

## **Evaluación del funcionamiento de una pequeña planta de biogás**

Sarah Barreto Torrella, Edgar E. Martín Alonso y Yamivia Pérez Alonso

Centro de Estudios para el Desarrollo de la Producción Animal (CEDEPA),  
Universidad de Camagüey, Cuba.

E-mail: sbt@cag.reduc.edu.cu

### **Resumen**

Se evaluó el funcionamiento de una pequeña planta de biogás construida en una vivienda rural, para analizar algunos de sus parámetros en condiciones de explotación, su eficiencia y la calidad del efluente. Se tomaron muestras a la entrada y a la salida del digestor para dos cargas diferentes y se determinaron las características siguientes: sólidos totales, sólidos fijos, sólidos volátiles, demanda química de oxígeno (DQO), pH, contenido de metano en el gas y volumen de gas producido. Cuando se empleó una carga de 1,56 kg de DQO/m<sup>3</sup>/día, se obtuvo mayor eficiencia de remoción de la DQO total y de destrucción de sólidos volátiles, pero el por ciento de metanización fue menor.

Palabras clave: digestor anaerobio, planta de biogás

### **Abstract**

Working capacity of a small biogas plant built in a rural house was evaluated in order to analyze some of its parameters under exploitation conditions, efficiency, and gas effluent quality. Samples were taken at the digester input and output for two different loads. A number of characteristics such as total solids, non-volatile solids, volatile solids, oxygen chemical demand, pH, methane content in gas and volume of gas produced were determined. A Higher remotion efficiency for total oxygen chemical demand and volatile solids elimination was detected when a 1, 56 kg load of oxygen chemical demand m<sup>3</sup>/day was applied, but methane percent was lower.

Key words: anaerobic digester, biogas plant

### **Introducción**

Para explotar eficientemente un digestor anaerobio debe evaluarse cómo se comportan algunos indicadores. Para ello se pueden medir parámetros como: la temperatura; características físico químicas de la biomasa a tratar-caudal, contenido de materia orgánica, acidez, características del gas-caudal, composición. Todos estos parámetros dan una medida de la eficiencia del reactor y permiten lograr mantener unas condiciones de operación óptimas y estables (López 1988).

Se ha comprobado experimentalmente que una carga que contenga entre un 7 y un 9% de sólidos totales es óptima para la digestión del sistema. De estos sólidos, normalmente entre un 70 y un 90% son materia orgánica y se denomina "sólidos volátiles" (Pal *et al.*, 2000). Los digestores de campana flotante poseen una buena eficiencia de digestión y producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1 volumen de gas por volumen de digestor (Hernández , 1985).

El reactor convencional es el más utilizado en los países de pocas posibilidades económicas. Estos digestores trabajan a flujo discontinuo y debido a que no se agitan, poseen una cierta estratificación. Requieren de altos tiempos de retención hidráulico y de edades del lodo. Usualmente se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días y la alimentación diaria varía entre 1 y 5 kg . de sólidos totales por metro cúbico de digestor, la carga en estos casos se lleva a cabo normalmente una vez al día (Menéndez y Pérez 1991).

En el país predomina el empleo de este tipo de digestor. El diseño de estas plantas ha estado a cargo de especialistas en algunos casos, que han empleado datos según las experiencias de otros países, y en otros por sus propietarios, en este último son más frecuentes los problemas de diseño. La explotación de estos

reactores es realizada por obreros agrícolas o por los propietarios de estos, que en la mayoría de los casos no poseen la información técnica necesaria para hacerlos trabajar con eficiencia. Esto trae como consecuencia que se presenten problemas de explotación, o que la producción obtenida no responda a las necesidades para las que la planta fue diseñada y construida lo que produce el descontento y la desconfianza de los que se sirven de ella, esta fue una de las causas por la que dejaron de funcionar muchas plantas y se detuvo el auge que había tomado el empleo de dicha tecnología (Barreto, 2003; Barreto *et al.*, 2003).

Se evaluó el funcionamiento de una pequeña planta de biogás construida en una vivienda rural, donde el volumen de gas no respondía a la demanda por problemas de capacidad de diseño; sin embargo ello permitió analizar algunos de sus parámetros en condiciones de explotación, su eficiencia y la calidad del efluente, lo cual constituye el objetivo fundamental del trabajo.

