

Generación de biogás

Experiencia del tambo La Natividad,
Coronel Dorrego, Buenos Aires



INTA | Ediciones

Colección
**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO
E INNOVACIÓN**

Generación de biogás

Experiencia del tambo La Natividad,
Coronel Dorrego, Buenos Aires

AUTORIDADES

MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA

Ministro de Agroindustria: Ricardo Buryaile

Jefe de Gabinete: Guillermo Bernaudo

INTA

Presidente: Amadeo Nicora

Vicepresidente: Mariano Bosch

Director Nacional: Héctor Espina

Coordinador Nacional de Transferencia y Extensión: Diego Ramilo

**Directora del Centro de Investigación y Desarrollo
Tecnológico para la Agricultura Familiar:** Andrea Maggio

**Director del Instituto de Investigación y Desarrollo
Tecnológico para la Agricultura Familiar:** Marcos Hall

Director del Centro de Investigación en Alimentación: Jorge Carrillo

Instituto de Ingeniería Rural: Guillermo Marrón

Director del Centro Regional Buenos Aires Sur: Eduardo Ezcurdia

Director Estación Experimental Agropecuaria Barrow: Carlos Bertucci

Director del Centro Regional Santa Fe: José Luis Sponton

Director Estación Experimental Oliveros: Alejandro Longo

Generación de biogás

Experiencia del tambo La Natividad,
Coronel Dorrego, Buenos Aires

Ignacio Huerga, Mariano Butti, Daniel Intaschi,
José Masigogge, Leandro Pusineri y Sergio Justianovich



ARGENTINA
200 AÑOS DE
INDEPENDENCIA



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

Paso a paso: construcción de tecnologías apropiadas. Generación de biogás.

1° edición: septiembre 2016

Ediciones INTA

Chile 460, C.A.B.A.

Argentina

ISBN 978-987-521-730-0

Generación de Biogás : experiencia del tambo La Natividad, Coronel Dorrego, Buenos Aires / Ignacio Huerga ... [et al.]. - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Ediciones INTA, 2016.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-521-730-0

1. Agricultura Familiar. 2. Biogas. 3. Bioenergía. I. Huerga, Ignacio
CDD 333

© INTA

Todos los derechos reservados

Edición: 2016

Impreso en Argentina

Se permite la reproducción total o parcial. Agradecemos citar la fuente.

Edición periodística: Cora Gornitzky

Diseño y diagramación: Celeste Pesoa

Fotografía: GECOM – IPAF Región Pampeana

Agradecimientos:

*Orlando Giampaoli, Familia Vazquez
(Coronel Dorrego), Lucas Gallo Mendoza,
Karina García, Lucas Zanovello,
Leonardo Venturelli, y Marcos Hall.*

CONTENIDO

Introducción	6
Objetivos	8
PARTE 1 – Estudio de caso Experiencia en Tambo Fábrica “La Natividad”	11
I. Descripción del establecimiento.	12
II. Actividades preliminares	12
III. Actividades a campo	12
IV. Estudios en laboratorio	14
V. Balance de masa y de energía	15
VI. Ahorro de energía con el sistema actual. Posibilidades	19
VII. Diseño del digestor	20
PARTE 2 – Aspectos generales relacionados con los proyectos de digestión anaeróbica.	27
I. ¿Por qué/Para qué un proyecto de biogás?	28
II. Etapas para un proyecto de digestión anaeróbica	31
1. Relevamiento de la demanda	31
2. Prefactibilidad	32
3. Monitoreo y estudios complementarios	33



4. Diseño del sistema	41
5. Evaluación de costos y financiación	45
6. Análisis de factibilidad	45
7. Construcción	46
8. Puesta a punto, operación, control y mantenimiento	46
Comentarios finales	49
Bibliografía	52



INTRODUCCIÓN

Este documento sintetiza un año de trabajo entre diferentes áreas del INTA, motivado por la agenda de problemas de productores de la región pampeana. El relato está centrado en la experiencia de “La Natividad” Tambo Fábrica de Coronel Dorrego, provincia de Buenos Aires. No obstante, ha sido interpelado por más de una veintena de casos que han demandado al Proyecto de Energía Renovable de INTA¹ resolver problemas de efluentes/generación de biogás (energía).

Nos proponemos describir el procedimiento de trabajo desarrollado con el objetivo de generar condiciones para que la experiencia se expanda a otras regiones y, como Institución, facilitemos procesos de aprendizaje. Hemos decidido contar el caso y relacionarlo con conceptos teóricos que fueron necesarios para explicar qué pasaba y fundamentar qué decisiones se tomaron.

Estamos convencidos de que esta dinámica de trabajo -que alterna instancias a campo con laboratorio- posibilita dar pasos firmes en la generación de alternativas para resolver los problemas de efluentes/generación de biogás en la Agricultura Familiar. Este relato busca poner en evidencia que, desde lo teórico hacia lo práctico, hay un camino desafiante por recorrer que escapa a la linealidad.

En paralelo, este caso da la certeza sobre la necesidad de avanzar en la construcción del “sistema tecnológico biogás”², dado que trabajamos sobre la siguiente hipótesis: para que las energías renovables sean aprovechadas por la Agricultura Familiar es necesario avanzar en torno al acceso y la disponibilidad de tecnologías. Para este caso en particular fue necesario acondicionar un diseño, notando en particular que para su implementación es necesario contar con un nexo entre el conjunto de actores: los fabricantes/construtores, los usuarios que han aprendido las prácticas de manejo, una industria de la reposición de partes que asegura la durabilidad y permanencia de los artefactos, oficios y empleos que resuelven su mantenimiento, instituciones que definen y regulan las normativas



de instalación y funcionamiento de los artefactos del sistema, carreras académicas vinculadas que incluyen -o no- en su programa curricular el estudio de estos sistemas (carreras como ingeniería, arquitectura, diseño industrial, etc.) y profesionales que luego lo reproducen en el planeamiento de infraestructura.

*Sergio Justianovich,
IPAF Región Pampeana.*

¹ Desarrollo de Energías Renovables para la Agricultura Familiar y unidades productivas de baja escala. Proyecto 2013-2019 (PNAlyAV-1130024).

² Batista, E., Justianovich, S., "De la frontera del artefacto a la del sistema tecnológico. El diseño y las energías renovables en el ámbito rural". San Rafael, ASADES, 2015.



OBJETIVOS

Este documento tiene como objetivo general establecer algunos lineamientos a tener en cuenta para evaluar si es posible llevar adelante proyectos de generación de energía y/o tratamiento de residuos a partir de insumos agrícolas en establecimientos de agricultores familiares.

Los objetivos específicos son:

- Mostrar los resultados del diseño del sistema de tratamiento realizado para un tambo familiar cuya producción de leche se destina para la elaboración de quesos.
- Exponer principios técnicos que se deben tener presentes al momento de proyectar la construcción y puesta en funcionamiento de un biodigestor.



PARTE 1

—
ESTUDIO DE CASO
—

EXPERIENCIA EN
TAMBO FÁBRICA
“LA NATIVIDAD”

I. DESCRIPCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO

“La Natividad” es un tambo familiar ubicado en el partido de Coronel Dorrego, al sur de la provincia de Buenos Aires. Cuenta con 55 vacas en ordeño y destina la producción de leche a la elaboración de quesos. En este proceso se consume una energía estimada en 500 MJ diarios, que es uno de los principales costos ya que es generada por una caldera que funciona a gasoil. El requerimiento del productor es evaluar la posibilidad de producir el total de la energía demandada por la caldera con los desechos que su establecimiento genera.

II. ACTIVIDADES PRELIMINARES

En una primera instancia se realizó una estimación de la cantidad de residuos que se podrían recolectar y su potencial en la generación de energía, utilizando referencias bibliográficas y trabajos anteriores sobre esta temática. Para una primera estimación se tuvieron en cuenta el efluente de lavado de la sala de ordeño y el suero lácteo, y los resultados de este análisis mostraron que podría reemplazarse cerca del 56% de la demanda de energía del proceso de elaboración de quesos con un digester de 39 m³, siendo el volumen de biogás estimado de 12.13 m³ diarios. En una segunda estimación se incluyó al resto de las corrientes de desecho, el estiércol recolectado del corral de espera, lo que cubría el 91.4% de la demanda de energía con un digester de 76m³ que produciría un volumen de biogás diario de 19.82 m³.

III. ACTIVIDADES A CAMPO

Para obtener un valor real de las condiciones del establecimiento agropecuario se llevó adelante un monitoreo sobre la cantidad de desechos y sus principales características. Durante los distintos momentos en los que se efectuó el ordeño (mañana y tarde) se tomaron los tiempos de permanencia de los animales en el corral de



espera y la sala de ordeño. Finalizada esta actividad, se calculó el tiempo de limpieza de las instalaciones en la sala de ordeño, tomando una muestra compuesta del efluente que se genera y midiendo la cantidad de sólidos sedimentables por cono Imhoff. También se instaló un medidor volumétrico en la línea de agua que se utiliza para el lavado de las instalaciones, durante 3 meses, a fin de tener un registro exacto.

