

¿Cómo diseñar un biodigestor para lecherías?

Ing. Joaquín A. Víquez A.
 Coordinador del Programa
 Agroambiental
 Cooperativa de Productores de
 Leche Dos Pinos R.L.
 joviquez@dospinos.com
 Tel. 8923-7412

El digestor anaeróbico, popularmente conocido como biodigestor, data desde 1770, en cuya época el científico italiano Alessandro Volta colectó muestras de gas de pantano (generado en zonas pantanosas) e investigó sobre sus propiedades inflamables (GTZ, 1998).

Hoy, la tecnología de biodigestores es utilizada notoriamente, por ejemplo: Alemania montó su primera planta anaeróbica (biodigestor) en 1906 y en 1997 tenía más de 400 plantas industriales (GTZ, 1998); para el 2010 se espera una capacidad instalada de 5.300 a 6.300 mega watts (MW). Dinamarca, gracias a una política impulsada por el gobierno, tienen cerca de 20 plantas centralizadas de biogás (Reith y otros, 2003). España espera, con el empuje del Ministerio de Ciencia e Innovación, tratar los 83,5 millones de toneladas de desecho anuales y convertirlos en 8000 millones de m³ de biogás/año (25 millones de estaciones de gasolina) (Oshima, 2009). Grandes promotores de dicha tecnología lo son también Suiza y Suecia. Se estima que en China, más de 20 millones de personas utilizan el biogás como combustible (GTZ, 1998).

El amplio uso de dicha tecnología se debe a que la digestión anaeróbica es un proceso

tecnológico simple, con bajos requerimientos energéticos, utilizado para convertir materia orgánica de un vasto rango de tipos, en metano (Reith y otros, 2003). Adicionalmente, es una alternativa para el tratamiento de aguas/desechos residuales, reduce: malos olores, patógenos y en algunos casos, gases de efecto invernadero. Finalmente, el proceso no afecta el contenido de nutrientes, lo que convierte el efluente (líquido que sale de un biodigestor, luego de pasar por una fermentación anaeróbica) en un excelente fertilizante para suelos (Wilkie, 2005).

Un detalle clave para sacar el máximo provecho de los digestores anaeróbicos en fincas agropecuarias (lecherías y porquerizas) es un adecuado dimensionamiento del biodigestor; acorde con las características de cada finca. Indiferentemente de su tamaño, esta tecnología es apta para granjas desde uno, hasta miles de animales.

Es esencial definir el tipo que se va a utilizar. Se clasifican en biodigestores de alta y de baja tasa. Los de alta tasa se caracterizan porque el tiempo de retención hidráulico (TRH) es bajo, pero con retención alto de lodos (masa microbiana del biodigestor). Tienen un mecanismo para la retención de lodos o bien una recirculación de los efluentes. Por otro lado, los digestores de baja tasa, se especializan por tener alto el TRH y la retención de lodos (Reith y otros, 2003).

A nivel de costos, los biodigestores de alta tasa, a pesar de

Imagen 1. Biodigestor tubular de PVC, de 7,85 m de circunferencia. Proyecto Alex Romero en Aguas Zarcas. (Viquez, 2009).



Proyecto Alex Romero en Aguas Zarcas. (Viquez, 2009).

tener un tamaño considerablemente más pequeño que uno de baja tasa, son más costosos por su nivel tecnológico (control de temperatura, sistemas de agitación, retorno de lodos, entre otros) y su rentabilidad no es aceptada al menos que sean proyectos con altos volúmenes de aguas residuales. Por tanto, es común el uso de biodigestores de baja tasa para granjas agropecuarias.

En Costa Rica ha sido muy común el tubular de plástico (PVC o polietileno), popularmente conocido como salchicha o mortadela. También se han desarrollado experiencias a partir de concreto o lagunas tapadas. Todos se caracterizan por ser de baja tasa, con ingreso de influente y una concentración de sólidos entre el 8% hasta menor a 1%. El influente también es conocido como mezcla. Equivale al líquido que entra al biodigestor, normalmente excretas de animales + agua de lavado de los procesos de limpieza.

