, parámetros de operación y por la configuración del reactor, estando todos ellos, estrechamente relacionados.

Los datos con los que partimos quedan detallados en las siguientes tablas:

- La caracterización de la alimentación es bastante homogénea, ya que utilizábamos, en las 11 alimentaciones que se necesitaron, las mismas proporciones. La media de todas ellas queda detallada a continuación:

SÓLIDOS TOTALES (g/L)	SÓLIDOS VOLÁTILES (g/L)	DQO TOTAL (mg/L)	DQO SOLUBLE (mg/L)
144,9	140,3	185000	90000

Tabla 3: Caracterización de todas las alimentaciones utilizadas.

- La cantidad de carga de alimentación al reactor se ha ido incrementando desde 100 gramos diarios (primera semana) hasta 350 gramos diarios, ya que se quería conseguir una carga volumétrica final en torno a los 2000 gramos de sólidos volátiles/m³/d, por lo que se tuvo que ir aumentando el volumen del fango en el interior del reactor:

	SÓLIDOS VOLÁTILES (g/L)	CARGA ALIMENTACIÓN (L/d)	CARGA VOLUMÉTRICA (g SV/m ³ /d)
INICIAL	141,95	0,10	645,2272
FINAL	141,07	0,35	2057,27

Tabla 4: Cantidad de carga de alimentación suministrada al reactor.

Se ha tenido que ir variando la carga ya que al realizar los análisis químicos de los parámetros de seguimiento (en torno al día 15), tuvimos problemas con los ácidos grasos volátiles (AGV's), el reactor se empezaba a acidificar (más de 8000 mg de ácidos grasos volátiles) por lo que se tuvo que bajar la carga de alimentación de 300 gramos a 150 gramos diarios.

- El tiempo hidráulico de residencia (THR), depende del volumen de fango que haya en el interior del reactor y del volumen de alimentación que se vaya introduciendo:

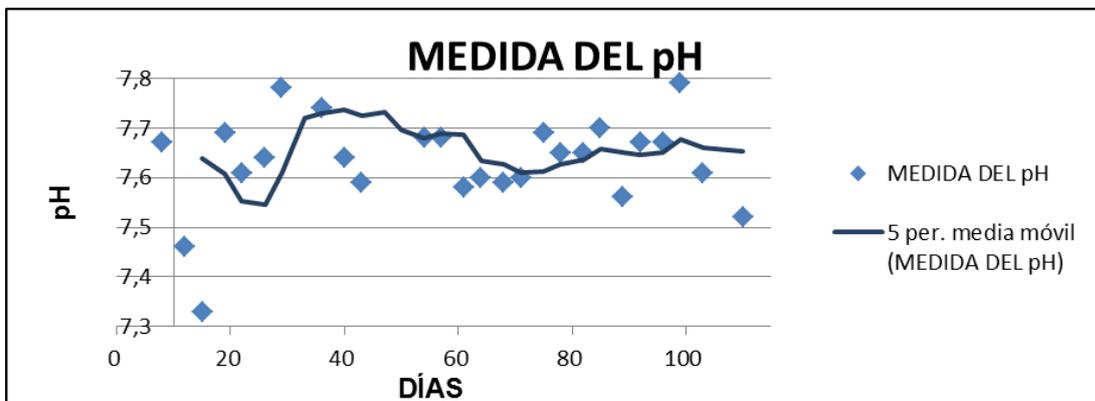
	VOLUMEN REACTOR (L)	CARGA ALIMENTACIÓN (L/d)	TIEMPO HIDRÁULICO (d)
INICIAL	22	0,10	220
FINAL	24	0,35	≈ 28

Tabla 5: Tiempo hidráulico de residencia (THR).

Como se observa en la tabla anterior, al inicio, el tiempo hidráulico es bastante elevado por lo que se fue subiendo la carga de alimentación para que se elevara el volumen de fango en el reactor y así disminuir el tiempo hidráulico de residencia hasta el valor deseado (en torno a 30 días).