Además, el estiércol producido por los animales en el corral durante la espera se recogió con pala y se almacenó en un recipiente limpio previamente cubicado. Se midió la densidad relativa para conocer los kilogramos generados. También se contabilizó la cantidad total de suero lácteo generado en su recipiente de almacenamiento.

De esta manera se pudo sintetizar que las corrientes de desecho generadas en el establecimiento son las siguientes: efluentes líquidos provenientes principalmente del lavado de la sala de ordeño (1), suero lácteo proveniente de la elaboración de quesos (2), agua de enfriamiento del proceso de pasteurizado (3) y estiércol bovino recolectado del corral de espera (4). En la siguiente tabla se muestran los datos relevados.

Nº	Característica	Caudal (l/d)	S.S (2 h) ¹ ml/l	pH	Sólidos totales (%)	Sólidos volátiles (%)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
1	Agua Lavado sala de ordeño	380	70	7.5	1.5	44.3	3490	13839
	Fase sólida	26.6		7.5	10	49.02		
	Fase líquida-sobrenadante	353.4		7.5	0.8	49.02	2040	2260
2	Suero lácteo	350	0	3.5	5.09	89.3	65.85 8	74825
3	Agua Enfriamiento pasteurizado (T30°C)	490	0	7.5			<50	<50
4	Estiércol. Corral espera	50 kg/d		7.12	24.5%	52.4%		

Tabla 1 – Corrientes de residuos y efluentes generados por el establecimiento agropecuario “La Natividad”.

³ Sólidos sedimentables en dos horas.



Mediante este estudio de campo se pudo comprobar que la cantidad de estiércol que se recolectó en el corral de espera era inferior a la estimada, al igual que la cantidad de sólidos sedimentables que arrastra el efluente producido por el lavado de la sala de ordeño. Ambos resultados impactan en la cantidad de energía que se puede generar. Por eso, siempre que sea posible y para evitar subestimaciones o sobreestimaciones, se aconseja realizar los respectivos estudios de cuantificación y caracterización de las corrientes de residuos generados por el establecimiento, como así también de las características de la instalación, principalmente en cuanto a la factibilidad para la recolección de todas las corrientes de residuos generadas (piso de los corrales de encierre, por ejemplo).

IV. ESTUDIOS EN LABORATORIO

Se tomaron muestras de suero y estiércol para determinar el potencial de generación de biogás, mediante un ensayo en discontinuo a escala de laboratorio realizado en el Instituto de Ingeniería Rural de INTA Castelar. Se analizaron 4 tratamientos posibles: estiércol solo, suero solo y mezclas de estiércol y suero (3:1 y 1:3), y se registró el volumen diario generado por cada uno de ellos durante 60 días. Los resultados obtenidos fueron de 53, 61, 57 y 60 litros de biogás por kg de sustrato (húmedo) para el estiércol, suero y las mezclas (3:1 y 1:3) respectivamente.

El suero mostró mayor degradabilidad de la materia orgánica respecto de la del estiércol, por eso se explica el aumento de la producción de biogás al realizar las mezclas. También se pudo apreciar que la velocidad de degradación del suero es mayor que la del estiércol (notar que a los 15 días el suero puro ya se encontraba totalmente degradado). Por otro lado, al tener un pH bajo (3,5) y siendo las bacterias que actúan en el proceso susceptibles a estos valores, el suero no puede ser tratado directamente y necesita ser mezclado con otros materiales; o bien neutralizarlo previo a la digestión. Es importante destacar que el volumen de biogás generado por el sue-

⁴ Valor de referencia: 35 litros de biogás por litro de suero; valor de laboratorio: 60 litros de biogás por litro de suero



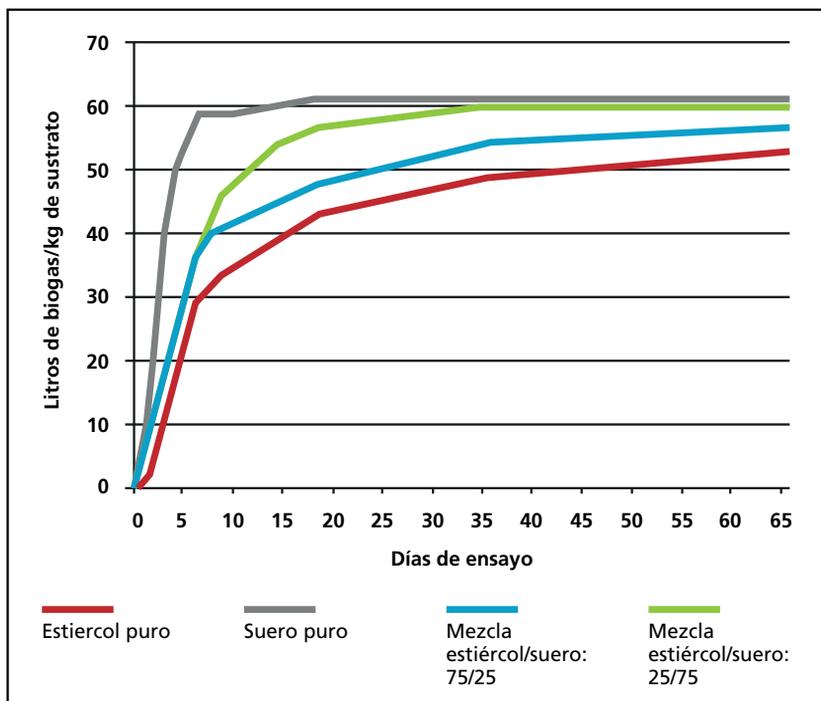


Gráfico 1 – Ensayo de producción de biogás en digestores BACH, con las corrientes puras y las distintas mezclas.

ro lácteo fue superior al estimado por las referencias bibliográficas, utilizado en las actividades preliminares ⁴.

V. BALANCE DE MASA Y DE ENERGÍA

En los siguientes esquemas se presenta el balance de materia para las distintas alternativas propuestas en el caso de estudio:

- **Caso 1:** tratar mediante digestión anaeróbica el volumen de suero acorde con los requerimientos de pH del proceso.
- **Caso 2:** tratar mediante digestión anaeróbica todo el suero generado en el tambo fábrica.

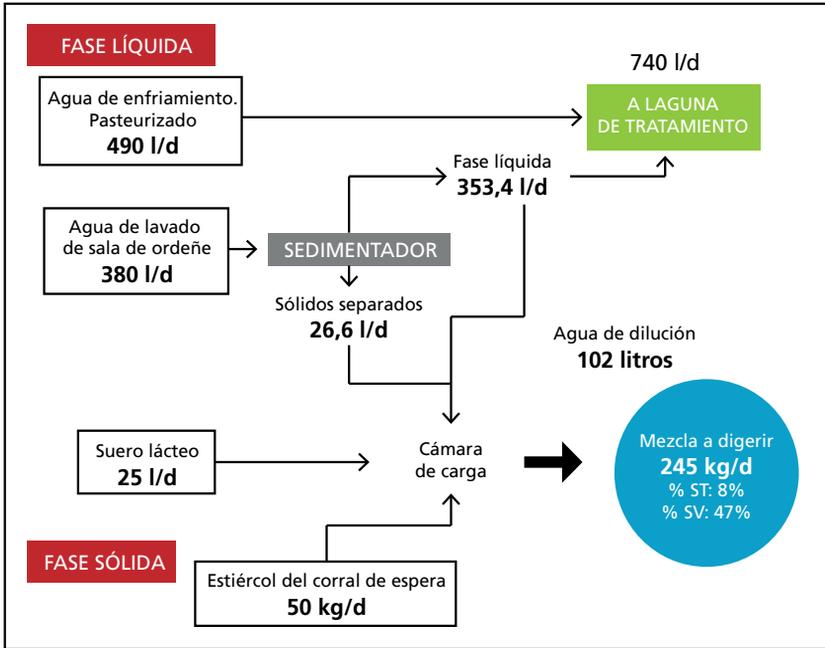


Figura 1 – Caso 1: Digestión anaeróbica de suero y estiércol cumpliendo los requerimientos de pH del sistema.

En el **caso 1** se presenta la opción de realizar un tratamiento del estiércol y suero, a fin de que la mezcla de ambos llegue a un valor de pH acorde a lo requerido por el proceso. En los siguientes gráficos se muestran los valores de pH para las distintas diluciones.

Se puede observar que, para diluciones de suero: estiércol del orden de 3/2:1, se pueden llegar a valores de pH superiores a 6, alcanzando el límite inferior recomendado para el proceso de biodigestión que se encuentra entre 6.5 a 7.5.