Parámetros de diseño

La forma más usual para diseñarlo es utilizando como regla o parámetro, el tiempo de retención hidráulico (TRH), que es el período que tarda, hidráulicamente hablando, el material que alimentamos (influyente/mezcla) hasta salir (efluente). Es común escuchar el uso de 30 días de retención para los de baja tasa.

El TRH tiene su fundamento en el proceso de digestión anaeróbica, que inicia con la hidrólisis, en la que polímeros no solubles se transforman en compuestos orgánicos solubles. Seguidamente, dichos compuestos se convierten en ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono. Luego, estos ácidos orgánicos pasan a ser acetato e hidrógeno, para que finalmente formen metano (Reith y otros, 2003). El TRH trata de garantizar que exista suficiente tiempo para que se dé el proceso antes mencionado. Si el TRH

es muy bajo, se da un "lavado de microorganismos", lo que hace que su recuperación (reproducción) sea más lento con respecto a la "alimentación", haciendo que el biodigestor se

acidifique rápidamente (predominan las bacterias formadoras de ácidos grasos volátiles) (GTZ, 1998).

Sin embargo, el utilizar el TRH, como único parámetro de di-

seño, puede llevar a un error, dado que cada finca se caracteriza por tener diferentes tipos y cantidad de excreta. Para analizar lo anterior, se utilizará como ejemplo la finca A

y la finca B, ambas generan excreta en las mismas condiciones, con la variante del uso del agua de lavado para los procesos de limpieza. Ver cuadro I para los detalles específicos.

Cuadro I. Resumen de las características de ambas fincas

Características	Finca A	Finca B
Producción de excreta	300 kg	300 kg
Uso de agua para lavar	Relación 8:1 (2,4 m ³)	Relación 4:1 (1,2 m ³)
Eficiencia del separador de sólidos ¹	65%	65%
Extracción de sólido fibroso ²	30% (90 kg)	30% (90 kg)
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (kg) ²	12,6 kg	12,6 kg
Concentración de DQO (mg/L)	4.800 mg/l	8.900 mg/l

¹ Referirse al artículo: Comparación de tres métodos de separación de sólidos para excreta, en fincas lecheras. Revista ECAG Informa No. 47:40-44

² Referirse al artículo: Producción y caracterización de la excreta. Revista ECAG Informa No. 49:54-56.

Si se estandariza su diseño, utilizando como único parámetro el TRH (por ejemplo en 30 días), se obtiene que la finca A necesitaría un biodigestor de 78,3 m³ y la B uno de 42,3 m³. Es difícil de pensar que dos fincas, en las que se genere excreta exactamente en las mismas condiciones (cantidad y calidad) difieran en el tamaño del biodigestor, simplemente por el uso (cantidad) de agua. Adicionalmente y para analizar la concentración de

influyente, se tiene que la finca A tendría un efluente con una concentración de alrededor de 4800 mg/l de DQO y la finca B una de 8900 mg/l de DQO (Cuadro I). Lo más lógico sería que la finca con un influente más concentrado (finca B), tuviese asignado más TRH, dado que requiere de más tiempo para descomponer; sin embargo no es el caso.

Dado lo anterior, se reafirma el hecho de que el diseño de

los biodigestores no debería ser dimensionado, utilizando únicamente el parámetro de TRH.

Por tanto, otro parámetro de diseño que podría ser incorporado es la tasa de alimentación orgánica (TAO), que es una expresión de la cantidad de "comida" que está entrando al biodigestor por volumen (House, 1978). Normalmente, se expresa como kg de DQO por m³ de biodigestor, por unidad de

tiempo (día). La TAO, se basa en el principio fundamental de un biodigestor: "comida" versus "microorganismos". Entre más microorganismos haya dentro de éste, más "comida" por volumen se le puede dar (biodigestor de alta tasa), pero si la población de microorganismos es baja, así debería ser su alimentación (biodigestor de baja tasa). En el siguiente cuadro, se ofrecen detalles sobre la TAO, de otros tipos de biodigestores:

Cuadro 2. Diferentes tipos de biodigestores con la recomendación de la TAO

Tipo de biodigestor	TAO (kg DQO/m ³ */día)
Laguna tapada/biodigestor tubular	0,05 – 0,2
Flujo pistón	1 – 6
Mezcla completa	1 – 10
Anaerobio de contacto	5 – 10
Lecho expandido	5 – 10

USDA, 2007

* m³ de biodigestor

Tal y como se explicó anteriormente, en granjas agropecuarias es común el diseño de biodigestores de baja tasa. Para efectos de este artículo, se utilizará una TAO de 0,2 kg de DQO/m³/día. Volviendo al diseño de un biodigestor con el parámetro de la TAO y con el ejemplo anterior (finca A

versus finca B), se obtiene lo siguiente:

Ambas fincas tienen la misma cantidad de kg de DQO/día (Cuadro I) y los biodigestores son del mismo tamaño (63 m³); sin embargo, si la finca A utiliza el doble de agua de lavado (2,4 m³) que

la B (1,2 m³), el TRH cambia sustancialmente. La finca A tiene 24 días de retención (TRH) y la B 45 días, siendo recomendado de 30 a 40 días de TRH (GTZ, 1998). Por tanto, la finca A incumple con lo mínimo requerido de TRH para un correcto funcionamiento.

Basado en lo anterior, se puede comprobar que a pesar de utilizar un parámetro de diseño que busca estandarizar el dimensionamiento de un biodigestor, por la cantidad de excreta, es necesario no dejar de lado el tiempo de retención hidráulico (TRH) y realizar una combinación de ambos.

Imagen 2. Biodigestor tipo laguna tapada. Fotografía cortesía de la Ing. Irene Cañas;Tecnologías de Generación, ICE.



¿Cómo diseñar un biodigestor?

Recapitulando, para el dimensionamiento de un biodigestor de baja tasa, es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Kg de excretas diarias (ver artículo Producción y caracterización de excreta, Revista ECAG Informa No. 49: 54-56.

Se estiman de acuerdo con la cantidad de animales y su peso vivo, además del tiempo que permanecen en los corrales de espera/ordeño/estabulado.

- Demanda química de oxígeno- DQO (ver artículo Comparación de tres métodos de separación de sólidos para excreta, en fincas leche-

ras, Revista ECAG Informa No. 47: 40-44.

- Un análisis de laboratorio de la excreta fresca, o bien utilizar datos de otros proyectos.
- Consumo de agua para el lavado: Se estima conociendo el flujo (litros por segundo) de la manguera que se utiliza para el lavado, y el tiempo de lavado (segundos).
- % de eficiencia del separador de sólidos: Existe cierta estandarización, dependiendo del tipo de tecnología a utilizar.
- % de extracción de sólidos fibrosos del separador de sólidos: De igual forma, existe cierta estandarización, según el tipo de tecnología a utilizar.

El procedimiento para el diseño del biodigestor es:

1. Estimar la cantidad de influente o mezcla a generarse diariamente, expresado en m³/día.

2. Calcular los kg de DQO, que estarán entrando al biodigestor diariamente (kg DQO/día).
3. Definir la TAO (kg de DQO/m³/día), dependiendo si el biodigestor es de alta o baja tasa.
4. Estimar el volumen del biodigestor (m³).
5. Verificar que el TRH esté dentro del rango recomendado.

Procedimiento (ejemplo)

Se utilizará como base un caso particular: Una lechería que tiene 85 animales en ordeño, con pesos promedio de 450 kg y que permanecen en las instalaciones alrededor de 12 horas diarias (es un sistema semiestabulado); similar a 272 cerdos de 80 kg de peso vivo, estabulados (finalización).