### **Materiales y Métodos**

La planta es de tipo hindú (cúpula móvil) cuadrada. El digestor posee una capacidad de 1.46 m<sup>3</sup> y el gasómetro o campana de 1.07 m<sup>3</sup>, siendo su peso es de 232 kg .

El reactor es alimentado con excretas vacunas, el biogás se emplea para la cocción de alimentos y el residual estabilizado para el abono de los cultivos.

El llenado del digestor se realizó en una semana con una proporción excreta: agua de 1: 1. La primera producción de gas se desechó por su alto contenido de CO<sub>2</sub>, ésta se produjo a los 9 días.

Se respetó la cantidad de estiércol con que el campesino cargaba la planta, para valorar su eficiencia en esas condiciones de trabajo. La planta se cargaba con 20 kg de mezcla fresca excreta:agua (1:1). Posteriormente se empleó una carga mayor, 24 kg de mezcla fresca, en total se tomaron 12 muestras.

Se tomaron muestras a la entrada y a la salida y se determinaron las características siguientes: materia seca (MS), materia volátil (MV), demanda química de oxígeno (DQO), pH, por ciento de metano en el gas y volumen de gas producido.

Los análisis se hicieron según lo establecido en APHA (1985) para la determinación del pH y de la DQO, mientras que la MS y la MV se determinaron según A.O.A.C (1995).

La determinación de la producción de gas se realizó por aforo de la campana en los horarios en que éste no se estaba consumiendo.

La concentración de metano en el gas se determinó con ayuda de un Orsat (López, 1988).

Se realizó un balance de materiales en función de la carga orgánica según Soto *et al.* (1993).

Se determinó la velocidad de carga orgánica para el influente y el efluente del reactor a partir de la siguiente relación

$$VCO = DQO/TRH \quad (1)$$

Donde:

VCO – Es la velocidad de carga orgánica

DQO -- Demanda Química de Oxígeno

TRH – Tiempo de retención hidráulico

La velocidad de carga orgánica correspondiente al biogás se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$VCO \text{ g} = h (Vg. \%CH_4/381.8)/Vr \quad (2)$$

Donde:

Vg – Es el caudal de gas

% CH<sub>4</sub> – Contenido de metano en el gas

Vr – Volumen activo del digestor

381.8 – Es el factor de conversión de metano en DQO en condiciones normales de presión y temperatura.

$$VCO_i = VCO_s + VCO_g + VCO_m + VCO_a \quad (3)$$

Donde los subíndices tienen el siguiente significado:

i – Influyente

s – Salida

g – Biogás

m – Microorganismos

a -- Acumulación

Si se agrupan los términos correspondientes a microorganismos y acumulación en uno solo (A), entonces (3) se puede escribir como:

$$VCO_i = VCO_s + VCO_g + A \quad (4)$$

A- puede ser una acumulación positiva o negativa en el sistema, generalmente A es un 5 – 15 % de la VCO influente.

El porcentaje de metanización se determina de la siguiente forma:

$$\%M = (VCO_g/VCO_i).100 \quad (5)$$

### **Resultados y Discusión**

Las características del influente y del efluente se muestran en las tablas 1 y 2. El valor promedio de la materia seca (MS) en el influente para 24 kg de mezcla excretas:agua (1:1) fue de 8.85 %, en este caso se obtuvo en el efluente 13.97 % de materia seca (MS) con un tiempo de retención hidráulico de 73 días. Cuando la carga fue de 20 kg con la misma proporción de excretas: agua, el tiempo de retención hidráulico fue de 61 días, la materia seca (MS) en el influente fue de 9.36 % y en el efluente de 11,95% (tablas 1 y 2).

Para una mezcla de estiércol: agua en una proporción de 2.7 partes de agua por una de estiércol y tiempo de retención de 52 días la concentración de materia seca (MS) en el estiércol es de 15% (Esquivel *et al.*, 2002). Según Amulya *et al.* (2003) con una mezcla de excretas de bovino: agua (1:1) de 1.25 ton de excretas y 1.25 m<sup>3</sup> de agua, el influente contiene 212 kg de materia seca (8.5%) y un contenido de materia volátil de 177 kg (7%): En el caso que se analiza, el contenido de materia seca y de materia volátil es similar a la citada por estos autores (tabla 1). Estos mismos autores señalan que la concentración de materia seca, y de materia volátil en el efluente es de 6.67 % y 4.43 % respectivamente, en la investigación resultó superior (tabla 2).