Es importante notar lo resaltado en apartados posteriores, en cuanto a que el agregado de suero mejora la producción de biogás del



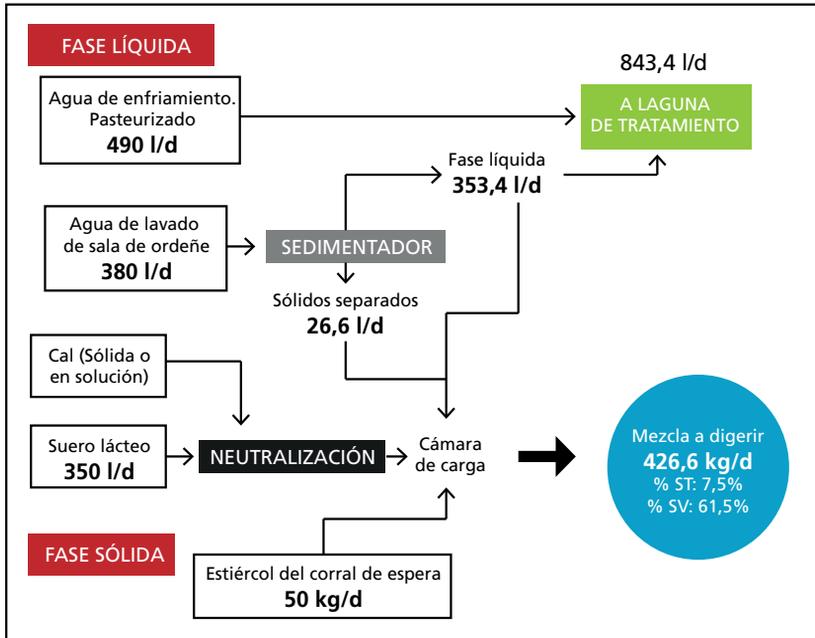


Figura 2 – Caso 2: Digestión anaeróbica de todo el suero y el estiércol. En este esquema no hace falta agregar agua de dilución ya que el suero es el que diluye la mezcla. Por otro lado, la cámara de carga en este caso debería ser mayor que en el anterior porque aquí pasa de 245k/d a 426k/d.

sistema. En este caso, es necesario llegar a los valores de sólidos totales del rango del 8%. Es por ello que se requiere utilizar parte del sobrenadante.

En el **caso 2** se presenta la opción de realizar un tratamiento del estiércol y la totalidad del suero, a fin de obtener la mayor cantidad de energía posible para cubrir la demanda energética. No obstante, en este caso, para lograr un buen desempeño de la biodigestión anaeróbica se deberá neutralizar el suero, utilizando cal o hidróxido de sodio como aditivo para regular el pH de la mezcla a biodigerir.

VARIACIÓN DEL PH DEL SUERO CON AGREGADO DE ESTIÉRCOL

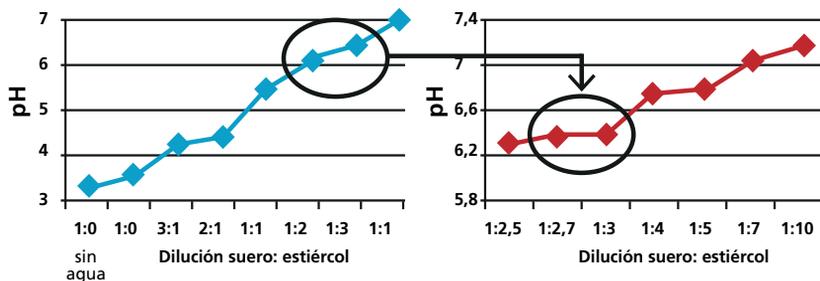


Gráfico 2 y 3: Valores de pH para diluciones de estiércol y suero.

De seleccionar el proceso expuesto en el **caso 1**, la producción de biogás diaria sería de **3.2 a 3.5 m3/d** con un volumen de biodigestor de 12 m3, un tiempo de residencia hidráulica de 35 días y una temperatura de proceso de 35 °C, lo que cubre solo el 14-16% de la demanda de energía.

De seleccionar el proceso expuesto en el **caso 2**, la producción de biogás diaria sería de **14 a 14,3 m3/d**, con un volumen de biodigestor de 20 m3 para las mismas condiciones que se consideran en el párrafo anterior, llegando a cubrir entre el 63-65% de la demanda energética.



VI. AHORRO DE ENERGÍA CON EL SISTEMA ACTUAL. POSIBILIDADES

En una primera instancia, el objetivo del productor al momento de construir un biodigestor reside en reemplazar el total de la energía que demanda la caldera para el proceso de pasteurización de la leche, equivalente a 505 MJ/d (12.5 litros de gasoil diarios).

Tomando la energía demandada por el proceso de pasteurización, es decir, la energía requerida para calentar 500 litros diarios de leche desde 27.5 °C a 65 °C, y mantener este volumen de leche durante 1 hora a 65 °C, la demanda de energía es de 80 MJ, para una eficiencia del 100%. Al contar con un sistema de calentamiento de baja eficiencia, la demanda deberá ser superior.

Como puede observarse, el consumo de energía es superior respecto de la demanda teórica, por lo que se sugiere trabajar en la eficiencia del uso de este recurso en el pasteurizado, a fin de disminuir las pérdidas que se producen en dicho proceso. También, en el caso específico de la experiencia desarrollada, se podrían implementar las siguientes acciones relacionadas con el manejo de los animales, que permitan incrementar la generación de energía:

- Alimentación de los animales durante la noche y el ordeño.
- Encierro de 5 a 10 animales en el corral de espera del tambo para acumular una mayor cantidad de estiércol a ser tratada por el digestor.
- Limpieza diaria del corral de espera.



VII. DISEÑO DEL DIGESTOR

Por lo expuesto anteriormente, se seleccionó el caso 2 para diseñar el biodigestor. Por lo tanto, se utiliza toda la corriente de suero disponible, el estiércol recolectado de la pista y los sólidos separados en el sedimentador. El sistema de tratamiento propuesto cuenta con un sedimentador. En función de esto se escogió el sistema de tratamiento que cuenta con un sedimentador provisto con una bomba de eje, una cámara de carga conectada al digestor de cúpula fija (digestor 1), una cámara de conexión entre este y el digestor de cúpula móvil (digestor 2) y una cámara de descarga que se conecta a la fase líquida del sedimentador y dirige los efluentes hacia la laguna de tratamiento. A continuación se muestran el plano en planta del sistema de tratamiento dentro del predio (Figura 3); el detalle en planta de los digestores (Figura 4) y una vista en corte de estos (Figura 5).

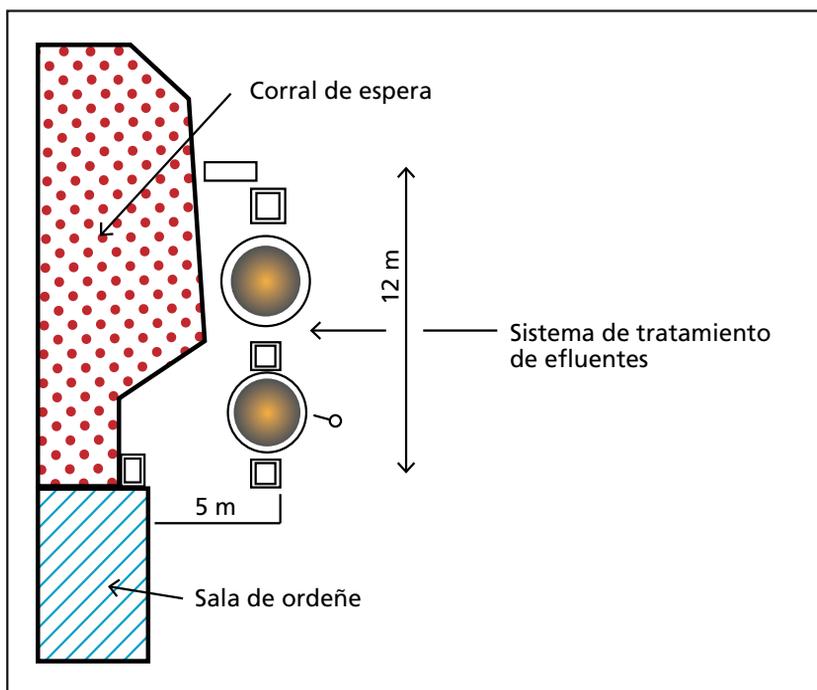


Figura 3: Vista superior del sector de tambo y futuro tratamiento de efluentes.