I. Estimar la cantidad de influente o mezcla a generarse diariamente, expresado en m³/día

Inicialmente se debe estimar la producción de excreta:

$$\frac{85 \text{ animales} \times 400 \text{ kg/animal} \times 8\% \times 12 \text{ horas}}{24 \text{ horas}} = 1.360 \text{ kg / día}$$

Seguidamente, se calcula el consumo de agua para el lavado. Se aconseja aforar el flujo de la manguera utilizada para lavar, llenando un balde de 5 galones (20 L) y tomando el tiempo que tarda en llenarse. Suponiendo que el balde de 20 L, se llena en 16 segundos, significa que el flujo es de 1,25 litros por segundo (lps).

$$\begin{array}{l} 20 \text{ L} \longrightarrow 16 \text{ segundos} \\ x \text{ L} \longrightarrow 1 \text{ segundo} \end{array}$$

$$X = 20 \text{ L} \times 1 \text{ seg} / 16 \text{ seg}$$

X= 1,25 litros por segundo

La finca realiza el lavado de los galones 2 veces al día y en cada uno se tarda aproximadamente 1,2 horas (72 minutos), o bien 144 minutos (2,4 horas)/día. Dado lo anterior y considerando que se emplea un caudal de 1,25 lps, se calcula que se utilizan aproximadamente 10.800 L (144 min x 60 segundos/min = 8.640 segundos x 1,25 lps = 10.800 L o 10,8 m³).

La finca cuenta con un separador de sólidos por cascada que tiene la capacidad de remover un 30% del volumen de la boñiga, como sólido fibroso. Por tanto, de los 1.360 kg de excreta bruta, 408 kg son retenidos (no entran al biodigestor); se tienen, entonces, 952 kg de excreta neta (1360kg – 408 kg = 952 kg), que se revolverán con 10,8 m³ de agua del proceso de lavado, generando un total de: **11,8 m³ de influente/mezcla.**

2. Calcular los kg de DQO que estarán entrando al biodigestor diariamente (kg DQO/día)

La cantidad de kilogramos de DQO que se generan por día, se estima utilizando la concentración de DQO de la excreta, sustrayendo el porcentaje de reducción acorde con la eficiencia del separador de sólidos. La finca genera 1.360 kg de excreta bruta, con una concentración de 110.000 mg/L de DQO.

$$\begin{aligned} 1.360 \text{ kg de excreta} \times 110.000 \text{ mg/L DQO} &= 149.600.000 \text{ mg de DQO} / 1.000.000 \text{ mg/kg} = 149,6 \text{ kg de DQO} \\ 149,6 \text{ kg} \times 65\% \text{ de eficiencia del separador} &= 97,24 \text{ kg de DQO que se extraen} \\ 149,6 \text{ kg} - 97,24 \text{ kg} &= 52,36 \text{ kg de DQO para el biodigestor/día.} \end{aligned}$$

3. Definir la TAO (kg de DQO/m³/día), dependiendo si el biodigestor es de alta o baja tasa

Si se piensa utilizar como referencia **0,2 kg de DQO/m³ de biodigestor /día**, cabe destacar que la TAO podría ser modificada acorde con las temperaturas del lugar. En caso de lugares muy fríos (menor a 10°C promedio), se recomienda bajarla (por ejemplo 0,15 kg DQO/m³/día).

4. Estimar el volumen del biodigestor (m³)

Para esto, se dividen los kilogramos de DQO disponible por día, entre la TAO

$$\frac{52,36 \text{ kg DQO/día}}{0,2 \text{ kg DQO /m}^3\text{/día}} = 262 \text{ m}^3 \text{ de biodigestor}$$

5. Verificar que el TRH esté dentro del rango recomendado

Para verificar que el TRH es adecuado, se divide el volumen del biodigestor estimado, entre el volumen del influente/mezcla diaria:

$$\frac{262 \text{ m}^3 \text{ de biodigestor}}{11,8 \text{ m}^3 \text{ de mezcla}} = 22 \text{ días}$$

Ahora bien, si aquí se determina que el TRH, se encuentra fuera del rango recomendado (mínimo 30 días; aconsejable 40 días), se debe tomar en cuenta que el biodigestor no cambia de tamaño con mayor o menor uso de agua, ya que se dimensiona con la DQO. Por tanto, se debería considerar que disminuir el consumo de agua, hace que el volumen de la mezcla final disminuya, aumentando TRH, que finalmente se traduce en **mayor rendimiento del biodigestor**.

Es sumamente importante resaltar que la **producción de biogás** está fuertemente influenciada por el TRH (House, 1978). Por tanto, el disminuir el consumo de agua, buscando que se logren entre 30 a 40 días de TRH, automáticamente incrementa la producción de biogás.