El rango de la producción diaria de biogás según Esquivel *et al.* (2002) fue de 1.3 a 1.6 m<sup>3</sup> y el promedio ( $\pm$ ES) diario muy estable  $1.5 \pm 0.08$  m<sup>3</sup>, esto sería 0.16 m<sup>3</sup> de gas por m<sup>3</sup> de digestor, en la presente evaluación la producción de biogás fue de 0.36 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, para el primer caso y de 0.34 en el segundo, por lo que resultó superior (tabla 3). Por su parte Henderson, (2001) señala que los digestores rurales en China producen 0.1-0.2 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup>/día . Amulya *et al.* (2003) plantean que la producción de gas por unidad de volumen de digestor es superior en los digestores tipo “flujo pistón” que en los de campana móvil y de domo fijo, siendo de 0.5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> en el primer caso y de 0.2-0.3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> en el segundo, lo cual se asemeja a la producción obtenida en el digestor que se evalúa.

Pal *et al.* (2000) señalan una producción de gas de 36 l/día/kg de estiércol, en el caso que se analiza resultaron 44 l/día/kg de estiércol cuando la carga fue de 24 kg (1:1) y de 50.3 l/día/kg de estiércol cuando la carga fue de 20 kg (1:1), por lo que resultó superior en las dos variantes analizadas.

Para que se estime buena la calidad del gas la concentración de metano debe estar por encima del 60% (Hernández, 1985 y Menéndez y Pérez 1991), lo cual ocurre en este caso, aunque el volumen de gas que se produce no satisface los requerimientos de la familia.

Cuando se evaluó la producción de biogás a partir de diferentes concentraciones (1, 3, 5 y 8% de sólidos totales) se encontró que la producción de gas se incrementó de forma lineal con el aumento de la concentración de sólidos, hasta un máximo de  $0.63 \text{ m}^3/\text{m}^3$  de volumen de digestor/ día. Esto se atribuyó a una mayor concentración de materia orgánica degradable hasta obtener metano y dióxido de carbono. Sin embargo Santana y Pound (1988), encontraron que la eficiencia de producción de gas decreció con el incremento de la concentración de sólidos totales, produciendo por encima de 60% más gas/kg de sólidos totales con un 1% de ST que con el 8%. Estos mismos autores consideran que una concentración de sólidos totales de un 8% es mejor para la producción de gas desde el punto de vista económico y de manejo.

En las figuras 1 y 2 se puede apreciar que la curva de velocidad de carga orgánica (VCO) del gas no sigue a la de VCO del influente como debía ocurrir. Según Soto *et al.* (1993) la demanda química de oxígeno (DQO) eliminada de la corriente de entrada, excepto la destinada para el crecimiento celular, se recupera en forma de biogás.

Para una carga de 1.56 kg de demanda química de oxígeno (DQO)/ $\text{m}^3$ día se obtiene una remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) de 38.4 - 69.3 %, el valor promedio es del 50%, el % de metanización se mantuvo en el rango de 4.7–6 %, el valor promedio fue de 5.5%, y la descomposición de los sólidos volátiles en el proceso de digestión fue de 38.2–71.9 % el valor promedio fue de 52%. La acumulación de biomasa en el sistema fue de 35.35-64,75 % de la velocidad de carga orgánica (VCO) influente(45.2%) (tabla 4).

Para una carga de 0.65 kg de demanda química de oxígeno (DQO)/ $\text{m}^3$ día se obtiene una remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) de 13.4 - 24.2 %, el valor promedio es del 19.3%, el % de metanización se mantuvo en el rango de 7.73 – 8.79 %, el valor promedio fue de 8.38%, y la descomposición de los sólidos volátiles en el proceso de digestión fue de 32 – 55.2 % el valor promedio fue de 43%. La acumulación de biomasa en el sistema fue de 4.41 – 16.51 % de la velocidad de carga orgánica (VCO) influente (11%) (Tabla 4).