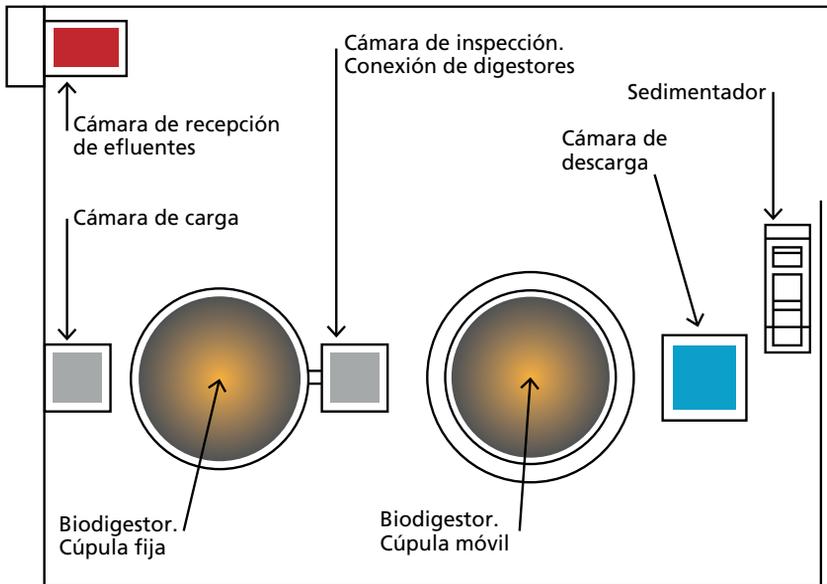


Figura 4: Vista en planta de sistema de tratamiento de efluentes (biodigestor).

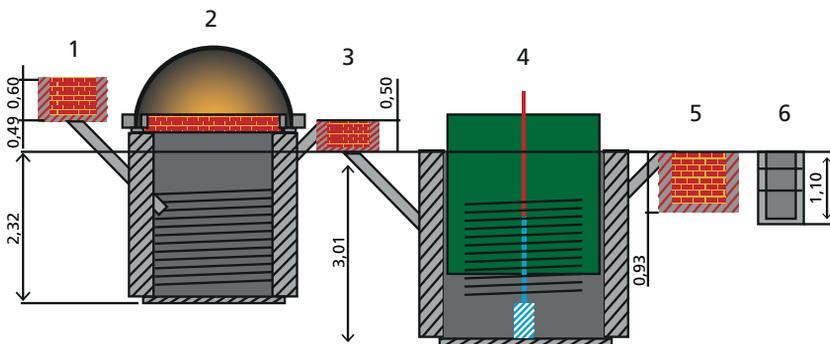


Figura 5: Vista en corte del sistema de tratamiento de efluentes (biodigestor). **1.** Cámara de carga. **2.** Digestor de cúpula fija (alta carga). **3.** Cámara de inspección y conexión entre digestores. **4.** Digestor de cúpula móvil (baja carga). **5.** Cámara de descarga. **6.** Sedimentador.

Para llevar a cabo un diseño que cumpla con las características de los digestores eficientes se buscan condiciones de agitación, calefacción y aislación para obtener el volumen deseado de biogás.

Los efluentes generados durante el lavado de la sala de ordeño, junto con el estiércol recolectado en el corral de espera son dirigidos hacia el sedimentador (6) diseñado de forma tal de almacenar el volumen de material sedimentable a fin de llegar a un valor de sólidos totales del 8%, apropiado para el tratamiento por digestión anaeróbica. La mezcla del sedimentador es enviada mediante una bomba de eje a la cámara de carga (1), recipiente que se encuentra elevado respecto del nivel del suelo. En este mismo recinto se agrega el suero lácteo, previamente neutralizado. Por gravedad, desde la cámara de carga ingresa la corriente de alimentación al biodigestor de cúpula fija (2), compuesta por una estructura semiesférica (opcional) y lona de camión que conforma la aislación. El mismo opera con alta carga orgánica por recibir el material sin degradar. Esta lona queda solidaria a la base del sello hidráulico mediante pitones abiertos, que estarán amurados y sellados con silicona para acumular el biogás generado. Además, presenta un agitador mecánico con 4 paletas y un motor de $\frac{3}{4}$ HP de 1500 rpm con una reducción de 1:20, llegando a 75–100 rpm.

Al momento de realizar la carga de residuos en el digestor (2) se provoca la descarga de una corriente ya tratada en la cámara de inspección (3), que se encuentra conectada al digestor de cúpula móvil (4). Este digestor tiene incorporado un tanque plástico de 10.000 litros donde se almacenará el gas generado por ambos reactores. Dicho tanque apoyará en un tabique de ladrillos, ubicado diametralmente en la parte inferior del reactor. Del centro de este tabique saldrá un caño galvanizado que sirva como guía para el gasómetro. A su vez, el gasómetro posee un caño camisa que calza en el caño guía para que este pueda ascender y descender sin que frene en su movimiento, lo que además evita las fugas del sistema.

Las diferencias de nivel entre la cámara de carga del digestor de cúpula fija (2) y la cámara de descarga (5) del digestor de cúpula móvil (4) permiten que estos sistemas funcionen por el principio de vasos comunicantes. En esta última se colocará una bomba sumergible,



provista de una manguera de 2 pulgadas que enviará el sustrato desde este recinto hacia la cámara de unión de ambos digestores para la recirculación y la homogeneización de la carga existente en este reactor. La salida de la cámara de descarga se conecta mediante un caño de 160 milímetros de diámetro con la descarga del sedimentador, derivándose hacia un sistema de lagunas que permitan finalizar la depuración de los sustratos.

En las siguientes tablas se muestran las características de la obra civil y el equipamiento complementario. Se estima una inversión inicial del orden de los \$95.000 (diciembre de 2014), que contempla la compra de materiales, equipamiento, movimiento de suelos, mano de obra e instalación eléctrica. Estos costos pueden variar en

Equipo	Volumen (l)	Dimensiones (m)				
		Alto	Ancho	Largo	Diámetro	
					Int.	Ext.
Cámara recepción zona ordeñe	350	0.6	0.84	1.24		
Cámara de carga	280	0.6	1	1		
Cámara de inspección	220	0.5	1	1		
Cámara de descarga	580	0.95	1.24	1.24		
Sedimentador	400	1	0.69	1.72		
Digestor 1	7.850	2.5			2.0	2.64
Digestor 2	14.300	2.9			2.6	3.24
Gasómetro	10.000	2.35			2.42	2.43

Tabla 2: Dimensiones de las instalaciones.

Equipo	Características
Bomba centrífuga para calefacción	Potencia 2 HP. Caudal máximo 5.4 m ³ /h; Altura máxima 100 m.c.a. Temperatura del fluido hasta + 60 °C. Salida 1 pulgada.
Bomba sumergible para recirculación	Potencia 1 HP. Caudal máximo 35 m ³ /h. Máxima inmersión: 10 m, máximo paso de sólidos: 50 milímetros. Salida 2 pulgadas.
Bomba de eje para bombeo de lodos	Potencia mínima 1,5 HP. Caudal máximo 15 m ³ /h. Paso de sólidos : 50 mm. Altura máxima 10 m.c.a. Salida 2 pulgadas. Motor trifásico.
Motor para agitador	0.75 HP monofásico, 1500 rpm con un reductor de 1:20.
Agitador	Eje: 4 m; diámetro agitador: 0.66 m. N° de paletas = 4.

Tabla 3: Equipo para movimiento de fluidos.



un +- 10%, debido a las diferencias encontradas en distintos lugares donde se recabaron los presupuestos. Los estudios realizados en laboratorio indican que una vez instalado el biodigestor se logra recuperar la inversión en el término de tres años, considerando el costo de combustible que el productor posee con las instalaciones actuales.

Material	Costo unitario	Total	Costo final
Ladrillo común	\$ 2,25/unid.	3.475 unid.	\$ 7.818
Cemento (por bolsas de 50 kg)	\$ 56 /bolsa	20 bolsas	\$ 1.120
Arena (por m3)	\$ 193,60/m3	3 m3	\$ 580,8
Cal (por bolsas de 25 kg)	\$ 51 /bolsa	18 bolsas	\$ 918
Malla Cima (unidades de 4 x 2)	\$ 422 /unid.	7 unid.	\$2.954
Caño PVC 160 mm (por unidades de 4 m)	\$ 373 /unid.	1 unid.	\$ 373
Caño PVC 110 mm (por unidades de 4 m)	\$ 155 /unid.	2.5 unid.	\$ 387
Caño polipropileno de 3/4 (por unidades de 4 m)	\$ 93,40/unid.	5 unid.	\$ 467
Caño polietileno 2 pulgadas (por m)	\$ 28,60/m	20 m.	\$ 572
Lana de vidrio (x rollo de 21.6 m2)	\$ 653 /rollo	3 rollos	\$ 1.959
Telgopor (placas de 1m x 1m x 0,05 m)	\$ 48 /placa	60 placas	\$2.880
Lona para cobertura digestor	\$ 112 /m2	10 m2	\$ 1.120
Agitador con motor 3/4 HP	\$ 5.000/unid.	1 unid.	\$ 5.000
Bomba 2HP para agua caliente	\$ 5.200/unid.	1 unid.	\$ 5.200
Bomba estercolera de eje	\$ 6.394/unid.	1 unid.	\$ 6.394
Bomba sumergible	\$ 3.000/unid.	1 unid.	\$ 3.000
Tanque gasómetro	\$ 19.000/unid.	1 unid.	\$ 19.000
Mano de obra (2 albañiles, 20 días)	\$ 500/día	40 días	\$ 20.000
Insumos varios (selladores, tornillos, pitones, ect.)	\$ 9.300	1	\$ 9.300
Instalación eléctrica (con materiales)	\$ 5.000	1	\$ 5.000
Total			\$ 94.042,8

Tabla 4: Principales costos para la construcción del digestor. Precios de diciembre de 2014.