RESULTADOS

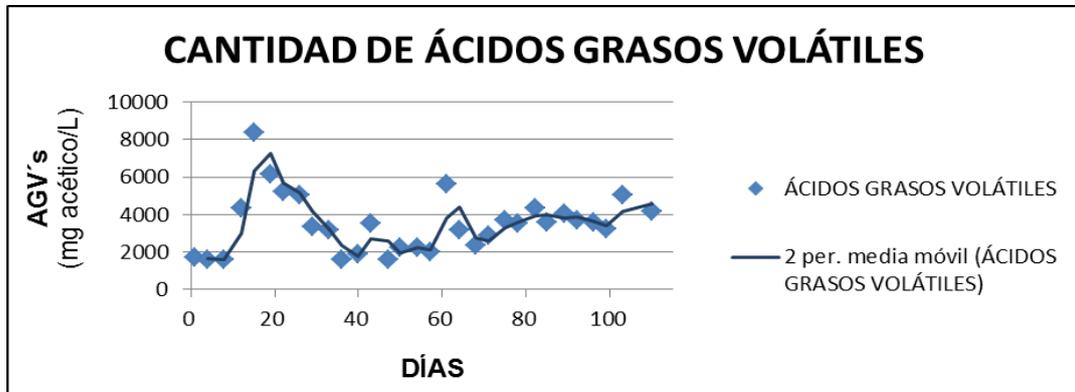
Las gráficas de los parámetros de seguimiento que se han analizado, con resultados significativos, quedan detalladas a continuación. El resto de gráficas, están en el anexo-gráficas (gráfica 7), ya que no presentan resultados significativos:



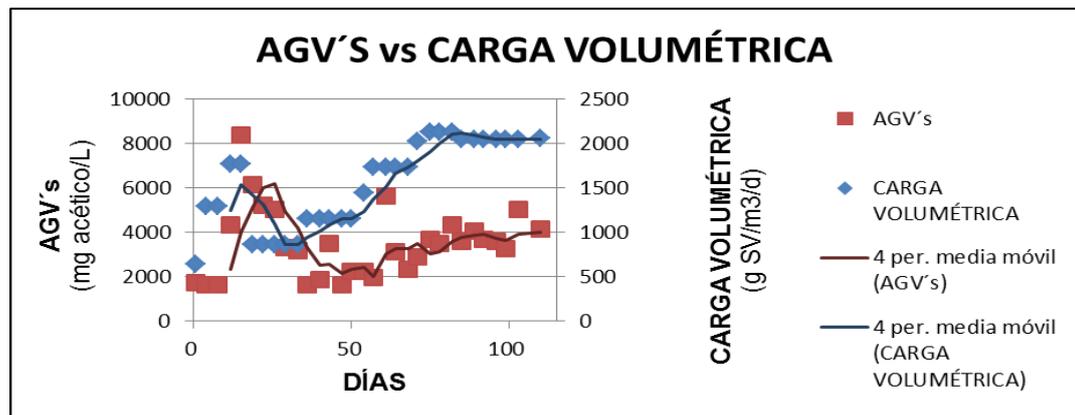
Gráfica 1: Medida del pH a lo largo de los 110 días.

Como podemos observar en la gráfica 1, ha habido fluctuaciones del pH pero siempre dentro de las condiciones óptimas de actuación (rango entre 7,5 y 7,8) por lo que los resultados no son significativos, aunque conviene destacar el punto de pH=7,3 en torno al día 15, ya que corresponde con una subida de los AGV's, como veremos a continuación.

En los análisis de los ácidos grasos volátiles (AGV's), si hay alguna medida significativa, como se puede observar en la gráfica 2. Alrededor del día 15 y del día 60 se produce un aumento de los ácidos producido por un aumento de la carga de alimentación como se observa en la gráfica 3.



Gráfica 2: Medida de los AGV's a lo largo de los 110 días.

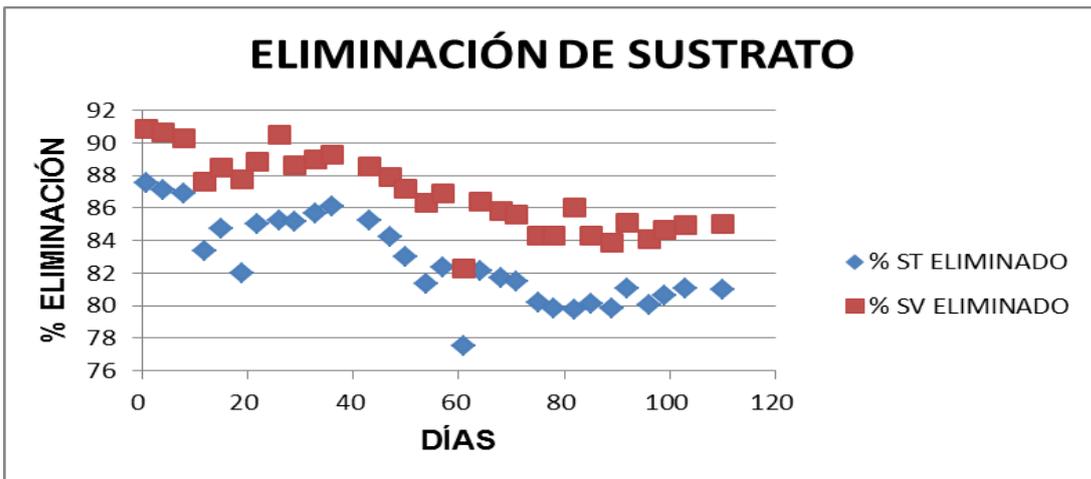


Gráfica 3: Relación entre la cantidad de AGV's y la carga volumétrica de alimentación.