Como puede apreciarse, cuando se empleó una carga de 1.56 kg de demanda química de oxígeno (DQO)/ $\text{m}^3$ día, se obtuvo mayor eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) total y de destrucción de sólidos volátiles (SV), pero el porcentaje de metanización fue menor (tabla 4 y figuras 3 y 4). El porcentaje de acumulación de biomasa en el sistema es alto, superior a un 5–15 % de la velocidad de carga orgánica (VCO) influente, que es el rango que señalan Soto *et al.* (1993). En la figura 5 se puede apreciar la diferencia de acumulación de microorganismos en el sistema, la cual es superior para una carga de 1.56 kg de demanda química de oxígeno (DQO)/ $\text{m}^3$ día.

Se observa en ambos casos, cuando se empleó una carga de 24 kg/día y de 20kg/día que la concentración de sólidos totales aumentó en el efluente en 1.6 veces en el primer caso y en 1.27 veces en el segundo (tabla 2), lo cual no es normal que ocurra en los procesos de digestión anaerobia, donde el volumen de sólidos disminuye, se observa además un incremento de los sólidos volátiles. Según Soto *et al.* (1993) el contenido de sólidos suspendidos volátiles(SSV) se considera, habitualmente, indicativo de la concentración microbiana, por lo tanto ese

incremento sólo puede estar dado por un lavado de microorganismos, lo cual evidentemente influye en la producción de gas. Debido al lento crecimiento de los metanógenos, se requiere una retención eficiente de la biomasa para que el funcionamiento del sistema sea exitoso, un escaso crecimiento de los organismos anaerobios puede ocurrir como resultado de fallos en el sistema si ocurre una gran pérdida de microorganismos (sólidos biológicos en el efluente) (Ndom *et al.* 1997).

Si se observa la figura 3, se verá que el porcentaje de metanización es superior cuando se cargó el digester con  $0.65\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{día}$ , sin embargo, la figura 4 muestra que el efecto de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) resultó inferior para esa misma carga, esto ratifica la creencia de que existe un lavado de microorganismos.

En este digester el tiempo de retención es excesivo, el rango recomendado por Mamie (1985) es de 20 a 30 días. Para lograr que este se encuentre en el rango recomendado es necesario cargar al digester diariamente con 47–73 kg de mezcla excretas:agua (24 kg de excretas en el primer caso y 37 en el segundo), pero probablemente aumente el lavado de microorganismos, porque como se ha podido apreciar, el sistema no es eficiente, por problemas de diseño.

El gas que se produce no satisface los requerimientos de la familia

### **Conclusiones**

La producción de gas del digester y la eficiencia para cargas de 1.56 kg de demanda química de oxígeno (DQO)/ $\text{m}^3\text{día}$  y de 0.65 kg de demanda química de oxígeno (DQO)/ $\text{m}^3\text{día}$  se considera normal, sin embargo el tiempo de retención hidráulico es muy alto de 73 y 61 días.

El digester es más eficiente en la degradación de la materia orgánica cuando la carga es de 24 kg de mezcla excretas: agua (1:1) diaria (1.56 kg de demanda química de oxígeno (DQO)/ $\text{m}^3\text{día}$ , aunque el porcentaje de metanización es menor y ocurre una mayor acumulación de microorganismos en el sistema.

El funcionamiento de la planta no es eficiente porque al parecer ocurre un lavado de microorganismos del sistema reflejado en el aumento de la concentración de sólidos volátiles en el efluente

El diseño del digester no resulta adecuado y el volumen de gas producido no satisface la demanda de la familia para la cocción de alimentos, porque su capacidad es inferior a la requerida.

### **Recomendaciones**

Es importante realizar un buen diseño de las plantas y una buena explotación para que sean más eficientes y económicas, que despierte el interés hacia esta tecnología en las zonas rurales donde resulta muy necesario el empleo de energías alternativas

Mantener una asesoría constante de especialistas a aquellos que se interesen en el uso de este proceso.