PARTE 2

ASPECTOS GENERALES
RELACIONADOS CON
LOS PROYECTOS DE
DIGESTIÓN ANAERÓBICA

I. ¿POR QUÉ / PARA QUÉ UN PROYECTO DE BIOGÁS?

Cuando se inicia un proyecto de digestión anaeróbica se tienen en cuenta dos ventajas: tratamiento de desechos y generación de energía. Priorizar una y otra de estas ventajas implicará un sesgo importante al momento de diseñar un biodigestor. Si el objetivo está puesto sobre la generación de energía (térmica o eléctrica), se buscará tener un digestor de alta eficiencia en relación con la cantidad de biogás producido por unidad de volumen de biodigestor. Si se prioriza el tratamiento de un residuo, el foco estará puesto en degradarlo y obtener un material tratado, apropiado para la disposición final, por lo que el digestor podría considerarse de baja eficiencia en cuanto a la producción de biogás.

En la elección de una u otra opción entran en juego dos variables esenciales: la cercanía a las fuentes de energía convencionales (que en muchos casos depende de la distancia que existe entre el establecimiento agropecuario y los centros poblacionales) y la acumulación de residuos de cualquier tipo, según la actividad que se realice. En el caso de que el establecimiento se encuentre alejado de los centros poblacionales, la probabilidad de contar con energía convencional (electricidad, gas) es menor. De contar con residuos confinados en una zona determinada del establecimiento, esta situación permitiría pensar en tratar estos residuos minimizando el impacto ambiental y obteniendo, a su vez, el beneficio de generar energía renovable. En caso de no satisfacer la demanda, se podría utilizar otro tipo de materiales (cultivos agrícolas, residuos agroindustriales, etc.) con el objetivo de aumentar el rendimiento del digestor.

Ahora bien, si los residuos se encuentran dispersos en el predio, deberá realizarse una evaluación energética/económica y determinar cuál es el rédito que se obtiene en juntar los residuos para generar energía, relacionándolo con la cantidad de trabajo diario que implica esa acción.



Otras características del entorno, como el clima (precipitaciones, temperaturas mínimas) y la topografía (pendiente del terreno, profundidad de las napas) también deberán ser tenidas en cuenta porque influyen considerablemente en el desarrollo del proyecto.

¿Qué es un biodigestor? La definición de la palabra biodigestor es prácticamente una declaración de principios; y allí estará puesto foco del proyecto, contemplado en párrafos anteriores. Gropelli y Giampaoli, en El camino de la Digestión, hablan sobre la experiencia en de los digestores en China:

“El primer interés que tuvo la digestión anaeróbica en el país oriental fue para el tratamiento de aguas servidas, y mejorar la calidad de vida de la población rural, sin importar la energía que se podría generar en este proceso. Posteriormente, se utilizó para la generación de abonos. Hasta aquí, los digestores generaban entre 0.15 y 0.3 metros cúbicos de biogás por metro cúbico de digestor. Esto induciría a comentar que los digestores del tipo chino, en su principio de diseño, son de baja eficiencia energética. Cuando surge la crisis del petróleo, toma fuerza la generación de energía con la implementación de digestores de mayor eficiencia. Para lograr esto, se tienen que tener presente cuestiones de diseño como agitación y calefacción; y las características pertinentes de la corriente de alimentación: pH de 6.5 a 7.5; concentración de la carga del digestor entre 7% y 9% de Sólidos Totales; Relación Carbono/Nitrógeno cercana a 30.”⁵

⁵ Gropelli, E. Giampaoli, O. *El Camino de la biodigestión*. Primera Edición. UNL, Santa Fe, 2001, p 189.



Al momento de encarar un proyecto de generación de energía renovable y/o tratamiento de efluentes a partir de los residuos, subproductos agrícolas o cualquier otro tipo de fuente de biomasa aprovechable, será necesario conocer diversos aspectos relevantes. A partir de las experiencias en campo, a continuación, se desarrollan los diferentes ítems que, a nuestro entender, deben ser considerados:



Acceso a las fuentes tradicionales de energía. A qué distancia se encuentran y cuál es su costo.



Disponibilidad de materias primas para la generación de energía. Conocer si estas se encuentran concentradas en un único espacio (por ejemplo, confinamiento de animales, como un corral de engorde de cerdos) o bien distribuidas en una superficie mayor (por ejemplo, cultivos agrícolas).



Si existe o no un impacto ambiental adverso de los residuos en el entorno del establecimiento agropecuario. Esto implica conocer si hay un tratamiento de las corrientes de desecho y si este es apropiado logrando cumplir con los parámetros de calidad propuestos por el organismo de control pertinente.



Disponibilidad de mano de obra para el manejo de las instalaciones.



Conocer si el productor cuenta con terreno propio o bien arrienda el establecimiento agropecuario, y cuál es la superficie total del predio.



Si es productor primario o realiza procesos de transformación de la materia prima (producción de quesos con la leche, chacinados en cerdos, procesamiento de frutas en la industria cítrica, entre otros).



El conocimiento que tenga el productor sobre la tecnología a desarrollar, a fin de saber en qué medida necesitará de agentes externos (públicos o privados) que lo asistan técnicamente durante el proceso de diseño, instalación y puesta a punto.



II. ETAPAS PARA UN PROYECTO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA

En los casos de proyectos orientados hacia la generación de energía renovable para sustituir energía fósil, se deberán tener en cuenta los siguientes pasos:

- 1. Relevamiento de la demanda
- 2. Análisis de prefactibilidad
- 3. Monitoreo y estudios complementarios
- 4. Diseño del sistema
- 5. Evaluación de los costos y financiación
- 6. Análisis de factibilidad
- 7. Construcción
- 8. Puesta a punto, operación y mantenimiento

A continuación, se describen cada uno de estos puntos.

1. Relevamiento de la demanda

Por demanda entendemos dos variables: la cantidad de residuos que se generan y la energía requerida por el productor/establecimiento agropecuario. En lo que respecta al consumo energético, identificar cuáles son las principales fuentes utilizadas (combustibles derivados del petróleo, gas, electricidad), la distribución y frecuencia del consumo, los problemas de abastecimiento que puedan existir en el establecimiento, el costo fijo y la eficiencia energética de las instalaciones y equipos.

En lo que respecta a los residuos, es importante conocer la cantidad y sus características (que se verá posteriormente), pero también amerita de un análisis que apunte a identificar los motivos que lo generan. Para ello hay que identificar la actividad principal del establecimiento, y ciertas características que dependerán de ella. Aquí detallamos solo dos, aunque es de conocimiento que puedan existir otras.



En establecimientos de cría de animal	En otros establecimientos agroindustriales
<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad y tipo de animales. Edad. • Conocer si los animales se encuentran confinados en un único lugar (corral, galpón) o si se realiza un manejo extensivo en una superficie mayor. • Alimentación: raciones y tipo de alimento. • Tipo de limpieza e insumos que se utilizan para tal fin. • Disposición final y destino de los desechos. 	<p>Obtener una descripción clara del manejo de los procesos de producción, elaboración o transformación de la materia prima, los recursos disponibles, los insumos necesarios, la energía demandada, el volumen de producción y los subproductos generados.</p>

También es importante conocer detalles propios de cada establecimiento (ubicación, temperaturas, pluviometría, accesos, etc.) que podrán servir para identificar debilidades, problemas o amenazas para el proyecto.

2. Prefactibilidad

Para determinar cuáles son las posibilidades concretas de implementación que tiene el proyecto bioenergético, se deberá llevar a cabo un análisis de prefactibilidad utilizando la información obtenida durante el relevamiento de campo, y cruzarla con bibliografía de la temática que contenga datos técnicos del proceso. A continuación, se describen en detalle algunas características importantes que deben ser tenidas en cuenta en esta instancia.

a. Experiencias anteriores: consultar sobre casos de establecimientos que tengan características similares y que hayan desarrollado exitosamente un proyecto de este tipo, la tecnología utilizada y los procesos desarrollados. Es importante conocer cuáles fueron las debilidades y fortalezas en la implementación de los proyectos.

b. Cantidad de residuos que se generan en establecimientos de ese tipo. A partir del conocimiento previo del tipo de producción y el manejo realizado se podrá estimar la cantidad de residuos generados en el establecimiento según la fuente de origen. En el caso de los residuos animales (bovino, porcino, aves) de acuerdo con el peso



vivo, el tipo de alimentación y el manejo se conocerá la cantidad de estiércol que puede llegar a producirse diariamente. Por ejemplo: una cerda en gestación genera 4.7 kg de purín por día; un cerdo en recría-engorde un promedio de 4,9⁶ ; un vacuno en ordeño puede generar 50 litros de efluentes por día⁷ ; un novillo de 265 kg de peso promedio genera alrededor de 13 kg de excrementos húmedos⁸.

c. Potencial generación de energía por materia prima a utilizar. Existen numerosos estudios donde se obtuvieron este tipo de datos según el tipo de proceso energético involucrado. Es por ello que esta información de referencia será de suma utilidad para el cálculo posterior del potencial de generación de energía⁹.