Al introducirle más cantidad de alimentación al reactor, las bacterias metanogénicas no son capaces de asimilar tanta cantidad de sustrato, ya que su actividad es más lenta que la de las acidogénicas. Esto provoca una acumulación de ácidos en el reactor, es decir, es una acidificación.

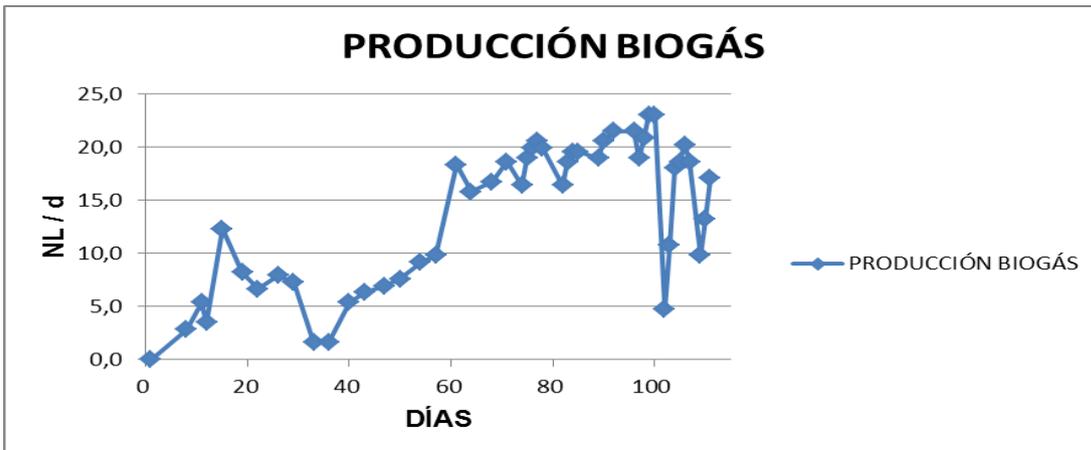
Para resolverlo hay que dejar de alimentar el reactor hasta que dichos ácidos reduzcan sus niveles e ir incrementando la carga poco a poco.

Conforme a la eliminación del sustrato (gráfica 4), podemos observar como en los primeros días se produce una gran eliminación pero conforme pasa el tiempo, las bacterias degradan el sustrato más lentamente. Sin embargo, teniendo en cuenta el incremento progresivo de carga que se ha llevado a cabo, este comportamiento corresponde con elevados niveles de eliminación para cargas bajas, que van bajando según aumenta la cantidad alimentada, lo cual es lógico.



Gráfica 4: Porcentaje de eliminación de sustrato.

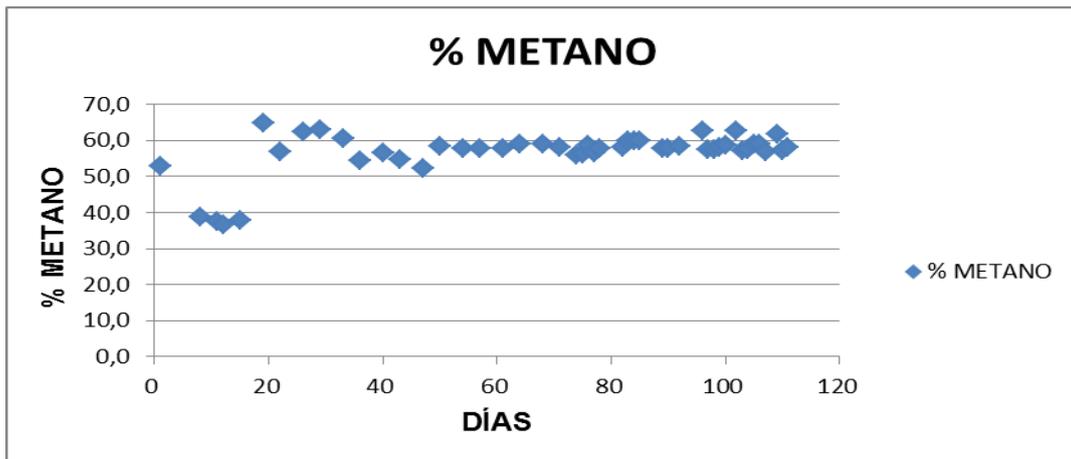
En relación a la producción de biogás (gráfica 5), se ve como ha ido aumentando a lo largo del tiempo. Se puede observar que a partir del día 20, empezó a disminuir debido a una fuga en la electroválvula, que fue sustituida por una nueva el día 31, a partir del cual se observa como vuelve a incrementar.