Tabla 1. Características del influente

<b>Influente</b>						
<b>Carga, kg DQO/m<sup>3</sup>.día</b>		<b>Temp. °C</b>	<b>MS, %</b>	<b>Humedad %</b>	<b>MV %</b>	<b>DQO mg/l</b>
1,56	x	32	8,85	91,15	6,70	64934
	s	2,93	1,09	1,09	0,71	5985,01
0,65	x	33	9,36	90,52	7,09	47166
	s	2,17	0,16	0,28	0,20	1814,45

---

MS – Materia seca,  
 MV- Materia volátil,  
 DQO – Demanda química de oxígeno,  
 N<sub>t</sub> – Nitrógeno total,  
 P<sub>t</sub> – Fósforo total  
 K – contenido de potasio  
 X – Concentración promedio  
 S – Desviación Standard

Tabla 2. Características del efluente

Carga, kg DQO/m <sup>3</sup> /día		Temp. °C	MS %	Humedad %	MV %	DQO mg/l
1.56	x	32	13,97	86,04	9,21	32023,00
	s	2,93	2,80	2,80	1,94	5566,56
0.65	x	33	11,95	88,05	7,99	38022,00
	s	2,17	0,56	0,56	0,20	1247,49

Tabla 3. Producción de biogás y concentración de metano obtenidos para diferentes cargas

Carga, kg DQO/m <sup>3</sup> /día		Temp	CH <sub>4</sub> %	Producción de biogás, m <sup>3</sup> /d
1.56	x	32	62	0,53
	s	2,93	2,58	0,01
0.65	x	33	61	0,503
	s	2,17	2,04	0,01

Tabla 4. Balance de materiales

Carga, kg	VCOi, k g/m <sup>3</sup> *d	VCOs, kg/m <sup>3</sup> *d	VCOg, kg/m <sup>3</sup> *d	%M	A	E <sub>DQO</sub> , %
24	0,976	0,577	0,054	5,512	0,346	40,9
	0,994	0,485	0,057	5,742	0,452	51,2
	1,065	0,656	0,062	5,857	0,346	38,4
	1,026	0,537	0,062	6,043	0,427	47,6
	1,247	0,383	0,058	4,662	0,805	69,3
	1,096	0,519	0,057	5,205	0,520	52,6
20	0,696	0,527	0,054	7,731	0,115	24,2
	0,629	0,544	0,055	8,732	0,029	13,4
	0,637	0,500	0,053	8,367	0,083	21,5
	0,641	0,534	0,057	8,912	0,050	16,7
	0,637	0,511	0,054	8,447	0,073	19,9
	0,637	0,509	0,056	8,789	0,072	20,1

2

<sup>2</sup> VCOi, VCOs y VCOg son las velocidades de carga orgánica influente, de salida y del biogás respectivamente,

%M es el por ciento de mecanización,

A - puede ser una acumulación positiva o negativa en el sistema, generalmente A es un 5 – 15 % de la VCO influente.