Sobre la base de esta información se logrará calcular el potencial de generación de energía. Para que el proyecto sea a priori factible energéticamente, la cantidad total de energía renovable que sea generada deberá reemplazar en forma significativa a la energía demandada por el proceso específico.

3. Monitoreo y estudios complementarios

Con el objetivo de validar o comparar el resultado obtenido del estudio de prefactibilidad y tener un conocimiento detallado del manejo de la producción, se deberá llevar a cabo un monitoreo exhaustivo en el establecimiento del productor, en el que se deben cuantificar las variables mencionadas en el párrafo anterior. Es recomendable analizar las características principales de cada uno de los sustratos existentes, como así también determinar su verdadero potencial energético, ya que como se mencionó en párrafos anteriores, estos son variables¹⁰. A continuación, se da una breve expli-

⁶ Franco y Panichelli, 2013.

⁷ Taverna, 2007.

⁸ Maisonave, 2014.

⁹ En Venturelli, L.; Butti, M., Huerga, I., "Biodigestores de pequeña escala: un análisis práctico sobre su factibilidad", Santa Fe, INTA, 2014, se pueden encontrar ejemplos sobre esta información específica.

¹⁰ En Venturelli, L.; Butti, M., Huerga, I., "Biodigestores de pequeña escala: un análisis práctico sobre su factibilidad", Santa Fe, INTA, 2014, se pueden encontrar ejemplos sobre esta información específica.



cación de algunos de los análisis a desarrollar, que, a nuestro entender, deben priorizarse. No obstante, cabe aclarar que, a mayor cantidad de parámetros, tendremos una mejor aproximación de lo que sucederá una vez iniciado el proceso de digestión anaeróbica.

a. Volumen de efluentes y residuos generados

Es necesario conocer con precisión el volumen de efluentes o la cantidad de residuos que se genera por la actividad del establecimiento.

En el caso de los efluentes, los métodos para monitorear dicho valor son diversos. Una forma es relevar la cantidad de agua de servicio, que generalmente se usa en el lavado de las instalaciones. Colocar un medidor en la cañería en la que se encuentra el grifo implementado para tal fin, conocer el caudal que sale por este conducto y el tiempo de lavado o cubicar el tanque donde se almacena el agua antes y luego de la limpieza pueden ser opciones para establecer dicho valor. También se puede medir la cantidad de efluentes generados enviando toda la corriente hacia un contenedor cubicado, midiendo su nivel antes y luego de la operación correspondiente.

Para los residuos sólidos se puede realizar la recolección y el posterior pesado o cubicado para tener una idea del peso total recolectado.

En ambos casos, es necesario repetir estas acciones durante varios días y en distintos momentos del año.



Foto 1. Medidor volumétrico conectado al grifo utilizado para el lavado de corrales de cerdos.



b. Análisis realizados sobre las materias primas a utilizar en procesos de digestión anaeróbica

i. Demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) del efluente

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO5) de una muestra incubada a una temperatura determinada, y se expresa en miligramos de oxígeno di-atómico por litro (mgO₂/l).

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se expresa en miligramos de oxígeno di-atómico por litro (mgO₂/l). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.), que también se reflejan en la medida.

Ambas medidas expresan la cantidad de oxígeno que un efluente consumiría al ser vertido en un cuerpo receptor. Esto impactaría negativamente, pues al quitar oxígeno del agua, las formas de vida que lo necesitan irán desapareciendo del lugar, migrando hacia otros sectores y aparecerán organismos anaeróbicos (es decir, que viven sin presencia de oxígeno).

La relación de DBO/DQO puede ser tomada como un indicador para conocer el grado de biodegradabilidad que tiene un efluente líquido. Como valor de referencia se toma 0,4, esto quiere decir que por encima de dicho valor sería posible realizar un tratamiento biológico cuya finalidad sea reducir por estos medios el contenido de materia orgánica. Caso contrario, se requerirán insumos (oxidantes) para bajar estos parámetros.



ii. Sólidos totales (ST) y Sólidos volátiles (SV)

Los sólidos totales (ST) son una medida del contenido de materia seca de un determinado sustrato. Se determinan colocando una determinada cantidad de muestra de sustrato a 105 °C en estufa hasta alcanzar un peso constante. Con estos valores podemos determinar la cantidad de agua a agregar (o quitar) de la corriente de residuos para alimentar un digestor con una carga acorde, que debe rondar en el orden del 8-12% de ST.

Los sólidos volátiles (SV) son una medida del contenido de materia orgánica que presenta un sustrato. Se obtienen mediante calcinación de la materia seca en una mufla a 550 °C debido a que, a dicha temperatura, la materia orgánica se transforma en gases (vapor de agua, dióxido de carbono y compuestos nitrogenados, principalmente) y el material inerte –cenizas– queda en fase sólida.

Cuanto mayor sea el contenido de materia seca y de materia orgánica, mayor será el potencial de biogás alcanzado por una determinada materia prima. Estos parámetros se utilizan cuando nos encontramos con materiales sólidos a degradar mediante biodigestores (residuos orgánicos, estiércoles, cultivos agrícolas para generar energía, entre otros).

Otros parámetros de importancia para tener presente en proyectos de digestión anaeróbica son: el tamaño de partículas (es necesario triturar materiales fibrosos o de gran tamaño para aumentar la superficie específica y favorecer la velocidad de degradación), nitrógeno total (NT), nitrógeno amoniacal (NH₃), nitrógeno como nitratos (NO₃-), fósforo, acidez-alcalinidad, calcio, sodio, pH, conductividad, patógenos y sólidos sedimentables en efluentes.

iii. Potencial generación de biogás

Se trata de un procedimiento para determinar la producción de biogás de un sustrato en un ambiente definido y controlado. De este modo, se obtiene una medida de la degradabilidad del sustra-





Foto 2. Análisis de sólidos sedimentables (SS) mediante cono Imhoff.

to en cuestión, la cantidad máxima de biogás que es capaz de generar en determinadas condiciones y el tiempo que tarda en alcanzar ese máximo (tiempo de degradación biológica).

Para realizar este ensayo se utilizan recipientes de distinta capacidad que puedan ser cerrados herméticamente. En las experiencias realizadas para el estudio mostrado en la parte 1 de este trabajo se implementaron frascos de suero de 250 ml de capacidad en los cuales se colocaron 100 g de inóculo (obtenido de biodigestores en funcionamiento) y el sustrato en cuestión (3- 5 g en peso húmedo). A su vez, se efectuó un blanco (inóculo + agua) para determinar la productividad de biogás del inóculo utilizado; además de realizar un “frasco control” con celulosa, cuya producción de biogás es conocida y permite verificar el buen funcionamiento del ensayo. Luego de agregar las distintas mezclas se deben cerrar los recipientes y verificar hermeticidad para, luego, colocarlas en un ambiente a la temperatura con la cual trabajaría el digestor futuro (normalmente, 35 °C para ensayos protocolarizados).

La medición de biogás se realiza quitando por algún medio el gas generado durante un período de tiempo. En el caso de utilizar frascos de suero insertándose una jeringa en el tapón septum de cada frasco y registrando el desplazamiento de un volumen de líquido acidulado, provocado en una probeta de vidrio graduada de 250 ml llena hasta su enrase, conectada a un recipiente de plástico a presión atmosférica que tiene el mismo nivel. Además,

se debe medir la temperatura ambiente para corregir los volúmenes obtenidos a condiciones normales de presión y temperatura (25 °C y una atmósfera de presión).

Al graficar la producción acumulada de biogás del sustrato en función del tiempo, se puede observar cómo esta crece hasta llegar a un punto máximo, luego del cual no aumenta más o lo hace muy levemente (alcanza una meseta). Este punto es el que indica la cantidad máxima de biogás que ese sustrato puede generar en las condiciones dadas. Este valor es útil para comparar distintos sustratos y para tener una idea de la producción de biogás a esperar en un digestor alimentado con un determinado material.

Las imágenes que se muestran a continuación dan una idea ilustrativa del procedimiento utilizado (Butti, 2014).



foto 3: Frascos de suero 250 mL en los que se encuentra el inóculo y el sustrato a digerir.



foto 4: Estufa regulada a 35 °C, donde se alojan los frascos durante el tiempo del ensayo.