Para lograr equilibrar el consumo de agua, es necesario calcular el volumen de la **mezcla ideal**. Se sabe que el volumen del biodigestor no cambia (262 m³) y se espera que el TRH suba a 40 días. Por tanto: 262 m³/40 días de TRH = **6,55 m³ de mezcla ideal diaria**.

El paso siguiente es sustraer a 6,55 m³ de mezcla, la excreta bruta (952 kg) y se obtiene la cantidad de agua máxima a utilizar de 5,6 m³. Dado que el

flujo de la finca es de 1,25 lps, es fácil determinar el tiempo máximo de lavado: 5.600 / 1,25 lps = 4.480 seg / 60 = **75 minutos**.

Lo anterior significa un reto para que la finca realice y ejecute un plan de uso racional de agua (producción más limpia), no solo como "política" de racionamiento de agua, pero también con el fin de optimizar el biodigestor. En este caso, la finca deberá bajar el consumo de la misma de 10,8 m³ a 5,6 m³ (48%).

En conclusión, se requiere de un biodigestor 262 m³ de capacidad, para tratar 6,55 m³ de mezcla diariamente, de los cuales 952 kg son de excreta. Si el interés es hacerlo tubular de PVC, con 7,85 m de circunferencia (ver **imagen 1**), colocado en una fosa trapezoidal inversa, con una proporción de 25% de biogás y 75% de mezcla, se requeriría uno de 80 m de largo. Actualmente, eso tiene un costo (solamente la bolsa de PVC – no incluye movimientos de tierra o instalación) de aproximadamente \$7.000, con una vida útil de 10 años (\$2,6/m³ de biodigestor/año de vida útil).

Existe otra posibilidad de realizarlo tipo laguna tapada (ver **imagen 2**), parecido a uno tubular), con la variante que el dimensionamiento no está limi-

tado al ancho, largo o profundidad. Para este caso, se requiere de una laguna de 14 m x 14 m x 3,3 m de profundidad, con taludes 1:1.

Actualmente, eso tiene un costo (solamente el recubrimiento de la laguna y la cubierta – no incluye movimientos de tierra o instalación) de aproximadamente \$10.175, con una vida útil de 12 años. (\$3,2/m³ de biodigestor/año de vida útil).

Conclusiones

Dado que es muy difícil estandarizar el consumo de agua en las fincas, el TRH no puede ser un parámetro único para el dimensionamiento de un biodigestor; se recomienda utilizar la TAO, junto con el TRH.

El ahorro de agua o su uso racional en la finca, busca aumentar el TRH del biodigestor; mejorando la eficiencia del mismo.

Para lograr disminuir al máximo el tamaño de un biodigestor, se debe aumentar la TAO; para lo cual es necesario, de alguna forma, incrementar la concentración de microorganismos internamente (retención con filminas o bombeo de efluentes de regreso al biodigestor) (Reith y otros, 2003).

Cada biodigestor debe ser diseñado acorde con cada finca y por personal especializado.

Bibliografía

GTZ (Gesellschaft für technische Zusammenarbeit, (DE). 1998. Biogás Basic. 1a ed. Eschborn (DE). 45 p.

House, D. 1978. The complete biogas handbook. Oregon, USA. 403p.

Oshima, T. 2009. España, una potencia mundial en biogás. El mundo (noticiero) (En línea). Disponible en: <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/09/ciencia/1247134985.html>

Reith, JH.; Wijffels, RH. y Barten, H. (eds). 2003. Bio-methane and Bio-hydrogen. Dutch Biological Hydrogen Foundation. 168 p.

Ribeiro, D. 2008. Biodigestor Trapezoidal: Cálculo de dimensiones en función de la proporción Gas/mezcla líquida. Sin publicar. 2 p.

USDA (US Department of Agriculture). 2007. An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on US Livestock Production Facilities. USA. 27 p.

Wilkie, A. 2005. Anaerobic digestion: biology and benefits. Florida, EEUU, Dairy Manure Management Conference. 12 p.