Gráfica 5: Producción de biogás a lo largo de los 110 días.

El día 101 no se pudo alimentar al reactor, lo que provocó otra recaída en la producción de biogás.

La cantidad de metano producido a lo largo de los 110 días, se ve representado en la gráfica 6. En los primeros días se puede observar como el reactor no está estabilizado y como hemos dicho anteriormente, a partir del día 20, se observa un ligero descenso producido por la fuga en la electroválvula.



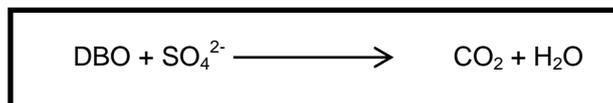
Gráfica 6: Porcentaje de metano producido.

Del día 50 en adelante, ya se ve una composición más o menos constante en valores cercanos al 60% de CH₄.

MICRO-AIREACIÓN

Una vez arrancado el reactor (día 70 aproximadamente), es decir, que todos los parámetros están constantes, se ha intentado realizar un ensayo de micro-aireación, cuyo objetivo principal es aumentar la concentración de H₂S en el reactor gracias al aporte de sulfatos, para que aumente dicha concentración también en el biogás y así poder eliminarlo al introducir posteriormente oxígeno.

Para ello, hemos calculado la cantidad de sulfato de sodio necesario para alcanzar una concentración de H₂S en el biogás de 3000 ppm, suponiendo que solamente la mitad del H₂S de la fase acuosa se desorbe.



$$V = \frac{n \times R \times T}{P} = \frac{1 \times 0,082 \times (273+35)}{1} = 25,26 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

$$3000 \frac{\text{N ml H}_2\text{S}}{\text{N m}^3 \text{ biogas}} \times 15,166 \frac{\text{NL biogas}}{\text{d}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 45,495 \frac{\text{ml H}_2\text{S}}{\text{d}}$$

$$45,495 \frac{\text{ml H}_2\text{S}}{\text{d}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ L}} \times \frac{\text{mol}}{25,26 \text{ L}} = 1,801 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{d}}$$

$$\text{En el reactor: } 1,801 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{d}} \times 2 = 3,602 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{d}}$$

El sulfato que vamos a introducir es sulfato de sodio anhidro Na_2SO_4 . Su peso molecular es 119 g/mol.

La cantidad diaria de sulfatos que debemos introducir es de:

$$3,602 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{d}} \times 119 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,4286 \frac{\text{g}}{\text{d}}$$

Dichos sulfatos, se disuelven en agua caliente con agitación magnética y se introducen en el reactor justo antes de la alimentación.

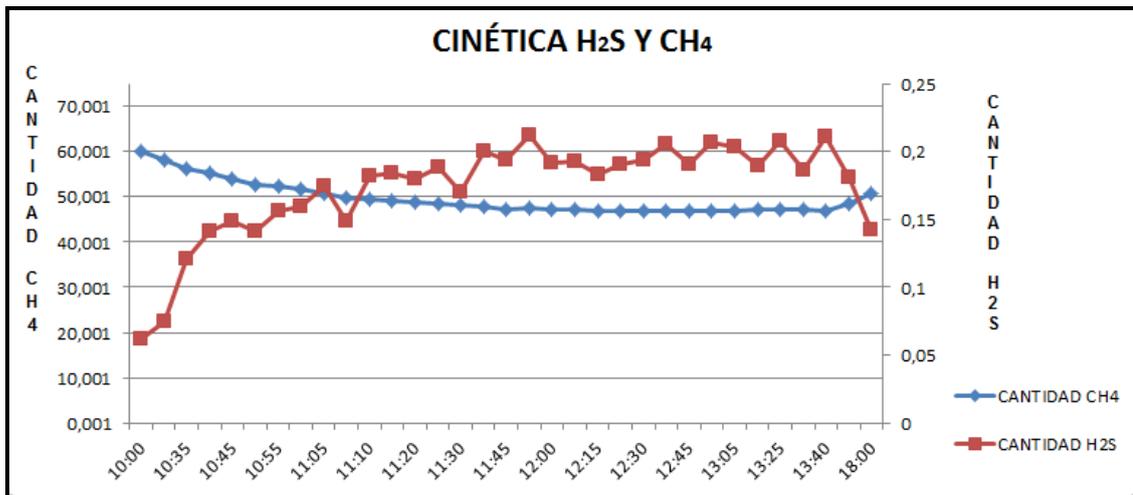
Uno de los problemas con los que nos hemos encontrado, fue que la concentración de H_2S no nos aumentaba hasta el valor que deseábamos (3000 ppm) en el gas, por lo que fuimos aumentando la dosis de sulfatos progresivamente (ver tabla 6).