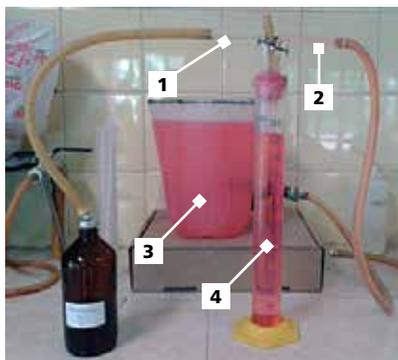


foto 5: Sistema de medición de biogás. **1.** tubo de vidrio que conecta, mediante la manguera que termina en una aguja, el biogás generado en el frasco y la probeta de medición. **2.** tubo de vidrio que conecta la probeta de medición con el reservorio de agua. **3.** reservorio de agua con colorante. **4.** probeta graduada.

iv. Ensayos de alimentación continua

Los ensayos de alimentación en continuo sirven para encontrar las condiciones operativas del proceso. En el caso de la biodigestión, se podrán obtener parámetros como la velocidad de carga orgánica, el tiempo de residencia hidráulico, la producción real de biogás y la tasa de degradación de la materia orgánica para un determinado sustrato.

En este tipo de ensayos se debe seguir la operatoria del futuro digestor, es decir, alimentar una

determinada cantidad de material diario en función al volumen de reactor disponible y un tiempo determinado; a fin de poder escalarlo posteriormente.

El volumen de reactor utilizado para estos ensayos puede ser variable. Lo que limita esta capacidad es la cantidad de sustrato diario a utilizar (y el mantenimiento de sus condiciones) ya que pequeñas cantidades hacen que se puedan producir errores en su pesaje y condiciones similares de composición; y grandes cantidades implicarían utilizar un reactor de mayores dimensiones.

De construirlos a una escala de laboratorio, es más sencillo controlar variables como la temperatura y la condición del biogás, pero puede que sea limitante el volumen de reactor, a escalas no mayores de 5 litros. De armarlos como cita el Ing. Giampaoli en su libro "El camino de la biodigestión"¹¹ pueden utilizarse materiales diversos para su construcción, usar un mayor volumen de materia para alimentarlos y ubicarlos en lugares similares adonde se va a desarrollar el proyecto.





foto 6: Modelo de digester a escala laboratorio, construido en vidrio. El gasómetro está armado con materiales plásticos.

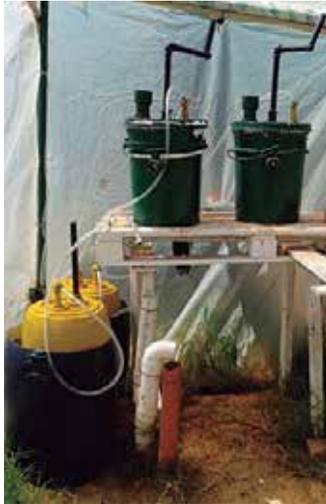


foto 7: Digestores construidos según lo expuesto por el Ing. Orlando Giampaoli, en "El camino de la biodigestión".

¹¹ Gropelli-Giampaoli, 2001



4. DISEÑO DEL SISTEMA

La etapa del diseño del sistema implica la definición del tipo de digestor que se va a emplear (cúpula fija-cúpula móvil), las características constructivas (materiales a utilizar), la capacidad, la tecnología involucrada y el rendimiento esperado, entre otras variables (Carrillo, 1999; Gropelli-Giampaoli, 2001; Guevara, 1996; Martí Herrero, 2008; Ministerio de Energía de Chile, 2011). A continuación, se resumen las principales características a tener en cuenta a la hora de diseñar un biodigestor.

i. Volumen de digestor

Para dimensionar el volumen del digestor hay que tener en cuenta el caudal diario de generación de efluentes, la concentración de sólidos totales y volátiles y el volumen de agua a añadir/quitar en caso de ser necesario. Se debe tener presente que con el tiempo de residencia biológico e hidráulico adoptado u obtenido de los análisis de potencial de generación de biogás, se puede obtener el volumen del digestor.

ii. Volumen de gasómetro

El tamaño del gasómetro depende del consumo energético. Si hay picos de consumo, el gasómetro deberá ser lo suficientemente grande como para acumular biogás en períodos en los que no haya consumo y así poder abastecer cuando se requiera energía. Por el contrario, si no hay picos y el consumo es homogéneo y constante en el tiempo, el tamaño del gasómetro será menor.

En el caso de que el biogás sea utilizado para la generación de energía eléctrica, la alimentación de un sistema de refrigeración o el calentamiento directo de algún fluido (agua), el volumen de gasómetro será mínimo.



iii. Agitación

La agitación es una de las variables más importantes a tener en cuenta para lograr el contacto entre las bacterias y el material a degradar y, por otro lado, para romper o disolver la costra que se puede formar dentro del biodigestor. Una buena agitación garantizará una producción estable de biogás y evitará desestabilizaciones del proceso por acumulación de sustancias inhibitorias.

Las variables que pueden ser controladas y que influyen en la potencia consumida por el agitador son: dimensiones del tanque y de las paletas (diámetro del tanque, diámetro de las paletas y altura del líquido en el digestor), viscosidad (μ) y densidad (ρ) del fluido, velocidad de giro del agitador.

Para conocer las características del flujo suele utilizarse el número de Reynolds¹², parámetro adimensional que dará una idea de la potencia del motor. En un régimen laminar, el número de Reynolds es menor a 10, donde la agitación es mínima (dentro de este régimen trabajan los agitadores lentos); en cambio, en los turbulentos, el número de Reynolds es mayor a 10.000, pueden existir varios agitadores y además la introducción de otro medio de agitación, como el mismo biogás generado. Existe el régimen transitorio, el cual es un estado intermedio. Si bien la bibliografía específica sobre digestores no es clara sobre cuál debe ser el número de Reynolds apropiado para el diseño de digestores, se espera que trabajen dentro de este rango.

iv. Calefacción/aislación

Para lograr una mayor producción de biogás es necesario calentar el biodigestor a través de un circuito de calefacción. Existen diversas alternativas y una de ellas es calentar directamente la mezcla, lo que implica tener mayores controles debido a que grandes cambios de temperatura pueden alterar las bacterias existentes.

¹² El número de Reynolds (N_{Re}) para tanques agitados viene dado por:
 $N_{Re} = D_a^2 N \rho / \mu$ donde: D = diámetro de la paleta; ρ = densidad del fluido, Kg/m^3 ; μ = Viscosidad, $Pa*s$; N = velocidad del agitador, rad/s .



La otra opción es calentar un fluido (agua) y que, por medio de una serpentina interna, que funciona como intercambiadora de calor, entregar calor a todo el sistema. La serpentina puede ser de manguera plástica. Si bien la conducción de calor es menor, la graduación es beneficiosa para la producción de biogás

Por otro lado, para evitar pérdidas de energía del sistema es necesario al biodigestor térmicamente. En algunos casos, la mejor opción es enterrarlos, además de utilizar elementos apropiados para evitar fugas de calor. Cuando esto no es posible, luego de la capa aisladora suelen colocarse otro tipo de materiales (chapa) a fin de proteger los biodigestores. Algunos materiales apropiados para la aislación pueden ser: poliestireno expandido, lana de vidrio, espuma de poliuretano, aire, cáscaras de semillas, viruta de madera, paja, lana de oveja, entre otros.

v. Volumen de lagunas para almacenamiento de efluentes

Para dimensionar el volumen de almacenamiento de efluentes, lo principal a tener presente es conocer cuál es el uso que se le van a dar.

En caso de que los efluentes deban volcarse a un cuerpo receptor (laguna, río, arroyo), los parámetros de descarga deben cumplirse mediante el tratamiento propuesto. En este caso se debe dimensionar el tratamiento apropiado (por ejemplo, sistema de lagunas) a fin de depurar la carga orgánica que contiene dicha corriente. Este tratamiento se diseña con el caudal, la carga orgánica, la temperatura ambiental y el tiempo de residencia hidráulico y biológico.

En caso de que el efluente proveniente del biodigestor se utilice en alguna actividad agrícola (fertilización, riego) se deberá calcular el volumen de la laguna de almacenamiento. Las variables que se tienen presentes en este caso son: concentración de nutrientes del efluente, demanda del suelo, momentos en los cuales se puede esparcir el en el suelo y la superficie de suelo a aplicarse.



vi. Materiales que podrían ser utilizados para su construcción¹³

En la siguiente tabla se expresan los distintos materiales que pueden ser utilizados para construir un biodigestor. Puede que existan otros que no se encuentran contemplados en la misma. Solo se colocaron aquellos sobre los cuales hemos conocido experiencias, propias o de otros. Las ventajas y desventajas son resúmenes orientativos y no taxativos, ya que circunscriben a los desarrollos de quienes lo han implementado y utilizado.

Material	Ventajas 	Desventajas 	--- Durabilidad +++	--- Costos de
Polietileno	Bajo costo, fácil de conseguir y de manipular	Menor vida útil, pinchaduras o roturas, baja presión del biogás, problemas de agitación y formación de costras		
Tanques plásticos	Mayor durabilidad y rigidez que el polietileno, baja mano de obra para la construcción y la posibilidad de regular fácilmente la presión del biogás	Mayor costo frente al polietileno, dificultad en la colocación de accesorios (caño de entrada/salida de materia prima) y la poca disponibilidad de volúmenes mayores a 1000 litros en algunos lugares		
Ferrocemento	Facilidad en la construcción. No requiere mano de obra calificada. Posibilidad de darle al digestor distintas formas geométricas	Mayores requisitos de aislación, posibilidad de corrosión del metal		
Mampostería	Mayor durabilidad, menores requisitos de aislación	Mayor costo por materiales. Necesitan de personal calificado para su construcción		

¹³ Solo se mencionan aquellos materiales para la construcción de digestores de pequeña y mediana escala.