E<sub>DQO</sub> – es el efecto de remoción de la demanda química de oxígeno

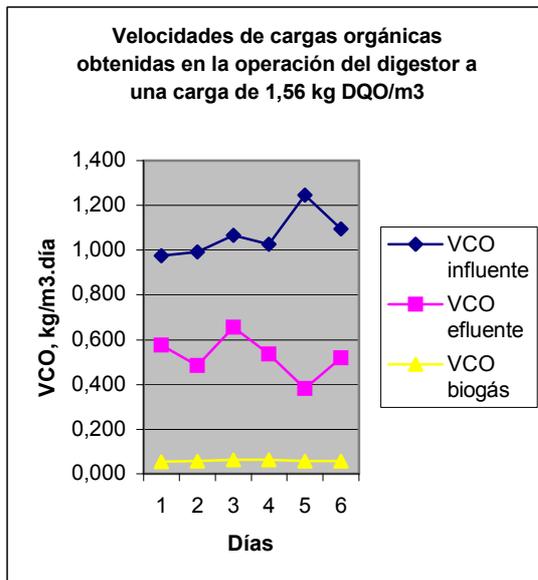


Figura 1

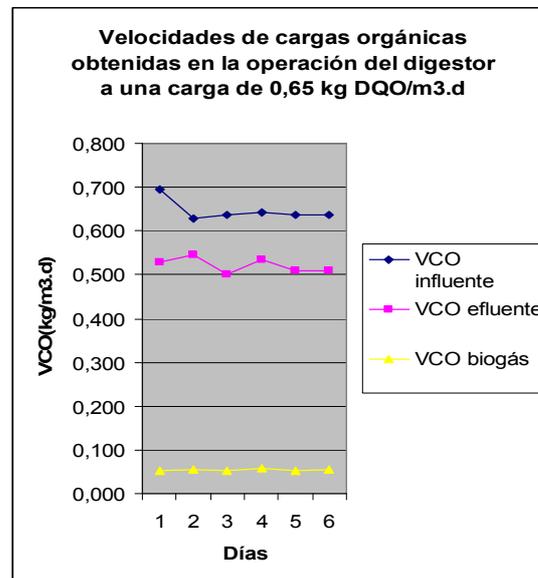


Figura 2

3

<sup>3</sup> VCO – Velocidad de carga orgánica

% M – Es el por ciento de metanización

DQO – Demanda química de oxígeno

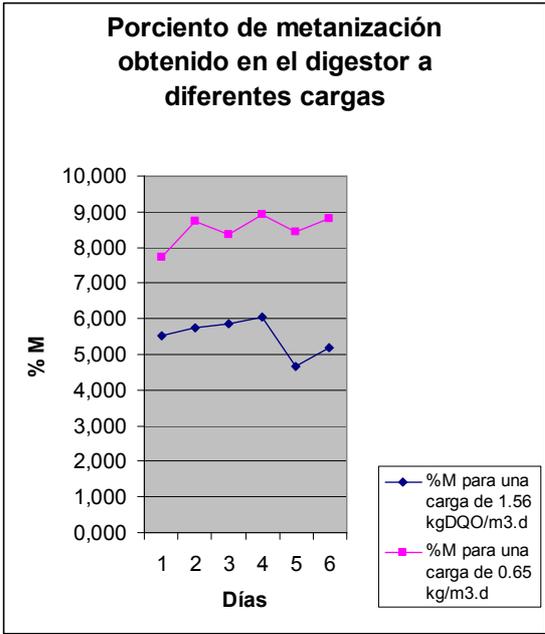


Figura 3

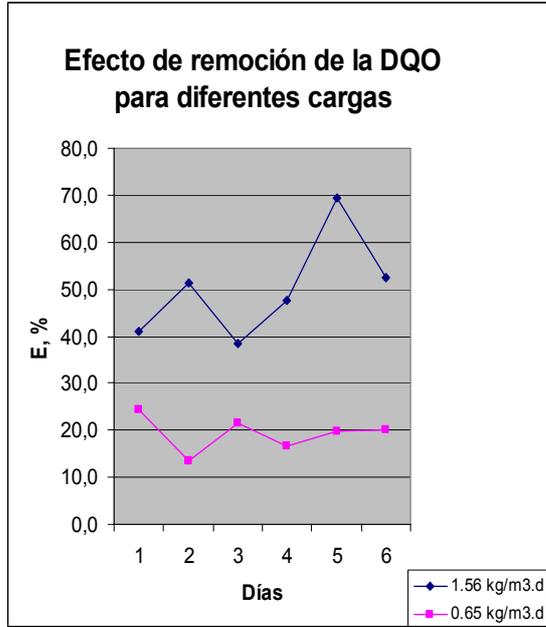


Figura 4

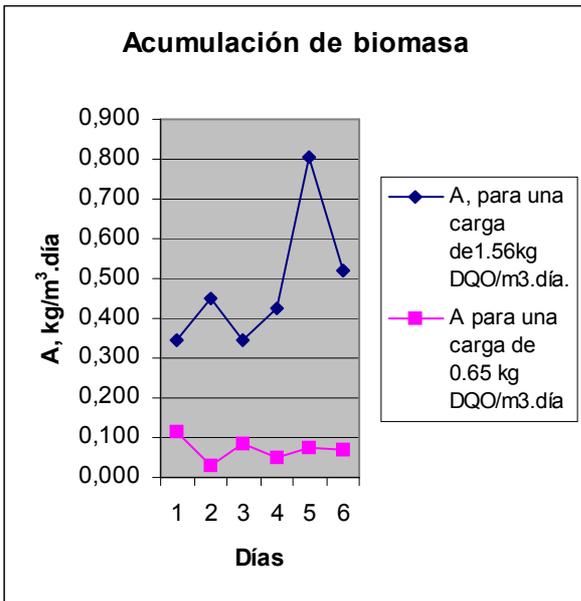


Figura 5