DÍA	CANTIDAD DE SULFATOS (g)
130	0,6
145	1
152	1,5
165	2

Tabla 6: Cantidad progresiva de sulfatos introducidos al reactor.

El día 84, hicimos un seguimiento de biogás, tomando mediciones del reactor cada 5 minutos desde las 10:00 (medición tomada justo antes de introducir los sulfatos y la alimentación) hasta las 14:00 y dos mediciones posteriores a las 15:25 y a las 18:00, para ver la cinética del metano, CO_2 y H_2S , ver tabla 7 en el anexo-tablas.

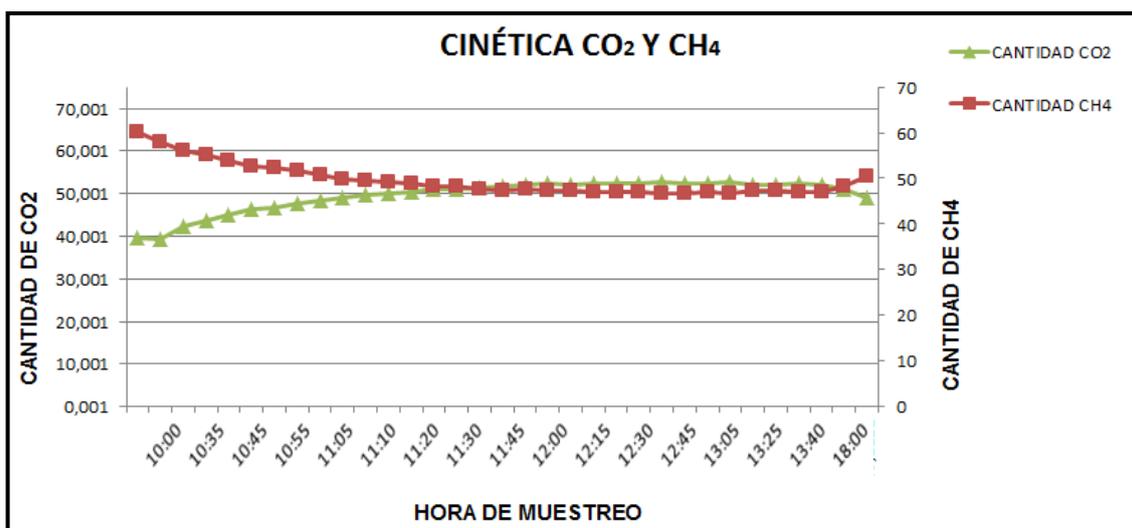
A continuación se observa, en la gráfica 7, la cinética tanto del metano como del H₂S:



Gráfica 7: Comparación de la cinética del H₂S y CH₄

La primera medida (10:00), justo antes de alimentar y de introducirle los sulfatos, podemos observar como la concentración de H₂S es bastante baja (0,088) y va aumentando a lo largo del tiempo debido a la actividad de las bacterias sulfatoredutoras. Por el contrario, la concentración de metano, disminuye con el tiempo debido a la baja actividad de las bacterias metanogénicas.

Por el contrario, la concentración de CO₂, va aumentando conforme disminuye la concentración de metano (CH₄), como se muestra en la gráfica 8.



Gráfica 8: Comparación de la cinética del CO₂ y CH₄.

Una vez alcanzada la concentración de H₂S deseada (3000 ppm), conforme con el objetivo de este ensayo, hay que introducir oxígeno (micro-aireación), mediante un controlador de oxígeno tipo “Aalborg” (imagen adjunta), para poder eliminar ese H₂S generado, pero no hemos podido terminar el ensayo debido al tiempo del que disponíamos, ya que no se ha podido alcanzar la concentración de H₂S deseada.



Imagen 4: Controlador de oxígeno “Aalborg 02 GFC 17”

CONCLUSIONES

- Se realizó un aumento progresivo de la carga durante el periodo de arranque del reactor, acompañado de un aumento en el porcentaje de eliminación del sistema. De tal forma que se obtuvieron porcentajes de eliminación superiores al 80% para DQO, llegando a una carga máxima de 2057 gramos de SV/m³ d y un tiempo de retención de 28 días (cifras del reactor una vez arrancado).
- Hubo alguna que otra incidencia a la hora de operar ya que se produjo una fuga en la electroválvula, lo que nos retraso el trabajo una semana.
- También tuvimos problemas (día 15 aproximadamente), con una subida de los ácidos grasos volátiles, por lo que le dejamos sin alimentar, hasta que disminuyó la cantidad de ácidos en los análisis (5 días).
- Con todos los análisis realizados se llega a la conclusión de que el reactor se arrancó satisfactoriamente, pero hay que llevar un control y seguimiento para que siga en funcionamiento.
- Este trabajo es una base para el desarrollo de nuevos proyectos que tendrán como objetivo terminar el ensayo de “micro-aireación”.

RECOMENDACIONES

- Se debe buscar la forma de alimentar continuamente el sistema en épocas de vacaciones del personal de la Universidad, ya que como se menciona el reactor presenta caídas de su rendimiento cuando el sistema no es alimentado un día.

BIBLIOGRAFÍA

- **CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LODOS ANAEROBIOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.** Scientia et Technica Año XIII, No 35, (2007). ISSN 0122-1701. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Chea, E. Radha, A. Jeanger, P. Juanga and Chettiyappan Visvanathan. **Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste in Thermophilic Continuous Operation: Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management, 5 – 7.** Chennai, India. pp.377-384. (Septiembre 2007).
- Fernández Güelfo, L.A. **CARACTERIZACIÓN CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA SECA DE LA FORSU. EFECTO DE DIFERENTES PRETRATAMIENTOS SOBRE LA BIODEGRADABILIDAD DEL RESIDUO.** Cádiz, 2008.
- Forster-Carneiro, T.Perez, M.Romero, L.I. **ARRANQUE Y OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS.** HOLOS Environment, v.7 n.1, 2007 – P.87
- Rodríguez, J.A. **ARRANQUE Y OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS.** Profesora Asociada de la Universidad el Valle. Cali, Colombia.
- **OPERATING MANUAL. GFC MASS FLOW. CONTROLLER.** Technical Data Sheet No. TD9709M Rev. 2012.

ANEXO (Tablas)

Tabla 2: Resultados de los parámetros de seguimiento.

DÍA	ALCALINIDAD	Ratio	AGV	pH	NKT	NH4+	ST	SV	DQOt	DQOs	DQOs/t
	mgCaCO3/L		mg acético/L		mg/L	mg/L	g/L	g/L	mg/L	mg/L	
1	13000	0,21538	1713,42	7,84			18,23	12,97	20500	16300	79,5122
4	13000	0,21538	1623,24	7,89	3841,89	3416	18,89	13,27	21900	21200	96,8037
8	13000	0,23077	1623,24	7,67			19,17	13,84	22800	17430	76,4474
12	12100	0,29752	4328,64	7,46	3510,99	2814	23,36	16,87	26400	19800	75
15	13000	0,408	8386,74	7,33			21,4	15,69	30800	25500	82,7922
19	12000	0,36667	6132,2	7,69	3978,59	2576	25,81	17,05	29500	23800	80,678
22	12000	0,38333	5230,44	7,61			21,52	15,46	30000	24000	80
26	12600	0,34921	5050,08	7,64	3918,64	2789	21,25	13,23	28800	22500	78,125
29	12600	0,34127	3336,66	7,78			21,32	15,81	26400	22000	83,3333
33	12900	0,23256	3156,3	7,88	3918,64	2870	20,57	15,31	28500	21700	76,1404
36	8500	0,14118	1623,24	7,74			19,99	14,86	22500	18700	83,1111
40	8200	0,13415	1893,78	7,64	3961,3	2895,2			26100	22300	85,4406
43	12500	0,24	3517,02	7,59			21,19	15,94	28500	19400	68,0702
47	8300	0,14458	1623,24	7,81	4014,81	2529,3	22,68	16,79	26800	20900	77,9851
50	10900	0,16514	2254,5				24,46	17,77	27100	20800	76,7528
54	8500	0,14118	2254,5	7,68	4055,63	2492	26,87	18,98	34300	18300	53,3528
57	12400	0,19355	1983,96	7,68			25,36	18,25	30200	21300	70,5298
61	11995,2	0,17647	5659,2	7,58	4467,53	2473,3	32,35	24,58	29800	18700	62,7517
64	12300	0,21138	3150,63	7,6			25,69	18,88	31800	20200	63,522
68	11300	0,26549	2340,468	7,59	4533,2	2650,7	26,34	19,66	33600	19300	57,4405
71	10900	0,26606	2880,576	7,6			26,61	19,97	30800	20000	64,9351
75	10800	0,23148	3697,38	7,69	4533,2	2650,7	29,93	22,94	33100	22200	67,0695
78	11700	0,23077	3517,02	7,65			30,45	22,99	32700	20800	63,6086
82	11700	0,31624	4328,64	7,65	4537,51	2576	30,58	20,44	37400	23200	62,0321
85	10300	0,26214	3607,2	7,7			28,9	22,11	35300	25900	73,3711
89	10900	0,26606	4058,1	7,56	4462,52	2356,7	29,31	22,65	35900	21000	58,4958
92	11000	0,27273	3697,38	7,67			27,5	21,01	34800	23600	67,8161
96	11500	0,30435	3607,2	7,67	4625,82	2688	28,98	22,38	39000	23800	61,0256
99	12200	0,2623	3246,48	7,79			28,17	21,56	32600	23300	71,4724
103	11300	0,24779	5050,08	7,61	4420,04	2552,7	27,54	21,22	32800	23200	70,7317
110	10900	0,23853	4148,28	7,52	4494,12	2590	27,71	21,16	34500	24300	70,4348

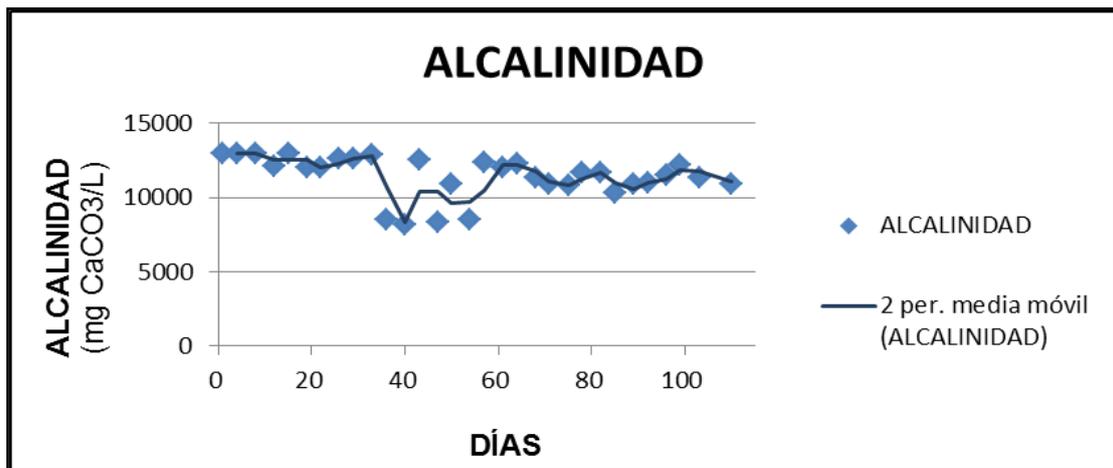
Tabla 7: Datos del seguimiento de biogás del día 84.

HORA	% CO2	%H2S	%O2	%N2	% CH4	PULSOS
10:00	39,7011	0,0624	0,0887	0,1194	60,0284	62
10:30	39,431	0,0748	0,512	1,9895	57,9919	2
10:35	42,4165	0,121	0,2174	0,9988	56,2463	5
10:40	43,6102	0,1408	0,1914	0,8592	55,1983	6
10:45	44,9483	0,1484	0,1636	0,7495	53,9899	7
10:50	46,3643	0,1411	0,1223	0,5669	52,8054	8
10:55	46,7947	0,1567	0,1696	0,5882	52,2908	8
11:00	47,6472	0,16	0,0913	0,4584	51,6431	9
11:05	48,4103	0,1745	0,1274	0,5671	50,7207	10
11:10	49,0628	0,1486	0,1564	0,7148	49,9174	10
11:10	49,6177	0,1818	0,1159	0,4811	49,6035	11
11:15	50,1471	0,184	0,0798	0,3716	49,2175	12
11:20	50,4694	0,1794	0,1242	0,4903	48,7367	12
11:25	50,9946	0,1881	0,0837	0,3644	48,3693	12
11:30	51,1422	0,1703	0,1001	0,3879	48,1994	13
11:35	51,4098	0,2003	0,1172	0,489	47,7838	13
11:45	51,5979	0,1935	0,1998	0,8001	47,2087	14
11:50	51,8849	0,2119	0,0906	0,3185	47,4942	14
12:00	52,2564	0,1915	0,0734	0,2723	47,2064	15
12:05	51,9929	0,1929	0,1358	0,4853	47,1931	15
12:15	52,4751	0,1834	0,0904	0,3161	46,935	16
12:25	52,332	0,1907	0,2074	0,3311	46,9388	17
12:30	52,4767	0,1936	0,1087	0,3388	46,8821	17
12:35	52,6387	0,2057	0,0855	0,2686	46,8014	17
12:45	52,4736	0,1909	0,1245	0,3958	46,8151	18
12:55	52,415	0,2063	0,1118	0,3686	46,8984	18
13:05	52,6561	0,2038	0,0964	0,2898	46,7539	19
13:15	52,1417	0,1892	0,1097	0,313	47,2464	19
13:25	51,9921	0,2082	0,1143	0,3997	47,2857	20
13:30	52,3279	0,1859	0,0931	0,3136	47,0794	20
13:40	52,1703	0,2113	0,1276	0,4531	47,0377	21
15:25	51,2099	0,1809	0,0709	0,1685	48,3699	24
18:00	49,1111	0,1426	0,1005	0,0518	50,594	50

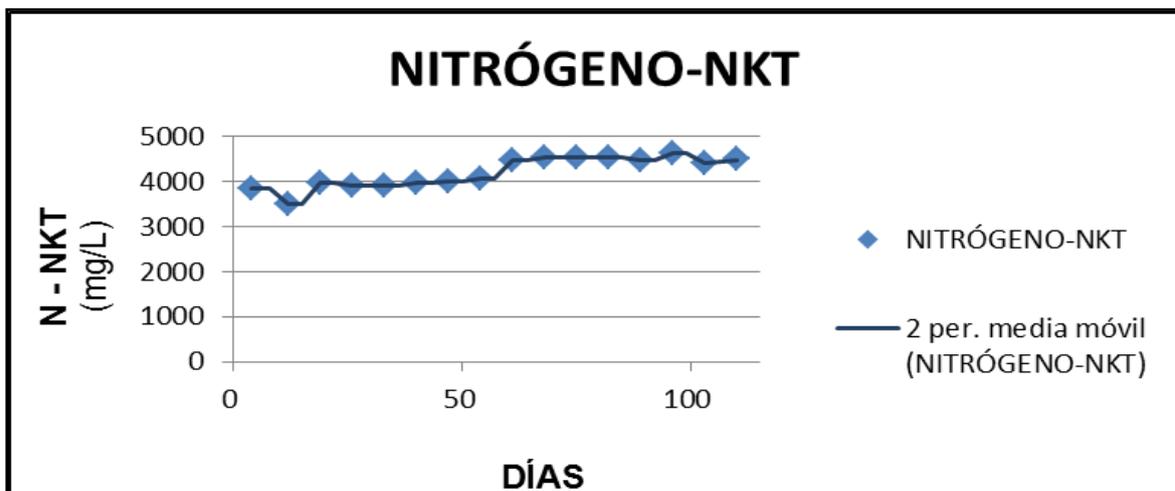
ANEXO (Gráficas)

Gráficas 7: Resultado de los análisis de los parámetros de seguimiento.

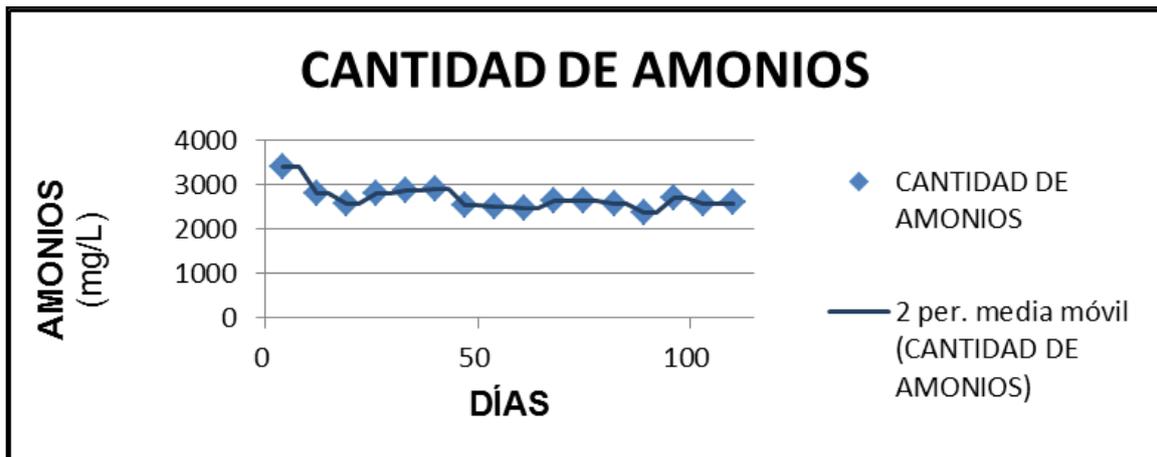
- La **alcalinidad** se ha mantenido bastante constante exceptuando en torno al día 100, pero siempre dentro de los valores estándares, ya que la relacion alfa (alcalinidad pH 5,75 / alcalinidad 4,3), se mantuvo para todos los días por encima de 0,50, valor reportado por *Lopez et al (2000)* como recomendable para la estabilidad del proceso anaerobio.



-La cantidad de **nitrógeno** en forma de NKT, ha fluctuado entre 3500 mg/L y 4700 mg/L, como podemos observar en la gráfica adjunta, por lo que son valores dentro de los parámetros normales.



-La determinación de los amonios, también esta dentro de los valores normales:



-La Demanda Química de Oxígeno (DQO), tanto la soluble (DQOs) como la total (DQOt), también tienen resultados dentro del rango óptimo.