5. EVALUACIÓN DE COSTOS Y FINANCIACIÓN

Antes de empezar con la etapa de construcción será necesario evaluar el costo total de la inversión, los costos de la obra de construcción incluida la mano de obra, los costos de operación y mantenimiento, insumos, etc. Por otro lado, también tendrán que ser analizados los ingresos o las ganancias que se obtengan y las posibles fuentes de financiación existentes (públicas, privadas, cooperativas o propias). Esto siempre y cuando el proyecto esté orientado hacia la generación de energía. Cuando implique resolver una problemática ambiental, hay costos relacionados con el mejoramiento de un entorno que son complejos de dimensionar. Si se puede comparar el tratamiento del residuo con otro proceso.

6. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

A partir de la información adquirida durante la etapa de monitoreo se deberá realizar un análisis de factibilidad del proyecto. Es posible que el estudio de prefactibilidad arroje un resultado favorable, sin embargo, al contrastar los datos usados en este análisis con los obtenidos durante el monitoreo, las mediciones, los estudios y los ensayos, puede suceder que el resultado sea en realidad desfavorable de acuerdo con el estudio de factibilidad. A diferencia de la prefactibilidad, esta etapa se orienta a conocer si existen los recursos necesarios (técnicos, económicos y sociales) para llevar adelante el proyecto.

Este análisis implica, en una primera instancia, conocer cuánta energía se puede reemplazar con la materia prima existente. En una segunda instancia, se debe realizar una validación económica que implique conocer la inversión requerida y su tasa de retorno, en función del ahorro energético que se realizaría. También pueden incluirse los impactos ambientales que implica el remediar un sitio contaminado y los impactos sociales de la aplicación del proyecto.



Como se mencionó en la introducción, en muchos casos el proyecto tiene aprobada su prefactibilidad, pues es viable realizarlo desde el punto de vista técnico. Pero al momento de implementarlo, fallan otro tipo de recursos. El “modelo tecnológico biogás” debe incluir este tipo de análisis para que resulte viable dicha tecnología. Recabar información sobre personas que tengan experiencia en el manejo de digestores y se encuentren cercanos al lugar donde se desarrollará el nuevo proyecto; la existencia o no de un laboratorio de análisis; puntos de venta de los repuestos para solucionar los imprevistos que puedan suceder son algunas de las cuestiones a tener presentes al momento de evaluar la factibilidad.

7. CONSTRUCCIÓN

Antes de iniciar la etapa de construcción se deberá verificar la existencia de proveedores locales, la disponibilidad de mano de obra calificada, materiales, insumos y equipos. En algunos casos de emprendimientos de poca envergadura, en los que no existan empresas proveedoras locales, se puede pensar en realizar talleres de autoconstrucción organizados en forma cooperativa involucrando a los diferentes organismos del Estado, municipios, ONGs, universidades, centros de investigación. Es importante tener en cuenta en todos los casos los aspectos referidos a la seguridad del sistema, tales como distancias de seguridad, cercados perimetrales, carteles indicadores, filtros, arrestallamas y cualquier otro dispositivo de seguridad necesario para este tipo de instalaciones. De no existir reglamentación o normas referidas a estos temas pueden utilizarse como referencia las reglamentaciones empleadas para gas natural.

8. PUESTA A PUNTO, OPERACIÓN, CONTROL Y MANTENIMIENTO

El objetivo de esta etapa es lograr un régimen de operación estable lo más pronto posible. Es muy importante considerar los controles necesarios que deberán ser realizados para mantener un nivel óptimo de operación, como así también el mantenimiento requerido para evitar interrupciones y aumentar la vida útil del sistema en



su conjunto. El manejo del proceso dependerá del tipo de sistema utilizado, el nivel tecnológico que posea, el control realizado y la disponibilidad de personal calificado para la tarea.



COMENTARIOS FINALES

Sobre el estudio de caso desarrollado en la parte 1 se pudieron contemplar las etapas desarrolladas en la parte 2, hasta la parte de “construcción”. Este punto no pudo concretarse debido a que implementar o no un sistema de generación de energías renovables es una decisión del productor.

Para que surjan decisiones positivas en cuanto a la implementación y se desarrollen los sistemas de digestión anaeróbica en el sector de la agricultura familiar, será necesario seguir construyendo el “sistema tecnológico biogás”, que actualmente se encuentra disgregado, pero que tiene un alto potencial en nuestro país. Es de conocimiento que se han desarrollado múltiples experiencias de construcción de digestores, pero el mantenimiento y sostenimiento del proceso ha fallado en la mayoría de los casos debido a la carencia de dicho sistema tecnológico. También sería necesario contar con beneficios económicos por parte del Estado (municipal, provincial o nacional), pues las necesidades de inversión del sector son variadas y, en muchos casos, los montos de la inversión inicial escapan a las posibilidades del productor.

Por último, lo desarrollado en el apartado 2 puede ser de utilidad como guía para cualquier proyecto de estas características. Estos puntos, y otros de mayor especificidad que puedan surgir, deben considerarse para tener una mayor seguridad en la decisión a tomar para implementar un sistema de digestión anaeróbica.



BIBLIOGRAFÍA

Batistta, E., Justianovich, S. *De la frontera del artefacto a la del sistema tecnológico. El diseño y las energías renovables en el ámbito rural*. San Rafael, ASADES, 2015.

Bragachini, M., Huerga, I., Mathier, D., Sosa N. *Residuos pecuarios: una problemática que puede transformarse en oportunidad*. Disponible en www.inta.gov.ar.

Butti, M. "Producción de bioenergía utilizando sorgo dulce como cultivo energético: Estudio sobre cultivares de la provincia de Córdoba". Tesis de Maestría en Energías Renovables, Universidad Nacional de Salta, 2014.

Carrillo, L. "Energía de la biomasa". Primera edición. San Salvador de Jujuy, El autor, 2004, p. 82.

Franco, R. y Panichelli, D. *Conceptos básicos para definir estrategias del manejo de efluente porcino*. Presentación, Primera Jornada Nacional de Gestión de Residuos en INTA. Rafaela, noviembre 2013.

Groppelli, E. Giampaoli, O. "El camino de la biodigestión". Primera edición. Santa Fe, UNL, 2001, p. 189.

Guevara Vera, A. "Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales". Lima, CEPIS, 1996, p. 77.

Maisonnave, R. *Manejo Agro Ambiental de Excretas de Cerdos: de residuo a insumo agrícola*. Empresa AmbientAgro. Exposición, Segunda Jornada Nacional de Residuos Pecuarios en INTA Oliveros. Santa Fe, noviembre 2014.

Martí Herrero, J. "Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares". GTZ Pro-Agro, 2008, p. 74.

Ministerio de Energía de Chile. "Manual de Biogás" Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables", Santiago de Chile, Ministerio de Energía de Chile, 2011.

Taverna, M. A., Charlón, V., García, K., Walter, E. *Manejo de efluentes de tambos*. Idia XXI. Revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario, 7(9), Rafaela, INTA, 2007.

Venturelli, L.; Butti, M., Huerga, I. "Biodigestores de pequeña escala: un análisis práctico sobre su factibilidad", primera edición, Santa Fe, INTA, 2014.

Zapata A. "Utilización del biogás para generación de electricidad". Cali, Fundación CIPAV, 1999.



Esta publicación sintetiza el trabajo entre diferentes áreas del INTA, que unieron recursos técnicos y capacidades humanas para dar cumplimiento a una agenda de necesidades planteadas por las familias productoras de la Región Pampeana. El texto pone el foco en la experiencia realizada en un tambo, ubicado en la localidad de Coronel Dorrego, provincia de Buenos Aires. A través de un camino innovador que alterna instancias a campo con laboratorio, posibilita dar pasos firmes en la generación de alternativas para resolver los problemas de efluentes/generación de biogás en la Agricultura Familiar.

En paralelo, quienes conformamos el equipo de trabajo consideramos relevante avanzar en torno al acceso y disponibilidad de tecnologías para que las energías renovables sean aprovechadas por agricultores familiares. Para lograr estos objetivos, necesitamos construir un nexo entre el conjunto de actores: los fabricantes/construtores, los usuarios que han aprendido las prácticas de manejo, una industria de la reposición de partes que asegure la durabilidad y permanencia de los artefactos, oficios y empleos que resuelvan su mantenimiento, instituciones que definan y regulen las normativas de instalación y funcionamiento de los artefactos del sistema, carreras académicas vinculadas que incluyan -o no- en su programa curricular el estudio de estos sistemas y profesionales que luego lo reproduzcan en el planeamiento de infraestructura.

ISBN 978-987-521-730-0



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación